

グラウンドアンカー設計・施工マニュアル
EHD アンカーHP 工法

K J S 協会

2023 年 10 月

まえがき

グラウンドアンカー工法は、道路のり面・斜面の防災対策や、橋台・岸壁・建築物などの各種構造物の安定対策の用途で、信頼性が高く確実な補強効果が得られ、他工法に比べて経済性が優れることから、従来からおもに土木関連のインフラ施設の補強対策として広く活用されています。PC 橋梁のプレストレス技術を地盤の構造物補強技術に取入れ、その後の経験的知見の集大成として発展してきたグラウンドアンカー工法は、補強対象となる現場の構造物・地盤環境・施工条件がどれ一つとして同じものはありません。しかし、工学的見地から見れば補強対策目的の「原理」・「原則」の基本は同一です。土木現場で重視すべき「3現主義」と組み合わせて、「3現」＋「2原」＝「5ゲン主義」により、「原理」・「原則」のもとに現場の根本的・本質的な問題解決策を見出すことも重要なポイントです。論理的な解決思考により、従来土木の経験的知見のみからの脱却を図り、ゲームチェンジャーとなる工法やブレイクスルー策を、将来を見据えて土木技術者全員で今後とも取り組む必要があります。グラウンドアンカー工法においても、このような新たな適用法や施工法、メンテナンス法が益々求められると考えます。

EHD アンカーは、1999 年に開発されたもので、海水飛沫帯・凍結防止剤の塩分環境や地盤内酸性成分の鋼材腐食因子を完全にシャットアウトできるテンドンを使用していることから、現存アンカー中でもっとも高い 100 年耐久性(設計耐用年数 100 年)のアンカー工法として幅広い支持を受け、広く適用されております。NEXCO 新東名高速道路のり面安定対策で最大実績を有し、近年の高速道路・直轄国道で実績が多いのも特徴です。

一方、国土交通省では、2021 年に第 2 次国土交通省インフラ長寿命化計画(行動計画)が策定され、将来にわたりインフラ機能を発揮させる取組の実行により、メンテナンスサイクルの構築と継続的な発展を戦略的に進めています。取組内容は、①「防災・減災、国土強靱化のための 5 か年加速化対策(令和 2 年 12 月 11 日閣議決定)」等による予防保全への本格転換の加速化、②メンテナンスの生産性向上の加速化、③インフラストック適正化による持続的なインフラメンテナンスの実現を目指す、ことが今後の方向性となっています。

道路橋示方書の 2017 年改訂では、橋梁の設計供用期間で耐久目標 100 年が規定され、塩害対策やメンテナンスサイクルを含めた性能規定による長寿命化・耐久性向上が求められています。

これらの観点から、設計段階で事前に考慮すべきインフラの老朽化対策は、施設の長寿命化とともに、メンテナンス作業の省人化・効率化を図ることが重要なポイントとなります。

この度、こうした新しい技術トレンドを踏まえ、より耐久性が高く、ライフサイクルコストに優れたグラウンドアンカー工法を開発しましたので、ここにお知らせする次第です。

本工法は、従来の EHD アンカー工法の頭部耐久性の最大の弱点であった頭部のグリース充填と背面止水構造をなくして、新技術の透明キャップとグリースレス定着具、および高耐水圧性のプレート止水構造によって、保全段階のメンテナンス性を著しく向上させ、さらにグラウトとの高い降伏付着強度を実現した硅砂付着 ECF テンドンの採用により、経済性・耐久性・安全性に優れた、第 7 世代の「EHD アンカー HP 工法」を、新たに開発しました。本開発技術により、土工構造物の防災事業分野と一般構造物の補強対策での強靱化事業分野の両方で、メンテナンスの生産性向上と、建設段階を含めたライフサイクルコストでコスト縮減がより図れると考えます。

本工法の 100 年耐久性とメンテナンス性の向上による経済性という特長を生かしつつ、今後とも更なる工法の発展と改善に、努力を重ねて参りますので、何卒よろしくご厚意申し上げます。

目 次

	頁
第1章 総則	1
1.1 適用	1
1.2 用語の定義	3
1.3 EHD アンカーHP 工法の概念と特長	13
1.4 用途	16
1.5 工法選定	19
1.6 構成	22
1.7 適用条件	23
第2章 調査・維持管理計画	25
2.1 現場調査	25
2.2 地盤調査	25
2.3 地すべり調査	26
2.4 維持管理計画	27
第3章 使用部材	28
3.1 アンカー規格と部材規格	28
3.2 テンドン	35
3.3 頭 部	39
3.4 自由長	42
3.5 アンカー体	44
3.6 過荷重アンカー力の減調整	46
3.7 従来技術との比較	47
第4章 設計	48
4.1 設計の基本	48
4.1.1 アンカープレストレスの効果	50
4.1.2 設計の限界状態	52
4.1.3 設計の環境状態	53
4.1.4 アンカー特性	55
4.1.5 アンカー許容耐力	57
4.1.6 降伏付着強度、摩擦強度の設計用特性と安全係数	60
4.1.7 アンカー部材の設計用特性と安全係数	65
4.1.8 受圧体の支持力・滑動安定の設計用特性と安全係数	66
4.1.9 頭部構造とライフサイクルコスト	67
4.2 必要抑止力と設計アンカー力	68
4.2.1 土工構造物(のり面・斜面など)の安定対策	69
4.2.2 一般構造物(橋台・岸壁・建築物など)の安定対策	70
4.2.3 アンカー規格の選定	74
4.3 アンカー配置	76
4.4 アンカー体	78
4.5 受圧体・支圧板・構造物体・土留部材の設計	80
4.5.1 受圧板・吹付のり枠の支持力安定と滑動安定	81

4.5.2 受圧板	82
4.5.3 吹付のり枠	82
4.5.4 支圧板	83
4.5.5 構造物体	85
4.5.6 土留部材	87
4.6 プレストレスと構造物変位	88
4.7 定着プレストレス	92
4.8 プレストレス調整	97
4.9 アンカー引抜試験計画	99
4.10 構造物補強の留意点	101
4.11 設計プレストレスとアンカー頭部変位の適正評価	105
4.12 アンカー耐久性能	113
4.13 ライフサイクルコスト(LCC)	114
第5章 施工	121
5.1 施工計画	121
5.2 削孔	123
5.3 削孔機械	124
5.4 テンドン組立加工	124
5.5 テンドン取扱い	126
5.6 テンドン挿入	127
5.7 グラウト配合	127
5.8 グラウト注入・配列スペーサ取付・養生	128
5.9 プレ緊張	129
5.10 アンカー緊張試験	130
5.10.1 引抜試験	132
5.10.2 適性試験	134
5.10.3 確認試験	137
5.11 緊張・定着	139
5.12 頭部処理	144
第6章 維持管理	146
6.1 耐久性能と維持管理	146
6.2 点検	148
6.3 健全性調査	150
6.4 補修措置	160
6.5 短いテンドン余長のアンカー再利用	162
参考資料	
参 1. アンカープレストレス設計方法	164
参 2. 待受け型アンカーの必要プレストレス比の設計事例	166
参 3. 定着プレストレスの施工管理方法の事例	168
参 4. 引抜試験計画の事例	178

第1章 総則

1.1 適用

本マニュアルは、EHD アンカーHP 工法(以下、本工法)を用いて、道路のり面・斜面などの土工構造物の防災対策や、橋台・岸壁・建築物などの一般構造物の安定対策を対象にして、グラウンドアンカーの設計・施工・維持管理を行う際の調査、設計、施工、維持管理に適用する基本的事項を示す。

【解説】

- (1) グラウンドアンカー(以下、アンカー)は、道路のり面・斜面の土工構造物の防災対策や、橋台・岸壁・建築物などの一般構造物の安定対策用途で、信頼性が高く確実な補強効果が得られ、他工法に比べて経済性が優れることから、従来からおもに土木関連のインフラ施設の補強対策として広く活用されている。アンカーの基本原理は、補強対象構造物をアンカープレストレスで変位ゼロに抑止可能なことであり、プレストレス \geq 作用荷重(外力)で構造物の変位ゼロを保つため、本機能を最大限に活用することが重要である。ここでは、設計供用期間 2 年以上のアンカーを対象とし、これを本設アンカーと称して、単にアンカーという。
- (2) EHD アンカーHP 工法(HP: HyPer の略)は、土木学会規準(JSCE-E141-2018)で、100 年耐久性(塩分環境で設計耐用年数 100 年)の高付着型の硅砂付着 ECF テンドンを使用して、アンカー体はグラウトひび割れ考慮の ECF 樹脂一重防食構造での 100 年耐久性仕様と、加えて高降伏付着強度を実現しており、頭部は新形式のプレート止水構造を用いた高耐水圧性と、透明キャップ・グリースレス定着具採用によるメンテナンス性の向上を実現した、安全性・耐久性・ライフサイクルコスト経済性に優れた新しいアンカー工法である。なお、プレート止水構造、透明キャップおよびグリースレス定着具は、以下に示す特許工法である。
 - ・特許第 6861975 号「テンドンの頭部定着構造」
 - ・特許第 6948658 号「ヘッドキャップ構造」
 - ・特許第 7166550 号「テンドンの頭部定着構造」
- (3) 硅砂付着 ECF テendonは、土木学会規準 100 年耐久性規定のエポキシ樹脂被覆厚 0.4mm～1.2mm(JSCE-E141-2018、平均厚 0.6mm)に則したものである。硅砂付着 ECF テendon単体の一重防食構造は、飛沫帯の塩害環境下で 100 年耐久性であることから、アンカー体グラウトに付着摩擦のせん断挙動でせん断ひび割れが発生しても、当該部の耐久性は十分に確保される。
- (4) テンドン樹脂表面の硅砂付着は、グラウトとの降伏付着強度を普通 PC 鋼より線の 1.5 倍以上と高降伏付着型に改良している。本効果で、アンカー体でのテンドン・グラウトの一体挙動がより堅固になり、付着切れのテンドン伸びによるグラウトせん断ひび割れが生じ難くなったことから、地盤への摩擦伝達の確実性とアンカー力保持の安全性がより向上している。
- (5) プレート止水構造は、頭部耐久性の最大の弱点であった従来アンカーの頭部のグリース充填と背面止水構造をなくして、止水機能の堅固さと長期維持を可能にした、アンカー工法で初採用の止水ゴム支圧板内配置構造であり、水圧 2.0MPa の耐水圧性を実現している。本効果で、従来の背面止水構造に比べて、耐水圧の確実性と施工の信頼性が向上し、加えて、保全管理でのアンカー頭部背面調査が不要になったので、ライフサイクルコストが縮減できる。
- (6) くさび・ナット形式の定着具は、近年の大地震や豪雨などの不測事態で、過荷重アンカー力が生じた場合に対応可能なアンカー力調整長約 50mm(標準設定: 減調整長 30mm、増調整長約

20mm)を有し、アンカーの安全性と補強対策の経済性を確保している。

(7) これら部材の品質特性により、本工法は道路のり面安定工事、地すべり抑止工事、斜面安定工事、急傾斜地崩壊防止工事、2年以上の長期仮設土留工事、橋台などの橋梁下部工の安定対策工事、港湾・漁港地域の構造物安定対策工事、建築構造物の安定対策工事など、種々の目的に適用することができる。ただし、本工法の適用は、事前の調査を行って、アンカー条件および定着する構造物やアンカー体設置地盤の特性、アンカー設置環境などを十分に把握した上で設計するとともに、適切な施工の前提をもとに行う必要がある。

(8) 本マニュアルに関する主な参考基準等を下記に示す。なお、発行年非記載は、最新版を参照する。

- | | |
|--|-------------------------|
| 1. グラウンドアンカー設計・施工基準, 同解説 | : 地盤工学会 |
| 2. コンクリート標準示方書 規準編, 同 設計編 | : 土木学会 |
| 3. プレストレスコンクリート工法設計施工指針 | : 土木学会 |
| 4. エポキシ樹脂を用いた高機能 PC 鋼材を使用する
プレストレスコンクリート設計施工指針(案) | : 土木学会 |
| 5. 設計要領 第一集 土工建設編
2.切土 5.グラウンドアンカー工 | : 東・中・西日本高速道路株式会社 |
| 6. 道路土工 切土工・斜面安定工指針 | : 日本道路協会 |
| 7. 河川砂防技術基準 設計編 | : 国土交通省 水管理・国土保全局 |
| 8. 地すべり防止技術指針及び同解説 | : 国土交通省 砂防部、土木研究所 |
| 9. 港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成 30 年 | : 日本港湾協会 |
| 10. 漁港・漁場の施設の設計参考図書 2015 年 | : 水産庁 |
| 11. 建築地盤アンカー設計施工指針・同解説 | : 日本建築学会 |
| 12. プレストレスコンクリート設計施工基準・同解説 | : 日本建築学会 |
| 13. グラウンドアンカー設計施工マニュアル | : 日本アンカー協会 |
| 14. 建築基礎構造設計基準・同解説 | : 日本建築学会 |
| 15. 道路土工構造物技術基準・同解説 | : 日本道路協会 |
| 16. 道路橋示方書・同解説 I 共通編 | : 日本道路協会 |
| 17. 道路橋示方書・同解説 II 鋼橋・鋼部材編 | : 日本道路協会 |
| 18. 道路橋示方書・同解説 III コンクリート橋・コンクリート部材編 | : 日本道路協会 |
| 19. 道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編 | : 日本道路協会 |
| 20. 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編 | : 日本道路協会 |
| 21. 道路土工構造物点検要領 令和 4 年 | : 国土交通省 道路局 |
| 22. グラウンドアンカー維持管理マニュアル | : 土木研究所・日本アンカー協会ほか |
| 23. 砂防関係施設の長寿命化計画策定ガイドライン(案) | : 国土交通省 水管理・国土保全局砂防部保全課 |
| 24. 河川砂防技術基準 維持管理編(砂防編) | : 国土交通省 水管理・国土保全局 |

1.2 用語の定義

本マニュアルで使用する用語は、「グラウンドアンカー設計・施工基準 地盤工学会 JGS4101-2012」のものを参考とし、用語の技術的な理解の容易さや明確化を記すため、限界状態設計法などの知見を考慮した、新たな用語の定義も示している。用語の定義は、アンカーをより良く理解し、設計・施工をしやすくする趣旨のものであり、可能な限り適正に使用することが重要である。

【解説】

本マニュアルで使用する用語は、次に示す通りである。

(1) 安定対策

安定対策は、土工構造物や一般構造物を対象に、剛体安定・変位安定・耐力安定に対して所要の安全性を確保する目的で、各種の構造物にアンカーなどの補強工法を用いる方法をいう。

(2) 土工構造物

土工構造物は、道路土工構造物技術基準、道路土工指針、河川砂防技術基準などに準じた、おもにのり面・斜面などの土工を伴う構造物をいう。のり面には、切土のり面と盛土のり面がある。

(3) 一般構造物

一般構造物は、道路土工構造物技術基準、道路土工指針、河川砂防技術基準、道路橋示方書、港湾の施設の技術上の基準、漁港・漁場の施設の設計参考図書、建築基準法などに準じた、おもにコンクリート構造物などをいう。

(4) 現状安全率 F_{s0}

現状安全率は、のり面・斜面の原形状や計画形状でのすべり安定、または一般構造物の剛体安定に対する安全性の現状指標をいう。

(5) 計画安全率 F_{sp}

計画安全率は、土工構造物や一般構造物で安全性向上のために目標とする設計での計画指標をいう。

(6) 必要抑止力 P_r

必要抑止力は、土工構造物や一般構造物で安全性向上のために必要な単位 m 当りの補強力、または構造物長当りの補強力をいい、一般に単位 m 当りの補強力が標準的に使用される。

(7) グラウンドアンカー

グラウンドアンカーは、永続作用のアンカープレストレスにより構造物の安定対策を行うもので、作用荷重がプレストレスを超えない範囲で構造物変位をゼロに保持可能であり、テンドン・頭部・自由長・アンカー体で構成する。

(8) 本設アンカー

本設アンカーは、設計供用期間 2 年以上のアンカーをいい、当該期間は所要の耐荷性能と耐久性能・防食構造を有するものである。本書での「アンカー」は、本設アンカーに用いるグラウンドアンカーをいう。同義語は永久アンカーまたはランク A アンカー、対義語は仮設アンカーである。設計供用期間 2 年以上の仮設アンカーは長期仮設アンカーといい、本設仕様とする。

(9) アンカー耐久性能

アンカー耐久性能は、アンカーのテンドンや構成部材が適用する現場環境のもとで設計耐荷性能や所要機能を維持して、腐食・劣化に耐える性能をいう。

(10) 防食構造

鋼材腐食は、空気または水の存在下で発生し、一般に湿度 60%以上で鋼材が腐食する。湿度 60%は、腐食発生の臨界湿度と呼ばれる。現場での腐食促進は、局部腐食となる隙間腐食などのイオン化傾向による電気化学的反応に依存するので留意が必要である。

本設アンカーの防食構造は、防食構造Ⅱまたは防食構造Ⅲを適用し、アンカーのテンドンや構成部材の鋼材が現場環境の空気や水などの腐食環境から遮断される方法を採用する。防食構造Ⅱ(一般環境)は一般的な環境で採用し、防食構造Ⅲはアンカー各部位の塩害環境や酸性土環境での腐食抵抗性を有する部材で構成し、それぞれを防食構造Ⅲ(塩害環境)、防食構造Ⅲ(酸性土環境)とする。なお、一般環境に適用の亜鉛めっきは、pH6以下の酸性土地盤や塩害環境下で消失が加速度的に大きくなるので留意が必要である。

(11) テンドン

テendonは、アンカー構成の主要部材の引張力伝達部材の呼称であり、プレストレスによる補強力で構造物を安定化して、一般に永続する高引張力作用のもとで使用可能な PC 鋼より線(PC スtrand)単材を 1 本以上組合せたものをいう。PC 鋼より線は、JIS G 3536 で規定され、1900 年代前半から PC 橋梁で使用されており、この分野での使用量も多い。PC 鋼より線の素材に用いるピアノ線(JIS G 3502)は、鋼材表面のきず深さや脱炭層深さが厳密に規定された高級鋼材であり、PC 鋼棒やワイヤロープにはない高応力下適用での高い品質向上策が図られている。同義語は、引張材や緊張材である。

なお、PC 鋼より線は、JIS 用語である。Strandは、鋼より線の意味で、過去に PC Strandが PC 鋼より線と同一使用されていたが、アンカーでは同一物の用語多様防止の観点から、2000 年アンカー設計・施工基準、同解説では、使用しないことが推奨され、用語から削除されている。

本工法のテendonは、低リラクセーション PC 鋼より線にエポキシ樹脂を充填被覆した、土木学会規準規定(JSCE-E141-2018)で設計耐用年数 100 年が保証され、100 年耐久性を有する珪砂付着 ECF テendonを使用する。なお、土木学会では、ECF Strandの呼称であるが、ここでは上記理由から、ECF テendonの呼称とする。

(12) 設計アンカー力 T_d

設計アンカー力は、補強対象構造物の適用分野のアンカー許容耐力を超えない範囲の 1 本当りの設計用補強力をいい、これを用いてアンカー規格の選定を行う。

(13) アンカー許容耐力 T_{as}

アンカー許容耐力は、アンカー極限耐力またはアンカー降伏耐力をもとに、アンカーの構造物適用分野で設定の限界状態に応じて定めた、所要の安全性を有するものをいい、1 本当りの許容耐力が設計アンカー力を上回るようにアンカー規格を選定する際に使用する。おもな適用構造物分野は、土木分野の土工構造物・一般構造物、港湾分野の港湾構造物、漁港分野の漁港構造物、建築分野の建築構造物である。同義語は、テendon許容耐力である。

なお、供用中アンカーのプレストレスは、アンカー許容耐力を超える場合があるが、このプレストレスの最大は、短時間で $0.9 \times$ アンカー降伏耐力 T_{ys} 以下、定着直後で $0.75 \times$ アンカー極限耐力 T_{us} 以下、長期で $0.7 \times$ アンカー極限耐力 T_{us} 以下とする必要がある。本プレストレスの最大とアンカー許容耐力が異なるのは、テendonに PC 鋼より線を用いたプレストレス構造物設計でのもっとも特徴的なものであり、RC 構造物の鉄筋などの普通鋼材の許容耐力の考え方と異

なるので留意が必要である。

(14) アンカー極限耐力 T_{us}

アンカー極限耐力は、JIS G 3536 規定の PC 鋼より線の最大試験力の下限值×より線本数をいう。同義語は、テンドン極限耐力である。なお、より線1本は素線7本をよったものをいう。

(15) アンカー降伏耐力 T_{ys}

アンカー降伏耐力は、JIS G 3536 規定の PC 鋼より線の 0.2%永久伸びに対する試験力の下限值×より線本数をいう。なお、PC 鋼より線は普通鋼材と異なり、明確な降伏点を示さないことから、普通鋼材と同じ降伏時永久伸び 0.2%を降伏耐力としている。同義語は、テンドン降伏耐力である。

(16) プレストレス P_e

プレストレスは、アンカーと構造物を変位ゼロに保持可能な力であり、構造物の安定を目的として、アンカー定着直後から設計供用期間にわたって永続作用して、アンカーおよび構造物に長期間導入されるものをいう。作用荷重がプレストレスを超えない範囲で、構造物は変位ゼロを保持でき、これを超えた場合はアンカーばね剛性の抵抗になるのでアンカー変位と、構造物や周辺施設への変位が発生する。

プレストレスは、受圧体背面の地盤クリープ沈下とテンドンの純リラクセーションとの影響を受けて施工数年の期間で低下する。アンカー定着は、これを考慮して割増した定着プレストレスとし、上限値を限界プレストレス $P_L=0.75T_{us}$ とする。プレストレスは、設計アンカー力 T_d ~永続的疲労作用のない場合の本設アンカー上限限界 $0.7T_{us}$ の範囲保持を推奨する。

なお、プレストレスと残存引張力を総称して、アンカー力 P_a という。

(17) 残存引張力 P_{er}

残存引張力は、アンカー定着以降の設計供用期間でおもにプレストレスを超えて構造物変位を伴った後にアンカーに作用している力をいう。作用荷重 P_0 状態でプレストレス P_e を超えない場合、残存引張力 $P_{er}=プレストレス P_e$ であり、 P_e が下限値となる。作用荷重 P_0 により残存引張力 $P_{er}>プレストレス P_e$ となった状態の $\Delta P_a=P_{er}-P_e > 0$ では、超過力 ΔP_a に対するアンカーばねを介したアンカー変位 δ_a と構造物残留変位が発生し、その後のアンカー力が残存引張力 P_{er} になる。

(18) 永続プレストレス P_∞

永続プレストレスは、アンカー設計段階にて設定するものであり、設計予測の地盤クリープ沈下とテンドンの純リラクセーションによるアンカー力低下量を見込んだ、アンカー定着以降の設計供用期間にわたり、テンドンに永続的に作用する設計アンカー力 T_d 以上の設計設定のプレストレスをいう。本値は、5~10kN 単位表示で丸めたものとする。

(19) 初期緊張力 P_i

初期緊張力は、ジャッキによるアンカー緊張作業のくさび装着状態で、アンカー定着前の、テンドンに作用する最大の力をいい、この作業は初期緊張という。初期緊張力は、セットロスと限界緊張力、ナットでの増プレストレスを考慮して設定する。初期緊張力は、限界緊張力を上限値とする。初期緊張からジャッキ除荷で、テンドンとくさびが引込まれてアンカーヘッドに嵌合したテンドン固定状態が、アンカー定着である。

(20) 定着プレストレス P_t

定着プレストレスは、初期緊張からの継続作業で、ジャッキ除荷によるアンカー定着直後に、

テンドンと構造物に作用している力をいい、地盤クリープ沈下とテンドンの純リラクセーションを考慮して永続プレストレスから割増したものとし、限界プレストレス以下とする。同義語は、定着時緊張力である。

(21) 限界プレストレス P_L

限界プレストレスは、アンカー定着直後にテンドンに作用しているプレストレスの限界値をいい、PC鋼より線の純リラクセーションの適用範囲を考慮して、 $0.75T_{us}(=0.88T_{ys})$ とする。ただし、テンドン限界緊張力が $P_{Mt}=0.9T_{ys}(=0.77T_{us})$ であることから、セットロスを考慮するとアンカー定着直後のプレストレスは実質 $0.70T_{us}(=0.82T_{ys})$ 以下になる。なお、アンカー力減調整を実施する場合は、 $0.85T_{ys}(=0.72T_{us})$ が限界プレストレスとなるので、留意する。

(22) 限界緊張力 P_M

限界緊張力は、アンカー定着やアンカー緊張試験を行う際の、ジャッキ载荷の緊張作業時にテンドンに作用可能な最大の引張力 $P_M=\min(P_{Mt}, P_{Ma})$ をいう。ここに、テンドン限界緊張力 $P_{Mt}=0.9T_{ys}$ 、アンカー体降伏引抜耐力 $P_{Ma}=L_A \cdot \min(\tau_{by} \cdot U, \tau_{gy} \cdot D_A \cdot \pi) / (\text{安全係数 } 1.25)$ である。

(23) セット量 S_t ・セットロス ΔP_{st}

セット量は、テンドンとアンカーヘッド間にくさびを差込み設置し、ジャッキ除荷でテンドン定着中に、テンドンがくさび嵌合とともにアンカーヘッド内に引込まれる嵌入長をいう。本工法のセット量は、ECF12.7、ECF15.2ともに10mmである。セットロスは、セット量に伴って減少したアンカー力をいい、自由長が短いほどその値が大きいのので、初期緊張力の設定はこれに留意して実施する。

(24) アンカー変位 δ_a

アンカー変位は、構造物アンカー点の反力がプレストレス超過することで生じるアンカー軸方向の変位をいい、作用力成分のアンカー軸方向超過力 ΔP_a に対して、簡易式で $\delta_a = \Delta P_a \cdot L_f / (A \cdot E)$ と表される。ここに、 L_f :自由長(m)、 A :アンカー断面積(mm^2)、 E :アンカー弾性係数($0.195MN/mm^2$)である。なお、適正なアンカー変位の計算には、履歴最大力 P_{mh} によってアンカー体内に生じるアンカー体自由長 L_{Af} を考慮した自由長と、自由長摩擦影響のアンカー力伝達係数 κ_f を考慮した式(4.11.7)を使用する。

(25) 構造物変位 $\delta_g, \delta_x, \delta_y$

構造物変位は、構造物アンカー点の反力がプレストレス超過に伴い生じる構造物変位 δ_g をいう。土工構造物の地表構造物変位 δ_g は、剛体仮定によりすべり土塊の平均すべり方向に生じる。一般構造物の構造物変位は、水平変位 δ_x と鉛直変位 δ_y の成分で表される。

構造物変位とアンカー変位の関係は、土工構造物の地表構造物変位 δ_g で、 $\delta_g = \delta_a / \cos \beta$ 、一般構造物の水平変位 δ_x で、 $\delta_x = \delta_a / \cos \alpha$ と表され、アンカー変位と余弦逆数の積に比例する。ここに、合成角 $\beta = \alpha + \theta$ 、アンカー傾角 α 、変位方向(すべり)角 θ である。

(26) 純リラクセーション率 γ_0

リラクセーションは、一般にPC鋼材伸びを一定保持した状態で、引張力が時間経過とともに漸減する現象をいう。純リラクセーション率は、定着プレストレスを極限耐力 T_{us} で除した比のレベルに応じた、アンカー定着後から永続期間経過後の、PC鋼より線単体材料の純粋な引張力減少量を百分率で表したもののいい、PC鋼材成分や製造方法などの材料特性に依存する。

PC鋼より線 JIS規格の1000hリラクセーション試験(初期力 $0.70T_{us}$)の上限リラクセーション率は、普通リラクセーションPC鋼より線で8.0%、低リラクセーションPC鋼より線で2.5%、

本工法使用の土木学会規定の珪砂付着 ECF テンドンの同試験の上限リラクセーション率は 6.5%である。純リラクセーション率は、同プレストレスレベルで比べると、JIS 規格の上限リラクセーション率よりやや大きく、定着プレストレス P_t の設計ではこれを使用する。見掛けのリラクセーションは、PC 構造の乾燥収縮影響などを含むものでアンカーと適用挙動が異なる。

(27) 地盤クリープ δ_c

地盤クリープは、受圧体背面地盤が、アンカープレストレスによる圧縮力影響を受けて、時間経過とともに長期間沈下する現象をいい、これに伴いアンカープレストレスは減少する。のり枠や受圧板などの受圧体の圧縮クリープ沈下は、地盤の軟硬による地盤反力係数に依存する。

(28) アンカー力調整とアンカー力調整長 L_t

アンカー力調整は、ジャッキによるアンカー緊張で定着具のナットを支圧板から浮かせて、ナットを回転することで行うアンカー力の増減作業をいう。アンカー力(プレストレス)調整長は、アンカー力増減の両方で調整可能な長さをいい、ナット調整長とアンカーヘッド調整長の小さい方をいう。本工法の過荷重アンカー力に対する減調整長は 30mm が標準である。

(29) 頭部

アンカーの頭部は、頭部キャップ・グリース・定着具(くさび・アンカーヘッド・ナット)・支圧板・プレート止水構造または背面止水構造からなり、テンドン定着とアンカー力調整、現場環境からの定着具の保護と防食機能を有する。本工法は、グリースレスが基本構成であり、従来アンカーと同様にグリース充填のタイプも選択可能である。なお、定着具は、くさび・アンカーヘッド・ナットからなり、グリースレスタイプは Ni めっき仕様であり、これをグリースレス定着具という。一般に、頭部背面側は、受圧体で構成し、吹付のり枠・受圧板・台座などが存在する。さらに背面側は、安定対策用の土工構造物や一般構造物が存在する。

(30) 自由長 L_f

自由長は、定着具からのアンカープレストレスを小摩擦損失でアンカー体に伝達する部位および長さをいい、支圧板+受圧体の長さを頭部自由長 L_{fn} 、それ以深の一般構造物を含む地盤側を地盤部自由長 L_{fg} という。当該部のテンドンは、自由長グラウトから非付着状態(アンボンド)にするため、シースで被覆する。緊張自由長 L_{fp} は、 L_{fp} =自由長 L_f +緊張余長 L_{f0} である。

(31) アンカー体・アンカー体長 L_A

アンカー体は、グラウト付着と地盤摩擦のせん断伝達抵抗で、テンドンを地盤に固着する部位をいい、テンドンとグラウトとの降伏付着強度が大きいほどグラウトせん断ひび割れがなくなり、アンカー体の安全性がより向上する。アンカー体では、テンドンのプレストレスがテンドンからグラウト境界面にせん断伝達され、さらにグラウトから地盤境界面にせん断伝達される。アンカー体は、N 値 30 以上の堅固な地盤に設置し、その長さはアンカー体長という。

アンカー体のせん断伝達抵抗に伴う長さ関係は、アンカー体引張型で、グラウト付着長=地盤摩擦長、アンカー体圧縮型の一般的な傾向で、拘束具グラウト付着長<地盤摩擦長、アンカー体分散型の各拘束具間で、各拘束具グラウト付着長<地盤摩擦長となっている。アンカー体長は、最小が 3.0m、最大が一般に 10.0m である。

なお、アンカー体内には、履歴最大力 P_{mh} によるアンカー体自由長 $L_{fA}=\kappa_f \cdot P_{mh} / \min(\tau_{by} \cdot U, \tau_{gy} \cdot \pi \cdot D_A)$ が生じるので、アンカー変位の厳密計算では、この影響を考慮する必要がある。

(32) アンカー傾角 α

アンカー傾角は、アンカー軸方向と水平面のなす角をいう。アンカー傾角の範囲は、対象構

造物により異なっており、一般に、土工構造物(のり面)で20~45°、一般構造物で20~90°、台座付土留め構造物で20~60°の範囲が多い。

(33) すべり角または変位方向角 θ

すべり角は、土工構造物設計で用いるすべり土塊のすべり方向と水平面とのなす角をいい、アンカー軸とすべり面の交点での個々のすべり角は θ_i で表す。変位方向角は、一般構造物設計で用いる構造物の変位方向と水平面とのなす角をいい、水平変位が抑止対象の場合は、一般に $\theta_i=0^\circ$ になる。

(34) アンカー水平角 θ_a

アンカー水平角は、構造物の基線法線の鉛直面とアンカー軸方向の鉛直面とのなす角をいう。

(35) 構造物水平角 θ_b

構造物水平角は、構造物の基線法線の鉛直面と構造物のアンカー設置面法線の鉛直面とのなす角をいう。

(36) 作用荷重水平角 θ_s

作用荷重水平角は、構造物の基線法線の鉛直面と設計上での地すべり荷重方向や土圧・地震力の作用荷重方向などの設計作用荷重方向の鉛直面とのなす角をいう。

(37) アンカー体径 D_A

アンカー体径は、アンカー体直径をいい、削孔ビット公称径の削孔径と同一である。

(38) 降伏付着強度 τ_{by}

PC鋼より線の降伏付着強度は、土木学会コンクリート標準示方書規準編JSCE-E736-2013に則した試験、かつ規定すべり変位以下でのテンドンとグラウトの単位面積当りの最大付着強度(N/mm²)をいう。規定すべり変位はPC鋼より線の公称径 ϕ 12.7mmで0.02mm、 ϕ 15.2mmで0.03mmと定められている。

なお、降伏付着耐力 P_{by} は、降伏付着強度と、テンドングラウト付着面積、または拘束具グラウト付着面積の積をいう。

(39) 許容付着強度 τ_{ba}

許容付着強度は、降伏付着強度を所要の付着安全係数で除したものをいう。付着安全係数 F_{sb} は、PC鋼より線で $F_{sb}=2.25$ 、拘束具(PC鋼棒・耐荷体)で $F_{sb}=1.50$ であり、両者の安全性が異なっていることに留意して設計する。

なお、許容付着耐力 P_{ba} は、降伏付着耐力 P_{by} を付着安全係数 F_{sb} で除したものをいう。

(40) 摩擦強度 $\tau_g, \tau_{gy}, \tau_{gu}$

摩擦強度は、現場でのアンカー引抜試験によるアンカー体グラウトと地盤との単位面積当りのせん断摩擦強度(MN/m²=N/mm²)をいう。設計では、地盤工学会JGS4101-2012,p78,解説表-6.6の地盤種類に応じた摩擦強度を使用して行う場合が多い。

なお、摩擦耐力 P_f は、摩擦強度と、アンカー体のグラウト地盤摩擦面積の積をいう。

施工に際しての引抜試験は、設計用値の摩擦強度検証用の位置付けで実施される。引抜試験では、テンドンとグラウトの付着切れが生じずに、グラウトと地盤とのせん断による確実な摩擦強度が得られるように、試験用のアンカー体長や削孔径を設定する必要がある。試験用アンカー体長は、アンカー体長の寸法効果を考慮して、可能な限り3.0mとすることが望ましい。3.0m未満の場合は、寸法効果を考慮して、試験結果の摩擦強度を低減して設計用値に評価する必要がある。試験でのアンカー体と自由長境界には、引抜試験パッカー(縁切りパッカー)を設

置して、試験の摩擦強度が自由長グラウトの影響を受けないようにする。

引抜試験結果の摩擦強度は、変位が急激に増加した時点の荷重から求めることになっており、「急激に増加した時点」が荷重段階開始で変位収束なしの試験終了であれば前荷重段階での降伏値、急激な変位増加でも収束後の点であれば極限値の評価となる。荷重段階は 5～10 サイクルが推奨範囲であり、現場では荷重サイクルが 6 段階で実施されることが多い。本試験では、荷重ピーク付近の荷重段階で急激に変位が増加してその状態での荷重と変位の収束確認が不確かになることから、引抜け値は急激な変位増加の開始点を採用することが多い。この場合は、降伏値での摩擦強度 τ_{gy} を採用したことになる。ここでは、アンカー摩擦耐力の安全性とテンドン・グラウトの降伏付着耐力との整合性を考慮して、降伏摩擦強度 τ_{gy} の採用を推奨する。

(41) 削孔長

削孔長は、地盤内にアンカーを設置する実際の削孔長さをいい、アンカー体引張型のグラウト付着長＝地盤摩擦長では、一般に、地盤部自由長 L_{fg} ＋アンカー体長 L_A ＋先端長 L_{2d} (結束部 50mm＋パイロットキャップ長 200mm＝250mm)となる。

(42) テンドン長

テンドン長は、アンカーに使用する実際のテンドン長さをいい、アンカー体引張型のグラウト付着長＝地盤摩擦長では、一般に、緊張部長 L_l ＋自由長 L_f ＋アンカー体長 L_A ＋先端部長 L_2 (200mm)となる。なお、アンカー長は、自由長＋アンカー体長をいい、積算数量での削孔長やテンドン長と直接的に関係していないので留意が必要である。

(43) 頭部キャップ

頭部キャップは、おもに支圧板にボルトで固定してアンカー定着具を覆い、定着具の落石保護や現場腐食環境からの防食を目的にしたものをいう。キャップと支圧板境界には、O リングが設置されて長期的な止水機能が保持される。定着具を直接ナットねじ式で覆う頭部キャップは、アンカー力増減で O リング圧力が変化し、止水機能が安定しないので留意が必要である。

本工法の頭部キャップは、グリースレスで使用する透明キャップや 5 窓キャップなどがあり、メンテナンスの点検調査が簡便となっており、支圧板にボルト固定式で設置する。

(44) グリース

グリースは、頭部キャップ内に充填して、定着具を腐食環境から遮断して防食するものであり、グリース劣化は防食機能の低下になる。一般に JIS K2220 グリース規定の一般用グリース 2 種が使用される。グリースの鋼材への防食効果は防錆添加剤で発揮でき、これは JIS K2246 防錆油で一時的な防錆性能が規定されている。現場設置のグリースは、経年的な劣化が避けられず、5～10 年程度でグリース交換が必要になり、土木材料の 50 年供用としては課題を有する。例えば、グリースは重量比 0.1%以上の水混入で劣化が促進され、かつ現場での直接日射は頭部が温度 60°C程度に達することから、経年的な熱劣化の影響も受ける。このことから、グリースはアンカーメンテナンス上の留意点となっている。同義語は、キャップ内防錆油などがある。

本工法は、メンテナンス性向上の観点から、グリースレスを基本グレードとしている。なお、グリース充填グレードの頭部キャップも必要に応じて採用可能である。本工法の自由長シーす内のグリースは、テンドンとの空隙充填による内部通水防止が目的であり、珪砂付着 ECF テンドン自体はグリースなしで塩分環境 100 年の設計耐用年数の防食性を有しており、グリース劣化に依存しない構造となっている。

(45) 定着具

定着具(または、くさびナット定着具)は、くさび・アンカーヘッド・ナットを総称していい、アンカー定着がくさび定着で、自由長依存の緊張時テンドン伸びを完全吸収できて簡便なこと、かつ、アンカー力調整がナット回転で、自在にできて簡便なことから、施工性に優れるという特長がある。本工法の基本グレードであるグリースレスの場合は、Niめっき定着具を使用する。グリース充填の場合は、無防食(無めっき)定着具の使用を標準とする。

(46) くさび

くさびは、テンドンとアンカーヘッドの隙間に差込み設置して、アンカー定着に使用する部材をいう。

(47) アンカーヘッド

アンカーヘッドは、ジャッキによる緊張・定着作業のテンドンとくさびの引込み移動をアンカーヘッド天端孔内の小範囲に止める、アンカー定着に使用する部材をいう。

(48) ナット

ナットは、アンカーヘッド外側でねじを介して嵌合するリング状部材をいい、ナットとアンカーヘッドのねじ重なり範囲は、嵌合長という。アンカー定着は、アンカーヘッドを浮かせて、ナットを押え板上に設置することとし、これにより定着時や設計供用期間でのプレストレス(アンカー力)の増減調整が可能になるとともに、プレート止水構造の止水ゴムに圧縮力が加わり止水性がより発揮できる。

(49) プレート止水構造

プレート止水構造は、支圧板内にシースが挿通できる止水ゴムを配置して、上からナットが接する押え板で止水ゴムを押付けて圧縮することで、支圧板下面からの耐水圧性をより高めた方法をいう。本工法で考案され、初めてアンカー工法に採用されたものであり、従来アンカーの頭部の背面グリース充填などによる背面止水構造に比べて、止水性が著しく向上する。

(50) 押え板

押え板は、ナットと支圧板の間に配置して、支圧板内配置の止水ゴムを上から押付ける部材をいい、本工法のプレート止水構造で使用する。

(51) 止水ゴム

止水ゴムは、支圧板内に配置して、テンドン挿通のシースを締付けて止水する部材をいう。

(52) 支圧板

支圧板は、定着具・押え板と受圧体の間に設置する部材をいい、受圧体へのアンカー力作用を面的に分散する効果を有している。本工法は、支圧板内に止水ゴム配置のものを使用する。

(53) 受圧体

受圧体は、支圧板と土工構造物または一般構造物の間に設置して、アンカープレストレスを構造物側に伝達する部材をいう。受圧体は、吹付のり枠・受圧板・台座・壁面台座の総称であり、プレストレスに対する適正な耐力と構造物側の許容受圧耐力(または許容支圧耐力)を満足できる面積を設定する。

(54) 吹付のり枠

吹付のり枠は、のり面などに金網型枠を設置して鉄筋を内部配置した後、型枠内にモルタル吹付した連続的な格子枠をいい、下地調整が不要なため、凹凸面ののり面に対しても円滑に施工可能である。アンカーをのり面法線方向に打設するか、小さな振れ角の場合の適用が多い。のり枠内は、一般に土砂部で植生処理、岩盤部でモルタル吹付処理が施される。断面

形状は 400×400mm～600×600mm 程度、枠ピッチは 2.0m～3.0m 程度の範囲が多い。

(55) 受圧板

受圧板は、アンカープレストレスを支圧板下で受圧する、PCa 部材の独立板形状のものをいう。受圧板の形状はおもに十字形・四角形・ひし形、材料種類はコンクリート製・鋼製・FRP 製などがある。形状寸法は、500×500mm～2400×2400mm の小面積から大面積まであり、地盤の許容支持力度が小さい場合や千鳥配置で設置可能なことから、アンカー配置の融通性が高く、PCa なので施工性が良いのが特長である。受圧面法線からのアンカー振れ角は、一般に最大 15° 程度である。それ以上の振れ角の場合には、不陸調整枠による角度調整を行う。

(56) 台座

台座は、アンカープレストレスを支圧板下で受圧する、おもに腹起し設置の台形上のものをいう。台座は角度調整機能に優れており、土留め壁用はアンカー傾角 60° も適用可能である。腹起しを設けず、コンクリート壁面などに直接設置するものは、壁面台座という。

(57) 腹起し

腹起しは、アンカープレストレスを土留壁に均等に伝達する目的で、台座と土留壁の間に、壁面水平方向に設置する、上下材で一对の H 鋼材をいう。台座からは、曲げ・せん断・支圧の作用応力を受けるので、これらの照査が必要である。

(58) 角度調整枠

角度調整枠は、受圧板背面にその背面形状に合わせた四角形状などの金網型枠と内部鉄筋を組合せ配置して、モルタル吹付した受圧板の下地調整枠をいう。受圧板設置面の凹凸を吸収可能なこと、天端面で大きな角度調整が可能なることから、受圧板のアンカー振れ角が大きい場合に適用する。同義語は、不陸調整枠である。

(59) シース

シースは、自由長部の tendon をシース内に挿通させてグラウト非付着状態の小摩擦損失にし、かつそれ自体が防食機能を有する部材をいう。部材は、フレキシブルなポリエチレン製チューブなどを使用する。本工法のシースと tendon との内部空隙は、グリース充填がなされており、この効果により、アンカー頭部側への通水防止ができて、アンカー体境界の止水処理劣化などでも止水性が維持できる二重安全性となっており、防食性能を向上している。

(60) グラウト

グラウトは、注入材あるいは注入材が固化したものをいい、セメント系グラウトと合成樹脂系グラウトがある。一般条件では、経済的で施工性の良いセメントミルクが使用され、W/C=50%の使用が多い。

(61) アンカー体注入

アンカー体注入は、N 値 30 以上の堅固な地盤にケーシング加圧による加圧注入で、アンカー体造成を行うグラウト注入作業をいう。

(62) 充填注入

充填注入は、自由長空隙充填により地盤緩みを抑える目的で、アンカー体造成終了後の削孔内を行うグラウト注入作業をいう。

(63) 拘束具

拘束具は、アンカー体内で tendon のプレストレスをグラウトにせん断付着で伝達する部材をいう。同義語は、耐荷体である。アンカー体内の拘束具が、単体のものを圧縮型、複数

個のものを分散型という。

一般に、拘束具長(グラウト付着側)＜アンカー体長(地盤摩擦側)であり、拘束具長と同じアンカー体長の部分では、拘束具作用力＞アンカー体許容耐力となるので、その差分の超過力は拘束具前面側グラウトの純グラウト断面積に作用する増加圧縮応力になる。増加圧縮応力は、アンカー体グラウト圧壊に対する安全性を考慮して、無筋コンクリートの許容圧縮応力度 $\sigma_{ca}(=f_{ck}/4)$ 以下とする必要がある。

(64) プレ緊張

プレ緊張は、限界緊張力 P_M での 2 回サイクル緊張をいい、アンカー施工での適性試験、確認試験などのアンカー緊張試験前に実施することを推奨する。この緊張速度は、特に規定しないが、作業の安全性が確保できる緊張速度範囲で行う必要がある。プレ緊張の目的は、受圧体背面地盤のアンカー圧縮力付与による事前の地盤クリープ影響低減、アンカー初期緩み除去、アンカー自由長部摩擦除去、および頭部アンカーテンドンのプレート止水構造の止水ゴム孔・押え板孔・アンカーヘッド孔への適正な整列性確保などである。

(65) アンカー引抜試験

アンカー引抜試験は、アンカー体グラウトと地盤のせん断摩擦強度を求める試験をいう。引抜試験はテンドンとグラウトの付着切れが生じないように、試験用のアンカー体長や削孔径を設定する。試験の留意点は、(40)摩擦強度 τ_g で詳述しているので参照されたい。

(66) 適性試験

適性試験は、アンカー施工本数の 5% かつ 3 本以上を対象に、施工アンカーを用いて、施工管理と緊張・定着力設定の諸係数を得るために実施する、緊張除荷ループを漸増繰返す多段サイクル試験をいう。最大試験力は、 $1.25T_d$ や $0.9T_{ys}$ などが採用される。最大試験力サイクルの試験力ステップ数は 5 ステップ以上であり、最大試験力に至るまでの各増加ステップ毎に緊張除荷ループのサイクルを繰返す。現場では 5 サイクルで実施することが多い。

本工法の珪砂付着 ECF テンドンは、アンカー体の降伏付着強度が極めて大きく、付着すべりが従来アンカーに比べて極めて小さい特長がある。施工での緊張・定着は、試験結果の緊張摩擦挙動や除荷摩擦挙動の諸定数をもとに適正に実施する必要がある。

なお、適性試験や確認試験の前には、限界緊張力 P_M でのプレ緊張実施を推奨する。この目的は、地盤クリープによるアンカー力低下の縮減やアンカー自由長部摩擦の除去などに効果的なためである。特に、地盤不均一性の削孔曲りなどで摩擦影響が大きいアンカーや自由長 20m 以上の長尺アンカーなどでは、アンカー力の摩擦損失影響が大きくなることから、プレ緊張の実施は効果的なものとなる。

(67) 確認試験

確認試験は、適性試験に用いたアンカーを除くすべてのものを対象に、施工アンカーを用いて、施工管理と緊張・定着力設定の諸係数を得るために実施する、緊張除荷ループを 1 サイクル繰返す単サイクル試験をいう。最大試験力は、 $1.25T_d$ や $0.9T_{ys}$ などが採用される。緊張ステップは、適性試験と同一ステップとする。本試験前には、プレ緊張実施を推奨する。

(68) 責任技術者

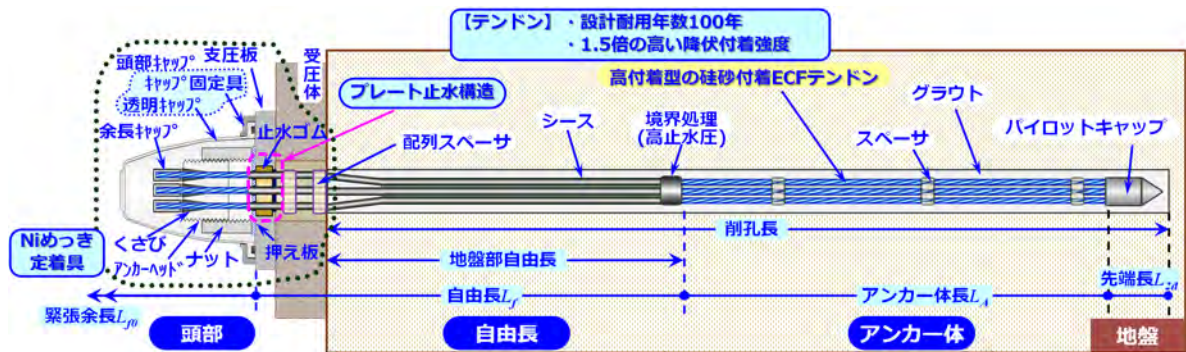
責任技術者は、構造物の所有者、発注者、設計者、施工者および保全管理者に所属するか、あるいは所定の手続きによって業務を代行する技術者のうち、アンカーに関するそれぞれの段階で、常時管理または監督する立場にあるものをいう。

1.3 EHDアンカーHP工法の概念と特長

EHD アンカーHP 工法は、100年耐久性で高降伏付着強度のテンドンを使用して、過荷重アンカー力減調整機能性、および透明キャップとグリースレス定着具・プレート止水構造によるメンテナンス性向上を図ったアンカーである。本工法的设计・施工・維持管理にあたっては、アンカー構成・構造特性・特長を十分に理解した上で実施する。

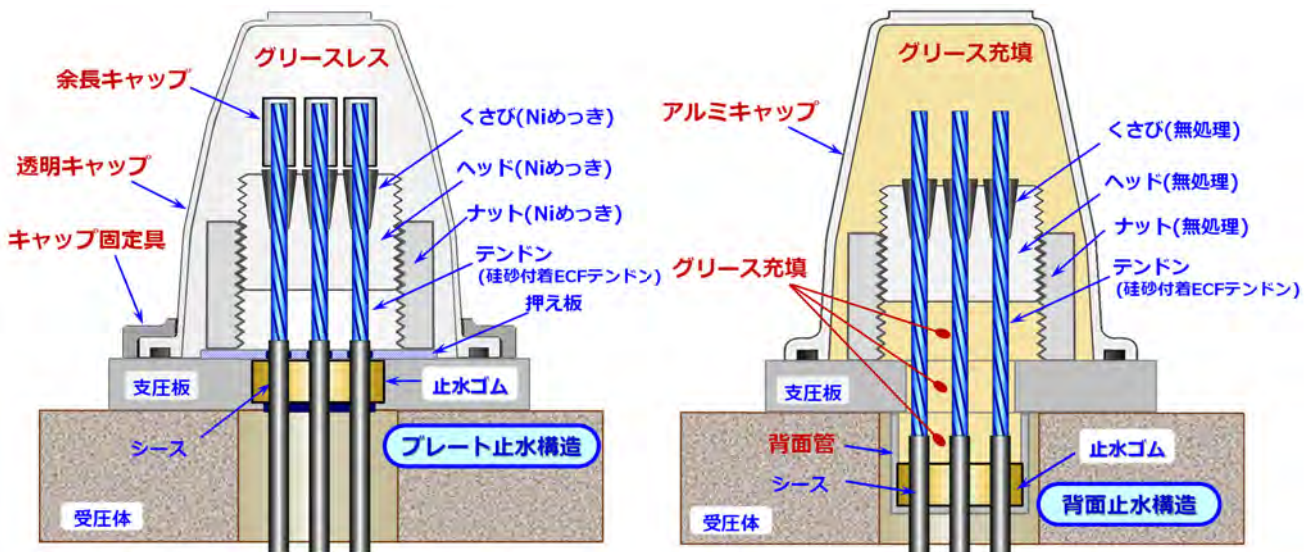
【解説】

(1) 本工法の概念を、図-1.3.1 に示す。図-1.3.2 に、本工法のプレート止水構造と従来 EHD アンカー(EHD-BS 工法)の背面止水構造の比較を示す。プレート止水構造は、支圧板内にシース挿通の止水ゴムを配置して、上から押え板で止水ゴムを押付けて圧縮し、支圧板背面(下面)からの水圧作用で止水ゴムのシース締付け力が同時に増加することから、極めて高い止水構造を実現する機構となっている。一方、従来 EHD アンカーの背面止水構造は、支圧板下に背面管を設け、その下部にシース挿通の止水ゴムを配置し、背面管内のグリース充填で下面からの水圧作用に抵抗するものであり、現場施工でのグリースの充填状態で耐水圧性がばらつくという課題があった。



※頭部キャップ内のくさび・アンカーヘッド・ナットを総称して、定着具という。

図-1.3.1 EHDアンカーHP工法の概念



- ・シース切断部が支圧板天端より、上側に存在
- ・止水ゴムが支圧板内設置の高水圧止水で、耐久性が向上

(a) EHDアンカーHP工法 (EHD-HP: プレート止水構造)

- ・シース切断部が支圧板天端より、下側に存在
- ・支圧板背面内のグリース充填止水で、耐久性が弱い

(b) 従来 EHD アンカー工法 (EHD-BS: 背面止水構造)

図-1.3.2 プレート止水と背面止水の構造比較

(2) 本工法は、透明キャップでグリースレスであることから、現場での施工性が良く、外観目視で容易にキャップ内定着具状態が確認できて、保全管理のメンテナンス調査の簡便性を有している。

(3) 従来アンカーのグリース充填では、経年的なグリース劣化が避けられず、5～10年程度でグリース交換が必要になる課題があった。例えば、グリースは重量比0.1%以上の水混入で劣化が促進され、現場での直接日射は頭部が温度60℃程度に達することから、経年的な熱劣化の影響を受けるので、グリース充填アンカーのメンテナンス上の留意点となっている。

(4) 本工法の特長は、次に示す通りである。

① 珪砂付着 ECF テンドンの耐久性能 100 年により、安全性向上

《キーワード：安全性・経済性・品質》

珪砂付着 ECF テンドンは、土木学会 JSCE-E141-2018 規定によるエポキシ樹脂被覆厚 0.4mm～1.2mm(平均厚 0.6mm)での 100 年耐久性・強度特性・リラクセーション率(1000h：6.5%以下)を満足するとともに、本テンドン単体は強酸・強アルカリ試験で十分な耐久性、および塩害環境促進試験 3600h で十分な耐食性を有する。なお、従来技術は、熱劣化しやすいグリースによる防食耐久性能の維持になる。

② 支圧板背面側抵抗の耐水圧性能 2.0MPa により、安全性向上

《キーワード：安全性・品質》

新しいプレート止水構造の採用により、支圧板背面側抵抗が支圧板内止水ゴムの圧縮型止水機構になったことから、2.0MPaの十分に高い耐水圧性能を有する。なお、従来技術は、背面止水構造であり、グリースなどの内部充填材の充填状態や、材料の非圧縮特性に依存する耐水圧抵抗であり、密封性に劣るので、定着具などの鋼材に発錆が生じやすい。

③ アンカー頭部構造の密封性により、耐久性能向上

《キーワード：安全性・経済性・品質》

アンカー頭部構造は、プレート止水構造・頭部キャップ Oリング・Niめっきグリースレス定着具の構成により、堅固な密封性と塩害環境促進試験 3600h の十分な防食耐久性能を有する。頭部キャップ単体の水圧作用による耐荷性能は、アルミキャップ：2.0MPa、下 1 窓キャップ：1.0MPa、透明キャップ・5 窓キャップ：0.8MPa を有する。なお、従来技術の頭部キャップ内はグリース充填で熱劣化しやすく、定着具などの鋼材が 5～10年程度で腐食するので、10年毎のグリース交換が必要になる。

④ グラウトとの降伏付着強度が普通 PC 鋼より線の 1.5 倍になり、安全性向上

《キーワード：安全性》

珪砂付着 ECF テンドンのアンカー体グラウト付着部での、グラウトとの降伏付着強度は、従来技術の普通 PC 鋼より線の降伏付着強度に比べて、1.5 倍以上の高い強度を有する。本テンドンの許容付着強度は、地盤工学会基準 JGS4101-2012 の普通 PC 鋼より線の許容付着応力度に対して、同基準×1.5 倍が適用できる。本効果により、アンカー体のひび割れが少なくなり、安全性が向上する。

⑤ 過荷重アンカー力の減調整機能の向上

《キーワード：経済性・安全性》

本工法のくさびナット定着具は、アンカー力減調整機能が従来技術の 10～20mm に比べて、最大で約 50mm の 3.0 倍程度の高い調整機能を有する。これにより、近年の大地震や豪雨など

の不測事態による過荷重アンカー力に幅広く対応可能なことで、安全性がより向上するとともに、既設アンカーが活用できて、増アンカー数量が少なくできるので経済性が向上する。

なお、本工法のくさびナット定着具は、くさび定着でアンカー定着が自由長依存の緊張時テンドン伸びを自由吸収できて簡便なこと、かつ、ナット回転でアンカー力調整が簡便なことから、施工性に優れるものである。

⑥ アンカー頭部調査労力 90%縮減により、メンテナンスの省力化向上

《キーワード：メンテナンス性・経済性》

本工法は、プレート止水構造により、従来技術のアンカー頭部耐久性の最大の弱点であった支圧板背面止水構造をなくしたことで、アンカー頭部背面調査を不要にしている。さらに、グリースレスの透明キャップにより、頭部詳細調査(頭部キャップ取外し、グリース除去、露出調査、グリース再充填)が不要なことから、頭部調査の作業手間が減り、省力化できる。これらにより、従来技術に比べて、メンテナンスの頭部調査労力が約 90%縮減の省力化効果を有する。

⑦ アンカーのライフサイクルコスト 30%縮減により、経済性向上

《キーワード：経済性》

プレート止水構造・透明キャップ・グリースレス定着具という新しい 3 構造の採用により、保全段階のアンカー調査手間がほとんどなくなる。これにより、本工法の建設段階コストを含むライフサイクルコストは、従来技術に比べて、約 30%縮減可能な経済性を有する。

⑧ 新しい頭部構造により、頭部処理工の省力化と施工性が向上

《キーワード：施工性》

従来技術の頭部処理作業は、支圧板背面アンカー孔内作業のシース切断と止水ゴム設置、および頭部グリース充填や、保全段階の劣化グリース交換などにより、作業手間が掛かるものである。本工法は、プレート止水構造とグリースレスにより、これらが不要になることから、施工性がより向上する。具体的には、頭部処理工の背面処理 0.16 日/本がゼロで、前面処理 0.08 日/本のみになるので、作業手間が 1/3 に省力化できる。

⑨ 頭部グリースレス化により、CO₂ 排出量 19.25kgC/kg の削減効果で環境保全

《キーワード：環境性》

従来技術で必要であった石油製品の頭部グリース充填のゼロ化で、グリース基油精製に必要な化石燃料利用と劣化グリース廃棄物の焼却がなくなる。これに伴い、エネルギー消費や地球温暖化の低減に寄与できることから、環境保全の CO₂ 削減に貢献できる。CO₂ 削減効果 kgC は、設計供用期間 50 年(グリース交換 5 回)で、グリース単位重量の 19.25kgC/kg で算出する。

なお、グリースの製造過程と廃棄過程の CO₂ 排出量は、資源エネルギー庁 総合エネルギー統計^{*1}と経済産業省 令和 3 年度委託調査報告書^{*2}をもとに算出している。

(注) 1. https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/xls/stte_039.xlsx の潤滑油(=グリース)を参照のこと。
2. https://www.meti.go.jp/medi_lib/report/2021FY/000365.pdf の p1 の潤滑油燃料 60 万 kL、CO₂ 発生 162 万トンより、計算している。
3. グリース比重は、 $\rho=0.91$ である。

1.4 用途

本工法は、土工構造物・一般構造物の各種構造物の安定確保、不安定地盤の補強・強化など、幅広い分野での使用が可能である。使用にあたっては、アンカー定着構造物の目的、重要度、許容変位、およびアンカー体地盤の特性に応じて設計・施工・維持管理計画を検討する。

【解説】

- (1) 一般にアンカーは、土工構造物分野の道路のり面・斜面の防災対策、急傾斜地崩壊防止対策、地すべり防止対策、擁壁等の各種構造物の補強、および一般構造物分野の橋梁下部工や鉄塔基礎の安定対策、構造物浮上り防止、港湾・漁港地域の構造物安定対策、建築構造物の耐震化等に使用されている。本適用事例の概念図を図-1.4.1～図-1.4.5 に示す。同図に示すように、本工法は、一般に使用されるアンカーに比べてより耐久性が高いものであるが、適用分野に他のアンカーと変わる特別なものはなく、火山などの高地熱地盤を除いた、適正な防食構造Ⅱ(一般環境)または防食構造Ⅲ(塩害環境)、防食構造Ⅲ(酸性土環境)を有する仕様を用いて、種々の適用分野で使用可能である。
- (2) 本アンカーのテンドンは、珪砂付着 ECF テンドンを使用し、PC 鋼より線のエポキシ樹脂厚 0.4mm～1.2mm(平均厚 0.6mm)としており、本効果により、海水の飛沫帯環境下で 100 年以上の耐食性を有している。このテンドン構造にて高耐久性という完全な防食構造であることから、補強構造物に対して長期的に安定したアンカープレストレスを保持することができる。さらに、アンカー体では、グラウトにせん断ひび割れが生じても 0.4mm 以上のエポキシ樹脂厚で十分な耐食性が得られ、かつ珪砂付着 ECF テンドンは、アンカー体グラウトとの降伏付着強度が普通 PC 鋼より線に比べて、1.5 倍以上でグラウトひび割れが生じ難くになっている。
- (3) 本アンカーの使用にあたっては、アンカー定着構造物の目的、重要度、許容変位およびアンカー体地盤の特性に応じた適正な設計・施工を行うことが重要である。アンカープレストレス P_0 が設計アンカー力 T_d より小さい場合、設計アンカー力 T_d の実作用時に、構造物変位が構造物変位方向角 θ とアンカー傾角 α の合成角 β の余弦逆数 $(1/\cos \beta)$ と、自由長 L_f に比例して大きくなるので、土工構造物や一般構造物の許容変位との照査が必要になる。アンカー設計供用期間を通して、これらの安定性・許容変位などで構造物が安全性・供用性・修復性で適正となるように設計・施工や維持管理計画を実施する必要がある。

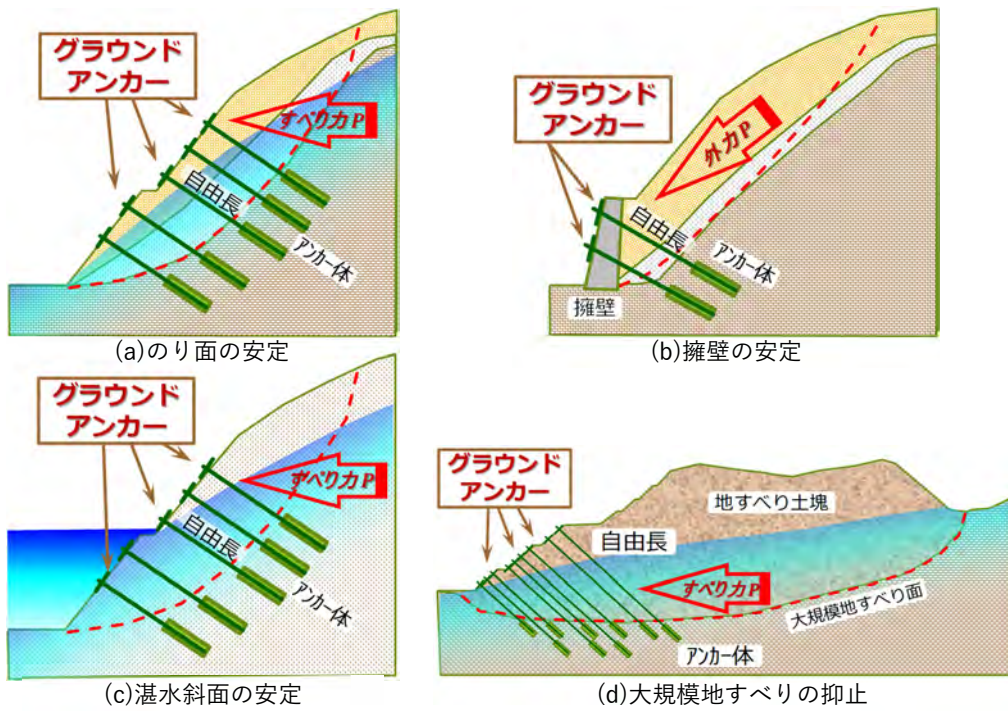


図-1.4.1 土工構造物の適用事例

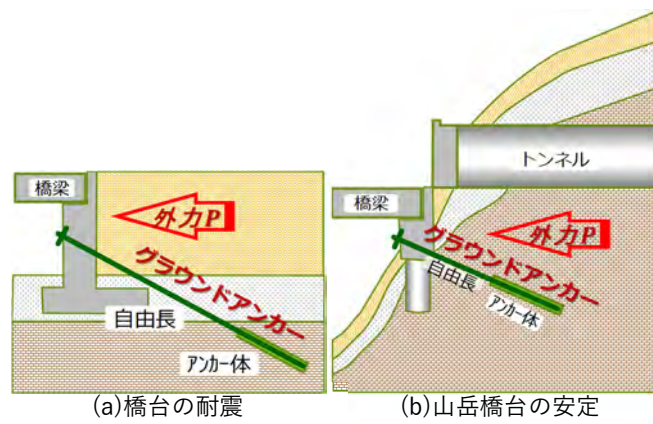


図-1.4.2 橋梁下部工構造物の適用事例

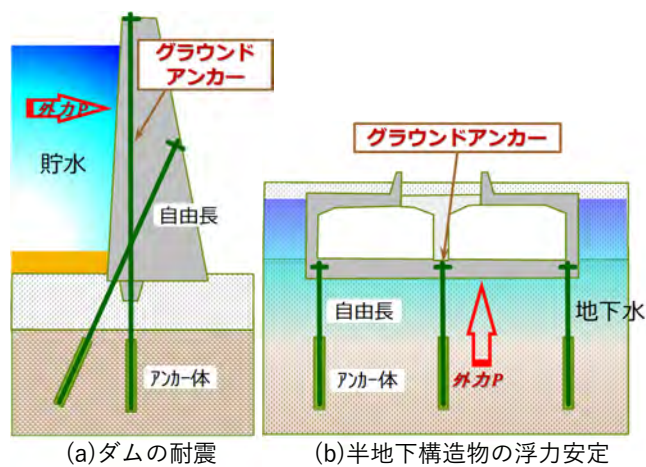
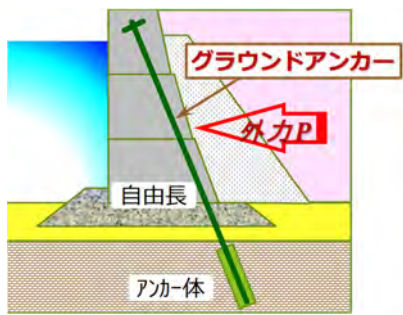
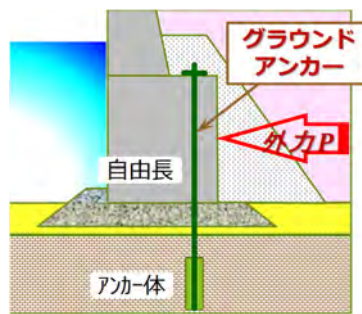


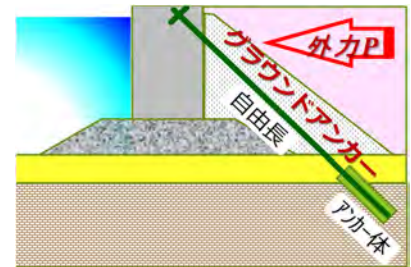
図-1.4.3 その他構造物の適用事例



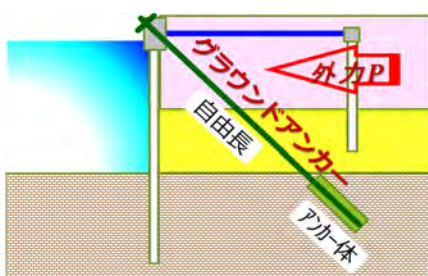
(a)ブロック岸壁の安定



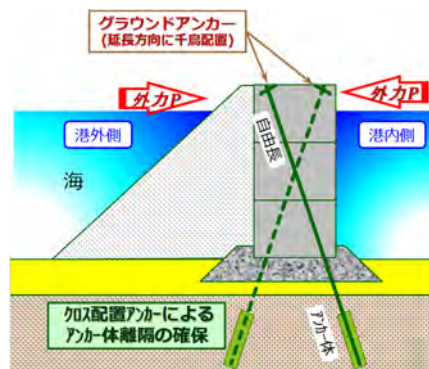
(b)高上げ岸壁の安定



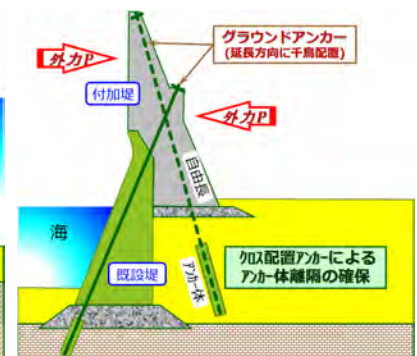
(c)ケーソン岸壁の安定



(d)矢板岸壁の安定

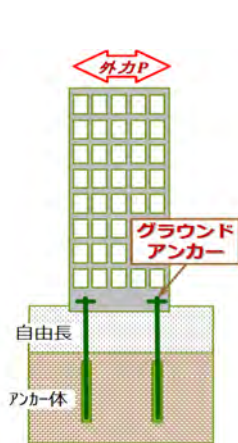


(e)防波堤の機能強化

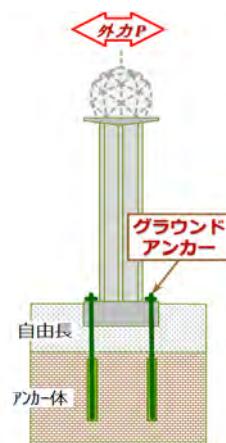


(f)防潮堤の機能強化

図-1.4.4 岸壁・護岸等の港湾・漁港構造物の適用事例



(a)建築物の耐震



(b)レーダーの耐震



(c)風力発電の安定

図-1.4.5 建築物・塔状の縦長構造物の適用事例

1.5 工法選定

本工法の選定は、本工法の特長・特長を考慮し、対象構造物・適用環境・地盤条件・適用必要抑止力・設計アンカー力・アンカー長・保全段階メンテナンスを含めた経済性を考慮した検討を行って、適正に実施する。

【解説】

(1) 本工法の土工構造物を対象とした安定対策は、図-1.5.1 に示すように、抑止工と抑制工に分類され、種々のものがあるが、この中で一般にアンカー工・ボルト補強工・抑止杭工・排土工が工法比較されることが多い。これらを概略比較すると表-1.5.1 に示すようになる。

アンカー工は、もっとも容易に大きな抑止力が得られ、施工性や工期・経済性で優位である。対象構造物にプレストレスを与える対策手法のため、変位ゼロが可能な点でも他の工法と異なる優れた特徴である。

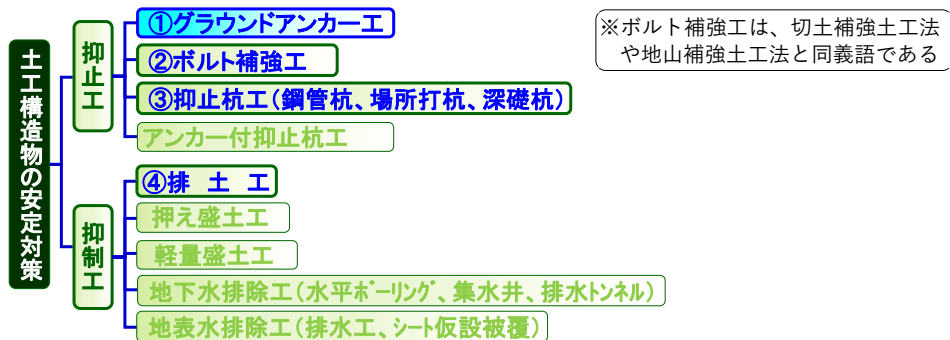


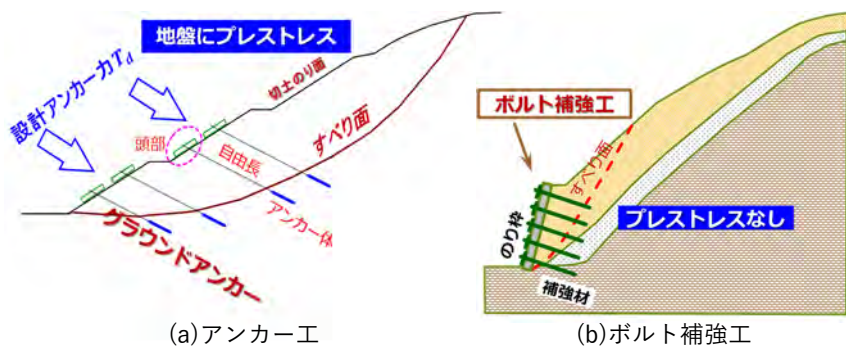
図-1.5.1 土工構造物の安定対策工

表-1.5.1 土工構造物の安定対策工の概略比較

工法	①アンカー工	②ボルト補強工	③抑止杭工	④排土工
抑止機構	堅固な不動地盤にアンカー体を設置し、プレストレスで構造物や移動土塊の安定性確保	地盤変形に伴い補強材に引張力が発生して、すべり抑止	鋼管杭や深礎杭の有する曲げ抵抗の抑止力ですべり抑止	崩壊部・移動部の撤去、上部土塊撤去により荷重軽減
検討課題	・アンカー範囲用地 ・アンカープレストレス	・ボルト傾角 ・変形許容性	・杭の設置効果 ・施工用機械設備 ・全体工事期間	・用地交渉・買収 ・掘削土処理 ・全体工事期間
すべり抑止規模	小～中～大	小	中～大	小～中～大
経済性	優位	優位	一般に高価	排土のみは安価 全体でやや高価 (地域差が大きい)

(2) アンカー工とボルト補強工の概念を図-1.5.2、特徴の概略比較を表-1.5.2 に示す。両者の大きな相違は、アンカー工は抑止力が大きいこと、抑止力を地盤にプレストレスで作用させること、アンカー体を設置するN値30以上の堅固な地盤が必要なことである。

一方、ボルト補強工



(a)アンカー工 (b)ボルト補強工

図-1.5.2 アンカー工とボルト補強工の概念

は、ボルト全長がグラウトと完全付着であり、ボルト配置が地盤の伸長ひずみ方向と同一の場合にのみ最大となる抑止力が発揮できる。ボルト傾角と伸長ひずみ方向が大きく異なる場合は、補強効果が十分に得られないので、設計では留意が必要である。

表-1.5.2 アンカー工とボルト補強工の特徴の概略比較

項目	①アンカー工	②ボルト補強工
概要	・プレストレスありで変形抑止 ・アンカー体テンドンはグラウトで地山固着	・プレストレスなしで変形抑制 ・ボルト全長はグラウトで地山固着
補強効果	変形ゼロの抑止効果	地盤変形による補強効果 (有効範囲が限定される)
地盤固着	アンカー体で摩擦固着	全長で摩擦固着
補強材	テンドン(PC鋼より線で構成) 【降伏強度が鉄筋の4.6倍】	ボルト(異形鉄筋)
鋼材防食	エポキシ被覆最小厚0.4mm 塩分環境で設計耐用年数100年	亜鉛めっきと腐食代の防食
崩壊厚さ	最大80m程度	最大3.0m~4.0m
補強材長	最大80m程度	標準:5.0m(最大:7.0m)
設置間隔	のり面適用:1.5m~5.0m 構造物適用:1.5m~	1.0m~1.5m
最大抑止力	$T_m=4,000\text{kN/m}$ 程度	$T_m=200\text{kN/m}$ 程度
耐久年数	一般工法で50年程度	ナット部防食で30年程度 ナット:HDZT49(旧名HDZ35)

(3) ボルト補強工は、ボルト傾角 α と地盤の伸長ひずみ ε_3 方向が大きく異なる場合に留意点となるが、これは具体的に、次に示すように補強効果の低減係数 λ およびボルト傾角 α とすべり角 θ の合成角 β の関係で表される。

ボルト補強の一般的な設計式は簡易解に基づくものであり、式(1.5.1)が用いられ、この補強効果を η_0 で表す。同式はグラウンドアンカーの設計式と同一で、実際にはプレストレス作用時に有効なものである。ボルトにはアンカープレストレスがないことから、地盤の伸長ひずみ ε_3 に応じてボルト引張力が作用し、これが地盤変位を抑制する補強力になる。

■設計式(簡易解)

$$P_r = F_{sp} \cdot D - R_0 \leq T_d \cdot \eta_0 = T_d \cdot (\cos\beta + \sin\beta \cdot \tan\phi) \quad \cdots(1.5.1)$$

■設計式(厳密解)

$$P_r = F_{sp} \cdot D - R_0 \leq T_d \cdot \eta_e = T_d \cdot (\cos\beta + \sin\beta \cdot \tan\phi) \cdot (2\cos^2(45 - \beta + \phi/2) + \sin v - 1) / (1 + \sin v) \quad \cdots(1.5.2)$$

■補強効果の低減係数 λ

$$\lambda = \eta_e / \eta_0 (= 0.7) \quad \cdots(1.5.3)$$

ここに、

- ・ P_r : 必要抑止力
- ・ F_{sp} : 計画安全率
- ・ D : 滑動力
- ・ R_0 : 抵抗力
- ・ T_d : 設計補強力
- ・ η_0 : 簡易解の補強効果
- ・ η_e : 厳密解の補強効果
- ・ α : ボルト傾角
- ・ θ : すべり角
- ・ β : ボルト傾角とすべり角の合成角 ($=\alpha+\theta$)
- ・ ϕ : 内部摩擦角
- ・ v : ダイレイタンシー角 ($=\phi/3$)

【出典】 東京大学名誉教授 龍岡文夫「地山補強土工法による斜面の安定化」

式(1.5.2)は、地盤の伸長ひずみ ε_3 を考慮した厳密解の設計式であり、この補強効果を η_e で表す。一方、ボルト補強工の設計では、補強効果の低減係数 $\lambda=0.7$ が使用されており、これは式(1.5.3)の $\lambda = \eta_e / \eta_0$ となるので、同式の計算結果 $\lambda \geq 0.7$ がボルト設計式の適用範囲になる。

図-1.5.3 にボルト傾角 α とすべり角 θ の関係、図-1.5.4 に合成角 β に対する補強効果の低減係数 λ の変化程度を示す。同図から、ボルト設計の低減係数 $\lambda=0.7$ の場合の式(1.5.1)の適用範囲は、 $\beta=35\sim 85^\circ$ となるので、ボルト補強設計ではこの点に留意が必要である。また、NEXCO 切土補強土工法設計・施工要領、参図 4.1.2(3)にても同様な整理がなされている。

なお、ボルト補強工の中で、キャップナットを使用した HD ボルト工法は、頭部キャップ内へのグリース充填が不要で、耐久性と経済性をもっとも高くなっている。

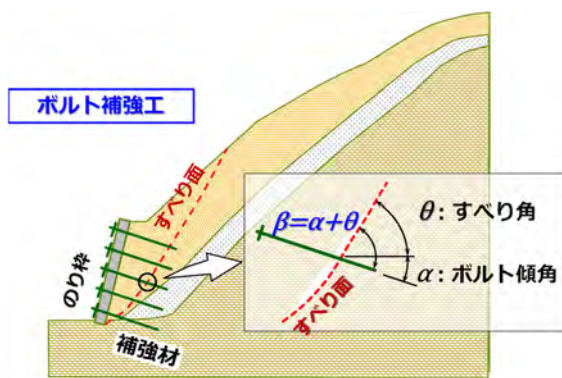


図-1.5.3 ボルト傾角 α とすべり角 θ

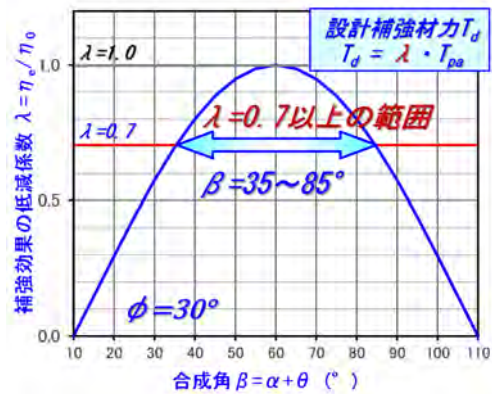


図-1.5.4 補強効果の低減係数 λ の変化

(4) 本工法の一般構造物を対象とした安定対策は、図-1.4.2～図-1.4.5 に示したように、構造物が橋梁下部工・岸壁・建築物など幅広いものであり、構造物が重力式であれば外的安定での滑動・転倒・支持力の安定性確保、杭式であれば杭の限界応力内制御、半地下構造物であれば揚水圧への浮上安定確保がおもな目的になる。これらの場合、比較する他工法には、増重量の増厚工・増抵抗や土圧低減の地盤改良工・土圧低減の背面軽量土工・増抵抗の鋼管杭一体化工などが考えられる。工法選定では、安全性・施工性・使用性・修復性・ライフサイクルコストの経済性・保全管理性などを含めて適正な比較を実施する。

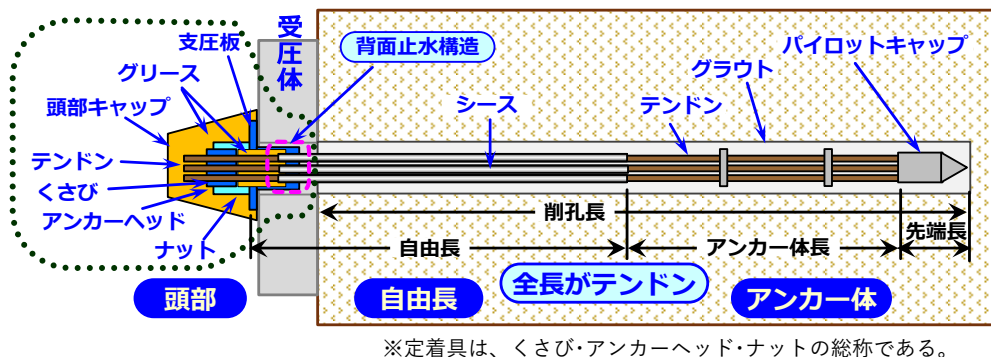
1.6 構成

アンカーは、テンドンに作用するプレストレスを土工構造物や一般構造物に伝達して、荷重作用時の変位をゼロもしくは極小にして、安全性や変位挙動・相対変位によって生じる構造的な課題を解決するものであり、テンドン・頭部・自由長・アンカー体の4部材の構成からなる。

本工法の基本構成は、これと同様であるが、アンカーの耐久性・高降伏付着強度・過荷重アンカー力減調整機能性・プレート止水構造による耐水圧性・透明キャップとグリースレス定着具によるメンテナンス性向上という点で、従来アンカーより優れたものとなっている。

【解説】

- (1) アンカーは、図-1.6.1の構造構成に示すように、一般にテンドン・頭部・自由長・アンカー体の4部材からなり、構造物面の受圧体に頭部となる定着具(くさび・アンカーヘッド・ナット)を設けて、そこにテンドンを定着する。頭部と正対側でのテンドンの地盤内固着は、アンカー体と呼ぶものを堅固な地盤(N値 ≥ 30)に設け、その間の自由長のテンドン伸縮で構造物にプレストレスを作用させる。なお、従来アンカーは、同図に示すように、支圧板背面に止水ゴムなどの止水部材を配置した背面止水構造となっている。本工法は、プレート止水構造であり、図-1.3.1に示したように支圧板内への止水ゴム設置構造である。



※定着具は、くさび・アンカーヘッド・ナットの総称である。

図-1.6.1 一般的なアンカーの構造構成

- (2) 頭部は、一般に頭部キャップ・グリースまたはグリースレス・定着具・支圧板・プレート止水構造または背面止水構造からなり、テンドン定着とアンカー力調整、現場環境からの定着具の防食・保護機能を有する。本工法は、透明キャップとグリースレス定着具が基本構成であり、従来アンカーと同様にグリース充填のタイプも選択可能である。
- (3) 自由長は、テンドンがシース内で自由に動いて定着具からのアンカー力を小摩擦損失でアンカー体に伝達する部位および長さで、支圧板+受圧体の長さを頭部自由長 L_{fh} 、地盤内を地盤部自由長 L_{fg} という。テンドンは、自由長グラウトから非付着状態(アンボンド)にするため、シースで被覆する。本工法は、シースとテンドン間にグリースを充填して自由長部で無空隙状態とし、頭部側での腐食因子になる通水を本部位で完全に遮断している。なお、自由長部位のテンドンのPC鋼より線は、エポキシ樹脂・グリース・シース・グラウトの4重防食構造で保護され、本部位では通水可能な空隙がない状態で高耐食となっている。
- (4) アンカー体は、テンドンをグラウト付着と地盤摩擦の抵抗で地盤に固着する部位で、テンドンとグラウトとの降伏付着強度が大きければグラウトのせん断ひび割れが少なくなり、アンカー体の安全性がより向上する。アンカー体では、アンカープレストレスがテンドンからグ

ラウト境界面にせん断伝達され、さらにグラウトから地盤境界面にせん断伝達される。当該部の挙動は、テンドン・グラウト・地盤の 3 層 2 界面の境界値問題となっており、アンカー分類もアンカー体グラウトとの抵抗機構で引張型・圧縮型・分散型の 3 種類、施工地盤の特性も種々のものがあるため、厳密な相互作用挙動は複合的である。この点が、両端に定着具を有する PC 橋梁などの PC 構造物と異なっており、アンカー挙動が複雑になる要因となっている。

アンカー体のせん断伝達に伴う抵抗長さ関係は、アンカー体引張型で、グラウト付着長＝地盤摩擦長、アンカー体圧縮型の一般的な傾向で、グラウト付着長＜地盤摩擦長、アンカー体分散型の各拘束具間で、グラウト付着長＜地盤摩擦長となっており、アンカー体長は最小が 3.0m、最大が一般に 10.0m である。

なお、テンドン・アンカー体グラウト間のせん断付着強度は、土木学会コンクリート標準示方書により降伏付着強度 τ_{by} が設計用特性値とされ、この降伏付着強度 τ_{by} は、グラウト供試体に単線テンドンを埋設して行う付着試験(引抜試験 JSCE-E736)で求めることができる。アンカー体グラウトと地盤とのせん断摩擦強度は、降伏摩擦強度 τ_{gy} ・極限摩擦強度 τ_{gu} で表される。このせん断摩擦強度は、現場でアンカー引抜試験を行うことにより、降伏強度や極限強度を求めることができる。

- (5) 本工法のアンカー施工時の削孔長は、後述の図-3.1.1 に示すように、地盤部自由長 L_{fg} + アンカー体長 L_A + 先端長 L_{2d} (結束部 50mm + パイロットキャップ長 200mm = 250mm) となる。

1.7 適用条件

アンカー適用は、対象構造物、施工場所、対策範囲、現場環境、地盤状態、隣接構造物などを調査して適用条件を把握し、維持管理を含めた適正な検討を実施する。

【解説】

(1) 対象構造物

アンカー適用の対象構造物は、土工構造物や一般構造物で種々あることから、対象構造物の安全性・安定性や変位抑止などの補強目的を十分に考慮して、アンカーの設計供用期間にわたる耐荷性能・耐久性能の検討を行う。アンカー傾角範囲は、対象構造物により異なっており、一般に、土工構造物で 20～45°、一般構造物で 20～90°、台座付土留め構造物で 20～60° の範囲が多い。アンカー傾角 α は、傾角 α と変位方向(すべり)角 θ または構造物変位方向角 θ の合成角 $\beta = \alpha + \theta$ が 90° 以下になるように設定するのが、設計合理性が得られやすい。

(2) 施工場所

アンカーの施工は、比較的狭隘な箇所でも小規模の施工機械で施工が可能であることから、施工場所の融通性が一般的に高い。削孔機の上空制限は、ケーシング継足し・取外しの作業高を考慮する。使用材料は、テンドンが長尺のものであることから、現場内運搬やアンカー建込み・挿入での留意が必要である。アンカー体圧縮型は、アンカー体の定着具が長尺で重量物になり、ラフテレーンクレーンが必要になることがあるので、狭隘な箇所での運搬やアンカー設置に留意が必要になる。

(3) 対策範囲

アンカーの対策範囲は、必要かつ十分なものとし、対象構造物の規模や地盤条件を考慮して、必要に応じて設計範囲の区間分割を行う。区間分割を行った際は、必要抑止力が大きいものを

小さい側に段階的に振分けるなどで、設計上で安全側になるように配慮する。

(4) 現場環境

アンカーは、現場環境に応じた適正な防食構造を選定する。一般的な環境では、防食構造Ⅱ(一般環境)を適用する。海上・海岸、海岸近傍や凍結防止剤散布地域で道路橋示方書の塩害対策 S 区分と I 区分に該当する塩害環境地域では、飛来塩分による亜鉛めっきの消失が大きくなるので、防食構造Ⅲ(塩害環境)を適用する。地盤が酸性土では、防食構造Ⅲ(酸性土環境)を適用する。

(5) 地盤状態

アンカー適用の地盤状態は、アンカープレストレスに対して、永続的な安定を保持する必要がある。このため、アンカー受圧体の背面地盤は地震時に液状化しないことが重要事項である。液状化を除けば、アンカー受圧体の背面地盤は、許容支持力を満足することで沈下などに対して安全となる。アンカー体は、アンカーグラウトからのせん断応力作用に対して、地盤緩み影響が極小で安定的な、N 値が $N \geq 30$ の堅固な地盤に設置する。

地盤調査の岩盤評価区分とアンカー体摩擦強度の岩盤区分は一般に異なっていることが多いので、設計にあたっては留意が必要である。アンカー体設計では、地盤調査結果の N 値 50 以下の風化岩などは、礫質土または砂礫と評価して摩擦強度を設定する。岩盤の換算 N 値で 150 以上は軟岩の摩擦強度を設定する。新第三紀の堆積岩などは、摩擦強度が低いことがあるので、設定の際は留意する。

一方、我が国では黄鉄鉱含有土(泥岩・シルト岩・頁岩・火砕岩・火山岩・片麻岩・片岩・蛇紋岩など)が広く分布していることから、黄鉄鉱による硫酸生成の影響を受けて、のり面・斜面が $\text{pH}=2.0 \sim 5.0$ の酸性土を呈することがある。亜鉛めっきは $\text{pH}=6.0$ 以下で消失が加速度的に大きくなる。テンドンには耐酸性が必要になる。このような酸性土のり面では、防食構造Ⅲ(酸性土環境)を適用したアンカー頭部構造とする。なお、温泉地・火山性地盤などの特殊な地熱環境下では、使用するアンカー体のグラウトまたは樹脂グラウトの劣化が懸念されるため、地熱と地質化学成分による品質影響を把握した上で十分な検討を行う。

(6) 隣接構造物

アンカーの施工範囲は、建築物・地下構造物・杭基礎などの隣接構造物の影響を避けて、適正なアンカー施工精度を考慮した上で設定する。特に、アンカー体は、アンカープレストレスが作用するので、構造物から影響を受ける近接範囲は避けるようにする。一方、構造物に影響を与えないアンカー体近接距離は 1.5m 程度以上である。アンカー設置範囲が建設用地外となる場合は、水平角や傾角というアンカー打設角の変更での用地内設置を基本とする。アンカーが用地外となる場合は、その範囲の区分地上権設定や用地買収などの検討が必要になる。

なお、のり面安定などでアンカー対策とともに、地下水排除工の水平ボーリングを併用する場合は、水平ボーリング施工によるアンカー破断を避けるため、水平ボーリングを先行施工する。アンカー施工により水平ボーリングからグラウト流出が見られた場合は、近傍アンカー施工後に水平ボーリングの孔内洗浄を実施する。

第2章 調査・維持管理計画

2.1 現場調査

現場調査は、アンカー計画の基本となるものであり、アンカー補強対象の土工構造物や一般構造物の状態、周辺状態、現場環境、地形・地質、地盤調査関係などで、設計・施工前に必要な調査を行う。また、設計段階では、設計供用期間での現場条件に応じた維持管理の計画も実施する。

【解説】

現場調査は、アンカー計画の全体を確認するために実施するものであり、事前に、設計・施工が適正に実施できるように行う。おもな調査項目は、次の通りである。

- ・補強対象構造物とアンカー計画範囲
- ・構造物の周辺状態と立地状態
- ・現場環境(道路・交通・隣接建物・大気・気象など)
- ・地表・埋設物などのアンカー施工の支障物
- ・地形・地質の資料収集
- ・地盤調査有無と必要性評価
- ・ボーリング調査の必要性評価
- ・アンカー施工性・施工方法
- ・関連法規
- ・周辺地区でのアンカー施工実績

2.2 地盤調査

地盤調査は、対象構造物やアンカーの施工範囲でボーリング調査や弾性波探査などを行い、アンカー設計・施工に必要な地盤構成・地質状況・設計用地盤定数を求めるものであり、地盤条件を適正に把握する。

【解説】

(1) 土工構造物や一般構造物のアンカー補強対策で一般的に実施する地盤調査は、現地踏査・ボーリング調査・弾性波探査などである。おもな調査項目は、次の通りである。

- ・文献での現場地質状況
- ・現地踏査での地質状況（必要に応じて、携帯 pH 測定器による pH 調査を実施）
- ・ボーリング調査（地盤地質の分布・構成、土質・岩種区分、標準貫入試験 N 値、RQD）
- ・地下水分布状況
- ・弾性波探査
- ・物理・力学試験（単位体積重量、内部摩擦角、粘着力）
- ・酸性土分析試験
- ・設計用地盤定数の提案

(2) 我が国では、黄鉄鉱含有土(泥岩・シルト岩・頁岩・火砕岩・火山岩・片麻岩・片岩・蛇紋岩など)が広く分布していることから、黄鉄鉱による硫酸生成の影響を受けて、切土後にのり面が pH=2.0～5.0 の酸性土を呈することがある。現場で酸性土になる地盤の存在が想定される場合には、地

表面を水分で浸して、pH 測定器により地盤 pH 値の確認を行う。酸性土を呈する場合は、アンカーのテンドンのエポキシ樹脂被覆は、本工法と同様の 0.4mm 以上とし、頭部部材は防食構造Ⅲ(酸性土環境)とする必要がある。

- (3) 設計用地盤定数の評価で、岩盤の内部摩擦角 ϕ と粘着力 c を地盤調査結果の N 値から推定する場合は、粘着力 c がかなり大きく評価されることに留意する。この理由は、参考とする N 値と $\phi \cdot c$ の関係図が構造物直接基礎用の岩盤ブロックせん断試験に基づくデータを採用しているためである。のり面・斜面の土工構造物では、地盤・岩盤の種類とのり面勾配などの関係で、経験的な知識がもたれているので、これを考慮して地盤定数評価を行う必要がある。
- (4) のり面・斜面の土工構造物安定性は、のり面・斜面の勾配と、現場の岩盤の層理・節理・割れ目の方向性、風化程度に密接に関係しており、さらに降雨などによる地下水位変動や地震履歴を受けた状態に依存するものなので、土工構造物安定解析の設計では、留意が必要である。安定対策の設計では、例えば急傾斜地崩壊防止検討などの事例では、粘着力逆算法が用いられ、現状斜面勾配の現状安全率を安定度に応じて $F_{s0} \leq 1.0$ にして粘着力 c を逆算する方法、または斜面上に土砂・岩盤用の標準のり面勾配を適用して、その平均勾配の現状安全率を $F_{s0} = 1.2$ にして粘着力 c を逆算する方法が用いられる。
- (5) アンカー体設置は、アンカーグラウトからのせん断応力作用に対して、地盤緩み影響が極小で安定的な、 N 値が $N \geq 30$ の堅固な地盤に行い、適正に設置余裕を有した配置計画とする。

2.3 地すべり調査

地すべり調査は、地すべりの特徴を踏まえ、地形判読、ボーリング調査や変動計測調査、地下水位調査などを行い、アンカー設計・施工に必要な地すべり挙動の土塊範囲・土塊層厚・すべり方向・不動岩盤状況を調べるものであり、これにより地すべり状況を適正に把握する。

【解説】

- (1) 地すべり分類は、おもに岩盤地すべり、風化岩地すべり、崩積土地すべり、粘質土地すべりの 4 種類がある。地すべりが発生しやすい地質は、崩積土・第三紀堆積軟岩・結晶片岩・蛇紋岩などであり、すべり面はおもに粘性土となっている。地すべり地の周辺地形は、一般に $5 \sim 20^\circ$ の緩斜面で、地すべり上部が台地状地形を呈することが多い。移動速度は、比較的小さく $0.01 \sim 10\text{mm/日}$ 程度のもが多く、変位は断続的な挙動を伴って発生する。地すべり挙動は、一般に、地下水挙動と大きい相関性があるので、降雨・融雪影響との関連性を考慮して観察することが重要である。
おもな調査項目は、次の通りである。
 - ・地形判読
 - ・現地踏査での地形地質状況（滑落崖、地盤き裂、湧水箇所、すべり方向）
 - ・ボーリング調査（地質分布、すべり粘土、不動岩盤状況）
 - ・地下水分布状況（日降雨・融雪と地すべり変位の関係）
 - ・地表・地中変位状況（変位量、すべり方向、すべり移動深度）
 - ・物理・力学試験（単位体積重量、すべり粘土の内部摩擦角・粘着力）
- (2) 地すべり範囲の抽出は、現地踏査の前段階で地形図や空中写真の判読で行う。地すべり調査は、現地踏査・ボーリング調査・変動計測調査などを行って、地すべり範囲や規模・すべり方向・移動速度・滑落崖の有無・地すべりの誘因と安定度を調査する。

- (3) 地すべり安定対策の設計では、地すべりが特有の地質構造とすべり面強度に依存するため、粘着力 c と内部摩擦角 ϕ は室内試験によらず、例えば NEXCO 設計要領の事例では、粘着力 c を地すべり層厚 D の関係から、 $c(\text{kN/m}^2)=D(\text{m})$ と設定し、内部摩擦角 ϕ を逆算する内部摩擦角逆算法が用いられる。
- (4) 逆算用の現状安全率 F_{s0} は、地すべり滑動状態(停止中・滑動中)と地すべり分類で設定する。地すべり停止中の現状安全率 F_{s0} は、岩盤地すべり $F_{s0}=1.10$ 、風化岩地すべり $F_{s0}=1.05\sim 1.10$ 、崩積土地すべり $F_{s0}=1.03\sim 1.05$ 、粘質土地すべり $F_{s0}=1.00\sim 1.03$ である。地すべり滑動中の現状安全率 F_{s0} は、岩盤地すべり $F_{s0}=0.99$ 、風化岩地すべり $F_{s0}=0.95\sim 0.99$ 、崩積土地すべり $F_{s0}=0.93\sim 0.95$ 、粘質土地すべり $F_{s0}=0.90\sim 0.93$ である。地すべりの停止中・滑動中の現状安全率の差は、0.10 程度が採用されている。

2.4 維持管理計画

アンカーの維持管理は、構造物設計供用期間の補強対策アンカーに対して、必要なアンカープレストレスの持続的な耐荷性能維持を目的に、定期点検・健全性調査・予防保全などを実施するものであり、設計段階から適正な維持管理を計画する。

【解説】

- (1) アンカーは、土工構造物や一般構造物の設計供用期間で、構造物の安全性が確保可能なアンカープレストレスを適正に保持する必要があることから、定期点検・健全性調査・予防保全などを通じて耐荷性能維持を図る必要がある。なお、アンカーの維持管理方法の詳細は、第 6 章維持管理を参照されたい。
- 定期点検の頻度は、1 回/5 年程度、健全性調査は、アンカー点検の診断措置をもとに所要アンカーに対して行う。予防保全は、健全性調査結果から、テンドンを除く部材が、耐荷性能維持に係る何らかの損傷・劣化を受け、交換が必要と判断された部材を取替える補修措置などで、アンカーの耐荷性能損失が生じないように、事前に交換可能部材の機能回復を行うものである。なお、アンカー主部材となるテンドンの耐荷性能・機能が著しく損傷している場合は、交換が不可能なので、対象構造物の安全性を評価した上で、必要に応じて更新を行う。
- (2) 定期点検は、外観目視、打音検査、受圧体・構造物・周辺地盤の状況把握などを行い、変状を確認する。外観目視は、近接にてアンカー頭部の変状を把握するとともに、同時に、支圧板の打音検査や受圧体変状の把握を行う。頭部キャップからのグリース漏出や水滲出が確認された場合は、グリース劣化や定着具腐食が想定されるので留意が必要である。アンカー頭部や受圧体に変状が見られた際は、構造物や周辺地盤の点検・確認を必ず行い、全体的な変状の有無や程度を把握する。
- (3) 健全性調査は、おもに頭部詳細調査(頭部露出調査)・頭部背面調査・アンカー力調査を行い、アンカー定着具と支圧板背面の腐食・劣化状態、およびアンカープレストレスのレベルや設計アンカー力との関係を確認・把握する。本工法は、透明キャップとプレート止水構造を基本構成部材にしていることから、アンカー頭部調査では頭部の外観調査のみで良く、他アンカー工法で必要な調査作業の、頭部保護撤去・頭部詳細調査(頭部露出調査)・頭部背面調査・頭部修復工が不要になり、保全管理での優位性を有する。

第3章 使用部材

3.1 アンカー規格と部材規格

本工法は、適正な設計のもとで、所要のアンカー規格を選定して、それに適合する部材規格を組合せたものを使用し、適正な管理に基づく施工を行い、構造物の補強対策に供用する。

【解説】

(1) EHD アンカーHP 工法は、アンカーのテンドンに珪砂付着 ECF テンソンを使用したアンカー規格と関連の部材規格からなる構成としている。構造部材構成を図-3.1.1、部材形状と寸法記号一覧を表-3.1.1 に示す。同表に示すように、本工法に使用の頭部キャップは、透明キャップ(Cグレード)・5窓キャップ(W5グレード)・下1窓キャップ(W1グレード)・アルミキャップ(Gグレード)の4種類である。

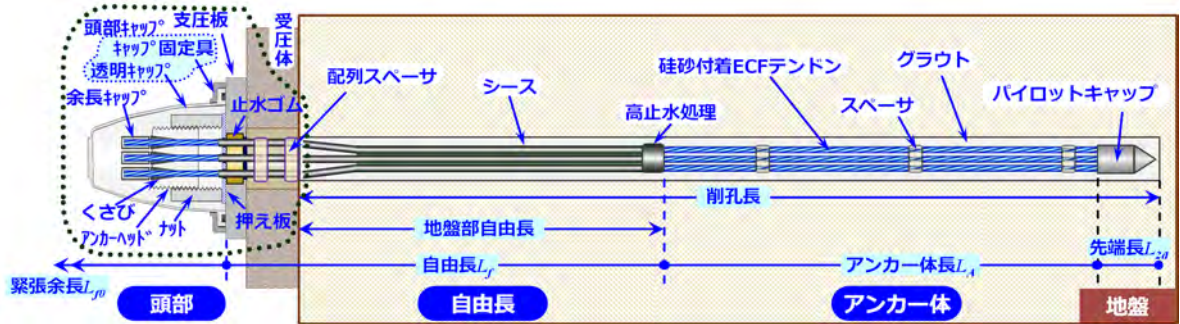
標準的に使用のキャップは、樹脂製透明キャップのグリースレスであり、本キャップはドローンや双眼鏡での遠望目視により、キャップ内部の定着具の状態が観察可能である。透明キャップは、変形しやすく落石衝撃エネルギーの吸収性能が大きいことから、アルミ製頭部キャップに比べて衝撃吸収性能が2倍程度優れる傾向がある。なお、静的な作用力に対しては、アルミ製頭部キャップに比べて60%程度の耐力となる。

5窓キャップと下1窓キャップは、豪雪地(積雪深 2.0~4.0m)の融雪沈降力からの防護対策用に定着具全周をアルミキャップで被覆する形態であり、これもグリースレスで使用する。

なお、Gグレードのアルミキャップは、キャップ内にグリース充填を希望するユーザーに提供するものである。ただし、当該グレードは健全性調査でグリース撤去・修復が作業手間になることに留意する。

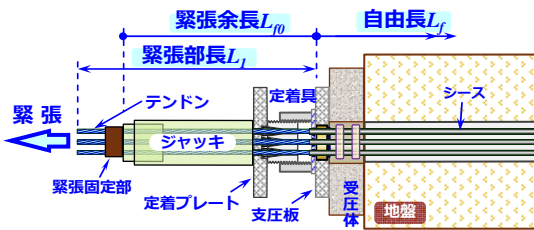
(2) アンカー規格と部材規格一覧を表-3.1.2、構成部材の材料一覧を表-3.1.3 に示す。

なお、本工法のグレード選択を対象とした、アンカー調査の調査歩掛比較を、後述の表-6.3.3 に示しているので、参考にされたい。

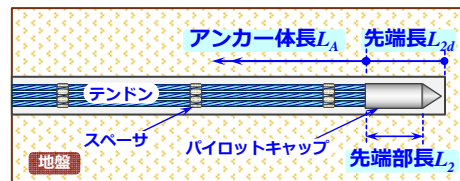


※頭部キャップ内のくさび・アンカーヘッド・ナットをまとめて、定着具という。

(a) 構造部材の全体構成



(b) 緊張・定着状態の頭部詳細



(c) アンカー体の先端詳細

図-3.1.1 EHD アンカーHP 工法の構造部材構成

表-3.1.1 EHD アンカーHP 工法の部材形状と寸法記号一覧

1. 頭部キャップ			
1.1 透明キャップ (C グレード)	1.2 5窓キャップ (W5 グレード)	1.3 下1窓キャップ (W1 グレード)	1.4 アルミキャップ (G グレード)
2. 定着具			
2.1 くさび ECF12.7	2.2 くさび ECF15.2	2.3 アンカーヘッド	2.4 ナット
3. プレート止水構造			
3.1 支圧板	3.2 押え板	3.3 止水ゴム	—
			—
4. その他			
4.1 余長キャップ	4.2 配列スペーサ	4.3 スペーサ	4.4 パイロットキャップ

表-3.1.2(1) アンカー規格と部材規格一覧

項目		アンカー規格と ECF12.7 部材規格・形状寸法						
		EHD5-1H	EHD5-2H	EHD5-3H	EHD5-4H	EHD5-5H	EHD5-6H	EHD5-7H
1.アンカー	規格	—	—	—	—	—	—	—
(1)テンドン種類	—	硅砂付着 ECF12.7	硅砂付着 ECF12.7	硅砂付着 ECF12.7	硅砂付着 ECF12.7	硅砂付着 ECF12.7	硅砂付着 ECF12.7	硅砂付着 ECF12.7
(2)テンドン組合せ	—	φ 12.7-1	φ 12.7-2	φ 12.7-3	φ 12.7-4	φ 12.7-5	φ 12.7-6	φ 12.7-7
2.頭 部								
2.1 頭部キャップ	規格	S 型	S 型	S 型	S 型	M 型	M 型	M 型
(1)透明キャップ (C グレード)	H ₀	230	230	230	230	250	250	250
	D ₀	236	236	236	236	273	273	273
	PCD	202	202	202	202	239	239	239
(2)5 窓キャップ (W5 グレード)	H ₀	230	230	230	230	250	250	250
	D ₀	236	236	236	236	273	273	273
	PCD	202	202	202	202	239	239	239
(3)下 1 窓キャップ (W1 グレード)	H ₀	235	235	235	235	265	265	265
	D ₀	220	220	220	220	265	265	265
	PCD	190	190	190	190	230	230	230
(4)アルミキャップ (G グレード)	H ₀	200	200	200	200	200	200	200
	D ₀	220	220	220	220	265	265	265
	PCD	190	190	190	190	230	230	230
2.2 定着具	規格	G501	G502	G503	G504	G507	G507	G507
(1)くさび	規格	ECF12.7	ECF12.7	ECF12.7	ECF12.7	ECF12.7	ECF12.7	ECF12.7
(2)アンカーヘッド	H ₁	65	85	85	85	105	105	105
	D ₁	φ 50	φ 88	φ 88	φ 88	φ 108	φ 108	φ 108
(3)ナット	H ₀	55	65	65	65	75	75	75
	D ₀	φ 68	φ 108	φ 108	φ 108	φ 138	φ 138	φ 138
(4)最小嵌合長	L ₀	12	12	18	22	24	28	32
2.3 プレート止水								
(1)支圧板	規格	PL5-1	PL5-2	PL5-3	PL5-4	PL5-5	PL5-6	PL5-7
	L _{PL}	210	210	240	250	270	310	350
	t _{PL}	19	19	19	19	19	19	25
	D _{PL}	φ 25	φ 60	φ 60	φ 60	φ 76	φ 76	φ 76
(2)押え板	規格	G501	G504	G503	G504	G507	G507	G507
	D _p	φ 73	φ 113	φ 113	φ 113	φ 143	φ 143	φ 143
	T _p	12	12	12	12	12	12	12
(3)止水ゴム	規格	G5-1	G5-2	G5-3	G5-4	G5-5	G5-6	G5-7
	D _g	φ 35	φ 73	φ 73	φ 73	φ 93	φ 93	φ 93
	T _g	15	15	15	15	15	15	15
2.4 その他								
(1)余長キャップ	規格	TC5	TC5	TC5	TC5	TC5	TC5	TC5
	L	80	80	80	80	80	80	80
	D	φ 19.4	φ 19.4	φ 19.4	φ 19.4	φ 19.4	φ 19.4	φ 19.4
(2)配列スペーサ	規格	PS5-7	PS5-2	PS5-3	PS5-4	PS5-7	PS5-7	PS5-7
	D	φ 90	φ 90	φ 90	φ 90	φ 90	φ 90	φ 90
	H	25	25	25	25	25	25	25
3.自由長,アンカー体								
(1)自由長シース	D	φ 16.7	φ 16.7	φ 16.7	φ 16.7	φ 16.7	φ 16.7	φ 16.7
(2)スペーサ	規格	S5-5	S5-5	S5-5	S5-5	S5-5	S5-8	S5-8
	D	φ 59	φ 59	φ 59	φ 59	φ 59	φ 76	φ 76
	H	50	50	50	50	50	50	50
(3)パイロット キャップ	規格	PC5-4	PC5-4	PC5-4	PC5-4	PC5-7	PC5-7	PC5-7
	D	φ 44	φ 44	φ 44	φ 44	φ 53	φ 53	φ 53
	L	200	200	200	200	200	200	200
(4)注入ホース	D	φ 20	φ 20	φ 20	φ 20	φ 20	φ 20	φ 20

(寸法単位：mm)

表-3.1.2(2) アンカー規格と部材規格一覧

項目	アンカー規格と ECF12.7 部材規格・形状寸法					
	規格	EHD5-8H	EHD5-9H	EHD5-10H	EHD5-11H	EHD5-12H
1.アンカー	規格	EH	EH	EH	EH	EH
(1)テンドン種類	—	硅砂付着 ECF12.7	硅砂付着 ECF12.7	硅砂付着 ECF12.7	硅砂付着 ECF12.7	硅砂付着 ECF12.7
(2)テンドン組合せ	—	φ 12.7-8	φ 12.7-9	φ 12.7-10	φ 12.7-11	φ 12.7-12
2.頭 部						
2.1 頭部キャップ	規格	L 型	L 型	L 型	L 型	L 型
(1)透明キャップ (C グレード)	H ₀	261	261	261	261	261
	D ₀	318	318	318	318	318
	PCD	284	284	284	284	284
(2)5 窓キャップ (W5 グレード)	H ₀	261	261	261	261	261
	D ₀	318	318	318	318	318
	PCD	284	284	284	284	284
(3)下 1 窓キャップ (W1 グレード)	H ₀	270	270	270	270	270
	D ₀	320	320	320	320	320
	PCD	285	285	285	285	285
(4)アルミキャップ (G グレード)	H ₀	200	200	200	200	200
	D ₀	320	320	320	320	320
	PCD	285	285	285	285	285
2.2 定着具	規格	G509	G509	G512	G512	G512
(1)くさび	規格	ECF12.7	ECF12.7	ECF12.7	ECF12.7	ECF12.7
(2)アンカーヘッド	H ₁	115	115	115	115	115
	D ₁	φ 148	φ 148	φ 148	φ 148	φ 148
(3)ナット	H ₀	80	80	80	80	80
	D ₀	φ 186	φ 186	φ 186	φ 186	φ 186
(4)最小嵌合長	L ₀	26	30	32	36	38
2.3 プレート止水						
(1)支圧板	規格	PL5-9	PL5-9	PL5-10	PL5-11	PL5-12
	L _{PL}	350	350	350	350	350
	t _{PL}	22	22	25	28	30
	D _{PL}	φ 106	φ 106	φ 106	φ 106	φ 106
(2)押え板	規格	G512	G512	G512	G512	G512
	D _p	φ 191	φ 191	φ 191	φ 191	φ 191
	T _p	12	12	12	12	12
(3)止水ゴム	規格	G5-8	G5-9	G5-10	G5-11	G5-12
	D _g	φ 133	φ 133	φ 133	φ 133	φ 133
	T _g	17	17	17	17	17
2.4 その他						
(1)余長キャップ	規格	TC5	TC5	TC5	TC5	TC5
	L	80	80	80	80	80
	D	φ 19.4	φ 19.4	φ 19.4	φ 19.4	φ 19.4
(2)配列スペーサ	規格	PS5-12	PS5-12	PS5-12	PS5-12	PS5-12
	D	φ 125	φ 125	φ 125	φ 125	φ 125
	H	25	25	25	25	25
3.自由長,アンカー体						
(1)自由長シース	D	φ 16.7	φ 16.7	φ 16.7	φ 16.7	φ 16.7
(2)スペーサ	規格	S5-8	S5-12	S5-12	S5-12	S5-12
	D	φ 76	φ 95	φ 95	φ 95	φ 95
	H	50	50	50	50	50
(3)パイロット キャップ	規格	PC5-9	PC5-9	PC5-12	PC5-12	PC5-12
	D	φ 64	φ 64	φ 68	φ 68	φ 68
	L	200	200	200	200	200
(4)注入ホース	D	φ 20	φ 20	φ 20	φ 20	φ 20

(寸法単位：mm)

表-3.1.2(3) アンカー規格と部材規格一覧

項目	規格	アンカー規格と ECF15.2 部材規格・形状寸法						
		EHD6-1H	EHD6-2H	EHD6-3H	EHD6-4H	EHD6-5H	EHD6-6H	EHD6-7H
1.アンカー	規格	EHF15.2	EHF15.2	EHF15.2	EHF15.2	EHF15.2	EHF15.2	EHF15.2
(1)テンドン種類	—	EHF15.2	EHF15.2	EHF15.2	EHF15.2	EHF15.2	EHF15.2	EHF15.2
(2)テンドン組合せ	—	φ 15.2-1	φ 15.2-2	φ 15.2-3	φ 15.2-4	φ 15.2-5	φ 15.2-6	φ 15.2-7
2.頭 部								
2.1 頭部キャップ	規格	S 型	S 型	M 型	M 型	L 型	L 型	L 型
(1)透明キャップ (C グレード)	H ₀	230	230	250	250	261	261	261
	D ₀	236	236	273	273	318	318	318
	PCD	202	202	239	239	284	284	284
(2)5 窓キャップ (W5 グレード)	H ₀	230	230	250	250	261	261	261
	D ₀	236	236	273	273	318	318	318
	PCD	202	202	239	239	284	284	284
(3)下 1 窓キャップ (W1 グレード)	H ₀	235	235	265	265	270	270	270
	D ₀	220	220	265	265	320	320	320
	PCD	190	190	230	230	285	285	285
(4)アルミキャップ (G グレード)	H ₀	200	200	200	200	200	200	200
	D ₀	220	220	265	265	320	320	320
	PCD	190	190	230	230	285	285	285
2.2 定着具	規格	G601	G602	G603	G604	G607	G607	G607
(1)くさび	規格	ECF15.2	ECF15.2	ECF15.2	ECF15.2	ECF15.2	ECF15.2	ECF15.2
(2)アンカーヘッド	H ₁	65	85	95	95	105	105	105
	D ₁	φ 65	φ 88	φ 108	φ 108	φ 148	φ 148	φ 148
(3)ナット	H ₀	55	65	70	70	75	75	75
	D ₀	φ 78	φ 108	φ 138	φ 138	φ 186	φ 186	φ 186
(4)最小嵌合長	L ₀	12	16	20	26	24	28	32
2.3 プレート止水								
(1)支圧板	規格	PL6-1	PL6-2	PL6-3	PL6-4	PL6-6	PL6-6	PL6-7
	L _{PL}	210	230	270	300	350	350	350
	t _{PL}	19	19	19	19	22	22	25
	D _{PL}	φ 30	φ 60	φ 65	φ 76	φ 95	φ 95	φ 95
(2)押え板	規格	G601	G602	G603	G604	G607	G607	G607
	D _p	φ 83	φ 113	φ 143	φ 143	φ 191	φ 191	φ 191
	T _p	12	12	12	12	12	12	12
(3)止水ゴム	規格	G6-1	G6-2	G6-3	G6-4	G6-5	G6-6	G6-7
	D _g	φ 50	φ 73	φ 93	φ 93	φ 133	φ 133	φ 133
	T _g	15	15	15	15	17	17	17
2.4 その他								
(1)余長キャップ	規格	TC6	TC6	TC6	TC6	TC6	TC6	TC6
	L	80	80	80	80	80	80	80
	D	φ 22.4	φ 22.4	φ 22.4	φ 22.4	φ 22.4	φ 22.4	φ 22.4
(2)配列スペーサ	規格	PS6-7	PS6-2	PS6-3	PS6-4	PS6-7	PS6-7	PS6-7
	D	φ 90	φ 90	φ 90	φ 90	φ 90	φ 90	φ 90
	H	25	25	25	25	25	25	25
3.自由長,アンカー体								
(1)自由長シース	D	φ 21.6	φ 21.6	φ 21.6	φ 21.6	φ 21.6	φ 21.6	φ 21.6
(2)スペーサ	規格	S6-3	S6-3	S6-3	S6-6	S6-6	S6-6	S6-9
	D	φ 59	φ 59	φ 59	φ 76	φ 76	φ 76	φ 95
	H	50	50	50	50	50	50	50
(3)パイロット キャップ	規格	PC6-3	PC6-3	PC6-3	PC6-7	PC6-7	PC6-7	PC6-7
	D	φ 44	φ 44	φ 44	φ 68	φ 68	φ 68	φ 68
	L	200	200	200	200	200	200	200
(4)注入ホース	D	φ 20	φ 20	φ 20	φ 20	φ 20	φ 20	φ 20

(寸法単位：mm)

表-3.1.2(4) アンカー規格と部材規格一覧

項目	アンカー規格と ECF15.2 部材規格・形状寸法							
	規格	EHD6-8H	EHD6-9H	EHD6-10H	EHD6-11H	EHD6-12H	EHD6-13H	EHD6-14H
1.アンカー								
(1)テンドン種類	—	珪砂付着 ECF15.2	珪砂付着 ECF15.2	珪砂付着 ECF15.2	珪砂付着 ECF15.2	珪砂付着 ECF15.2	珪砂付着 ECF15.2	珪砂付着 ECF15.2
(2)テンドン組合せ	—	φ 15.2-8	φ 15.2-9	φ 15.2-10	φ 15.2-11	φ 15.2-12	φ 15.2-13	φ 15.2-14
2.頭 部								
2.1 頭部キャップ	規格	LL 型	LL 型	LL 型	LL 型	LL 型	LL 型	LL 型
(1)透明キャップ (C グレード)	H ₀	288	288	288	288	288	288	288
	D ₀	396	396	396	396	396	396	396
	PCD	358	358	358	358	358	358	358
(2)5 窓キャップ (W5 グレード)	H ₀	288	288	288	288	288	288	288
	D ₀	396	396	396	396	396	396	396
	PCD	358	358	358	358	358	358	358
(3)下1 窓キャップ (W1 グレード)	H ₀	—	—	—	—	—	—	—
	D ₀	—	—	—	—	—	—	—
	PCD	—	—	—	—	—	—	—
(4)アルミキャップ (G グレード)	H ₀	288	288	288	288	288	288	288
	D ₀	430	430	430	430	430	430	430
	PCD	366	366	366	366	366	366	366
2.2 定着具	規格	G609	G609	G612	G612	G612	G614	G614
(1)くさび	規格	ECF15.2	ECF15.2	ECF15.2	ECF15.2	ECF15.2	ECF15.2	ECF15.2
(2)アンカーヘッド	H ₁	125	125	125	125	125	145	145
	D ₁	φ 180	φ 180	φ 180	φ 180	φ 180	φ 200	φ 200
(3)ナット	H ₀	85	85	85	85	85	90	90
	D ₀	φ 228	φ 228	φ 228	φ 228	φ 228	φ 251	φ 251
(4)最小嵌合長	L ₀	30	34	36	40	44	42	46
2.3 プレート止水								
(1)支圧板	規格	PL6-8	PL6-9	PL6-10	PL6-11	PL6-12	PL6-14	PL6-14
	L _{PL}	400	400	400	400	400	400	400
	t _{PL}	22	25	28	32	36	36	36
	D _{PL}	φ 133	φ 133	φ 133	φ 133	φ 133	φ 155	φ 155
(2)押え板	規格	G612	G612	G612	G612	G612	G614	G614
	D _p	φ 233	φ 233	φ 233	φ 233	φ 233	φ 256	φ 256
	T _p	12	12	12	12	12	12	12
(3)止水ゴム	規格	G6-8	G6-9	G6-10	G6-11	G6-12	G6-13	G6-14
	D _g	φ 165	φ 165	φ 165	φ 165	φ 165	φ 185	φ 185
	T _g	17	17	17	17	17	17	17
2.4 その他								
(1)余長キャップ	規格	TC6	TC6	TC6	TC6	TC6	TC6	TC6
	L	80	80	80	80	80	80	80
	D	φ 22.4	φ 22.4	φ 22.4	φ 22.4	φ 22.4	φ 22.4	φ 22.4
(2)配列スペーサ	規格	PS6-12	PS6-12	PS6-12	PS6-12	PS6-12	PS6-14	PS6-14
	D	φ 125	φ 125	φ 125	φ 125	φ 125	φ 175	φ 175
	H	25	25	25	25	25	20	20
3.自由長,アンカー体								
(1)自由長シース	D	φ 21.6	φ 21.6	φ 21.6	φ 21.6	φ 21.6	φ 21.6	φ 21.6
(2)スペーサ	規格	S6-9	S6-9	S6-12	S6-12	S6-12	S6-14	S6-14
	D	φ 95	φ 95	φ 112	φ 112	φ 112	φ 124	φ 124
	H	50	50	50	50	50	50	50
(3)パイロット キャップ	規格	PC6-12	PC6-12	PC6-12	PC6-12	PC6-12	PC6-14	PC6-14
	D	φ 90	φ 90	φ 90	φ 90	φ 90	φ 114	φ 114
	L	200	200	200	200	200	200	200
(4)注入ホース	D	φ 20	φ 20	φ 20	φ 20	φ 20	φ 20	φ 20

(寸法単位：mm)

表-3.1.3 EHD アンカーHP 工法の構成部材の材料一覧

名 称	仕 様 ・ 概 要
1. テンドン	: アンカー力を地盤に伝達するプレストレス部材
(1) 珪砂付着 ECF テンドン	<ul style="list-style-type: none"> ・PC 鋼より線規定 JIS G3536 の耐力特性と土木学会規準 JSCE-E141-2018 規定のエポキシ樹脂被覆厚 0.4mm~1.2mm(平均厚 0.6mm)による 100 年耐久性のテンドン。リラクゼーション値は同規準 JSCE-E141-2018 規定の 6.5%以下 ・テンドンの珪砂付着は、グラウトとの降伏付着強度が普通 PC 鋼より線の 1.5 倍以上に改良
2. 頭 部	: 定着具と支圧板のアンカー力を受圧体に伝達する部位
2.1 頭部キャップ	: 支圧板上で外部腐食環境を遮断・密封する定着具保護部材
(1) 透明キャップ: C グレード (グリースレス)	<ul style="list-style-type: none"> ・樹脂キャップ(透明): 耐候性 PC 樹脂 ・キャップ固定具: アルミ AC4C
(2) 5 窓キャップ: W5 グレード (グリースレス)	<ul style="list-style-type: none"> ・樹脂キャップ(透明): 耐候性 PC 樹脂 ・5 窓キャップ固定具: アルミ AC4C
(3) 下 1 窓キャップ: W1 グレード (グリースレス)	<ul style="list-style-type: none"> ・1 窓アルミキャップ: アルミ AC4C ・透明窓部: 耐候性 PC 樹脂
(4) アルミキャップ: G、GL グレード (グリース充填、グリースレス)	<ul style="list-style-type: none"> ・アルミキャップ: アルミ AC4C (G 仕様: グリース充填、GL 仕様: グリースレス)
(5) 鋼製キャップ: S、SL グレード (グリース充填、グリースレス)	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼製キャップ: 特注品、SS400 相当(HDZT77) (S 仕様: グリース充填、SL 仕様: グリースレス)
2.2 定着具	: テンドンのアンカー力を支圧板に伝達する部材
(1) くさび	・SCM415 相当(グリースレスは、Ni めっき仕様)
(2) アンカーヘッド	・S45C 相当(グリースレスは、Ni めっき仕様)
(3) ナット	・S45C 相当(グリースレスは、Ni めっき仕様)
2.3 プレート止水構造	: 支圧板内で支圧板背面腐食環境を遮断・密封する定着具支持部材
(1) 支圧板	・SS400 相当(HDZT77)
(2) 押え板	・SS400 相当(HDZT77)
(3) 止水ゴム	・NBR ゴム(ニトリルブタジエンゴム)
2.4 その他頭部部材	
(1) 余長キャップ	・高密度ポリエチレン: アンカーヘッド突出 ECF テンドンの被覆(グリースレスの場合に使用)
(2) キャップ内防食材	・グリース(PC コート C): G グレードの無めっき定着具に使用(アルミキャップ仕様は、標準的に内部充填が必要)
(3) 配列スペーサ	・ポリエチレン: 頭部テンドンを止水ゴム挿通用に整列
3. 自由長	: 定着具からのアンカー力を小摩擦損失でアンカー体に伝達する部位
(1) シース	・高密度ポリエチレン: テンドンとグラウトの付着防止
(2) シース内部充填材	・グリース: アンカー体境界から頭部までの自由長シース内部の通水遮断
(3) 結束テープ	・フィラメントテープ: 自由長部テンドンシースの集約処理
(4) 熱収縮シース(止水処理)	<ul style="list-style-type: none"> ・ポリ塩化ビニル: アンカー体境界での止水処理 ・止水材(弾性接着剤)
4. アンカー体	: テンドンをグラウト付着と地盤摩擦の抵抗で地盤に固着する部位
(1) スペーサ	・ポリプロピレン: テンドンのグラウトかぶり確保
(2) 結束バンド	・66 ナイロン: テンドンへのスペーサ固定処理
(3) パイロットキャップ	・ポリプロピレン、またはアルミ AC2A: テンドンの孔内挿入性向上
5. その他部材	
(1) 注入ホース	・高密度ポリエチレン: アンカー体先端からのグラウト注入促進
(2) テンドン補修用塗料	・2 液混合エポキシ樹脂: テンドン天端面被覆、施工時樹脂削れ部補修

3.2 テンドン

本工法の硅砂附着 ECF テンダンは、JIS G3536 適合の低リラクセーション PC 鋼より線 SW PR7BL を使用し、さらに土木学会 100 年耐久性規定(JSCE-E141-2018)に則して、エポキシ樹脂被覆厚 0.4mm~1.2mm(平均厚 0.6mm)のエポキシ樹脂の内部充填・被覆を施すとともに、エポキシ樹脂表面に高降伏付着強度になる硅砂を埋込んでグラウトとの降伏付着強度をより向上させたものを使用する。

【解説】

- (1) 本工法の硅砂附着 ECF テンダンの概念を図-3.2.1 に示す。テンダンは、PC 鋼より線(PC ストランド)単材を 1 本以上組合せたものを称し、プレストレスの作用で構造物変位をゼロに抑止する、グラウトアンカー材料に使用するものであり、鉄筋降伏強度の 4.6 倍を有する高強度鋼材である。
- (2) 硅砂附着 ECF テンダンのエポキシ樹脂被覆厚は、保証最小厚が 0.4mm で、製品の被覆厚範囲が 0.4~1.2mm(平均 0.6mm)である。同テンダンは、テンダンス素線間にエポキシ樹脂が充填されるので、素線間空隙がなく、図-3.2.2 に示すように、削孔内水やグラウト水による水移動、および腐食促進因子の移動による腐食トラブルがなく、さらに、グラウトひび割れに伴うアンカー体から頭部への地下水浸入・移動がなくなる。

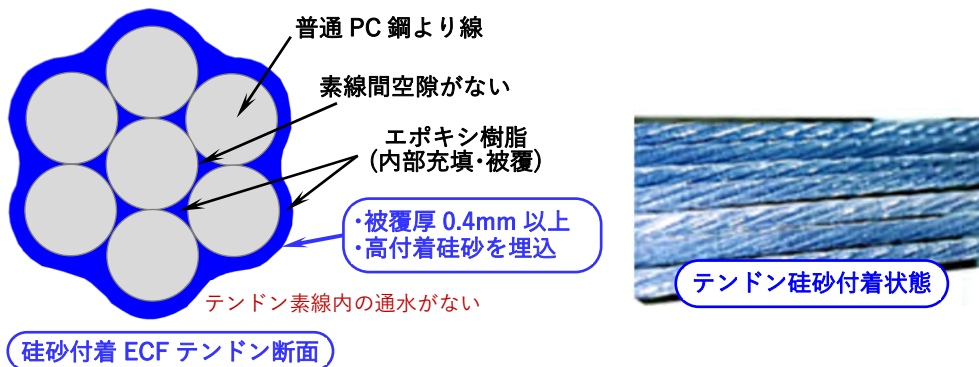


図-3.2.1 硅砂附着 ECF テンダンの概念

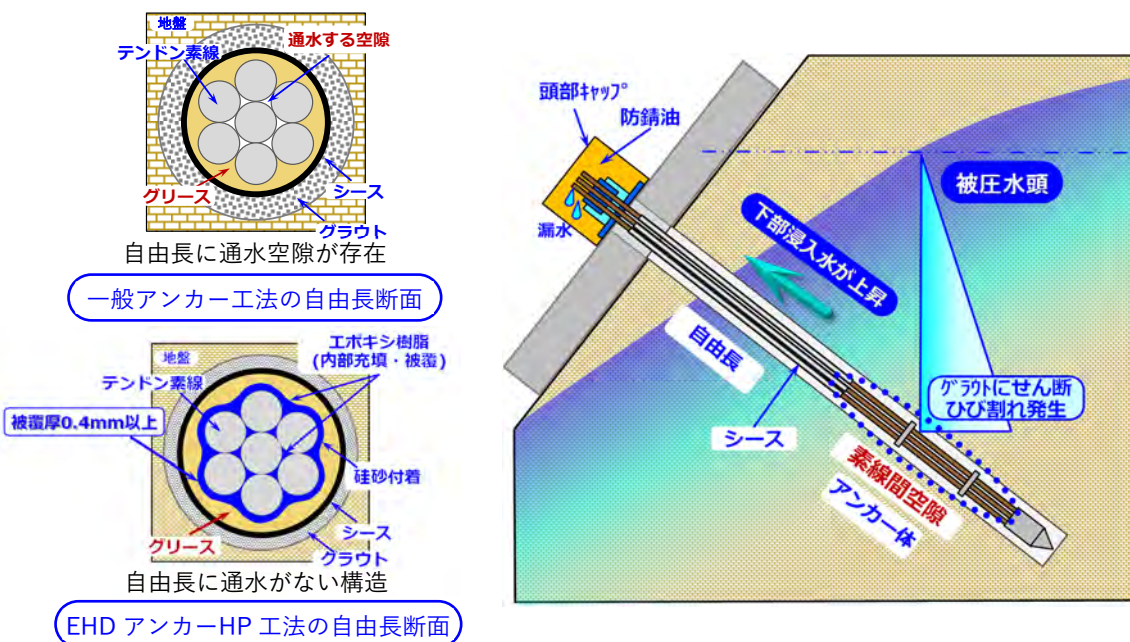


図-3.2.2 自由長部空隙とアンカー体グラウトひび割れに伴う水浸入

(3) エポキシ樹脂の保証最小厚 0.4mm は、図-3.2.3 に示すように、被覆樹脂内のピンホールがなくなり、塩害環境や酸性土環境などの過酷な適用環境で十分な耐久性・耐食性が確認されたことから、土木学会規準で採用されたものである。ピンホールは被覆樹脂に生じる目視困難なマイクロ孔を称し、珪砂付着 ECF テンドンは、製造工程やアンカー加工後の 2 工程で、電圧 3.0kV 以上のピンホール試験を実施してゼロピンホールアンカーのみを出荷して、テンドンの耐食性が確実に得られるようにしている。なお、ピンホール試験のピンホール数は、試験電圧に依存するので、土木学会規定の電圧 3.0kV 以上の設定が推奨される。ピンホール試験器メーカーは、試験器が JIS 規定の低周波型であることから、電圧 3.0kV 以上でもエポキシ被覆層の熱破壊は生じないとしている。

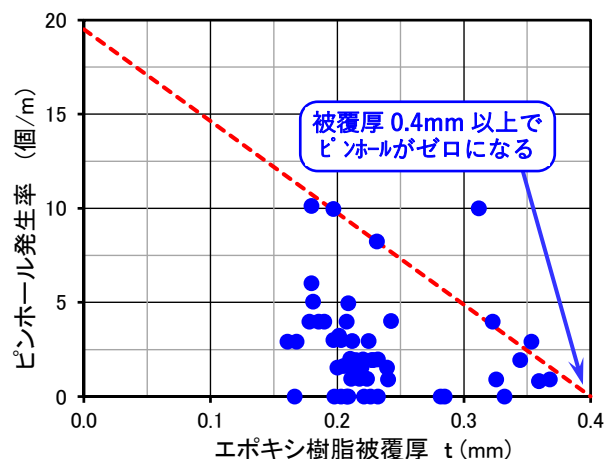


図-3.2.3 エポキシ被覆厚とピンホール

(4) エポキシ樹脂被覆厚は、その厚さ程度により、PC 鋼より線素地への腐食因子である塩分到達を遅らせる効果があり、PC 鋼より線を長期にわたり腐食環境から遮断する状態にできる。JSCE-E141-2018 では、土木学会指針 CL112 の防食性能の照査方法を用いて、テンドンのエポキシ樹脂表面で塩化物イオン濃度(海水飛沫帯：13.0kg/m³)を設定し、PC 鋼より線表面の塩化物イオン濃度を計算し、これが鋼材の腐食限界塩化物イオン濃度(1.2kg/m³)以下であれば、その範囲まで防食性能を有すると考えて、珪砂付着 ECF テンドンの耐久性能期間としている。

詳細は、「土木学会指針 CL112、pp10～16」に記述されており、エポキシ樹脂被覆厚の塩化物耐久性の評価箇所を転記したものを、式(3.2.1)に示す。本式では、パラメータのエポキシ樹脂被覆厚 c_{ep} とエポキシ樹脂被覆内での塩化物イオン拡散係数 D_{epd} が重要な因子である。なお、塩化物イオン拡散係数 $D_{epd}=2.0 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{年}$ は、ピンホールのない健全なエポキシ樹脂被覆に対する値である。ピンホールが存在する場合は、この値が大きくなる(耐久性が低下する)ので、留意が必要である。

同式を用いた耐久性指標となる鋼材腐食の耐用年数は、塩化物イオン濃度の設計値 C_d に鋼材腐食限界塩化物イオン濃度(1.2kg/m³)を与え、エポキシ樹脂被覆厚 c_{ep} をパラメータとして段階的に増加させて、各被覆厚での鋼材腐食の耐用年数 t を収束計算で逆解析して求める。これをグラフ化することで被覆厚 0.4mm の鋼材腐食の耐用年数が確認できる。

逆解析結果のエポキシ樹脂被覆厚と鋼材腐食の耐用年数の関係を図-3.2.4 に示す。珪砂付着 ECF テンドンのエポキシ樹脂被覆厚 $c_{ep}=0.40\text{mm}$ の結果は、約 120 年まで PC 鋼より線が腐食しない結果である。同図から、土木学会で 100 年の防食性能と設計耐用年数(耐久性能)を規定したエポキシ樹脂被覆厚 0.40mm の根拠は、適正なことが理解できる。

なお、参考に示したエポキシ樹脂被覆厚 $c_{ep}=0.20\text{mm}$ の結果は、約 30 年で PC 鋼より線に腐食が発生する結果となり、被覆厚 0.4mm は、0.2mm に比べて、耐用年数が単純倍率ではなく、4.0 倍程度と大きくなることが分かる。

■エポキシ樹脂被覆厚の塩化物耐久性の設計式

$$C_d = \gamma_{cl} \cdot C_0 (1 - \text{erf}(0.05c_{ep}/\sqrt{t \cdot D_{epd}})) \leq C_{lim} = 1.2\text{kg/m}^3 \quad \dots(3.2.1)$$

ここに、

- ・ C_d : 素地 PC 鋼材表面の塩化物イオン濃度の設計値 (kg/m^3)
- ・ C_{lim} : 鋼材腐食の限界塩化物イオン濃度 (1.2kg/m^3)
- ・ γ_{cl} : 鋼材位置の塩化物イオン濃度の設計値 C_d のばらつきを考慮した安全係数、一般に、1.3 とする。
- ・ C_0 : エポキシ樹脂表面の想定塩化物イオン濃度
(コンクリート標準示方書設計編 p164 解説表 3.1.1、海水飛沫帯 13.0kg/m^3)
- ・ c_{ep} : エポキシ樹脂被覆厚 (mm)
- ・ t : 鋼材腐食の耐用年数 (年)
- ・ D_{epd} : エポキシ樹脂被覆内での塩化物イオン拡散係数 ($=2.0 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{年}$)

【出典】土木学会エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針 [改訂版] CL112、pp10~16

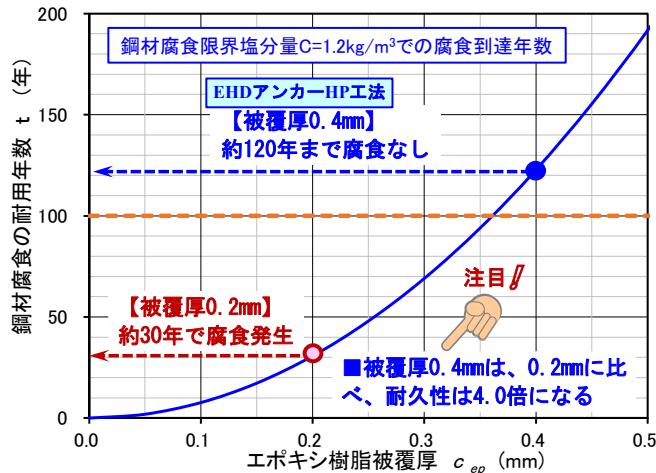


図-3.2.4 エポキシ樹脂被覆厚と鋼材腐食の耐用年数

(5) 図-3.2.5 は、テンドンのアンカー力比 ($\kappa = P_e / T_{us}$)・伸び関係を示しており、同図からその挙動は、 $0.77T_{us}$ ($0.90T_{ys}$) 程度まで直線挙動であり、テンドンの弾性状態が保たれることが分かる。表-3.2.1 に硅砂付着 ECF テンドンの仕様一覧をまとめて示す。同表に示すように、同テンドンは JIS G3536 規定の PC 鋼より線の極限耐力と降伏耐力を有し、土木学会規準 JSCE-E141-2018 規定のエポキシ樹脂被覆厚 0.4mm~1.2mm (平均厚 0.6mm) による 100 年耐久性 (設計耐用年数 100 年) を有する。表-3.2.2 に EHD アンカー HP 工法のアンカー規格の性能諸元を示す。

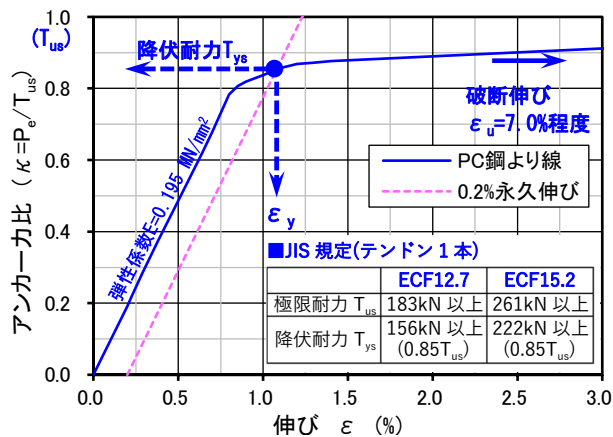


図-3.2.5 テンドンのアンカー力比・伸び関係

表-3.2.1 珪砂付着 ECF テンドンの仕様一覧

項目	単位	諸 元		摘 要
テンドン種類	mm	珪砂付着 ECF12.7	珪砂付着 ECF15.2	
JIS 規格強度記号	—	SWPR7BL	SWPR7BL	JIS
準拠規格	—	JSCE-E141-2018	JSCE-E141-2018	
エポキシ樹脂被覆厚	mm	0.4~1.2	0.4~1.2	クラウン部：JSCE
PC 鋼より線径	mm	φ 12.7	φ 15.2	JIS、JSCE
極限耐力 T_{us}	kN	≧ 183	≧ 261	JIS、JSCE
降伏耐力 T_{ys}	kN	≧ 156	≧ 222	JIS、JSCE
強度レベル σ_u	N/mm ²	≧ 1,860	≧ 1,860	JIS、JSCE
破断伸び ε_u	%	≧ 3.5	≧ 3.5	JIS、JSCE
リラクセーション率	%	1000h : ≦ 6.5	1000h : ≦ 6.5	JSCE
PC 鋼より線断面積	mm ²	98.71	138.70	JIS、JSCE
PC 鋼より線単位質量	kg/m	0.774	1.101	JIS、JSCE
設計用弾性係数 E	MN/mm ²	0.195	0.195	道路橋示方書
被覆後外径	mm	φ 13.9	φ 16.4	参考
被覆後単位質量 m_t	kg/m	0.813	1.155	参考

表-3.2.2 EHD アンカーHP 工法のアンカー規格の性能諸元

アンカー規格	極限耐力	降伏耐力	鋼線断面積	見掛け周長	最小アンカー径
—	T_{us} (kN)	T_{ys} (kN)	A (mm ²)	U (mm)	D_A (mm)
EHD5-1H	183	156	98.71	39.9	φ 90
EHD5-2H	366	312	197.4	79.8	φ 90
EHD5-3H	549	468	296.1	119.7	φ 90
EHD5-4H	732	624	394.8	145.7	φ 90
EHD5-5H	915	780	493.6	145.7	φ 90
EHD5-6H	1,098	936	592.3	203.3	φ 115
EHD5-7H	1,281	1,092	691.0	206.6	φ 115
EHD5-8H	1,464	1,248	789.7	206.6	φ 115
EHD5-9H	1,647	1,404	888.4	263.4	φ 135
EHD5-10H	1,830	1,560	987.1	263.4	φ 135
EHD5-11H	2,013	1,716	1,085.8	263.4	φ 135
EHD5-12H	2,196	1,872	1,184.5	263.4	φ 135
EHD6-1H	261	222	138.70	47.8	φ 90
EHD6-2H	522	444	277.4	95.5	φ 90
EHD6-3H	783	666	416.1	143.3	φ 90
EHD6-4H	1,044	888	554.8	191.0	φ 115
EHD6-5H	1,305	1,110	693.5	206.8	φ 115
EHD6-6H	1,566	1,332	832.2	206.8	φ 115
EHD6-7H	1,827	1,554	970.9	251.7	φ 135
EHD6-8H	2,088	1,776	1,109.6	251.7	φ 135
EHD6-9H	2,349	1,998	1,248.3	251.7	φ 135
EHD6-10H	2,610	2,220	1,387.0	320.8	φ 146
EHD6-11H	2,871	2,442	1,525.7	320.8	φ 146
EHD6-12H	3,132	2,664	1,664.4	320.8	φ 146
EHD6-13H	3,393	2,886	1,803.1	357.1	φ 165
EHD6-14H	3,654	3,108	1,941.8	357.1	φ 165

3.3 頭 部

本工法の頭部は、頭部キャップ・定着具(くさび、アンカーヘッド、ナット)・プレート止水構造(押え板、止水ゴム、支圧板)で構成し、定着具によるテンドン定着とアンカー力調整、および頭部キャップとプレート止水構造による現場環境からの定着具の保護と防食の機能を有しており、4種類の頭部グレードが存在するので、アンカーの設計方針や適用条件に応じて適正に選定する。

【解説】

- (1) EHD アンカーHP 工法の頭部グレードと仕様を表-3.3.1 に示す。同表に示すように、C グレードと W5 グレードは、透明 PC 樹脂のキャップをキャップ固定具とボルトで支圧板に固定する形態であり、頭部キャップ内が明瞭に目視可能で、双眼鏡やドローンなどによる遠望目視ができることから、アンカーのメンテナンス時の省力化が期待できる。
- (2) C グレード・W5 グレード・W1 グレードは、グリース無充填のグリースレスで使用するもので、内部の定着具を外観目視で直接確認できる。これらのグレードでは、施工時空気環境がキャップ内に閉じ込められた状態になる。この空気は、キャップ内が密封空間であり、施工時の絶対湿度が維持されることから、施工時に比べた外気温が季節変動で低下するに伴い、キャップ内の相対湿度が高くなり、キャップ内で結露が生じることがある。鋼材の腐食は、一般に相対湿度 60%以上で腐食速度が急激に増加する傾向があり、この湿度は腐食発生の臨界湿度と呼ばれている。この防食対策として、EHD アンカーHP 工法では、C グレード・W5 グレード・W1 グレードの鋼材同士が嵌合部材になる定着具(くさび・アンカーヘッド・ナット)は、無電解 Ni めっきを施している。なお、押え板は、亜鉛めっき HDZT77 である。外部大気環境で暴露状態になる支圧板は、防食構造Ⅱ(一般環境)で亜鉛めっき HDZT77、防食構造Ⅲ(塩害環境)でアルミナイズ処理、防食構造Ⅲ(酸性土環境)で3層構造防食を施す防食仕様となる。

表-3.3.1 EHD アンカーHP 工法の頭部グレードと仕様

頭部グレード	C グレード	W5 グレード	W1 グレード	G グレード
外 観				
頭部キャップ仕様	内殻：透明 PC 樹脂 外殻：キャップ固定具	内殻：透明 PC 樹脂 外殻：5 窓キャップ固定具	下 1 窓アルミキャップ	窓なしアルミキャップ
頭部止水構造	プレート止水(NBRゴム) キャップ止水 O リング (材質：シリコンゴム)	プレート止水(NBRゴム) キャップ止水 O リング (材質：シリコンゴム)	プレート止水(NBRゴム) キャップ止水 O リング (材質：NBR ゴム)	プレート止水(NBRゴム) キャップ止水 O リング (材質：NBR ゴム)
グリース充填	無充填 (グリースレス)	無充填 (グリースレス)	無充填 (グリースレス)	充填
頭部内部の点検調査法	ドローンなどで 遠望目視の点検が可能	同 左	近接目視可能	内部目視困難 (キャップ 取外しで可)
おもな適用環境	・積 雪：少ない ・落石衝撃：小さい	・積 雪：比較的多い ・落石衝撃：同 左	・積 雪：同 左 ・落石衝撃：同 左	・積 雪：同 左 ・落石衝撃：同 左

- (注) 1. C グレード・W5 グレードは、グリースレス仕様を原則とする。W1 グレード・G グレードは、グリースレスとグリース充填の両方が使用できる。ただし、W1 グレードのグリース充填は、近接目視での内部点検が困難になる。
2. 融雪沈降力や落石衝撃の大きい地域や河川内流木衝突力作用箇所などの適用では、別途の適正な防護措置が必要である。
3. 「積雪：少ない」は、のり面での積雪深 2.0m 程度以下を対象としている。

(3) 透明キャップとプレート止水構造による頭部構造の密封状態の確認目的で、キャップ内部に無電解 Ni めっきの定着具(くさび・アンカーヘッド・ナット)を入れた頭部構造一体化の試験体を製作し、塩水噴霧試験による塩害環境促進試験(3600h)を実施した。図-3.3.1 に試験槽内状況と試験後状況を示す。同図(b)、(c)に示すように、透明キャップ内の密封ゴム(Oリング)とプレート止水構造内の止水ゴムの封止効果により、アンカー定着具は塩害環境から完全に保護され、発錆ゼロ状態が確認できた。なお、試験時間 3600h は、道路橋示方書の塩害対策 S 区分で耐久性 100 年に相当している。

本工法の頭部構造による密封状態では、無電解 Ni めっき定着具に発錆が生じなかったことから、無電解 Ni めっき鋼板を直接暴露状態にする、塩害環境促進試験(2000h)を実施し、無電解 Ni めっきの耐食性の傾向調査を実施した。比較のため、溶融亜鉛めっき HDZT77 と電気めっきも同時に実施した。試験結果を図-3.3.2 に示す。同図(a)の試験時間 1000 h 結果を見ると、電気亜鉛めっきは赤錆が著しいので、本供試体の試験はここで終了した。HDZT77 は鉄腐食の赤錆と異なる白錆と呼ぶ塩基性炭酸亜鉛の腐食生成物と、その背面に鉄腐食の薄い赤錆の進行が見られる。Ni めっきは左側鋼板の 1 箇所点錆が見られる程度である。同図(b)の試験時間 2000 h 結果を見ると、Ni めっきは 3 箇所点錆で鋼板露出が見られ、HDZT77 は白錆が著しくなって、その背面で濃赤色の強い鉄腐食状況が見られる傾向になった。Ni めっき耐食性の傾向調査の試験はここで終了とした。

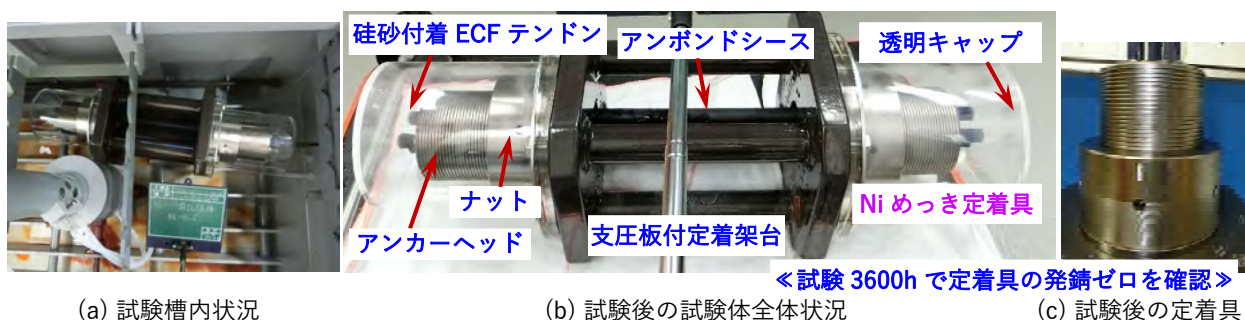


図-3.3.1 EHD アンカーHP 工法頭部構造の塩害環境促進試験(3600h)の耐食性

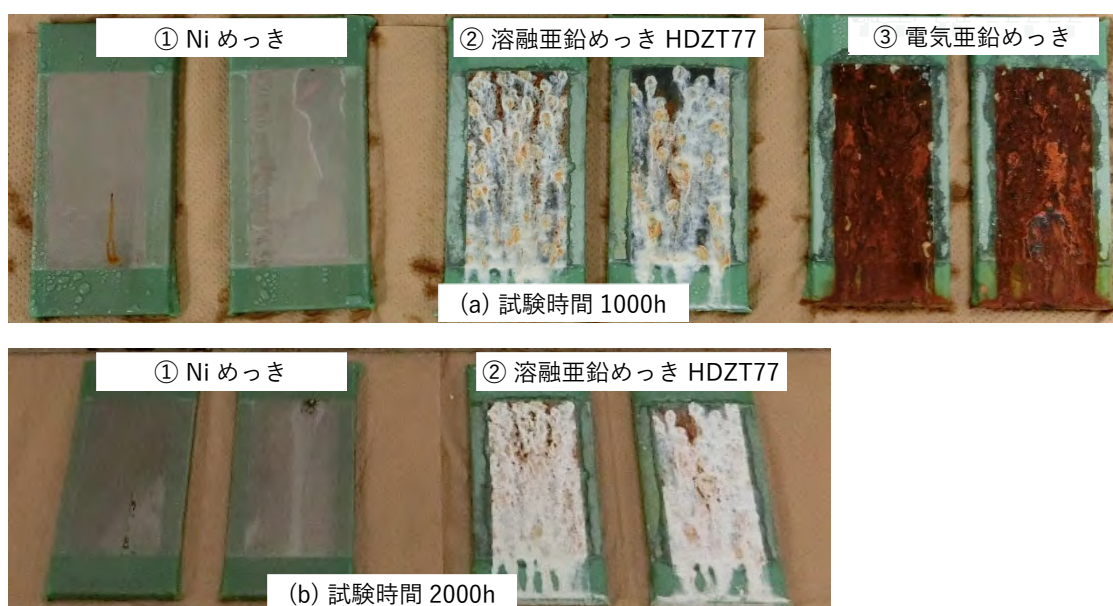


図-3.3.2 Ni めっきと亜鉛めっきの塩害環境促進試験の耐食性

本試験結果から、無電解 Ni めっきは、溶融亜鉛めっき HDZT77 に比べて、同等以上の優れた耐食性を有することが確認でき、さらに頭部構造の高い密封状態を付加することから、本工法の頭部キャップ内部構造は、耐久性能がより向上した状態であり、極めて高い防食構造であることが明らかとなった。

- (4) G グレードは、窓なしアルミキャップと内部のグリース充填で使用する、従来の一般タイプとプレート止水構造を組合せたものであり、このグリース充填の定着具(くさび・アンカーヘッド・ナット)は従来工法と同様に無めっきを標準にしている。グリース充填の場合は、メンテナンス段階のアンカー頭部詳細調査で、頭部キャップ取外しとグリース除去、露出調査、グリース再充填が必要になるので、調査に手間が掛かる(表-6.3.3 参照)。さらに、グリースの現場環境での耐久性はあまり良好ではなく、アンカー調査結果の現場実態からではグリース寿命が 5～10 年程度が限界と推測される。この理由と現場実態状況は、次項の(5)、(6)で説明する。防食仕様をより向上する目的で、G グレードと Ni めっき定着具を組合せた方法を採用する場合もある。

なお、グリースは JIS K 2220 で規定され、アンカーでは、標準的に一般用グリース 2 種が使用される。グリースの防錆性能発揮には JIS K 2246 規定の防錆用添加剤(防錆油)が配合されている。JIS K 2246 では、グリース添加剤の防錆油の品質性能と試験方法が規定されている。本規定の適用範囲の記載では、金属材料の一時的防食(防錆)効果に限定した記述になっていることから、土木分野での 50 年耐久性をグリースに求めるのは困難と考えられるので、定期的な交換が必要となることに留意する。

- (5) 表-3.3.2 に、グリース(防錆油)の劣化因子と劣化形態の直接的な関連性を示す。同表から、劣化因子では、キャップ内への浸水と日射熱の影響が大きいと考えられる。特に、水はグリース質量に対して 0.1%以上混入すると、鋼材の錆発生の原因となるので、アンカー頭部の支圧板前面・背面での止水性は極めて重要である。現場の頭部キャップの温度は、日射により 60°C 程度になることがあるので、頭部キャップの内部グリースの熱劣化が促進されやすい状況もある。
- (6) グリースなどの劣化判定は、図-3.3.3 に示す JIS K 2580 の酸化劣化判定指標(色相変化)で評価され、新品グリースの色相に対して色相段階で 2.5 以上濃くなった場合に酸化劣化と評価される。現場実態によれば、アンカー頭部キャップ内のグリースは、図-3.3.4 に示すように、長期間の日射高熱や内部浸水という現場環境で劣化(変色)して、防食効果がなくなるので、最終的にこの影響を受けた腐食で、定着具の機能不全が懸念される。グリースの耐久性問題と劣化改良策に関しては、グリース充填アンカーの現状での解決課題であるが、何らかの期間でのグリース交換が必要と考えられる。

一般にアンカー以外の他用途でのグリースは、適切な時期の交換が基本となっており、機械部品のグリースも使用期間影響で黒色化し、最大 1 年程度で交換が推奨されることから、アンカー用グリースも日射熱などの現場環境で劣化することが容易に推察できる。こうした観点から、EHD アンカーHP 工法では、グリースレスにしてグリース交換を不要にした、頭部グレードで C グレード・W5 グレード・W1 グレードの使用を推奨している。

なお、グリースメーカーはグリースの保証防錆の耐用期間を 0.5 年～1.0 年程度としているが、現場実態からは、頭部キャップ内部定着具の発錆状態から 5～10 年程度が実質的な耐久期間の防錆効果の熱劣化限界(図-3.3.3 の色相 4.0～6.0)と見られるので、これを考慮した定期的な交換に留意が必要と考える。

表-3.3.2 グリース(防錆油)の劣化因子と劣化形態の関連性

劣化因子	グリース劣化形態の種類				
	色相変化 (原色：薄黄色)	酸化	基油分離	錆発生	腐食促進
水	白色⇒赤褐色	○	○	○	○
日射熱	赤褐色⇒黒色	○	○	○	
空気	赤褐色	○			
複合作用	白色⇒黒色	○	○	○	○

(注)○：関連あり

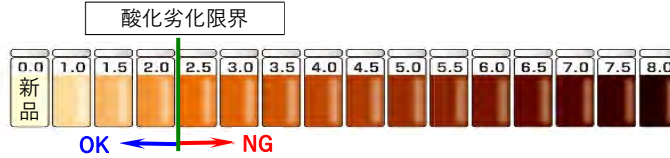


図-3.3.3 JIS K 2580(ASTM 色簡易比色法)による酸化劣化限界

劣化形態	白濁色劣化	赤褐色劣化	黒色劣化	グリース不足劣化
現場事例	水混入影響 	日射熱影響 	過度な日射熱影響 	漏出や充填影響 
			腐食が見られる	

図-3.3.4 グリース劣化の現場実態

(7) 本工法のプレート止水構造は、支圧板内に硅砂付着 ECF テンドンのシースが挿通できる止水ゴムを配置して、上からナットが接する押え板で止水ゴムを押付けて圧縮することで、支圧板下面からの止水性をより高めたものである。初めてアンカー工法に採用されたものであり、止水性が支圧板背面側でのグリースなどの充填状態に依存する、従来アンカーの支圧板背面止水構造に比べて、止水性を著しく向上させている。

図-3.3.5 にプレート止水構造の耐水圧試験装置を製作して実施した、耐水圧性能試験の試験状況と試験後の確認状況を示す。同図(b)、(c)に示すように、耐水圧試験の結果は、水圧 2.0MPa で漏水ゼロの耐水圧性を満足している。この耐水圧性能は、背面止水構造の従来 EHD アンカーに比べて、2 倍程度の性能に向上したものとなっており、プレート止水構造の優位性が確認できる。

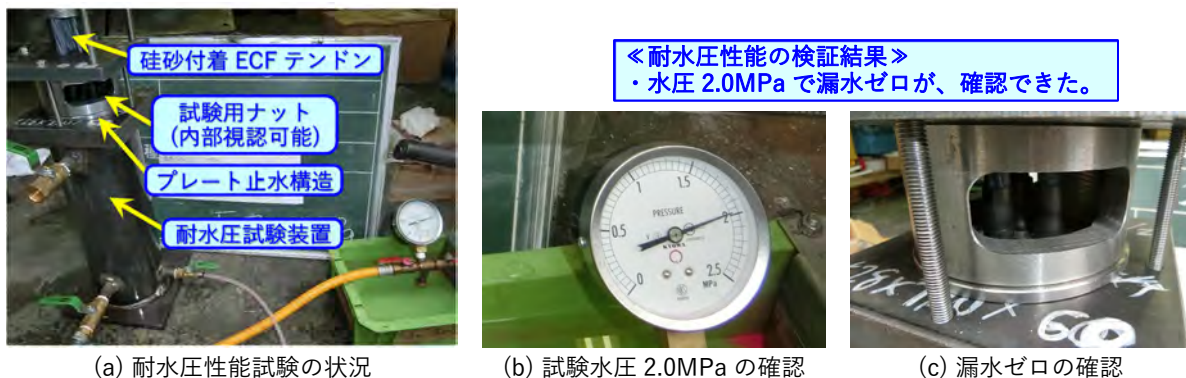


図-3.3.5 EHD アンカーHP 工法の耐水圧性能の確認

3.4 自由長

自由長は、アンカー頭部の定着具からのアンカープレストレスを、シースを利用した小摩擦損失でアンカー体に伝達する部位であり、 tendon をシース内に挿通させて、自由長グラウトから非付着状態(アンボンド)にするとともに、シース被覆効果で tendon を外部環境から保護して防食性をより向上させている。

【解説】

- (1) EHD アンカーHP 工法の自由長は、定着具からのアンカープレストレスを小摩擦損失でアンカー体に伝達するシース被覆の tendon 部位であり、支圧板+受圧体の範囲を頭部自由長 L_{fh} 、地盤内の範囲を地盤部自由長 L_{fg} という。本工法の自由長の断面と止水概念を図-3.4.1 に示す。硅砂付着 ECF tendon は、自由長部のグラウトからシースを介して隔離され、当該部でグラウトひび割れが生じない状態のため、アンカー体と異なり、当該部のグラウトも tendon に対する防食層となる。なお、シース材質は高密度ポリエチレンである。
- (2) 硅砂付着 ECF tendon 周囲は、グリース・シース・グラウトであり、tendon PC 鋼索線からはエポキシ樹脂被覆自体で 100 年耐久性の防食層であるが、これを含めて、本工法の自由長は 4 重防食構造となっている。これにより、同図(b)で示すように、自由長断面に通水できる空隙がまったく存在しないことから、tendon 自体や頭部部材のアンカー耐久性で優位となる。
- (3) 自由長は、基本的に摩擦レスとなるが、厳密に言えばシース・tendon 間には小摩擦損失が発生している。この摩擦発生因子は、自由長部位の長さや削孔曲り、削孔内の tendon 自重たわみ・tendon 回転などである。これにより、グラウト・シース固着の自由長孔内で、tendon 緊張に伴う摩擦抵抗が発生して、緊張 tendon の伸び変位が小さくなる。一般に自由長 20m 超の長尺アンカーではこの影響が明瞭になる傾向があるので留意が必要である。

削孔曲りは、最大ずれで削孔長 40m までが 1/100 程度、削孔長 40m 超が 1/70 程度である(出典：清水建設土木クォーターVol.164)。tendon 自重たわみ(tendon 軸方向緩み)は、傾角 20° 程度を超えると tendon 自重で孔軸方向すべりが生じて、軸方向に tendon がたわむことから発生するものである。tendon 回転は、アンカー体グラウトの加圧注入後のケーシング引抜き段階で、ケーシング回転での引抜き作業に伴い生じるものである。

これらのアンカー自由長でのシース・tendon 間の摩擦影響は、後述の表-4.11.2 に示すように、アンカー設計・施工上で避けられないものである。この観点から、PC 橋梁の橋桁内や PC 構造物のコンクリート型枠内などでの tendon 配置が、人工的に整列状態で実施される、tendon 長方向の摩擦影響が小さい適用分野とは、挙動が異なるので留意が必要である。

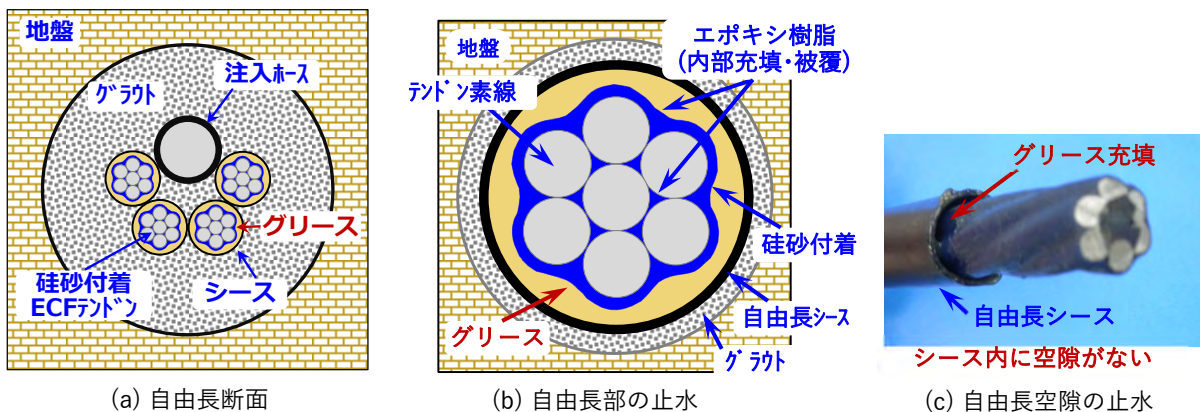


図-3.4.1 アンカー自由長の断面と止水概念

(3) アンカー体は、図-3.5.1(b)に示すように、アンカー体引張型やアンカー体圧縮型に係らず、地盤への力の伝達機構がせん断伝達になり、本釣合い式は、式(3.5.1)で表される。すなわち、テンドン作用のアンカープレストレス P_e は、テンドンとグラウトのせん断応力に対する降伏抵抗の付着強度 τ_{by} と、グラウトと地盤のせん断応力に対する降伏抵抗の摩擦強度 τ_{gy} により地盤内に伝達される。なお、アンカー体内のテンドンは、図-3.5.1(a)に示すように、テンドン見掛け周長を確保する必要性から、スペーサを使用して、所要位置に配置する必要がある。

■プレストレス P_e とアンカー体のせん断伝達の降伏状態の釣合い式

$$P_e \leq L_A \cdot \min(U \cdot \tau_{by} / f_{sb}, \pi D_A \cdot \tau_{gy} / f_{sg}) \quad \cdots(3.5.1)$$

ここに、

- ・ P_e : プレストレス
- ・ L_A : アンカー体長
- ・ U : テンドンまたは耐荷体(拘束具)の見掛け周長
- ・ τ_{by} : テンドンまたは耐荷体(拘束具)とグラウトの降伏付着強度
- ・ f_{sb} : 付着抵抗の安全係数(引張摩擦型と圧縮摩擦型では、表-4.1.5 のように本係数が異なる)
- ・ D_A : アンカー体径
- ・ τ_{gy} : グラウトと地盤の摩擦強度
- ・ f_{sg} : 摩擦抵抗の安全係数

(4) アンカー体の摩擦力伝達過程の強度バランスの関係で、グラウト内に斜めせん断ひび割れが生じることがあり、この場合は本工法のテンドンが一重防食状態に曝される。しかし、珪砂付着 ECF テンドンは、アンカー体グラウトにせん断ひび割れが発生しても、単体のエポキシ樹脂一重防食構造(保証最小厚 0.4mm)で、図-3.2.4 に示したように 100 年耐久性であることから、当該部の耐久性は十分に確保される。

(5) アンカー体のせん断伝達抵抗に伴う長さ関係は、アンカー体引張型で、グラウト付着長＝地盤摩擦長、アンカー体圧縮型拘束具の一般的な傾向で、グラウト付着長＜地盤摩擦長、アンカー体分散型の各拘束具間で、グラウト付着長＜地盤摩擦長となっており、アンカー体長は最小が 3.0m、最大が一般に 10.0m である。

アンカー体の圧縮型や分散型は、一般に、グラウト付着長(拘束具長)＜地盤摩擦長(アンカー体長)であり、拘束具長と同じアンカー体長の部分では、拘束具作用力＞アンカー体許容摩擦耐力となるので、その差分の超過力は拘束具前面側グラウトの純グラウト断面積に作用する増加圧縮応力になる。増加圧縮応力は、アンカー体グラウト圧壊に対する安全性を考慮して、無筋コンクリートの許容圧縮強度 $\sigma_{ca} (=f_{ck}/4)$ 以下とする必要がある。詳細は、後述 4.1.6 の式(4.1.1)～式(4.1.3)を参照されたい。

3.6 過荷重アンカー力の減調整

過荷重アンカー力は、豪雨や大地震などの不測事態の構造物挙動によって生じる、所要のアンカー耐力を超えた供用アンカーのプレストレスをいい、この状態が生じた場合は、構造物の変状や隣接アンカーの状態を考慮して、新規追加の増設アンカーなどを検討し、何らかの対策を実施した上で、適正に過荷重アンカー力の減調整を実施する。

【解説】

(1) 近年では、豪雨や大地震などの不測事態が増加傾向にあり、この影響を受けた場合の過荷重アンカー力に備えることが、メンテナンスを含めた経済性の観点から重要である。過荷重アンカー力は、供用アンカーのプレストレス P_0 が所要のアンカー耐力を超えた状態をいうが、特に、 $0.70T_{us}(0.821T_{ys})$ を超えた場合は、プレストレスの増加速度にもよるがアンカー力調整の迅速性を求められることもある。この理由は、既設アンカーのプレストレスが $0.90T_{ys}$ 超で抵抗力直線性がなくなって現場実態を考慮するとアンカー破断が懸念されること、かつ減調整は、初めに増加力となるナット回転可能なジャッキ力作用後での減アンカー力作業となり、実質的には $0.85T_{ys}$ 程度が減調整可能な最大プレストレスになることである。この減調整可能なプレストレス範囲は $0.82\sim 0.85T_{ys}$ で降伏耐力 T_{ys} の3%程度と狭く、これを考慮して過荷重アンカー力の減調整を計画する必要がある。

(2) アンカー定着具のくさびナット定着具は、アンカー緊張・定着作業がくさび定着で、アンカー定着が自由長依存の緊張時テンドン伸びを自由吸収できて簡便なこと、かつ、ナット回転でアンカー力調整作業が簡便なことから、施工性が特段に優れる特性がある。

本工法の定着具は、過荷重アンカー力が生じた場合の対応で、図-3.6.1 に示す減調整長30mm に設定している。これは、アンカー施工実績90%をカバー可能なアンカー自由長20m以下と、過荷重レベルが85%降伏耐力(減調整可能最大値)のアンカーを対象としたものである。

(3) 減調整を行うことで既設の過荷重アンカーを正常な状態に戻せることから、既設の過荷重アンカーの更新が不要になり、抑止力不足分のアンカーの追加増設のみで、土工構造物や橋台・岸壁などの一般構造物の安全性確保が可能になる。これにより、メンテナンスの観点から不測事態発生時の補強対策で経済性をより向上することができる。なお、図-3.6.2 に示す、本工法のナット調整のプレストレス(アンカー力)調整長 L_L は、減調整・増調整を合わせて $L_L=50\text{mm}$ 程度となっている。詳細は、表-4.8.1 を参照されたい。

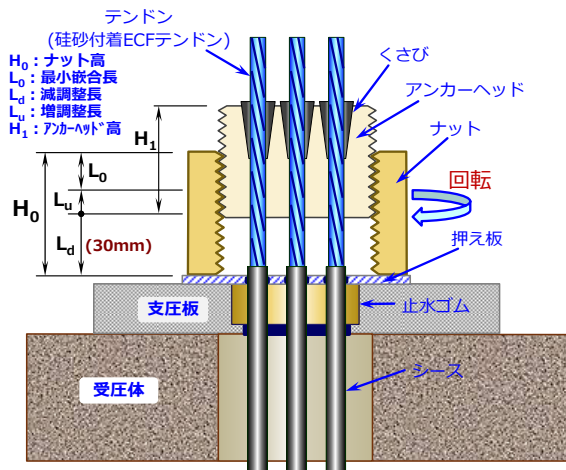


図-3.6.1 定着具の減調整の概念

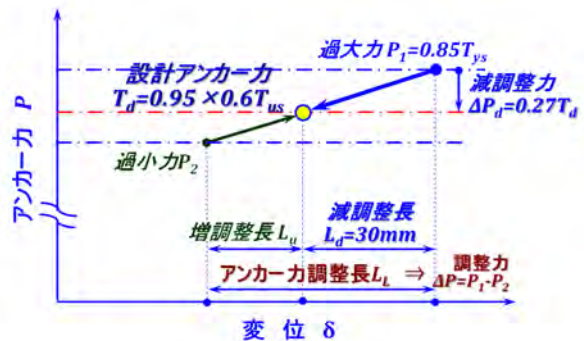


図-3.6.2 減調整のアンカー力・変位関係

3.7 従来技術との比較

本工法は、従来技術の EHD アンカー工法の長所をさらに発展させ、近年の長寿命化とメンテナンス性という新しい技術トレンドを踏まえ、より耐久性が高く、ライフサイクルコスト経済性をより優れたものとしている。従来技術との工法比較では、こうした観点を理解の上、ライフサイクルコストを含めて適正に行う必要がある。

【解説】

- (1) 本工法は、従来の EHD アンカー工法の頭部構造耐久性の最大の弱点であった頭部のグリース充填と背面止水構造をなくして、新しい高耐水圧性のプレート止水構造(特許第 6861975 号)を採用し、さらにグラウトとテンドンの降伏付着強度の高付着強度化、透明キャップ(特許第 6948658 号)とグリースレスの Ni めっき定着具(特許第 7166550 号)採用のメンテナンス性向上により、安全性・耐久性・ライフサイクルコスト経済性の優位性を図ったものである。
- (2) 本工法と従来技術の EHD アンカーとの比較を表-3.7.1 に示す。同表に示すように、本工法は、グラウトとの降伏付着強度が 1.5 倍以上と高いのでアンカー体の安全性が向上し、背面止水構造をなくしたプレート止水構造を適用していることから、頭部止水構造のアンカー防食性が優れたものとなり、かつ、グリースレスの透明キャップによりアンカー頭部調査の省力化を図ることができる。同表に示すように、建設コストと保全コストを含めたライフサイクルコストは、約 30%縮減できる。縮減効果の詳細は、後述の表-4.13.13 を参照されたい。

なお、保全段階のアンカー維持管理に必要な調査項目と調査歩掛の関係は、後述の表-6.3.3 を参照されたい。

表-3.7.1 EHD アンカーHP 工法の従来アンカー工法との比較

項目	①EHD アンカーHP 工法	②従来 EHD アンカー工法	
テンドン種類	高付着型の珪砂付着 ECF テンドン	珪砂付着 ECF テンドン	
エポキシ樹脂被覆厚	0.4~1.2mm (設計耐用年数 100 年)	同 左	
グラウトとの降伏付着強度 (普通 PC 鋼より線倍率)	1.5 倍以上	1.0 倍以上	
自由長部の空隙	グリース充填で空隙なし	同 左	
頭部構造	定着具の種類	・Ni めっき定着具(グリースレス)	・無めっき定着具(グリース充填)
	頭部止水構造 / 耐水圧	・プレート止水構造 / 2.0 MPa 以上	・背面止水構造 / 1.0 MPa 以上
	頭部キャップの種類	【4 種類】 ・透明・5 窓・下 1 窓・窓なしアルミ	【2 種類】 ・下 1 窓・窓なしアルミ
	頭部グリース充填※1	・グリースレス※2 ・グリース充填(アルミキャップ)※2	・グリース充填(背面部含む)
	頭部グリース交換 (10 年頻度で交換必要)	・グリースレス : 交換必要なし ・アルミキャップ : 交換必要あり	・交換必要あり
アンカー頭部調査項目	・グリースレス ⇒ 外観調査のみ ・グリース充填 ⇒ 外観調査 + 頭部詳細調査	【窓なしアルミキャップ】 ⇒ 外観調査 + 頭部詳細調査 + 頭部背面調査	
ドローン調査	活用可能	活用不可	
ライフサイクルコスト (建設コスト + 維持コスト)	0.67 (透明キャップ)	1.00	

(注) 1. 透明キャップ・5 窓キャップは、グリースレス仕様を原則とする。下 1 窓キャップ・窓なしアルミキャップは、グリースレスとグリース充填の両方が使用できる。

2. グリースレス仕様は、Ni めっき定着具とする。グリース充填仕様と Ni めっき定着具を組合せて、防食仕様を向上させる方法もある。

第4章 設計

4.1 設計の基本

アンカーの設計は、道路のり面・斜面などの土工構造物の防災対策や、橋台・港湾漁港岸壁・建築物などの一般構造物の補強安定対策などの、適用構造物の分野に応じた設計方針・設計条件・設計方法にもとづき、アンカー対策用の必要抑止力検討を行い、アンカープレストレスの基本原理を理解した上で、適用環境状態やアンカー体設置地盤などのアンカー設計条件を的確に把握して適正なものとなるように実施する。

【解説】

- (1) アンカーは、土工構造物や一般構造物の安定対策用途で、信頼性が高く確実な補強効果が得られ、他工法に比べて経済性が優れることから、従来から地盤関連のインフラ施設の補強対策として広く活用されている。アンカーの基本原理は、構造物不安定力となる地すべり力や地震力などによる作用荷重が、アンカープレストレスを超えない範囲で補強対象の構造物変位をゼロに保持可能なことであり、プレストレス \geq 作用荷重(外力)で構造物の変位ゼロを保つため、安全性・使用性・修復性から本機能を最大に活用することが重要である。
- (2) アンカーの設計は、補強対象の構造物とアンカーが安全性・使用性・修復性・施工性・ライフサイクルコスト経済性・保安全管理性(維持管理性)などで適正なものとする必要がある。
- (3) アンカー設計手順を、図-4.1.1 に示す。設計手順は、初めに適用条件設定を行い、構造物補強安定で必要とされる必要抑止力を求める。土工構造物では、すべり土塊の剛体安定のすべり面解析から計画安全率が確保可能な補強力を必要抑止力 P_r (kN/m)という。橋台・岸壁などの一般構造物では、滑動・転倒・支持力の直接基礎構造物の剛体安定などを確保可能な必要水平力 P_h や必要鉛直力 P_v (kN/m)から、アンカー傾角を考慮して求めたアンカー方向の補強力を必要抑止力 P_r (kN/m)という。なお、杭基礎構造物の場合は、杭の各種の許容耐力を満足できる必要抑止力 P_r (kN/m)を求める。
- (4) 設計アンカー力 T_d (kN/本)は、アンカー規格を設定するものであり、土工構造物では、必要抑止力にすべり面でのアンカー効果、およびアンカーの水平間隔と段数を考慮して求め、一般構造物では、アンカーの水平間隔と段数を考慮して求める。
- (5) 次の設計段階では、アンカー規格設定・アンカー体長検討・自由長検討・受圧体検討を実施する。

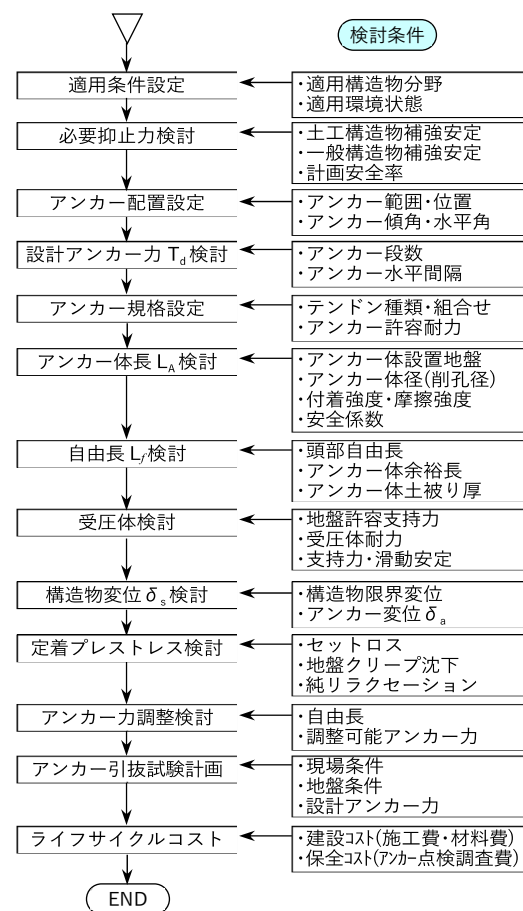


図-4.1.1 アンカー設計手順

- (6) 構造物変位 δ_g 検討は、設計アンカー力よりも定着プレストレスが小さい場合に生じる、設計供用期間の作用荷重による変位を求めるもので、アンカー変位 δ_a から求める。構造物変位とアンカー変位の関係は、土工構造物の地表構造物変位 δ_g で、 $\delta_g = \delta_a / \cos \beta$ 、一般構造物の水平変位 δ_x で、 $\delta_x = \delta_a / \cos \alpha$ と表され、アンカー変位と余弦逆数の積に比例する。ここに、アンカー傾角 α 、変位方向(すべり)角 θ 、合成角 $\beta = \alpha + \theta$ である。なお、アンカー自由長が異なる設計の場合は、後述の 4.6 に示すように、プレストレス $P_e < \text{作用荷重 } P_0$ の条件で、短い自由長側にアンカー力負荷が大きくなることから、これを照査する必要がある。
- (7) 定着プレストレス P_i 検討は、アンカー定着以降のプレストレス低下の要因となる、設計供用期間にわたる地盤クリープ沈下とテンドンの純リラクセーションを考慮して、定着段階でのプレストレス上越し量を求める。また、本工法での初期緊張力 P_i は、限界緊張力を上限値とし、セットロスとナットでの増プレストレスを考慮して、定着プレストレス P_i をもとに求める。
- (8) アンカー力調整検討は、本工法が過荷重アンカー力の減調整長を 30mm と設定していることから、実際の設計自由長を用いてアンカー力の調整幅を参考に求めるものである。なお、アンカー力増加側の増調整長は、アンカー規格により 10~25mm 程度となっている。これより大きい増調整長が必要な場合は、シム(shim：すき間詰め材)設置で調整が可能である。
- (9) アンカー引抜試験計画は、引抜試験が必要と判断される場合に検討を行う。引抜試験の必要性は、地盤調査結果を設計に反映させた際のアンカー体地盤の信頼性・確信度の程度で判断する。
- (10) ライフサイクルコストは、建設段階と設計供用期間の保全段階(維持管理)を含めたコストであり、この最適化により、同期間を通じた社会インフラ施設の費用対効果がもっとも高くなる経済的な設計を講じる必要がある。こうした観点から、保全段階のアンカー維持管理などの点検調査や耐久性評価による更新時期などの合理化を含めて、ライフサイクルコスト(LCC)の最小化程度を把握し、経済性を検討する。

なお、従来アンカー工法の保全段階の調査コストは、設計供用期間 50 年で定期調査 10 回の条件設定で、表-4.13.13 に示すように建設段階コストの 50%程度を占める規模に達し、設計上の重要ポイントになるので、これに留意が必要である。

4.1.1 アンカープレストレスの効果

アンカーのプレストレスは、土工構造物や一般構造物の安定を目的にした、アンカー定着直後からの設計供用期間で、テンドンおよび構造物に導入されている力であり、作用荷重がプレストレスを超えない限り、構造物の変位をゼロに保持できる効果がある。作用荷重がプレストレスを超えた場合は、アンカーばね剛性の小さい抵抗のため、構造物に比較的大きな変位が生じることから、その変位量を求めて、構造物および隣接施設への影響を照査する必要がある。

【解説】

- (1) 構造物のプレストレスを用いた補強対策の基本原則の概念を、図-4.1.2 に示す。同図に示すように、プレストレス $P_e \cong$ 作用荷重 P_0 では物体が持上らず変位ゼロであり、 $P_e < P_0$ では物体が持ち上がり、ばね抵抗状態になって比較的大きな変位が生じるので、設計では留意が必要である。
- (2) 図-4.1.3 に作用荷重 P_0 ・変位 δ の関係でのプレストレス P_e 、残存引張力 P_{er} 、超過力 ΔP_a 、増加変位 δ_a の関係性を示す。アンカーのリフトオフ試験は、同図の挙動を利用しており、同試験時点で生じているプレストレス P_e (=残存引張力 P_{er})を求めるものである。同図に示すように、作用荷重 P_0 の増加でアンカー力が増加して、プレストレス超過の残存引張力 P_{er} によりプレストレス P_e との差の超過力 ΔP_a が生じた場合には、簡易式で、ばね剛性 $K=A \cdot E/L_f$ の逆数に比例する増加変位 δ_a がアンカーに生じることになる。構造物変位 δ_s は、アンカー変位 δ_a と $1/\cos \beta$ の積(= $\delta_a/\cos \beta$)で表される。ここに、 β は合成角 $\beta = \alpha + \theta$ であり、アンカー傾角 α と変位方向(すべり)角 θ の和で表される。

なお、後述の式(4.11.10)には、ばね剛性の厳密式を示し、図-6.3.4 には、リフトオフ試験の試験結果事例を示しているので、必要に応じて参照されたい。

- (3) 図-4.1.4 にプレストレス・残存引張力の経時変化と変位発生との関係を示す。プレストレス P_e は、アンカー施工での初期緊張力 P_i と定着プレストレス P_t を経て、受圧体背面の地盤クリープ沈下やテンドンの純リラクセーションの影響により、徐々に低減する。設計供用期間に、例えば、地震などの変動作用による作用荷重 P_0 を受けて、アンカーにプレストレス P_e を超過する力 ΔP_a が作用すると、それに伴うアンカー変位 δ_a が発生する。地震終了後に構造物に残留変位 δ_{sr} が生じた場合は、アンカー力が増加した残存引張力 P_{er} 状態になるので、本アンカー力はリフトオフ試験などで確認してアンカーの健全性を照査する必要がある。

また、同図から分かるように、アンカーのプレストレス P_e が設計アンカー力 T_d よりも小さい状態のケースでは、設計想定通りの作用荷重でアンカーに設計アンカー力 T_d が発生すると、その超過力 ΔP_a で残留変位 δ_{ar} が生じる。この場合の設計では、当該変位を事前に設計確認して、構造物周辺などへの変位影響を照査する必要がある。

超過力 ΔP_a (kN) は、アンカー方向の残留変位 δ_{ar} (mm) から、 $\Delta P_a = \delta_{ar} \cdot (A \cdot E) / L_f$ で求まるので、変位挙動が明らかであれば、簡易的にある程度の逆算も可能である。ここに、 A : アンカー断面積(mm²)、 E : アンカー弾性係数(=0.195MN/mm²)、 L_f : 自由長(m)である。正確には、リフトオフ試験でのアンカー力確認を推奨する。

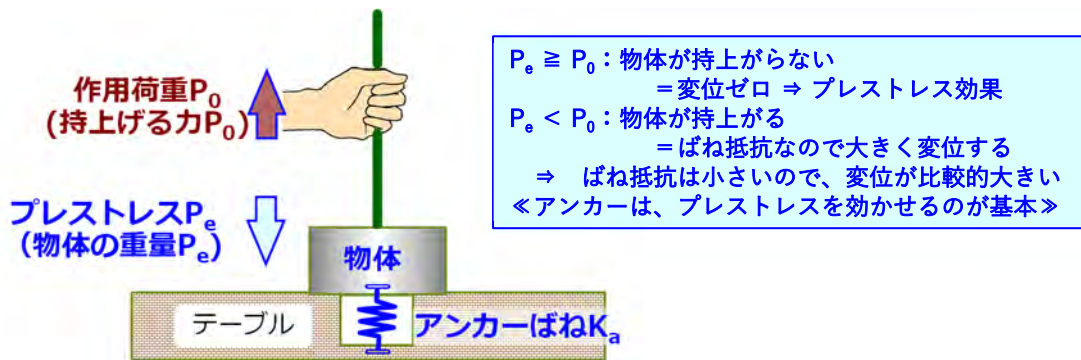


図-4.1.2 アンカープレストレスの基本原理

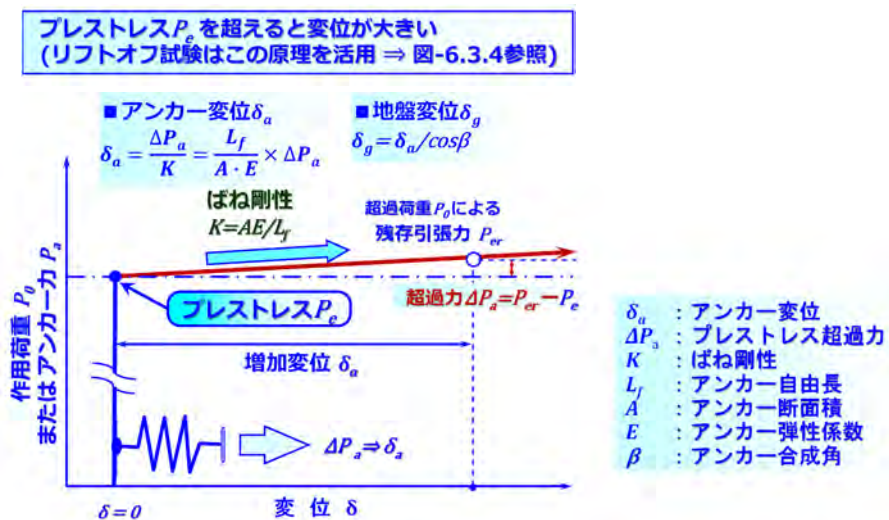
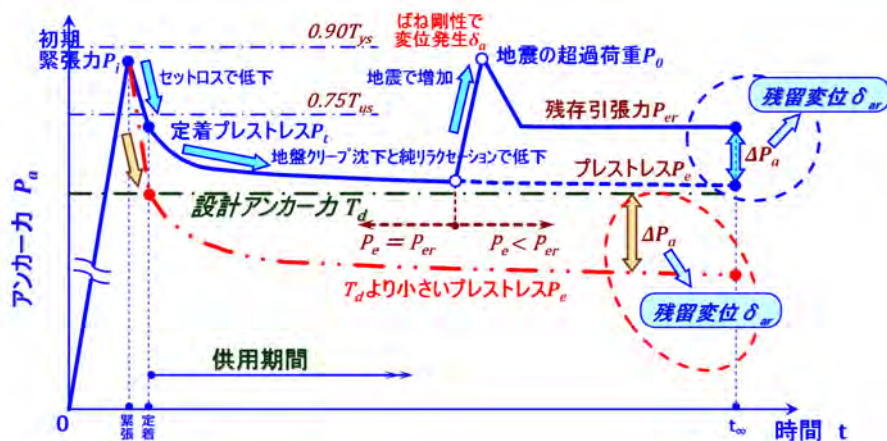


図-4.1.3 プレストレスと超過力による変位



- ☆設計上の課題☆
- ① プレストレス超過力 ΔP_a の発生は、アンカー構造体に残留変位 δ_{ar} が生じる
 - ② アンカー自由長が異なる場合は、短い側のアンカー力が大きく増加する

図-4.1.4 プレストレス・残存引張力の経時変化と変位発生の関係

4.1.2 設計の限界状態

アンカー設計の限界状態は、アンカープレストレスが設計供用期間で永続作用することから、テンドンや構成構造部材などに部分的な損傷がなく、プレストレス支持能力が確保された状態の十分な耐荷性能を有した安全なものとする。テンドンや構成構造部材、および補強対象構造物コンクリートの耐荷性能などは、この限界状態を考慮して、種々の構造物適用分野の基準や示方書・指針・要領などに準拠して設定する。

【解説】

- (1) アンカー設計は、設計供用期間でのプレストレスの永続作用を基本にした、PC鋼材の特性や設計方法が詳述されている、土木学会コンクリート標準示方書 規準編・設計編と道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋・コンクリート部材編などを基本にして、アンカー配置などの地盤条件に係る箇所はグラウンドアンカー設計・施工基準、同解説などの参考図書を用いて行うのが一般的である。土工構造物や一般構造物の安定化のためのアンカー必要抑止力検討は、各適用分野の基準などに則して実施する。
- (2) アンカーテンドンの許容耐力は、土木分野は値が同一になるコンクリート標準示方書、道路橋示方書およびグラウンドアンカー設計・施工基準、港湾分野は港湾の施設の技術上の基準・同解説 H30、漁港分野は漁港・漁場の施設の設計参考図書 2015、建築分野は建築地盤アンカー設計施工指針・同解説と建築基準法施行令をもとに求めて、アンカー規格を設定する。
- (3) アンカー構成の構造部材は、主要なものが鋼製部材であることから、道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋・鋼部材編に基づいて、材料特性値、荷重係数、調査・解析係数、部材・構造係数、抵抗係数などを設定して検討する。
- (4) 補強対象構造物のコンクリートの耐力などは、構造物適用分野の基準や示方書・指針・要領などに準拠することを基本とする。補則が必要な場合は設計方法などが詳述されている、土木学会・コンクリート標準示方書 設計編、道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋・コンクリート部材編などを参考にして条件設定や設計検討を行う。

4.1.3 設計の環境状態

アンカーは、本設アンカーの設計供用期間をもとに、アンカー設置地盤や塩害環境、大気環境などの鋼材腐食環境を考慮して、適切な耐久性能が確保できる適正な防食構造を選定する。

【解説】

- (1) アンカーの防食構造は、一般的な環境で防食構造Ⅱ(一般環境)、塩害環境や酸性土環境は高腐食環境となることから腐食環境Ⅲを適用する。防食構造Ⅲは、防食構造Ⅲ(塩害環境)と防食構造Ⅲ(酸性土環境)の2種類がある。アンカーテンドンや構成部材は、対応する腐食環境から鋼材を遮断できる適正な防食手段を講じる必要がある。特に、鋼材腐食は隙間腐食・応力腐食・孔食などの局部腐食作用が腐食程度のおもな因子となっていることから、この点に留意する。

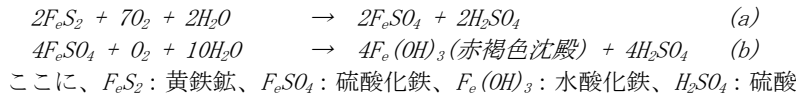
アンカーの適用環境と防食構造

適用環境	防食構造	摘要
一般環境	防食構造Ⅱ(一般環境)	一般的な環境
塩害環境	防食構造Ⅲ(塩害環境)	海岸近傍など
酸性土環境	防食構造Ⅲ(酸性土環境)	泥岩などの酸性土のり面

- (2) 本工法の珪砂付着 ECF テンドンは、エポキシ樹脂被覆厚 0.4mm～1.2mm(JSCE-E141-2018、平均厚 0.6mm)で、被覆樹脂がピンホールゼロで、素線間の隙間がなく無通水・無酸素で腐食因子が作用せず、塩害環境や酸性土などの過酷な適用環境で十分な耐久性・耐食性が確認されたことから、土木学会規準で 100 年耐久性を有すると規定されたものである。これにより、珪砂付着 ECF テンドンは、温泉地・火山性地盤などの高温の地熱環境を除いた、一般環境や塩害環境、酸性土環境(pH=2.0～5.0)に適用可能である。
- (3) 構成部材の頭部キャップのアルミニウムは pH=4.0 以下の酸に溶けやすく留意が必要である。支圧板に使用する亜鉛めっき HDZT77 は pH=6.0 以下の酸に溶けやすく、塩分とも反応しやすいので酸性土や海岸近傍などでの塩害環境に留意が必要である。我が国では、黄鉄鉱含有土(泥岩・シルト岩・頁岩・火砕岩・火山岩・片麻岩・片岩・蛇紋岩など)が広く分布していることから、黄鉄鉱による硫酸生成の影響を受けて、切土後にのり面が pH=2.0～5.0 の酸性土を呈するので、留意が必要である。
- (4) 防食構造Ⅲ(塩害環境)は、海上・海岸、海岸近傍や凍結防止剤散布地域の、道路橋示方書の塩害対策 S 区分と I 区分に該当する塩害環境のアンカー部材で、飛来塩分影響による亜鉛めっきやアルミニウムの消失が大きくなることから、この防食対策に、アルミキャップにフッ素樹脂コート、支圧板にアルミナイズ処理を行うものである。
- (5) 防食構造Ⅲ(酸性土環境)は、のり面・斜面での pH=2.0～5.0 の酸性土環境に適用するものであり、アルミキャップと支圧板にフッ素樹脂・エポキシ樹脂を用いて3重塗装処理などを行うものである。なお、酸性土環境では、めっき処理の鋼製受圧板やコンクリート製受圧板は腐食・劣化が生じやすいことから、FFU 受圧板などの樹脂製受圧板の使用が推奨される。
- (6) 我が国の塩化物イオンの影響地域は、図-4.1.5 に示すように、塩害影響地域や凍結防止剤散布地域などの塩分の影響地域が広範囲に存在するので、アンカーでは、本環境での耐久性能に対する配慮が必要となる。塩害影響地域は、PC 鋼材が使用される道路橋示方書・同解説Ⅲで対策区分が記され、海岸線からの距離で規定されている。同示方書では、S 区分・I 区分では何らかの対策が講じられることから、耐久性能の維持を考慮すると、アンカーに対しても同様に適正な対策が必要と考える。また、凍結防止剤散布地域も同図に示すように寒冷地や

山岳地に分布しており、同様な対策が必要となる。

(7) 我が国には黄鉄鉱などの硫化物を含む黄鉄鉱含有土(泥岩・シルト岩・頁岩・火砕岩・火山岩・片麻岩・片岩・蛇紋岩など)の地域がある程度存在しており、当該地での切土のり面では、酸性水が発生することから、アンカーは本環境での耐久性に配慮が必要となる。本反応式は次の通りであり、切土のり面などでの黄鉄鉱が空気中の酸素と地表水に反応して、式(a)の一次反応や式(b)の二次反応することで硫酸が生成されるものである。



酸性土環境地域(pH2.0~5.0)では、地山中に含まれる硫化物を含む黄鉄鉱が切土によってのり表面に出現して、ここで黄鉄鉱・空気・浸出地下水や降雨が上述のように反応することで、酸性水やこの蒸発による酸性水蒸気が発生するので留意する。

塩化物イオンの影響地域

① 我が国は、**塩害影響地域**や**凍結防止剤散布地域**などの塩化物イオンの影響地域が広範囲に存在するので、アンカーの耐久性では考慮が重要

② **塩害影響地域** ⇒ 海岸線からの距離で規定。沖縄県がもともと影響が大きく、次に日本海側
太平洋側は海岸から200mの範囲で、影響地域は限られる

③ **凍結防止剤散布地域** ⇒ 散布剤は塩化ナトリウムNaClを使用
気温-8℃以上で散布される。北海道・東北・北陸でもおにも使用。山間部の道路のり面では、散布頻度が高いため、アンカーの耐久性に注意が必要

塩害の影響地域 道路橋示方書・同解説Ⅲ

S, I 区分: 道路橋では鉄筋かぶりの増厚に加え、塗装鉄筋やコンクリート塗装等を併用

地域区分	地域	海岸線からの距離	塩害の影響度合いと対策区分	
			対策区分	影響度合い
A	沖縄県	海上部および海岸線から20mまで	S	影響が激しい
		100mを超えて300mまで	I	影響を受ける
		上記以外の範囲	II	影響を受ける
B	右記の地域	海上部および海岸線から20mまで	S	影響が激しい
		100mを超えて300mまで	I	影響を受ける
		300mを超えて500mまで	II	影響を受ける
		500mを超えて700mまで	III	影響を受ける
C	上記以外の地域	海上部および海岸線から20mまで	S	影響が激しい
		20mを超えて50mまで	I	影響を受ける
		50mを超えて100mまで	II	影響を受ける
		100mを超えて200mまで	III	影響を受ける

■地域区分B

① 北海道のうち、室蘭支庁の札文市・利尻富士町・利尻町・雄内市・雄弘村・雄勝町、留萌支庁・石狩支庁、後志支庁、十勝支庁、道庁支庁の松前町

② 青森県のうち、五戸町、今別町、平野村、三厩村(東津軽郡)、北津軽郡、西津軽郡、大間町、佐井村、弘前市村(下北郡)

③ 秋田県、山形県、新潟県、富山県、石川県、福井県



図-4.1.5 塩化物イオンの影響地域

4.1.4 アンカー特性

本工法のアンカー特性は、JIS G 3536 規定の PC 鋼より線を組合せた極限耐力・降伏耐力、土木学会規準 JSCE-E141-2018 規定のエポキシ樹脂被覆厚 0.4mm～1.2mm(平均厚 0.6mm)による 100 年耐久性および規定リラクセーションによる純リラクセーション、グラウトとの降伏付着強度が普通 PC 鋼より線の 1.5 倍以上という、特徴的な特性を有している。

【解説】

(1) 本工法アンカーの力学的な設計用特性を表-4.1.1 に示す。同表に示すように、アンカー規格は、珪砂付着 ECF12.7 シリーズが EHD5-1H～EHD5-12H、珪砂付着 ECF15.2 シリーズが EHD6-1H～EHD6-14H であり、各アンカー規格に応じた極限耐力 T_{us} 、降伏耐力 T_{ys} 、鋼線断面積 A 、見掛け周長 U 、最小アンカー体径 D_A を有している。

表-4.1.1 EHD アンカーHP 工法の力学的な設計用特性

アンカー規格	極限耐力	降伏耐力	鋼線断面積	見掛け周長	最小アンカー体径
—	T_{us} (kN)	T_{ys} (kN)	A (mm ²)	U (mm)	D_A (mm)
EHD5-1H	183	156	98.71	39.9	φ 90
EHD5-2H	366	312	197.4	79.8	φ 90
EHD5-3H	549	468	296.1	119.7	φ 90
EHD5-4H	732	624	394.8	145.7	φ 90
EHD5-5H	915	780	493.6	145.7	φ 90
EHD5-6H	1,098	936	592.3	203.3	φ 115
EHD5-7H	1,281	1,092	691.0	206.6	φ 115
EHD5-8H	1,464	1,248	789.7	206.6	φ 115
EHD5-9H	1,647	1,404	888.4	263.4	φ 135
EHD5-10H	1,830	1,560	987.1	263.4	φ 135
EHD5-11H	2,013	1,716	1,085.8	263.4	φ 135
EHD5-12H	2,196	1,872	1,184.5	263.4	φ 135
EHD6-1H	261	222	138.70	47.8	φ 90
EHD6-2H	522	444	277.4	95.5	φ 90
EHD6-3H	783	666	416.1	143.3	φ 90
EHD6-4H	1,044	888	554.8	191.0	φ 115
EHD6-5H	1,305	1,110	693.5	206.8	φ 115
EHD6-6H	1,566	1,332	832.2	206.8	φ 115
EHD6-7H	1,827	1,554	970.9	251.7	φ 135
EHD6-8H	2,088	1,776	1,109.6	251.7	φ 135
EHD6-9H	2,349	1,998	1,248.3	251.7	φ 135
EHD6-10H	2,610	2,220	1,387.0	320.8	φ 146
EHD6-11H	2,871	2,442	1,525.7	320.8	φ 146
EHD6-12H	3,132	2,664	1,664.4	320.8	φ 146
EHD6-13H	3,393	2,886	1,803.1	357.1	φ 165
EHD6-14H	3,654	3,108	1,941.8	357.1	φ 165

- (注)1. アンカー弾性係数 E の設計用値は、0.195MN/mm²(道路橋示方書)を使用する。
 2. 最小アンカー体径は、施工上でアンカー tendon が共上りしない、加工 tendon とケーシングカップリング内径の空余裕 10mm を見込んだ、最小に必要なアンカー体径を示したものである。これは削孔ビット公称径の削孔径と同一である。削孔外へのグラウト逸失防止の自由長バックer設置などの設計条件では、同直径を含む以上のものが設計アンカー体径に必要なことがあるので、留意する。

(2) 本工法アンカーの設計供用期間での純リラクセーション特性を図-4.1.6 に示す。珪砂付着 ECF ストランドの純リラクセーション率 γ_0 は、以下のように表される。ここに、 $\kappa = P_t/T_{us}$ は、定着プレストレス P_t と極限耐力 T_{us} の比であり、最大 κ は、 $0.75T_{us}$ ($0.88T_{ys}$) が限界値である。

$$\gamma_0 = 2.0 \quad (\kappa \leq 0.50)$$

$$\gamma_0 = 160 \cdot \kappa (\kappa - 1) + 42 \quad (0.50 \leq \kappa \leq 0.75)$$

なお、純リラクセーション率 γ_0 は、プレストレスの長期的な低下量を求める際に使用する。

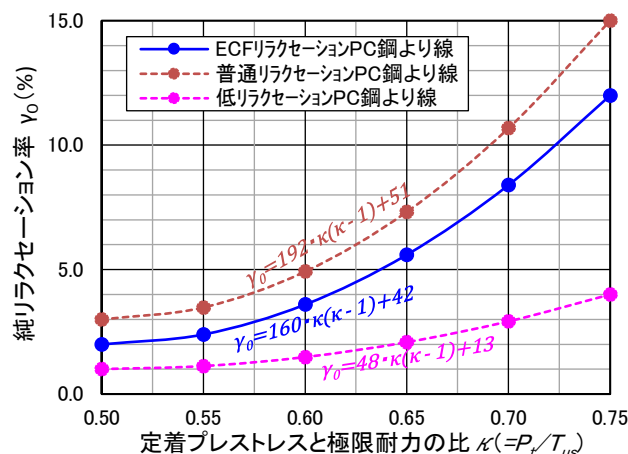


図-4.1.6 PC 鋼より線の純リラクセーション

(3) 本工法アンカーの珪砂付着 ECF テンドンと普通 PC 鋼より線のグラウトの降伏付着強度 τ_{by} の付着試験概念と同試験結果を図-4.1.7 に示す。同図(b)に示すように、珪砂付着 ECF テンドンは、 $\tau_{by} = 6.68 \text{ N/mm}^2$ で、普通 PC 鋼より線の $\tau_{by} = 3.51 \text{ N/mm}^2$ に比べて、約 2 倍程度である。設計で普通 PC 鋼より線の 1.5 倍の値を用いても十分な安全性を有することが分かる。グラウト強度 $f'_{ck} = 24 \text{ N/mm}^2$ の付着強度は、供試体グラウト強度を考慮した換算係数が $(31.8/24)^{2/3} = 1.21$ となることから、珪砂付着 ECF テンドンでは $\tau_{by} = 6.68/1.21 = 5.52 \text{ N/mm}^2$ になる。

なお、アンカー引抜試験などの設計で使用する珪砂付着 ECF テンドンの降伏付着強度の保証値 τ_{by0} ($f'_{ck} = 24 \text{ N/mm}^2$) は、試験値 $\tau_{by} = 6.68 \text{ N/mm}^2$ を試験安全係数 $f_{sbt} = 1.25$ と供試体グラウト強度を考慮した換算係数 1.21 の積で除して、降伏付着強度保証値 $\tau_{by0} = 4.41 \text{ N/mm}^2$ とする。一般式で表すと、 $\tau_{by0} = 0.530 f'_{ck}{}^{2/3}$ となる。一般の普通 PC 鋼より線は、 $\tau_{by0} = 0.210 f'_{ck}{}^{2/3}$ である。

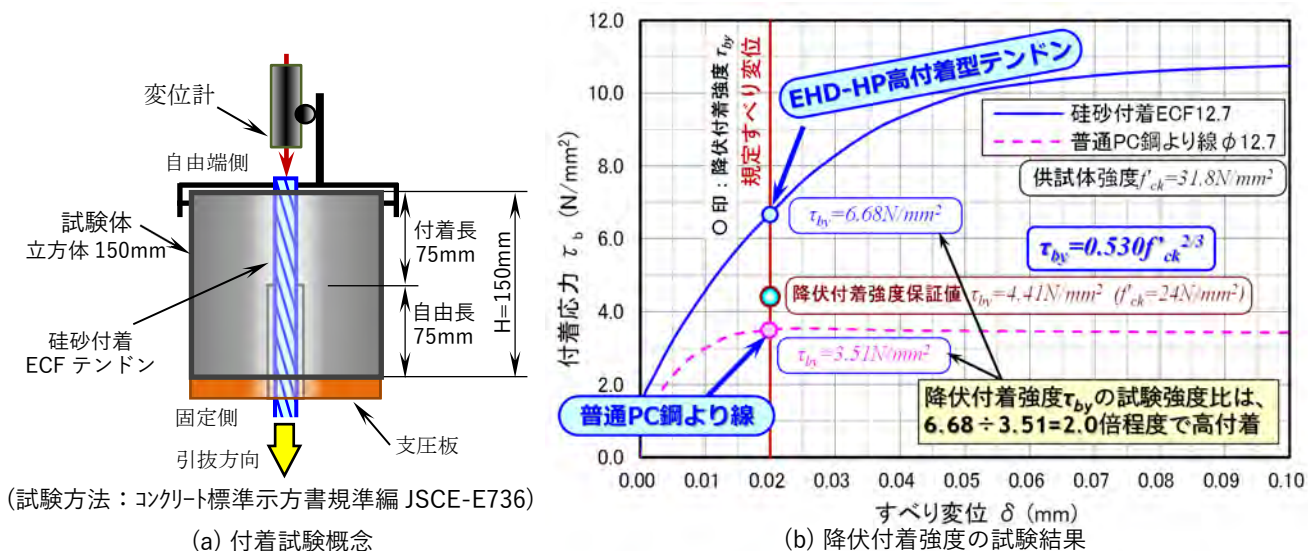


図-4.1.7 珪砂付着 ECF の PC 鋼より線と普通 PC 鋼より線の降伏付着強度 τ_{by}

4.1.5 アンカー許容耐力

アンカーの許容耐力は、アンカー極限耐力またはアンカー降伏耐力をもとに、アンカーの適用構造物分野の限界状態に応じて設定された、所要の安全性を有するものとし、アンカー規格は、許容耐力が設計アンカー力を上回るように選定する。おもな適用構造物分野は、土木分野の土工構造物・一般構造物、港湾分野の港湾構造物、漁港分野の漁港構造物、建築分野の建築構造物である。

【解説】

(1) アンカーの許容耐力は、表-4.1.2 に示すように、アンカーの適用構造物分野でアンカー極限耐力またはアンカー降伏耐力から設定されている。これをもとに、アンカー1本当りの許容耐力 T_{as} が設計アンカー力 T_d を上回るようにアンカー規格を選定する。土木のレベル1地震とレベル2地震は、おもに橋台などの一般構造物に使用するもので、レベル1地震はしばしば発生地震動作用であることから、供用性と修復性・保安全管理性を考慮して長期の限界状態 1(性能 1)の許容範囲 $0.6T_{us}$ としている。

ここで、各適用分野のレベル2地震の許容耐力は、PC鋼より線の $0.9T_{ys}$ ($0.77T_{us}$) 超が、変形性の弾性限界を超えてプレストレス維持性能がなくなる領域であり、この場合にアンカー修復性が失われてアンカー更新が必要なことから、プレストレス維持性能限界である $0.9T_{ys}$ を上限値と設定している。また、 $0.95T_{ys}$ は、経験的に現場施工のばらつきでアンカー破断が生じる限界となるものであることから、ここでは、これも考慮してやや余裕 0.05 を見込み $0.90T_{ys}$ 超の値は採用しないこととする。

表-4.1.2 構造物分野のアンカー許容耐力 T_{as}

適用分野	長期 ^{※5} (永続作用または常時)	レベル1地震 ^{※5} (変動作用または中小地震)	レベル2地震 ^{※5} (偶発作用または大地震)
土木 ^{※1}	$0.6T_{us}$ $\min[0.60T_{us}, 0.75T_{ys}]^{※9}$	$0.6T_{us}^{※7}$ $\min[0.60T_{us}, 0.75T_{ys}]^{※9}$	$0.9T_{ys}^{※7}$ $\min[0.80T_{us}, 0.90T_{ys}]^{※9}$
港湾(H30) ^{※2}	$0.5T_{ys}$	$0.6T_{ys}$	$0.9T_{ys}^{※8}$
漁港(2015) ^{※3}	$T_{us}/3.8$	$T_{us}/2.5$	$T_{us}/2.5$
建築 ^{※4}	$0.8T_{ys}$ $\min[0.70T_{us}, 0.80T_{ys}]^{※10}$	$0.9T_{ys}^{※4}$	$0.9T_{ys}^{※4,9}$

- (注)1. 地盤工学会：JGS4101 グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説(2012年)
 2. 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説(H30年)のタイワイヤーを適用
 3. 水産庁：漁港・漁場の施設の設計参考図書(2015年)のタイワイヤーを適用
 4. 日本建築学会：建築地盤アンカー設計施工指針・同解説(2018年)。なお、レベル2地震は、建築基準法施行令第八十条の二第二号規定に則して設定している。
 5. 長期：死荷重 D・プレストレス PS・土圧 E・活荷重 L・温度変化影響 TH などの永続作用と変動作用の荷重の負荷状態(土木の許容耐力は、橋梁と同様に、活荷重による疲労耐力を考慮したものである。)
 レベル1地震：しばしば発生地震動による地震力 EQ の負荷状態
 レベル2地震：発生は極めて稀であるが甚大影響の地震動による地震力 EQ の負荷状態
 6. 記号定義は、次の通りである。
 T_{us} ：アンカー極限耐力、 T_{ys} ：アンカー降伏耐力
 7. 上記1.の基準は、地震時許容耐力でレベル1とレベル2の分類がなく、レベル1地震はしばしば発生地震動なので、長期(限界状態 1：性能 1)と同一にし、供用性・修復性・保安全管理性を考慮したものである。
 8. アンカー許容耐力 T_{as} の上限値は、プレストレス緊張用材料(PC鋼より線を用いた tendon)のプレストレス維持性能限界である $0.9T_{ys}$ と設定している。
 9. PC鋼より線は、 $0.60T_{us} = \min[0.60T_{us}, 0.75T_{ys}]$ と $0.90T_{ys} = \min[0.80T_{us}, 0.90T_{ys}]$ がそれぞれ最小となる。
 10. PC鋼より線は、 $0.80T_{ys} = \min[0.70T_{us}, 0.80T_{ys}]$ が最小となる。

(2) 図-4.1.8 は、各適用分野の長期の許容耐力レベルとアンカー力比($\kappa = P_e/T_{us}$)～伸びひずみ関係を示している。同図より、土木に比べて、港湾や漁港は余裕度がやや大きく、建築のものは建築基準法施行令(長期 $\min[0.70T_{us}, 0.80T_{ys}]$ 、短期 $0.9T_{ys}$)に則する必要がある、値はやや大き目になっている。

表-4.1.3 は、おもにプレストレスに関するベース基準の土木学会コンクリート標準示方書をもとに、アンカー材料特性・施工状態から設定されるプレストレス(アンカー力)の上限を示したものであり、テンドン緊張中の上限値で $P_{Mt}=0.90T_{ys}$ 、PC 鋼より線を用いたテンドンの純リラクゼーションからの上限値で $0.75T_{us}$ ($0.88T_{ys}=1.25 \times 0.60T_{us}$)である。なお、アンカー力減調整限界 $0.85T_{ys}$ の設定は、アンカー力調整用のナットを支圧板から浮かせてナット拘束を解放し、回転させるための限界値である。これにより、テンドン緊張限界 $P_{Mt}=0.90T_{ys}$ までのアンカー力余裕 $0.05T_{ys}$ の確保ができて、減調整が実施可能になる。

$0.70T_{us}$ ($0.82T_{ys}$)は、コンクリート標準示方書や道路橋示方書・同解説で、変動作用・定着後などで、PC 橋梁の使用性と防食耐久性の確保用に設定されている。 $0.60T_{us}$ ($0.704T_{ys}$)は、PC 鋼より線を用いたテンドンの疲労試験 200 万回の振幅下限値に設定されているものであり、疲労耐力を表している。なお、疲労試験 200 万回の振幅上限値は $0.70T_{us}$ である。

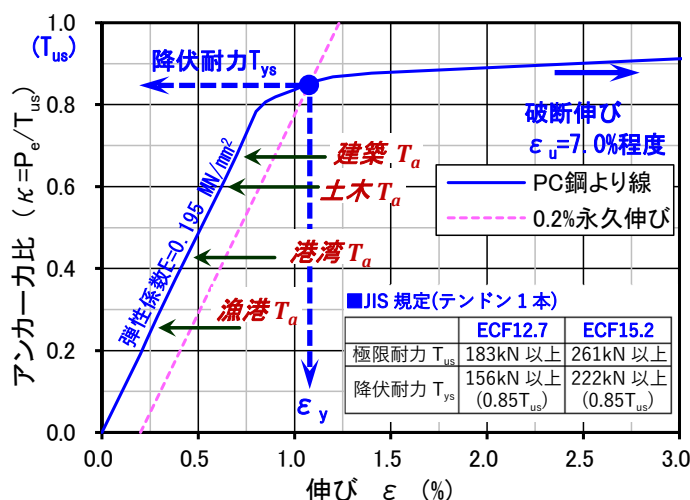


図-4.1.8 アンカー許容耐力とアンカー力比～伸びひずみ関係

表-4.1.3 アンカー材料特性・施工状態でのプレストレス(アンカー力)の上限

アンカー状態	極限耐力 T_{us} に対する係数	降伏耐力 T_{ys} に対する係数	摘要
② テンドン破断限界	$0.81T_{us}$	$0.95T_{ys}$	・アンカー現場施工での経験的設定値
① テンドン緊張中※1※2※3 【テンドン限界緊張力 P_{Mt} 】	$0.77T_{us}$	$0.90T_{ys}$	・適性試験・確認試験などを含むジャッキ緊張作業中のテンドン緊張力限界 ・テンドン弾性変位限界
② リラクゼーション※2 【限界プレストレス P_L 】	$0.75T_{us}$ ($1.25 \times 0.60T_{us}$)	$0.88T_{ys}$	・テンドンの純リラクゼーション上限値 ・アンカー定着直後のプレストレス(数カ月で $0.70T_{us}$ 以下に低下)
③ アンカー力減調整限界	$0.725T_{us}$	$0.85T_{ys}$	・減調整用ナット浮き確保の限界値
④ 変動作用※2、定着後※2※3 【長期耐久限界 P_{LE} 】	$0.70T_{us}$	$0.82T_{ys}$	・活荷重変動作用支配状態のない、使用性と防食耐久性の限界値 ・疲労試験 200 万回振幅上限値
⑤ 疲労耐久限界 P_{LF} ※2※3	$0.60T_{us}$	$0.704T_{ys}$	・活荷重変動作用支配状態の疲労耐久性の限界値 ・疲労試験 200 万回振幅下限値

(注)1. 地盤工学会：JGS4101 グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説(2012 年)

2. 土木学会：コンクリート標準示方書設計編(2017 年)

3. 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋・コンクリート部材編(H29 年)

(3) 港湾の許容耐力は、「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成 30 年」の性能設計法のタイワイヤーの部分係数から許容耐力を設定したものであり、その関係は表-4.1.4 に示す通りである。同基準は、平成 11 年基準に比べて、安全係数比で 1.61 倍程度の変化が見られ、部分係数法採用の影響と考えられる。

(4) 漁港の許容耐力は、「漁港・漁場の施設の設計参考図書 2015 年」によるものであり、平成 11 年港湾の施設の技術上の基準・同解説と同じ許容応力度設計法による矢板式係船岸のタイワイヤーの許容耐力で、長期(常時)： $T_{us}/3.8(=0.31T_{ys})$ 、異常時(地震時)： $T_{us}/2.5(=0.47T_{ys})$ の設定がアンカー用に適用されている。当該タイワイヤーの安全係数 3.8、2.5 は、矢板式係船岸施工後の裏埋土沈下や新潟地震などでの液状化に伴う、水平設置のタイワイヤーへの過度な作用力集中の影響を考慮して割増し設定したものである。アンカーへの適用では、本設定条件の影響有無を考慮した上で、適正に安全係数を設定する必要がある。特に、鉛直アンカーや傾角の大きい斜めアンカーなどの場合は、水平設置のタイワイヤーに該当しないので、留意が必要である。

(5) 許容耐力 T_{as} は、各適用分野の基準・規定を満足するように、設計アンカー力 T_d を上回るようにアンカー規格を選定するものである。一方、構造物へのアンカーの永続プレストレス P_{∞} や定着プレストレス P_t などの設計プレストレスは、プレストレスに係る唯一のベース基準であるコンクリート標準示方書をもとにした表-4.1.3 と後述の 4.7、4.11 を考慮して設定する。アンカー体の設計での摩擦安全係数 f_{sg} は、長期作用の永続プレストレス P_{∞} を考慮して、長期の摩擦安全係数 $f_{sg}=2.5$ を適用する。

なお、珪砂付着 ECF テンドンは、土木学会にて塩分環境のプレストレス状態で設計耐用年数 100 年と規定されており、プレストレス条件下で品質上の優位性を有したものである。

(6) 土木・港湾・漁港での一般構造物用のアンカーは、傾角が 20~90° の範囲で使用される。建築は、一般に建築物に土圧作用がない状態であり、アンカーが建築物設置で用地制約もあることから、おもに鉛直アンカー(傾角 90°)での使用となる。土圧作用がない建築用途では、地震影響での残留土圧がなく残留変位も残ることはほとんどない。

一方、土木などの土圧が作用する一般構造物では、プレストレスよりも地震作用が大きく、アンカーばね抵抗で構造物安定を図る設計条件の場合には、アンカー力増加による構造物の残留変位がアンカー傾角の増加に応じて著しく大きくなることから、構造物変形に留意が必要である。なお、意図的に永続プレストレス P_{∞} を所要の設計アンカー力 T_d 以下に設計計画する場合の変形算出の設計方法は、後述の 4.6 を参照されたい。

表-4.1.4 H30 港湾基準^{*1}のタイワイヤーの部分係数とアンカー許容耐力

項目	照査状態	永続状態 (長期：常時)	変動状態 (レベル 1 地震時)	摘要
照査用特性値 R		降伏耐力 T_{ys}	降伏耐力 T_{ys}	
抵抗項の部分係数 γ_R		0.64	1.00	
荷重項の部分係数 γ_s		1.29	1.00	
調整係数 m		1.00	1.67	
アンカー許容耐力 T_{sas}		$0.5 T_{ys}$	$0.6 T_{ys}$	$= \gamma_R / (m \cdot \gamma_s) \cdot T_{ys}$
許容変形量 D_a		—	重力式係船岸：100mm 矢板式係船岸：150mm	
【参考】漁港 ^{*2} での矢板頭部許容水平変位量 D_a		30mm	50mm	静的照査の場合

(注)1. 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説(H30 年)
2. 水産庁：漁港・漁場の施設の設計参考図書(2015 年)

4.1.6 降伏付着強度、摩擦強度の設計用特性と安全係数

アンカープレストレスを地盤に固着するアンカー体は、テンドンとグラウトとの付着抵抗およびグラウトと地盤との摩擦抵抗の3層2界面のせん断伝達の抵抗機構からなる、アンカー頭部とともに重要な部位であり、基本要素となる降伏付着強度と摩擦強度および安全係数は、アンカー種類や地盤調査を踏まえて適正なものとする。

【解説】

(1) プレストレス P_e とアンカー体のグラウト・地盤側のせん断抵抗力に関する一般化した設計用の基本釣合い式は、式(4.1.1)～式(4.1.3)に示す通りである。同式は、アンカー体の引張型・圧縮型・分散型に係らず、すべてのアンカーに適用可能なものに一般化して表している。図-4.1.9に一般化したアンカー体の抵抗概念を示す。

アンカー体引張型は、 $L_A=L_{Ab}$ であることから、式(4.1.2)の $R_{A1}=0$ であり、式(4.1.3)のグラウト付着抵抗力と地盤摩擦抵抗力の小さい方でプレストレス P_e を除すことにより、設計のアンカー体長が得られる。

アンカー体の圧縮型と分散型は、一般的にグラウト付着長(拘束長) $L_{Ab}<$ 地盤摩擦長であるため、アンカー体長 L_A =地盤摩擦長となり、同図に示すようにアンカー体内でシース被覆部位が存在するのが圧縮型や分散型の最大の特徴である。当該部位のアンカー体内テンドン自由長部位(L_A-L_{Ab})区間で地盤摩擦抵抗を得るためには、本区間のグラウト圧縮の安全性が必要であり、式(4.1.2)に示すように、拘束具始点グラウトで $(P_e-R_{A2})/A_e \leq \sigma_{ca}$ の関係が成立する必要があるので、留意する。

なお、アンカープレストレス P_e は、図-4.1.4 に示したように、設計供用期間において、一般に設計アンカー力 T_d 以上の範囲で種々の作用影響で変化することから、アンカー体設計は、所要の安全性が得られるように留意する。

■プレストレス P_e とアンカー体のせん断抵抗力($R_{A1}+R_{A2}$)の設計用の基本釣合い式

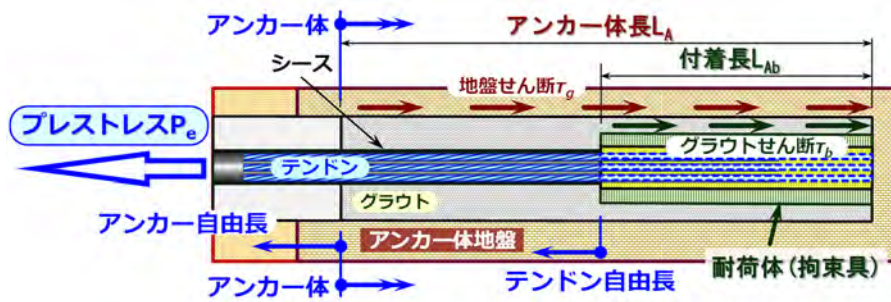
$$P_e (\geq T_d) = R_{A1} + R_{A2} \quad \dots(4.1.1)$$

$$R_{A1} = \min(A_e \cdot \sigma_{ca}, (L_A - L_{Ab}) \cdot \pi D_A \cdot \tau_g / f_{sg}) \quad \dots(4.1.2)$$

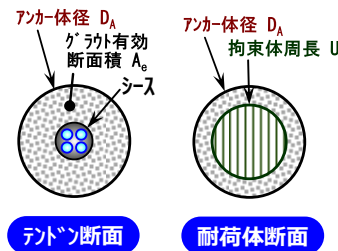
$$R_{A2} = L_{Ab} \cdot \min(U \cdot \tau_{by} / f_{sb}, \pi D_A \cdot \tau_g / f_{sg}) \quad \dots(4.1.3)$$

ここに、

- ・ P_e : プレストレス
- ・ T_d : 設計アンカー力
- ・ R_{A1} : アンカー体内テンドン自由長部の許容せん断抵抗力
- ・ R_{A2} : アンカー体内付着長(耐荷体)部の許容せん断抵抗力
- ・ A_e : テンドン自由長部グラウトの有効断面積
- ・ σ_{ca} : グラウトの許容圧縮強度 ($=f_{ck}/4$: 無筋コンクリート許容値)
- ・ f_{ck} : グラウトの設計基準強度
- ・ L_A : アンカー体長
- ・ D_A : アンカー体径
- ・ L_{Ab} : テンドンまたは耐荷体(拘束具)の付着長(拘束長)
- ・ U : テンドンまたは耐荷体(拘束具)の見掛け周長
- ・ τ_{by} : テンドンまたは耐荷体(拘束具)とグラウトの降伏付着強度
- ・ τ_{ba} : テンドンまたは耐荷体(拘束具)とグラウトの許容付着強度 ($=\tau_b/f_{sb}$)
- ・ f_{sb} : 付着抵抗の安全係数
- ・ τ_g : グラウトと地盤の摩擦強度
- ・ τ_{ga} : グラウトと地盤の許容摩擦強度 ($=\tau_g/f_{sg}$)
- ・ f_{sg} : 摩擦抵抗の安全係数



(a) プレストレスとグラウト付着抵抗・地盤摩擦抵抗



(b) アンカー体断面概念

図-4.1.9 一般化したアンカー体の抵抗概念

(2) テンドンとグラウトの降伏付着強度は、土木学会コンクリート標準示方書の異形鉄筋(異形 PC 鋼棒・拘束具)の降伏付着強度を基本にして、PC 鋼より線もほぼ同様な考えで設定されている。降伏付着強度の付着試験方法は、異形鉄筋(異形 PC 鋼棒・拘束具)で JSCE-G 503、PC 鋼より線で JSCE-E 736 により求まる。珪砂付着 ECF テンソンを含めた降伏付着強度 τ_{by} 算定式と付着安全係数の関係を式(4.1.4)～(4.1.9)、まとめたものを表-4.1.5 に示す。同表に示すように、付着安全係数 f_{sb} は、材料安全係数 f_m × 長期安全係数 f_l の積で表される。

なお、この降伏付着強度特性では、PC 鋼より線をもとにした珪砂付着 ECF テンソンと、通常の標準的な PC 鋼より線を用語上で区分するため、標準的な PC 鋼より線を普通 PC 鋼より線と称する。珪砂付着 ECF テンソンの付着安全係数は、普通 PC 鋼より線と同一として、長期とレベル 1 地震時の付着安全係数で $f_{sb}=2.25$ 、レベル 2 地震時の付着安全係数で $f_{sb}=1.50$ としている。

同表から分かるように、長期の付着安全係数は、珪砂付着 ECF テンソンや普通 PC 鋼より線で $f_{sb}=2.25$ 、拘束具(耐荷体)で $f_{sb}=1.50$ と異なっているので、設計にあたっては留意が必要である。付着安全係数が異形 PC 鋼棒・拘束具で $f_{sb}=1.50$ と小さい理由は、土木学会コンクリート標準示方書にて、定着部に必ず曲げフックを設ける異形鉄筋の付着強度と同一に設定したためであり、曲げフックがないアンカー適用での許容付着強度の設定では一考が必要と考える。参考文献によると、アンカー体圧縮型の拘束具(耐荷体)の付着特性は図-4.1.10 に示す通りであり、同図の拘束圧ゼロ条件付近と、土木学会コンクリート標準示方書の式(4.1.8)の付着強度算定式はほぼ一致していることが分かる。

同表最下段は、地盤工学会アンカー設計・施工基準の許容付着応力度を示しており、普通 PC

鋼より線の式(4.1.7)と異形 PC 鋼棒(拘束具)の式(4.1.9)を用いたものと、ほとんど同等の値となっていることから、当該許容付着応力度の根拠の妥当性が裏付けられる。

本工法の珪砂付着 ECF テンドンの長期の許容付着強度 τ_{ba} は、図-4.1.7 の付着試験結果で示したように、普通 PC 鋼より線に比べて、1.5 倍以上と十分に大きいことから、同表に示すように、普通 PC 鋼より線の許容付着強度の 1.5 倍を適用して設定している。

■珪砂付着 ECF テンドンの降伏付着強度 τ_{by} と許容付着応力度 τ_{ba}

$$\tau_{by} = 0.530 f_{ck}^{2/3} \quad \dots(4.1.4)$$

$$\tau_{ba} = \tau_{by} / (1.5 \times 1.5) = 0.235 f_{ck}^{2/3} \quad (\text{長期}) \dots(4.1.5)$$

■普通 PC 鋼より線の降伏付着強度 τ_{by} と許容付着応力度 τ_{ba}

$$\tau_{by} = 0.210 f_{ck}^{2/3} \quad \dots(4.1.6)$$

$$\tau_{ba} = \tau_{by} / (1.5 \times 1.5) = 0.0933 f_{ck}^{2/3} \quad (\text{長期}) \dots(4.1.7)$$

■異形 PC 鋼棒(拘束具)の降伏付着強度 τ_{by} と許容付着応力度 τ_{ba}

$$\tau_{by} = 0.280 f_{ck}^{2/3} \quad \dots(4.1.8)$$

$$\tau_{ba} = \tau_{by} / 1.5 = 0.1867 f_{ck}^{2/3} \quad (\text{長期}) \dots(4.1.9)$$

ここに、 f_{ck} : グラウトの設計基準強度

表-4.1.5 テンドンの降伏付着強度 τ_{by} と許容付着応力度 τ_{ba} の関係 (N/mm²)

PC 鋼種別	珪砂付着 ECF テンドン ^{※4}		普通 PC 鋼より線 ^{※3}		異形 PC 鋼棒(拘束具) ^{※2}		摘要
アンカー一体型式	引張型		引張型		圧縮型・分散型		
降伏付着強度 τ_{by} 算定式	$\tau_{by}=0.530f_{ck}^{2/3}$		$\tau_{by}=0.210f_{ck}^{2/3}$		$\tau_{by}=0.280f_{ck}^{2/3}$		式(4.1.4),式(4.1.6),式(4.1.8)
材料安全係数 f_m	1.50		1.50		1.50		文献 3)
長期安全係数 f_t	1.50		1.50		1.00		文献 3)
付着安全係数 f_{sb}	2.25		2.25		1.50		文献 3)
グラウト設計基準強度 f'_{ck}	24	30	24	30	24	30	
許容付着強度 τ_{ba} (計算値)	1.96	2.27	0.78	0.90	1.55	1.80	上記式と安全係数で算出
許容付着応力度 τ_{ba} ランク A(長期)	1.20^{※4}	1.35^{※4}	0.80^{※1}	0.90^{※1}	1.60^{※1}	1.80^{※1}	長期・レベル 1 地震

(注)1. 地盤工学会：JGS4101 グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説(2012 年)

2. 土木学会：コンクリート標準示方書設計編(2017 年)

3. 川崎ら：グラウンドアンカーのグラウトとストランドの付着強度、第 55 回地盤工学研究発表会 2020

4. 珪砂付着 ECF テンドン規格値

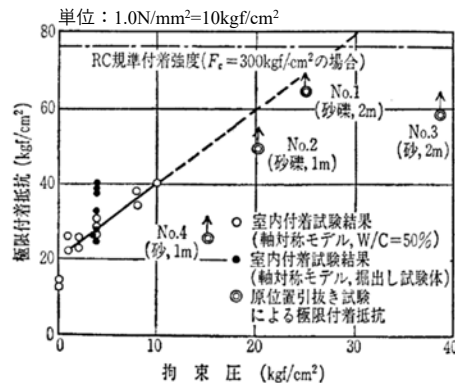


図-10 極限付着抵抗と拘束圧の関係

(文献) 桂ら：圧縮型永久地盤アンカーの支持力特性、土と基礎、1990. 5. 地盤工学会

図-4. 1. 10 アンカー一体圧縮型の付着特性

(3) グラウトと地盤の摩擦強度は、一般に詳細設計の事前調査段階でアンカー引抜試験にて把握することが基本とされている。しかし、本手順は詳細設計で種々の工法比較を経て設計が終了し、アンカー体設置地盤などのアンカー仕様の確定後に、初めてアンカー仕様に応じた引抜試験の計画と実施が可能であることから、実際の設計遂行上ではほとんど実現が困難である。

このため、設計の実務では、初めに地盤調査をもとに、アンカー体設置地盤の摩擦強度を設定してアンカー体長 L_A を求め、アンカー仕様とアンカー引抜試験計画を確定して設計完了とするのが一般的である。施工段階では、アンカー体設置地盤とアンカー体長の妥当性照査の目的で、計画にもとづきアンカー引抜試験を実施して、試験結果の摩擦強度が設計値以上の場合は適正と評価して、設計アンカー体長での施工を行う。なお、試験結果の摩擦強度が設計値未満の場合は見直し検討を行い、安全なアンカー体長となる修正設計を実施した上で、施工することになる。

一方、設計段階でアンカー引抜試験結果の摩擦強度適用が必須の場合は、詳細設計⇒アンカー仕様設定⇒引抜試験計画・実施⇒摩擦強度設定⇒修正設計⇒設計完成となるので、上記に比べて、設計段階での現場引抜試験用のプラント仮設や施工機械運搬の費用が別途必要になって合理性が劣ることになるので、留意が必要である。

アンカー体設置の地盤状態は、アンカープレストレスに対して、永続的な安定を確保できる必要がある。したがって、アンカー体は、アンカーグラウトからのせん断応力作用に対して、地盤緩み影響が極小で安定的な、 N 値が $N \geq 30$ の堅固な地盤に設置し、表-4.1.6 に示すものを参考に地盤調査をもとに摩擦強度を設定する。なお、地震時に液状化現象が生じやすい $N \leq 20$ の砂地盤や、長期クリープが生じやすい粘性土地盤は、本設アンカーのアンカー体設置地盤として適用不可である。

同表の岩盤・砂礫・砂の最小値を使用する場合は、設計上で安全側の値となっており、本適用を推奨する。地質調査報告書からの設計反映では、地盤調査の岩盤評価区分とアンカー体摩擦強度の岩盤区分は一般に異なっていることが多いので、設計にあたっては留意が必要である。アンカー体設計では、地盤調査結果の N 値 50 以下の風化岩などは、礫質土または砂礫と評価して摩擦強度を設定する。岩盤で $50 \leq$ 換算 N 値 < 150 は、風化岩の摩擦強度を設定する。岩盤の換算 N 値で 150 以上は軟岩の摩擦強度を設定する。泥岩・凝灰岩・蛇紋岩などは、摩擦強度が低いことがあるので、同表に示すように地質年代を考慮して設定する。なお、アンカー施工の削孔工の地盤・岩盤分類では、同表の土丹・風化岩・軟岩が「軟岩」となる。一般構造物での削孔では、無筋コンクリートが「硬岩」、鉄筋コンクリートが「特殊地盤」の分類となる。

許容摩擦強度 τ_{ga} 設定用の摩擦安全係数 f_{sg} を表-4.1.7 に示す。レベル1地震は、しばしば発生地震動であることから、長期(性能1)と同一にし、供用性・修復性・保全管理性を考慮して設定している。

図-4.1.11 にアンカー体長 3.0m 基準の摩擦特性を示しており、同図から明らかなように、摩擦強度はアンカー体長 L_A が 10.0m 側に大きくなると寸法効果により低下傾向を示すので、摩擦安全係数の設定にあたっては留意する。例えば、 $L_A=10.0m$ では、 $L_A=3.0m$ に比べて摩擦強度比 R_β が $R_\beta=0.546$ と低下して実際のアンカー体抵抗が表-4.1.6 の値よりも小さくなることに留意する。同図の摩擦強度比 R_β の逆数が 1.83 なので、長尺アンカー体の場合は本現象を考慮して、摩擦安全係数 f_{sg} を適切に設定することも必要である。

なお、長期(性能 1)の摩擦安全係数 f_{sg} は、表-4.1.7 に示したように、 $f_{sg}=2.5$ であり、 $L_A=10.0\text{m}$ の摩擦強度比 $R_\beta=0.546$ を考慮すると、摩擦安全係数 f_{sg} の実質的な安全係数 f_{sg0} は $f_{sg0}=1.365$ である。レベル 2 地震(性能 3)の摩擦安全係数 f_{sg} は、 $f_{sg}=1.5\sim 2.0$ であり、 $f_{sg}=1.75\Rightarrow f_{sg0}=0.96$ 、 $f_{sg}=2.0\Rightarrow f_{sg0}=1.09$ であることから、レベル 2 地震(性能 3)の摩擦安全係数 f_{sg} の設定では、この点に留意が必要である。

表-4.1.6 アンカー体設置地盤の摩擦強度 τ_g

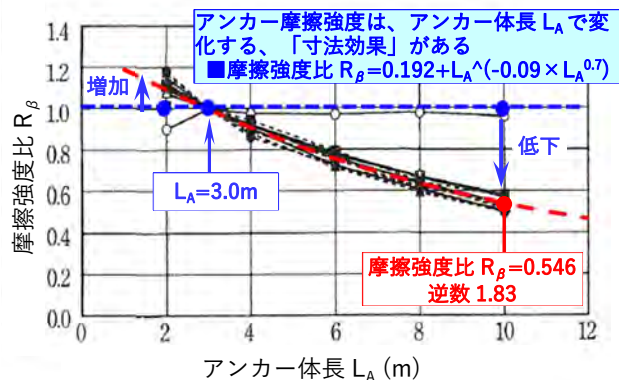
地盤の種類		摩擦強度 τ_g (N/mm ²)	摘要	
岩盤	硬岩	1.50~2.50	N 値貫入量ゼロ	
	軟岩	1.00~1.50	150 ≦ 換算 N 値	
	風化岩	0.60~1.00	50 ≦ 換算 N 値 < 150	
	土丹	0.60~1.20		
砂礫	N 値	10	0.10~0.20	本設アンカー適用不可
		20	0.17~0.25	本設アンカー適用不可
		30	0.25~0.35	
		40	0.35~0.45	
		50	0.45~0.70	
砂	N 値	10	0.10~0.14	本設アンカー適用不可
		20	0.18~0.22	本設アンカー適用不可
		30	0.23~0.27	
		40	0.29~0.35	
		50	0.30~0.40	
泥岩 凝灰岩 蛇紋岩	第四紀	0.375		
	新第三紀(鮮新世)	0.300		
	新第三紀(中新世以前)	0.500		
	古第三紀	0.750		
	中世代	0.700		
	古世代	0.750		

(JGS4101-2012p78 解説表-6.6、同 p159 付録図-6.8 加筆転載)

表-4.1.7 摩擦安全係数 f_{sg}

限界状態	摩擦安全係数 f_{sg}
長期(性能 1)	2.5
レベル 1 地震(性能 1・性能 2)	2.5
レベル 2 地震(性能 3)	1.5~2.0

(JGS4101-2012p77 解説表-6.5 加筆転載)



(JGS4101-2012p160 付録図-6.9(b) 加筆転載)

図-4.1.11 アンカー体長 3.0m 基準の摩擦特性

4.1.7 アンカー部材の設計用特性と安全係数

アンカー部材は、設計要求性能の限界状態に応じた耐荷性能が保持できるように、アンカープレストレスを支持する適正な安全性を有するものとする。

【解説】

- (1) アンカー部材の設計は、作用荷重となるアンカープレストレスに対して、部分係数を用いた限界状態設計法の式(4.1.10)を用いて安全性照査を実施する。式(4.1.11)に許容応力度法照査式を示しており、旧方法の当該設計法では、極限強度を経験的に設定した安全率で除して許容応力度を求め、これと曲げモーメントなどの部材断面力から算出した応力度と比較することで設計照査を実施していた。これに対して、限界状態設計法は、従来の安全率を作用荷重や材料・部材ごとなどに細分化して、統計データと信頼性理論に則して定めた部分係数を用いており、構造設計の要求性能に応じてより合理的な設計が可能になるものである。
- (2) アンカープレストレスが永続作用するアンカー部材の鋼部材には、支圧板や壁面台座などがあり、本工法では、簡便的に式(4.1.12)を用いて部材の耐荷性能の安全性照査を行う。表-4.1.8にアンカー鋼部材の強度特性、表-4.1.9に部分係数と安全係数 f_{ss} を示す。なお、部分係数のうちアンカー補正係数 ξ_3 は本工法で新たに導入したものであり、これは作用荷重の超過力に対してアンカー鋼部材がアンカーテンドンより早く降伏しないようにし、テンドンと鋼部材が同一の安全性を有して、同時に降伏が発生するように調整した補正係数である。

■部分係数を用いた限界状態設計法の照査

$$\sigma_i(\gamma_{PS} \cdot P_{PS}) \leq \sigma_d = \xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \Phi \cdot \xi_3 \cdot \sigma_{yk} \quad \dots(4.1.10)$$

■許容応力設計法の照査

$$\sigma_i(P_{PS}) \leq \sigma_a \quad \dots(4.1.11)$$

■アンカー鋼部材の安全係数 f_{ss} の定義

$$\sigma_i(P_{PS}) \leq \sigma_d / \gamma_{PS} = (\xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \Phi \cdot \xi_3 / \gamma_{PS}) \cdot \sigma_{yk} = f_{ss} \cdot \sigma_{yk} \quad \dots(4.1.12)$$

$$f_{ss} = \xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \Phi \cdot \xi_3 / \gamma_{PS} \quad \dots(4.1.13)$$

ここに、

- ・ σ_d : 部分係数設計法の応力度制限値
- ・ σ_{yk} : 鋼材の降伏強度
- ・ σ_a : 許容応力設計法の許容応力度
- ・ $\sigma_i(\gamma_{PS} \cdot P_{PS})$: 部分係数設計法のアンカープレストレスによる算出応力
- ・ $\sigma_i(P_{PS})$: 許容応力設計法のアンカープレストレスによる算出応力
- ・ γ_{PS} : アンカープレストレスの荷重係数
- ・ ξ_1 : 調査・解析係数
- ・ ξ_2 : 部材・構造係数
- ・ Φ : 抵抗係数
- ・ ξ_3 : アンカー補正係数(アンカー降伏強度比への等値換算係数)
- ・ f_{ss} : アンカー部材の安全係数

表-4.1.8 アンカー鋼部材の降伏強度特性(N/mm²)

	鋼種 鋼材板厚 t	SS400	S45CN
		SM400	
引張降伏 σ_{yk}	t ≤ 40mm	235	345
圧縮降伏 σ_{yk}	40mm < t ≤ 75mm	215	345
せん断降伏 τ_{yk}	t ≤ 40mm	135	200
	40mm < t ≤ 75mm	125	200
鋼板と鋼板の 支圧降伏 σ_{ykb}	t ≤ 40mm	235	345
	40mm < t ≤ 75mm	215	345

(道路橋示方書 II 鋼橋編)

表-4.1.9 アンカー鋼部材の部分係数と安全係数 f_{ss}

	長期 (性能1)	レベル1地震 (性能1・性能2)	レベル2地震 (性能3)
プレストレス荷重係数 γ_{PS}	1.05	1.05	1.05
調査・解析係数 ξ_1	0.90	0.90	1.00
部材・構造係数 ξ_2	1.00	1.00	1.00
抵抗係数 Φ	0.85	0.85	1.00
アンカー補正係数 ξ_3	0.966	0.966	0.945
アンカー部材安全係数 f_{ss}	0.704	0.704	0.900
支圧部材補正係数 a_b	1.50	1.50	1.50
アンカー試験安全係数 f_{sst}	0.90	—	0.90

- (注)1. 支圧部材補正係数 a_b は、台座側板の下段腹起し接触部の支圧応力検討に使用する。
 2. アンカー適性試験・確認試験の最大試験力は、限界緊張力とし、部材の 0.90×降伏強度を超えないものとする。

4.1.8 受圧体の支持力・滑動安定の設計用特性と安全係数

受圧体は、支圧板と土工構造物または一般構造物の間に設置して、アンカープレストレスを構造物側に伝達する部材である。土工構造物では、受圧体背面が地盤面になることが多く、地盤条件が種々のもので、ばらつきを有することから、アンカー頭部設置の地盤状態を反映した設計用特性などを用いて、適正に設計する必要がある。

【解説】

- (1) 受圧体は、吹付のり枠・受圧板・台座・壁面台座の総称であるが、ここでは土工構造物のアンカー頭部側の地盤面設置の吹付のり枠・受圧板の設計条件を記述する。受圧体の設計方法は、後述 4.5 を参照されたい。
- (2) 吹付のり枠・受圧板の受圧体安定は、おもに支持力と滑動の検討により安全性を照査する。同受圧体の検討概念とプレストレス分力 P_{eV} 、 P_{eH} の関係を図-4.1.12 に示す。プレストレス分力は、のり面勾配法線方向の分力が P_{eV} 、のり面勾配方向の分力が P_{eH} であり、各分力は、アンカー法線角 δ から、 $P_{eV}=P_e \cdot \cos \delta$ 、 $P_{eH}=P_e \cdot \sin \delta$ により求める。
- (3) 受圧体安定検討の支持力安定と滑動安定に必要な安全係数を表-4.1.10 に示す。受圧体の支持力検討に必要な受圧体設置地盤の極限支持力を表-4.1.11 に示す。受圧体の許容支持力 q_a は、極限支持力 q_u を支持力安全係数 f_{sb0} で除すことにより求める。

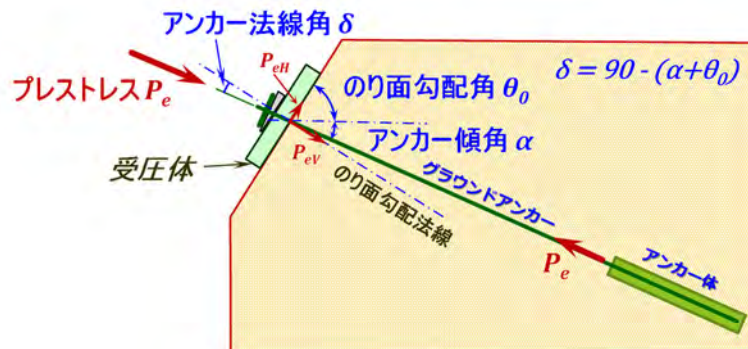


図-4.1.12 受圧体の検討概念とプレストレス分力 P_{eH} 、 P_{eV}

表-4.1.10 受圧体安定検討の安全係数

	長期 レベル1地震	レベル2地震
支持力の安全係数 f_{sb0}	3.0	2.0
滑動の安全係数 f_{ss0}	1.5	1.2

(NEXCO 設計要領第一集、土工建設編、2.切土、5.グラウンドアンカー工を参考に設定)

表-4.1.11 受圧体設置地盤の極限支持力

基礎地盤の種類		極限支持力 q_u (kN/m ²)	目安指標		摘要
			N値	一軸圧縮強度 (N/mm ²)	
岩盤	き裂が少ない均一硬岩	3,000	—	10以上	標準貫入試験のN値が15以下の場合 は、受圧体設置地盤が地震時に液状化しないこと
	き裂が多い硬岩	1,800	—	10以上	
	軟岩、土丹	900	—	1以上	
れき層	密実なもの	1,800	—	—	
	密実でないもの	900	—	—	
砂質地盤	密なもの	900	30~50	—	
	中位なもの	600	15~30	—	
粘性土地盤	非常に硬いもの	600	15~30	0.2~0.4	
	硬いもの	300	8~15	0.1~0.2	
	中位のもの	150	4~8	0.05~0.1	

(NEXCO 設計要領第一集、土工建設編、2.切土、5.グラウンドアンカー工 p 2-116 加筆転載)

4.1.9 頭部構造とライフサイクルコスト

アンカーは、プレストレスが永続作用することから、確実な耐荷性能が保持できるように、適切な維持管理のもとで長寿命化や保全を図る必要がある、このためには、簡便に目視確認が可能なアンカー頭部構造を用いた点検・調査が重要になる。こうした観点から、アンカー設計では、設計供用期間を通じてもっとも高い費用対効果が得られるように、保全段階のアンカー頭部構造の点検・調査の合理化を含めたライフサイクルコスト(LCC)の検討を行う。

【解説】

- (1) 保全段階のアンカー調査項目・調査数量とその調査標準歩掛は、表-4.1.12 に示すように、それぞれ「グラウンドアンカー維持管理マニュアル 2020 年」、「2022 年版グラウンドアンカー積算ガイドブック」で規定されている。本工法の透明キャップ・5 窓キャップ・下 1 窓キャップは、グリースレスで背面止水構造がなく、外観目視によりキャップ内部の点検・調査が可能で、同表の②頭部保護撤去～⑤頭部修復工が不要なことから、ライフサイクルコスト縮減が可能である。
- (2) 表-4.1.13 に建設段階コストと保全段階コストを含めたライフサイクルコスト(LCC)の試算例をまとめて示す。本工法の頭部構造 C グレード(透明キャップ)は、従来 EHD アンカーに比べて、特に LCC の経済性効果が高いことが分かる。詳細内容は、後述の表-4.1.13 を参照されたい。また、表-6.3.3 では、アンカー力調査を含めて、健全性調査の全調査項目の歩掛比較をまとめているので、必要に応じて参照されたい。

表-4.1.12 アンカー頭部調査の標準歩掛と各アンカー工法の調査必要性

調査項目	アンカー調査の標準歩掛	調査数量(全体比率)	EHD アンカー HP 工法	従来 EHD アンカー工法
アンカー設計供用期間 t_d	—	—	50 年	50 年
アンカー健全性調査頻度	—	—	5 年	5 年
①定期点検(外観調査) ・現場調査 ・データ整理	0.05 日/本 0.05 日/本	10 %	必要	必要
②頭部保護撤去	0.10 日/本	10 %	不要	必要
③頭部詳細調査(露出調査) ・現場調査 ・データ整理	0.20 日/本 0.10 日/本	10 %	不要	必要
④頭部背面調査 ・除荷工($T_a < 400\text{kN}$) ・現場調査 ・データ整理 ・再緊張定着工	0.15 日/本 0.20 日/本 0.10 日/本 0.70 日/本	5 %	不要	必要
⑤頭部修復工	0.08 日/本	10 %	不要	必要

(注)1. 頭部調査項目は、「グラウンドアンカー維持管理マニュアル 2020 年、土木研究所ほか編」による。
2. アンカー調査の標準歩掛は、「2022 年版グラウンドアンカー積算ガイドブック、日本アンカー協会」による。

表-4.1.13 頭部構造とライフサイクルコスト(LCC)

アンカー種類	頭部グレード	頭部止水構造		グリース充填		頭部キャップ仕様	供用段階の頭部内部の点検調査法	LCC の試算例
		プレート止水	背面止水	なし	あり			
EHD アンカー HP 工法	C グレード	○		○		内殻：透明 PC 樹脂 外殻：キャップ 固定具	ドローンなどで遠望目視の点検が可能	1.000
	W5 グレード	○		○		内殻：透明 PC 樹脂 外殻：5 窓キャップ 固定具	同上	1.01
	W1 グレード	○		○		下 1 窓アルミキャップ	近接目視可能	1.02
	G グレード	○			○	窓なしアルミキャップ	内部目視困難(キャップ 取外しで可)	1.19
【参考】 従来 EHD アンカー	—		○		○	窓なしアルミキャップ	同上	1.50

4.2 必要抑止力と設計アンカー力

必要抑止力と設計アンカー力は、のり面・斜面の安定対策の土工構造物を対象としたものと、橋台・岸壁・建築物などの安定対策の一般構造物を対象としたものの2種類の検討方法があることから、設計はこれを踏まえて適切に実施する必要がある。

【解説】

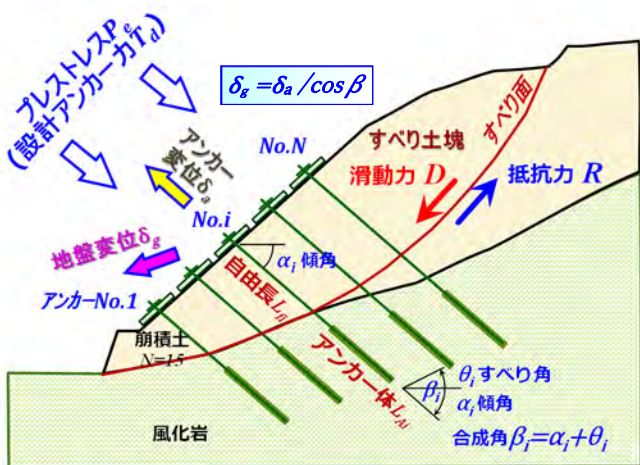
- (1) 必要抑止力 P_r は、土工構造物や一般構造物で、所要の耐荷性能を確保して構造物の安全性を保持するために必要な単位 m 当りの補強力、または構造物長当りの補強力であり、標準的には単位 m 当りの補強力をいう。設計アンカー力 T_d は、必要抑止力 P_r をもとにして求める、アンカー許容耐力を超えない範囲のアンカー1本当りの設計用のアンカー力である。なお、アンカーのプレストレス P_e は、設計アンカー力 T_d とアンカー規格をもとに設定するものであり、作用荷重がプレストレス P_e を超えない範囲で、構造物は変位ゼロを保持でき、超えた場合はアンカーばね剛性の抵抗になってアンカー変位と構造物変位が発生するので留意する。
- (2) 土工構造物では、円弧すべり・くさびすべり・複合すべりなどのすべり土塊を用いた剛体安定のすべり面解析から求まる、計画安全率 F_{sp} を確保可能な補強力が必要抑止力 P_r (kN/m) である。本必要抑止力 P_r から、すべり面でのアンカー効果、およびアンカーの水平間隔と高さ方向の設置段数を考慮した設計アンカー力 T_d (kN/本) を求め、これをもとにアンカー規格を選定する。
- (3) 一般構造物では、直接基礎の外的安定と呼ぶ滑動・転倒・支持力の3つの剛体安定モードを仮定して所要の計画安全率などを満足するようにアンカー傾角 α を考慮の上、アンカー方向の補強力となる必要抑止力 P_r (kN/m) を求める。本必要抑止力 P_r と構造物延長方向のアンカー水平間隔の積による設計アンカー力 T_d (kN/本) を求め、これをもとにアンカー規格を選定する。なお、杭基礎構造の場合は、杭の各種の許容耐力が満足できる必要抑止力 P_r (kN/m) と設計アンカー力 T_d (kN/本) を求め、これからアンカー規格を選定する。

4.2.1 土工構造物(のり面・斜面など)の安定対策

土工構造物の安定対策は、所要の限界状態に応じて、すべり土塊を用いた剛体安定のすべり面解析から計画安全率を満足するように必要抑止力を求め、それをもとに設計アンカー力を算定する。

【解説】

- (1) 土工構造物の安定対策概念を図-4.2.1、設計条件とアンカー設計式を表-4.2.1 に示す。同表の設計アンカー力算定式(4.2.2)内の $\sum^N(\cos\beta_i + \sin\beta_i \cdot \tan\phi)$ は、全アンカー設置段数のアンカー効果である。なお、アンカー効果は、各アンカーのすべり角 θ_i を単純平均して求める方法も使用されている。
- (2) 土工構造物の長期(性能 1)の計画安全率 $F_{sp}=1.20$ は、従来から経験的に使用されており、レベル 1 地震や豪雨時などの安全性を担保できる総合的な設定値として適用されている。この場合のレベル 1 地震や豪雨時に対する計画安全率の計算は省略されているが $F_{sp}=1.00$ 相当と想定されており、設計アンカー力 T_d 未滿にプレストレス P_e が低下するとレベル 1 地震などによる変位挙動が一般に増加する傾向になる。このことから、設計アンカー力 T_d 以上の適正なプレストレス P_e の保持は、すべり安定性や小段などの排水施設の変形に伴うズレ防止による修復性・保管理性の観点から重要なので留意が必要である。
- (3) 図-4.2.1 に示すように、土工構造物ではアンカー自由長が異なるのが一般的である。本ケースでプレストレス P_e が設計アンカー力 T_d より小さく、かつ設計作用荷重(滑動力 D)のもとですべり土塊の剛体変位 δ_g を伴った場合は、短い自由長側のアンカー負荷が大きくなるので、これを照査する必要がある。特に、長期(性能 1)の設計アンカー力 T_d でプレストレス P_e を設定して、レベル 1 やレベル 2 の地震挙動で変位を許容する設計の場合は、当該アンカー変位 δ_a に伴う適正なアンカー仕様と構造物変位 δ_g の照査が必要である。なお、本照査方法は、後述の 4.6 プレストレスと構造物変位を参照されたい。



安定約合式： $P_r = F_{sp} \cdot D - R \leq T_d \cdot \sum_{i=1}^N (\cos\beta_i + \sin\beta_i \cdot \tan\phi) / a_p$

図-4.2.1 土工構造物の安定対策概念

表-4.2.1 土工構造物の設計条件とアンカー設計式

項目	記号	単位
(1) すべり安定の設計条件		
・すべり安定の計画安全率	F_{sp}	—
・滑動力	D	kN/m
・抵抗力	R	kN/m
(2) アンカーの設計条件		
・アンカー設置段数	N	段
・アンカー水平間隔	a_p	m
・アンカー傾角	α_i	$^\circ$
・すべり面のすべり角	θ_i	$^\circ$
・すべり面の内部摩擦角	ϕ	$^\circ$
・合成角 $\beta_i = \alpha_i + \theta_i$	β	$^\circ$
(3) アンカー設計式		
・必要抑止力	P_r	kN/m
$P_r = F_{sp} \cdot D - R$	・・・(4.2.1)	
・設計アンカー力(プレストレス)	T_d	kN/m
$T_d = P_r \cdot a_p / \sum_{i=1}^N (\cos\beta_i + \sin\beta_i \cdot \tan\phi)$	・・・(4.2.2)	

4.2.2 一般構造物(橋台・岸壁・建築物など)の安定対策

一般構造物の安定対策は、所要の限界状態に応じて、外的安定の滑動・転倒・支持力の3つの剛体安定モードや構造物の許容変位・基礎杭の許容耐力などを満足するように必要抑止力を求め、それをもとに設計アンカー力を算定する。

【解説】

- (1) アンカーを用いた一般構造物の安定対策は、橋台・擁壁・落石防護擁壁・砂防堰堤・ダム・岸壁・防波堤・建築物など多岐の構造物にわたり、アンカー補強は、滑動・転倒・支持力の3つの剛体安定モードや構造物の許容変位・基礎杭の許容耐力などを満足するように行なわれている。ここでは、構造物の滑動・転倒・支持力を満足するためのアンカー設計の照査内容を記述する。
- (2) アンカーによる prestress P_e は、本抵抗力が作用荷重の起動力以上の場合に、構造物の変位挙動を抑止でき、その剛体安定性が確保できる。図-4.2.2に、構造物の荷重とアンカー力の概念を無対策とアンカー対策で示す。同図に示すように、基礎幅 B 、モーメントの起点は、 o 点であり、アンカー定着点で設計アンカー力 T_d (prestress P_e) が作用することで、構造物が地盤に固着される。表-4.2.2に、アンカー設計に必要な構造物とアンカーの設計条件を示す。同表に示すように、安定条件は滑動計画安全率 F_{s1P} 、転倒でモーメント計画安全率 F_{s2P} と許容偏心比 $E_{cp}=e/B$ 、許容支持力 q_a である。設計アンカー力 T_d (prestress P_e) による構造物付加抵抗力は、鉛直力 V_a ・水平力 H_a ・抵抗モーメント M_a である。

図-4.2.3 に、構造物基礎底面でのアンカー浮上り変位の状態を示す。同図に示すように、アンカー線の基礎底面通過位置(底面アンカー点) x_a が反力ゼロ点 x_0 を超えるとアンカーに浮上り変位 δ_{ya} が発生するのが分かる。例えば、転倒の許容偏心比 $E_{cp}=e/B$ が $E_{cp}=1/3$ の場合、反力ゼロ点は $B/2$ であることから、底面アンカー点 $x_a > x_0=B/2$ の条件となり、アンカーには浮上り変位 δ_{ya} が発生する。

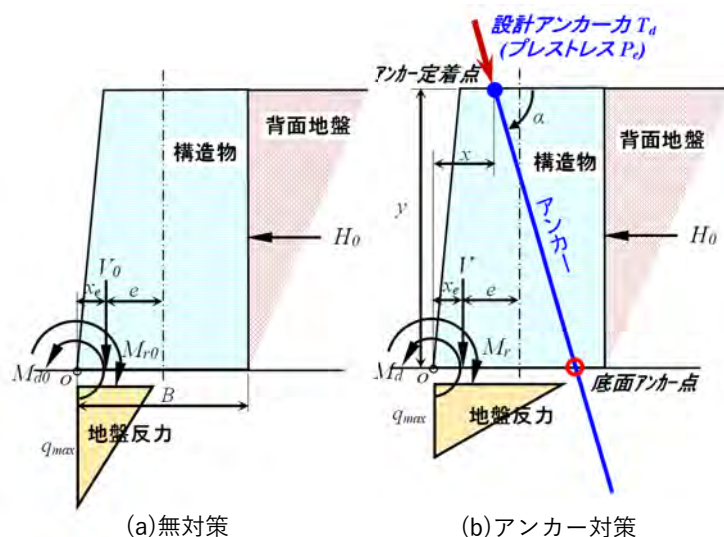


図-4.2.2 構造物の荷重・アンカー力の概念

表-4.2.2 構造物とアンカーの設計条件

項目	記号	単位
(1) 構造条件と安定条件		
・構造物の基礎長、基礎幅	L, B	m
・滑動安定の摩擦係数	μ	—
・滑動計画安全率	F_{s1p}	—
・転倒モーメント計画安全率	F_{s2p}	—
・転倒許容偏心比 $=e/B$	E_{cp}	—
・許容支持力	q_a	$kN/m^2/m$
(2) 構造物の荷重条件		
・鉛直力、水平力	V_0, H_0	kN/m
・抵抗、起動モーメント	M_{r0}, M_{d0}	kNm/m
(3) アンカー条件		
・アンカー定着点座標	x, y	m
・アンカー傾角	α	$^\circ$
・底面アンカー点 x 座標	x_a	m
・設計アンカー力(=プレストレス)	T_d	$kN/本$
・アンカー水平間隔	a_0	m
・アンカーの鉛直力、水平力	V_a, H_a	kN/m
$V_a = T_d \sin \alpha, H_a = T_d \cos \alpha$		
・アンカーの抵抗モーメント	M_a	kNm/m
$M_a = T_d(x \cdot \sin \alpha + y \cdot \cos \alpha) = T_d \cdot a_0$		
(4) 作用力条件		
・全鉛直力 $=V_0 + V_a$	V	kN/m
・全モーメント $=M_{r0} - M_{d0} + M_a$	M	kNm/m

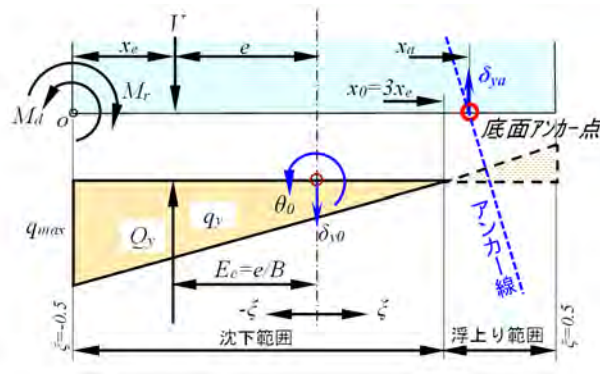


図-4.2.3 底面アンカーの浮上り変位

(3) 表-4.2.3 に、構造物外的安定のアンカー設計に必要な各設計式を示す。同表には、構造物安定設計での各安全率等の設計式、各安定モードを満足するためのアンカーの必要抑止力 $P_{r1} \sim P_{r4}$ と底面アンカー点浮上りゼロの必要抑止力 P_{r5} 、底面アンカー点の浮上り変位 δ_{ya} 、浮上り考慮の設計アンカー力 T_{du} の各設計式を示す。

式(4.2.8)は、滑動安定の必要抑止力 P_{r1} である。式(4.2.9)は、転倒安定のモーメント安全率に対する必要抑止力 P_{r2} 、式(4.2.10)は、転倒安定の偏心比に対する必要抑止力 P_{r3} である。式(4.2.11)は、支持力に対する必要抑止力 P_{r4} であり、基礎底面前趾側の基礎反力度を許容支持力 q_a にする規定で求めている。これは、構造物前趾側の地盤反力を軽減することで、前面側への地中応力影響を小さくする場合に適用する。例えば、基礎前趾部受働抵抗側地盤の掘削などで許容支持力低下が生じるケースの基礎反力軽減目的の抵抗力増加補強や、岸壁増深で

の前面側自立鋼管矢板の仕様縮減などに活用できる。式(4.2.12)は底面アンカー点を浮上りゼロにする抑止力 P_{r5} であり、これを採用する場合は、式(4.2.13)、(4.2.14)の検討は不要になる。

式(4.2.13)は、基礎底面のアンカー点浮上り変位 δ_{ya} を設計するものであり、鉛直方向の変位成分 δ_y と分布力 q_y 、および鉛直力 V とモーメント M の釣合い式をもとに導いている。なお、本式の地盤反力係数 k_v は道路橋示方書に則したものである。

式(4.2.14)は、浮上り変位 δ_{ya} からのアンカーの浮上り増加力 $\Delta T = A \cdot E / L_f \cdot \delta_{ya}$ と、これに各安定に必要な抑止力 $\max(P_{r1} \sim P_{r4}) \cdot a_p / N$ を加え、アンカー1本当たりの浮上り変位の増加力 ΔT を考慮した設計アンカー力 T_{du} を求めている。これによるアンカー仕様の設定で浮上り変位に伴う増加アンカー力を含めて、所要の安全性を有するアンカープレストレス性能が発揮できる。

表-4.2.3 構造物外的安定のアンカー設計式

項目	記号	設計式	単位	式 No.
(1) 構造物安定設計				
・滑動	F_{s1}	=抵抗力 R /滑動力 $D = (\mu V + H_a) / H_0$	—	(4.2.3)
・転倒モーメント	F_{s2}	=抵抗モーメント M_r /起動モーメント $M_d = (M_{r0} + M_a) / M_{d0}$	—	(4.2.4)
・転倒偏心比	E_c	= $e/B = 0.5 - M/(BV)$	—	(4.2.5)
・支持力 (地盤反力)	q_{max}	= $2V^2/(3M)$	kN/m^2	(4.2.6)
反力ゼロ点	x_0	= $3M/V = 3B(0.5 - E_c)$	m	(4.2.7)
(2) アンカーの必要抑止力 P_r の設計				
・滑動	P_{r1}	= $(F_{s10}H_0 - \mu V_0) / (\cos \alpha + \mu \sin \alpha)$	kN/m	(4.2.8)
・転倒モーメント	P_{r2}	= $(F_{s20}M_{d0} - M_{r0}) / a_0, a_0 = x \cdot \sin \alpha + y \cdot \cos \alpha$	kN/m	(4.2.9)
・転倒偏心比	P_{r3}	= $(M_{d0} - M_{r0} + B(0.5 - E_{cp})V_0) / (B(E_{cp} - 0.5)\sin \alpha + a_0)$	kN/m	(4.2.10)
・支持力 (地盤反力)	P_{r4}	= $(a_1 - \sqrt{a_1^2 - a_2 a_3}) / a_2$ $a_1 = 3a_0 - 4V_0 \sin \alpha / q_a, a_2 = 4 \sin^2 \alpha / q_a,$ $a_3 = 4V_0^2 / q_a + 6(M_{d0} - M_{r0})$	kN/m	(4.2.11)
・底面アンカー点 浮上りゼロ	P_{r5}	= $(0.5V_0 \cdot x_a + 1.5(M_{d0} - M_{r0})) / a_0$	kN/m	(4.2.12)
(3) 底面アンカー点の浮上り設計				
・アンカー点 浮上り変位	δ_{ya}	= $\delta_{y0} + (x_a - B/2) \theta_0$ $\delta_{y0} = ((BV/2 - M)b_2 - BVb_3) / b_4, \theta_0 = ((V/2 - M/B)b_1 - Vb_2) / b_4$ $b_1 = 1.5 - 3E_c, b_2 = 1/8 - (3E_c - 1)^2/2$ $b_3 = 1/24 - (3E_c - 1)^3/3, b_4 = B^2 k_v (b_1 b_3 - b_2^2)$ k_v : 地盤反力係数 = $E_0 ((L \cdot x_0)^{0.5} / 0.3)^{-3/4} \alpha_0 / 0.3$ E_0 : 地盤変形係数 (例えば、=2.8N) α_0 : 換算係数 (長短期=1.0、地震時=2.0)	mm $mm, mrad$ — — MN/m^3 MN/m^2 —	(4.2.13)
(4) 設計アンカー力 T_{du} の設計 (アンカー浮上り変位の増加力考慮の設計)				
・浮上り考慮 設計アンカー力	T_{du}	= $\max(P_{r1} \sim P_{r4}) \cdot a_p / N + A \cdot E / L_f \cdot \delta_{ya}$ a_p : アンカー水平間隔 N : アンカー縦段数 A : テンドン断面積 E : テンドン弾性係数 (=0.195) L_f : アンカー自由長	$kN/本$ m 段 mm^2 MN/mm^2 m	(4.2.14)

(注)1.川崎ら：グラウンドアンカーを用いた構造物外的安定の設計方法, III-194, 令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会

(4) 橋台・擁壁や岸壁などの背面地盤を有する構造物のアンカー対策では、図-4.2.4(b)に示すように、地震動から構造物復元時に水平荷重が小さくなっても、背面地盤の受働抵抗で構造物前傾による浮上り変位が戻らず、地震などの水平方向の作用荷重の繰返し毎に増加アンカー力が累積する懸念が発生する。本影響に対する設計での留意が必要であり、本防止対策は、アンカーのプレストレスを増加させてアンカー点が浮上らない設計にすることである。

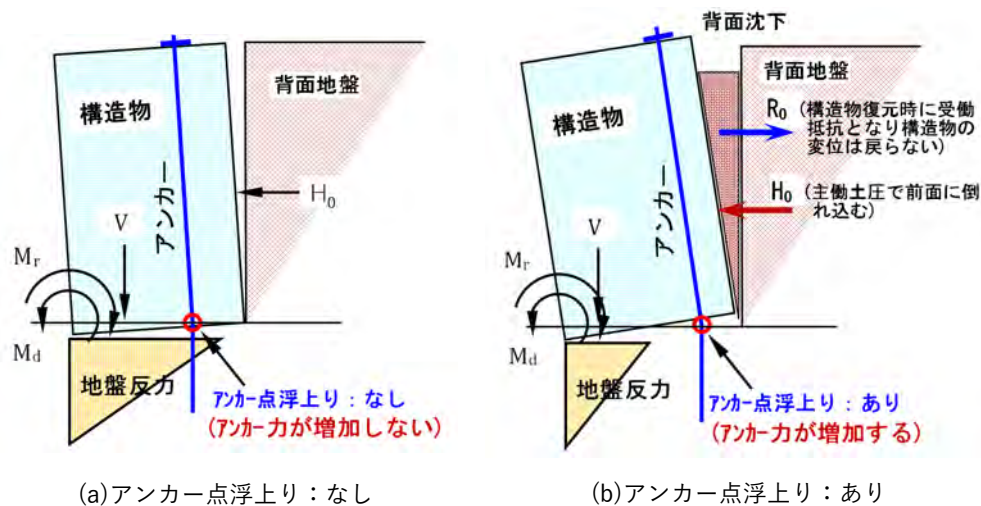


図-4.2.4 転倒モードとアンカー力増加の概念

(5) 支持力の限界すべり線は、図-4.2.5 に示すように作用荷重で領域Ⅰ～領域Ⅲの順に進展する。このため、アンカー傾角 α が急角度 $\sim 90^\circ$ のアンカーでは、領域Ⅰ、Ⅱの基礎応力影響範囲を避けたアンカー体の設置範囲とし、構造物の基礎幅 B の 1.0 \sim 1.5 倍程度の深度へのアンカー体設置を行う必要がある。

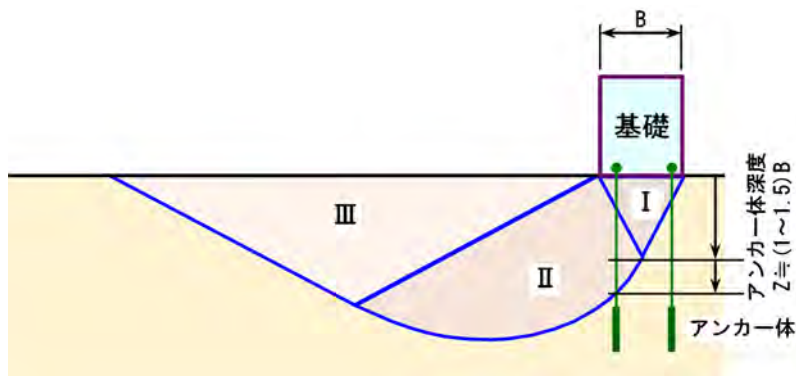


図-4.2.5 適正なアンカー体の設置範囲

4.2.3 アンカー規格の選定

本工法のアンカーは、土木学会 JSCE-E141-2018 規定のエポキシ樹脂被覆厚 0.4mm～1.2mm (平均厚 0.6mm) による 100 年耐久性、およびグラウトとの降伏付着強度が普通 PC 鋼より線の 1.5 倍以上というテンドン特性を有しており、アンカー規格は、種々の構造物適用分野に応じて許容耐力 T_{as} が設定されているので、構造物安定対策から求めた設計アンカー力をもとに適正なアンカー規格を選定する。

【解説】

- (1) 本工法の 100 年耐久性で高降伏付着強度の珪砂付着 ECF テンドンの概念を図-4.2.6 に示す。
- (2) 本工法のアンカー規格は、珪砂付着 ECF12.7 シリーズが EHD5-1H～EHD5-12H、珪砂付着 ECF15.2 シリーズが EHD6-1H～EHD6-14H の規格であり、種々の構造物適用分野に応じた許容耐力 T_{as} を、表-4.2.4 に示す。同表から、適用分野の構造物安定対策から求めた設計アンカー力 T_d (kN/本)をもとに、適正なアンカー規格を選定する。

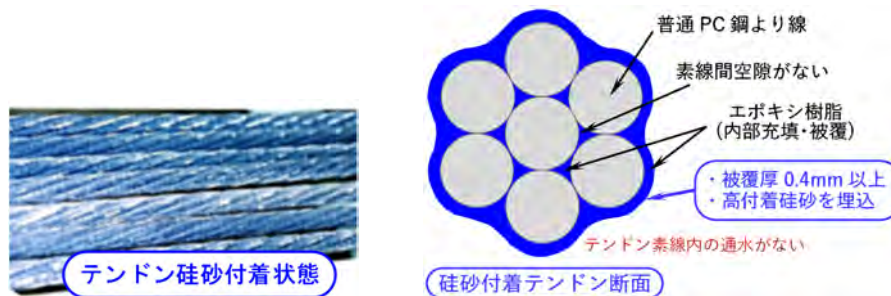


図-4.2.6 本工法の珪砂付着 ECF テンドン概念

表-4.2.4(a) EHD アンカーHP 工法(EHD5)の許容耐力 T_{as} (単位: kN)

適用分野・ 状態 アンカー規格	土木			港湾			漁港		建築	
	長期	L1 地震	L2 地震	長期	L1 地震	L2 地震	長期	L1 地震 L2 地震	長期	L1 地震 L2 地震
EHD5-1H	109.8	109.8	140.4	78.0	93.6	140.4	48.1	73.2	124.8	140.4
EHD5-2H	219.6	219.6	280.8	156.0	187.2	280.8	96.3	146.4	249.6	280.8
EHD5-3H	329.4	329.4	421.2	234.0	280.8	421.2	144.4	219.6	374.4	421.2
EHD5-4H	439.2	439.2	561.6	312.0	374.4	561.6	192.6	292.8	499.2	561.6
EHD5-5H	549.0	549.0	702.0	390.0	468.0	702.0	240.7	366.0	624.0	702.0
EHD5-6H	658.8	658.8	842.4	468.0	561.6	842.4	288.9	439.2	748.8	842.4
EHD5-7H	768.6	768.6	982.8	546.0	655.2	982.8	337.1	512.4	873.6	982.8
EHD5-8H	878.4	878.4	1,123.2	624.0	748.8	1,123.2	385.2	585.6	998.4	1,123.2
EHD5-9H	988.2	988.2	1,263.6	702.0	842.4	1,263.6	433.4	658.8	1,123.2	1,263.6
EHD5-10H	1,098.0	1,098.0	1,404.0	780.0	936.0	1,404.0	481.5	732.0	1,248.0	1,404.0
EHD5-11H	1,207.8	1,207.8	1,544.4	858.0	1,029.6	1,544.4	529.7	805.2	1,372.8	1,544.4
EHD5-12H	1,317.6	1,317.6	1,684.8	936.0	1,123.2	1,684.8	577.8	878.4	1,497.6	1,684.8

(注)1. 定着プレストレス P_i は、 $0.70T_{us}$ ($0.82T_{ys}$) 以下になるように設計する。

表-4.2.4(b) EHD アンカーHP 工法(EHD6)の許容耐力 T_{as} (単位：kN)

適用分野・ 状態 アンカー規格	土木			港湾			漁港		建築	
	長期	L1 地震	L2 地震	長期	L1 地震	L2 地震	長期	L1 地震 L2 地震	長期	L1 地震 L2 地震
EHD6-1H	156.6	156.6	199.8	111.0	133.2	199.8	68.6	104.4	177.6	199.8
EHD6-2H	313.2	313.2	399.6	222.0	266.4	399.6	137.3	208.8	355.2	399.6
EHD6-3H	469.8	469.8	599.4	333.0	399.6	599.4	206.0	313.2	532.8	599.4
EHD6-4H	626.4	626.4	799.2	444.0	532.8	799.2	274.7	417.6	710.4	799.2
EHD6-5H	783.0	783.0	999.0	555.0	666.0	999.0	343.4	522.0	888.0	999.0
EHD6-6H	939.6	939.6	1,198.8	666.0	799.2	1,198.8	412.1	626.4	1,065.6	1,198.8
EHD6-7H	1,096.2	1,096.2	1,398.6	777.0	932.4	1,398.6	480.7	730.8	1,243.2	1,398.6
EHD6-8H	1,252.8	1,252.8	1,598.4	888.0	1,065.6	1,598.4	549.4	835.2	1,420.8	1,598.4
EHD6-9H	1,409.4	1,409.4	1,798.2	999.0	1,198.8	1,798.2	618.1	939.6	1,598.4	1,798.2
EHD6-10H	1,566.0	1,566.0	1,998.0	1,110.0	1,332.0	1,998.0	686.8	1,044.0	1,776.0	1,998.0
EHD6-11H	1,722.6	1,722.6	2,197.8	1,221.0	1,465.2	2,197.8	755.5	1,148.4	1,953.6	2,197.8
EHD6-12H	1,879.2	1,879.2	2,397.6	1,332.0	1,598.4	2,397.6	824.2	1,252.8	2,131.2	2,397.6
EHD6-13H	2,035.8	2,035.8	2,597.4	1,443.0	1,731.6	2,597.4	892.8	1,357.2	2,308.8	2,597.4
EHD6-14H	2,192.4	2,192.4	2,797.2	1,554.0	1,864.8	2,797.2	961.5	1,461.6	2,486.4	2,797.2

(注)1. 定着プレストレス P_t は、 $0.70T_{us}$ ($0.82T_{ys}$)以下になるように設計する。

4.3 アンカー配置

アンカー配置は、現場条件を踏まえたもとの、アンカー設置・アンカー体設置・アンカー長さのおもな設置規定などを考慮して、適正に実施する。

【解説】

- (1) アンカー配置の設置規定をまとめたものを、表-4.3.1 に示す。同表に示すように、設置規定はアンカー設置・アンカー体設置・アンカー長さに分類される。
- (2) アンカー設置のアンカー体位置は、補強対象構造物や隣接構造物、輻輳的な隣接地すべり面などによってアンカー体抵抗に影響が及ばない適切な位置とする。アンカー傾角 α は、グラウト施工の関係から $\alpha = -5^\circ \sim +5^\circ$ 範囲を避ける。アンカー傾角の大きい側では、一般に 45° 以下とされているが、一般構造物用途や用地制約地では、傾角が 45° を超える設計・施工がなされている。一般に、土工構造物で $20 \sim 45^\circ$ 、一般構造物で $20 \sim 90^\circ$ 、台座付土留め構造物で $20 \sim 60^\circ$ の範囲が多い。補強設計の理論上からは、単にアンカー傾角 α の規定ではなく、すべり角 θ を含めた、アンカー合成角 $\beta (= \alpha + \theta) \leq 90^\circ$ を考慮したアンカー傾角 α 設定が適正である。アンカー軸方向とアンカー設置面法線が異なる場合などでは、アンカー分力による受圧体滑動力成分が大きくなるので、この影響を考慮した適正な部材設計を行う必要がある。

なお、アンカー傾角 $\alpha < 15^\circ$ の場合は、アンカー施工でテンドン挿入後のケーシング引上げに伴い、テンドン共上りが生じる懸念があるのでこれに留意する必要がある。これは、ケーシング鋼管が鉄製、テンドンのシースやスペーサが高密度ポリエチレンなどの樹脂製であり、両者の乾燥状態の摩擦係数 μ の最大値が $\mu_{\max} = 0.3$ (すべり限界角度 $\alpha_\mu = \tan^{-1} \mu_{\max} = 16.7^\circ$) であることから、この角度程度以下で経験的にテンドン共上りが生じやすいと考えられている。ただし、実施工でのケーシング内は、水またはケーシング加圧グラウトの充填状態なので、実際にはもう少し摩擦係数が小さく、この場合の限界角は $\alpha_\mu = 10^\circ$ 程度と考えられる。これらを考慮の観点から、アンカー傾角 $\alpha \geq 20^\circ$ は、施工性で特に問題が生じない推奨範囲となっている。

- (3) 地すべりなどの土工構造物の補強対策では、図-4.3.1 に示すように、水平角方向で作用荷重方向 θ_s とアンカー軸方向 θ_a が異なることがあり、この場合には設計アンカー力の割増などで適切に設計する。なお、定着後の供用プレストレス $P_e \geq$ 設計アンカー力 T_d では、すべり土塊に変位挙動が生じないが、 $P_e < T_d$ では、変位挙動が生じてアンカー頭部のせん断破断などが懸念されるので、留意が必要である。

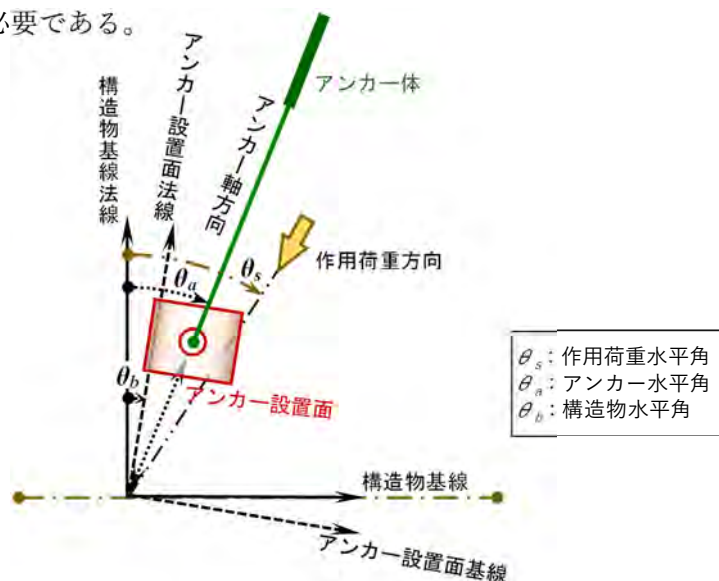


図-4.3.1 アンカー水平角と作用荷重水平角

(4) アンカー体の設置間隔 a は、1.5m 以上であり、アンカーの削孔機据付角度(軸心離れ $\pm 2.5^\circ$ 以下)の精度や、長尺アンカー削孔での孔曲り精度(1/100~1/200)を考慮して適切に設定する。設置間隔 a が 1.5m 未満となる場合は、平面的な千鳥配置やアンカー軸方向千鳥配置、アンカー傾角千鳥配置で、アンカー体の設置間隔 a が 1.5m 以上になるように設計する。

(5) 土工構造物のアンカー設置間隔は、2.5m~4.0m が多く、もっとも多い頻度は 3.0m~3.5m であり、経済性を考慮すると 3.5m 間隔が優位となる。最大間隔は、NEXCO 設計要領で 5.0m が目安とされている。アンカー設置間隔が広過ぎると面的な受圧体押え効果が地盤表面で効かず、受圧体隙間の土砂中抜けやガリ浸食が生じやすいので留意する。これは、受圧体設置の地盤面状態や植生状態などに依存するものであるが、経験的に受圧体間の純隙間が 2.0m 超以上で、土砂中抜けやガリ浸食が生じやすい傾向が見られる。なお、設置間隔によっては、受圧板を使用した水平方向の千鳥配置が土砂中抜け防止と経済性の観点から優位になることもある。

一般構造物では、目地間隔 10m など考慮して設置間隔 3.0m~5.0m が用いられる。最大間隔の上限は特に存在しないが、設置間隔が大きくなるとアンカー力やアンカー体長も増加するので、構造物の耐荷性能の安全性やアンカー仕様を適切に照査する必要がある。なお、構造物設置のアンカー頭部は点支持状態であり、当該部の回転防止の観点から、延長(水平)方向の目地間隔を考慮した構造物ブロックに対して、アンカー本数配置は最小 2 本とする。

(6) のり面 1 段やブロック積擁壁などのアンカー補強での高さ方向の縦段数は、すべり土塊移動に伴うアンカー頭部回転の防止対策から、最小配置を 2 段とする必要がある。なお、抑止杭頭部補強や支持力安定計算を行う橋台・擁壁などの一般構造物補強用のアンカーは、構造物下部が地盤支持状態であり、そこが片側の支点支持になることから、縦段数 1 段で十分に安定状態なので、アンカーの 2 段配置は不要になる。

表-4.3.1 アンカー配置の設置規定

項 目	規 定	摘 要
(1) アンカー設置		
・アンカー間隔	・最大間隔：5.0m 程度が目安	NEXCO 設計要領(土工構造物が対象)
・アンカー体位置	・アンカー体は構造物、および、すべり土塊の影響などを受けない位置	JGS4101,p65
・アンカー傾角 α	・不可範囲： $-5^\circ \sim +5^\circ$ ・のり面・土留め：一般に 45° 以下 ・一般構造物：制限なし(90° 以下)	JGS4101,p66
・アンカー水平角差 θ_A	・ $= \theta_a - \theta_b$ ： 15° 以下	NEXCO 設計要領
・作用荷重方向差 θ_B	・ $= \theta_s - \theta_a$ ： 25° 以下	NEXCO 設計要領
(2) アンカー体設置		
・土被り厚 Δz	・5m 以上	JGS4101,p65
・設置間隔 a	・1.5m 以上(削孔曲り 1/100~1/200 考慮)	JGS4101,p66
・堅固な不動地盤	・地盤 N 値： $N=30$ 以上	不動で地盤緩みが極小かつ安定的
・設置位置	・アンカー・不動地盤の交点以深で余裕長 $\Delta \ell$ を考慮	JGS4101,pp67~68, pp156~157
・余裕長 ΔL	・1~3m 範囲(深度方向、アンカー方向)	NEXCO 設計要領(地盤調査確実性の考慮)
(3) アンカー長さ		
・アンカー自由長 L_f	・4m 以上	JGS4101,p67
・アンカー体長 L_A	・3~10m	JGS4101,p67
・自由長とアンカー体長の丸め単位	・0.5m	一般値

(注)1. JGS4101：地盤工学会 グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説 2012 年

4.4 アンカー体

アンカー体は、テンドンとグラウトとの付着抵抗、およびグラウトと地盤との摩擦抵抗の 3 層 2 界面のせん断伝達機構が確実に成立する必要がある、プレストレス永続作用のアンカーを所要の安全性を有して地盤に固着する重要な部位である。アンカー体長は、最小アンカー体長 3.0m・テンドン拘束長算出値・アンカー体長算出値の中で最大値を 0.5m 単位で切上げて丸めた長さとする。

【解説】

- (1) アンカー体は、プレストレス永続作用のアンカーを地盤に固着する機能を有する部位であり、グラウトと地盤の摩擦抵抗は当該プレストレス P_e (設計アンカー力 T_d) に十分安全に抵抗する必要がある。この観点から、アンカー体の設置地盤は、すべり挙動影響などを受けない不動地盤とし、N 値 30 以上の堅固な地盤とする。これにより、グラウトからのせん断応力伝達に伴うアンカー体の地盤固着による十分な地盤せん断抵抗が期待できる。
- (2) アンカー体設計では、地盤調査結果の N 値 50 以下の風化岩などは、礫質土または砂礫と評価して摩擦強度を設定する。岩盤の換算 N 値で 150 以上は軟岩の摩擦強度を設定する。泥岩・凝灰岩・蛇紋岩などは、摩擦強度が低いことがあるので、表-4.1.6 に示したように、地質年代を考慮して設定する必要がある。なお、泥岩などのり面は、4.1.3(3) に示したように酸性土環境が多いことから、頭部部材やテンドンの耐食性に係る防食構造の設定に留意する。
- (3) アンカー体長は、一般に長くなると同一地盤であっても、図-4.1.11 に示したように、寸法効果で見掛けの摩擦強度(摩擦耐力)が小さくなる傾向にあることから、設計での安全余裕度の関係で留意が必要である。アンカー体長が 10m と長い場合などは、レベル 2 地震での摩擦安全係数 f_{sg} を 1.83 を下限にして適切な値にすることが望ましい。
- (4) 表-4.4.1 にアンカー体引張型のアンカー体長の設計式を示す。テンドン拘束長の算出値 L_{A1} は式(4.4.1)、アンカー体長算出値 L_{A2} は式(4.4.2)でそれぞれを計算し、式(4.4.3)を用いて設計用のアンカー体長 L_A を求める。なお、本工法の許容付着応力度 τ_{ba} は、表-4.1.5 に示したものを使用する。
- (5) 表-4.4.2 に本工法の見掛け周長 U と最小アンカー体径 D_A の設計用値を示す。アンカー適用で設計アンカー力に比して地盤摩擦強度が小さく、アンカー体長 L_A が 10m を超える場合は、設計アンカー体径(削孔径)をより大径にして、アンカー体長 L_A を 10.0m 以下の範囲にするか、もしくは図-4.1.11 から適切な寸法効果低減を考慮してアンカー体長 L_A を設定する必要がある。

表-4.4.1 アンカー体引張型のアンカー体長の設計式

項目	内容	式 No.	摘要
(1) アンカー体長の設計式			
・付着のテンドン拘束長 L_{A1}	$= T_d / (U \cdot \tau_{ba})$	(4.4.1)	JGS4101,p75、式(6.1)
・摩擦のアンカー体長 L_{A2}	$= f_{sg} \cdot T_d / (\pi \cdot D_A \cdot \tau_g)$	(4.4.2)	JGS4101,p77、式(6.2)
・アンカー体長 L_A	$= \text{ceiling}(\max(3.0, L_{A1}, L_{A2}), 0.5)$	(4.4.3)	JGS4101,p77
(2) 記号説明			
・ T_d	設計アンカー力 (kN)		設定値
・ f_{sg}	摩擦安全係数		表-4.1.7 参照
・ D_A	設計アンカー体径(削孔径) (mm)		設定値、表-4.4.2 の値以上
・ τ_g	摩擦強度 (N/mm ²)		表-4.1.6 参照
・ U	見掛け周長 (mm)		表-4.4.2 参照
・ τ_{ba}	許容付着応力度 (N/mm ²)		表-4.1.5 参照

(注)1. 地盤工学会：JGS4101 グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説(2012年)

表-4.4.2 EHD アンカーHP 工法の見掛け周長 U と最小アンカー体径 D_A

(a) EHD5

アンカー規格	$\phi 12.7$ 本数	見掛け周長 U (mm)	標準削孔径	パッカー適用削孔径	
			最小アンカー体径 D_A (mm)	自由長パッカー 適用径 D_{A1} (mm)	フリクションパッカー 適用径 D_{A2} (mm)
EHD5-1H	1	39.9	$\phi 90$	$\phi 90$	$\phi 115$
EHD5-2H	2	79.8	$\phi 90$	$\phi 90$	$\phi 115$
EHD5-3H	3	119.7	$\phi 90$	$\phi 115$	$\phi 115$
EHD5-4H	4	145.7	$\phi 90$	$\phi 115$	$\phi 115$
EHD5-5H	5	145.7	$\phi 90$	$\phi 115$	$\phi 115$
EHD5-6H	6	203.3	$\phi 115$	$\phi 115$	$\phi 135$
EHD5-7H	7	206.6	$\phi 115$	$\phi 135$	$\phi 135$
EHD5-8H	8	206.6	$\phi 115$	$\phi 135$	$\phi 135$
EHD5-9H	9	263.4	$\phi 135$	$\phi 146$	$\phi 146$
EHD5-10H	10	263.4	$\phi 135$	$\phi 146$	$\phi 146$
EHD5-11H	11	263.4	$\phi 135$	$\phi 146$	$\phi 146$
EHD5-12H	12	263.4	$\phi 135$	$\phi 146$	$\phi 146$

- (注)1. 自由長パッカーは、自由長全体を筒状被覆し、内部にグラウト注入するものであり、自由長側から地盤側へのグラウト漏出防止の目的で適用する。
2. フリクションパッカーは、アンカー体全体を筒状被覆し、過度なアンカー体グラウトの逸失防止と地盤摩擦耐力確保を目的に適用する。フリクションパッカー装備では、グラウトの注入確認ホースを取付けないのが標準である。
3. フリクションパッカー装着時の施工は、削孔・テンドン挿入・アンカー体部ケーシング引抜・パッカー内注入・パッカー内加圧注入の手順で行う。

(b) EHD6

アンカー規格	$\phi 15.2$ 本数	見掛け周長 U (mm)	標準削孔径	パッカー適用削孔径	
			最小アンカー体径 D_A (mm)	自由長パッカー 適用径 D_{A1} (mm)	フリクションパッカー 適用径 D_{A2} (mm)
EHD6-1H	1	47.8	$\phi 90$	$\phi 90$	$\phi 115$
EHD6-2H	2	95.5	$\phi 90$	$\phi 90$	$\phi 115$
EHD6-3H	3	143.3	$\phi 90$	$\phi 115$	$\phi 115$
EHD6-4H	4	191.0	$\phi 115$	$\phi 115$	$\phi 135$
EHD6-5H	5	206.8	$\phi 115$	$\phi 135$	$\phi 135$
EHD6-6H	6	206.8	$\phi 115$	$\phi 135$	$\phi 135$
EHD6-7H	7	251.7	$\phi 135$	$\phi 146$	$\phi 146$
EHD6-8H	8	251.7	$\phi 135$	$\phi 146$	$\phi 146$
EHD6-9H	9	251.7	$\phi 135$	$\phi 146$	$\phi 146$
EHD6-10H	10	320.8	$\phi 146$	$\phi 165$	$\phi 165$
EHD6-11H	11	320.8	$\phi 146$	$\phi 165$	$\phi 165$
EHD6-12H	12	320.8	$\phi 146$	$\phi 165$	$\phi 165$
EHD6-13H	13	357.1	$\phi 165$	$\phi 216$	$\phi 216$
EHD6-14H	14	357.1	$\phi 165$	$\phi 216$	$\phi 216$

- (注)1. 自由長パッカーは、自由長全体を筒状被覆し、内部にグラウト注入するものであり、自由長から地盤側へのグラウト漏出防止の目的で適用する。
2. フリクションパッカーは、アンカー体全体を筒状被覆し、過度なアンカー体グラウトの逸失防止と地盤摩擦耐力確保を目的に適用する。フリクションパッカー装備では、グラウトの注入確認ホースを取付けないのが標準である。
3. フリクションパッカー装着時の施工は、削孔・テンドン挿入・アンカー体部ケーシング引抜・パッカー内注入・パッカー内加圧注入の手順で行う。

4.5 受圧体・支圧板・構造物体・土留部材の設計

受圧体・支圧板・構造物体・土留部材の設計は、当該部材が永続作用のアンカープレストレスを支持可能な十分な耐荷性能を有するとともに、当該部材背面に存在する背面部材がその支持耐力または支圧耐力を満足できるように、当該部材の受圧面積または支圧面積を設定することで行う。

【解説】

- (1) 受圧体は、受圧板・吹付のり枠・台座・壁面台座の種類があるので、プレストレスを支持する適正な耐荷性能と、背面地盤の支持力または背面部材の支圧力が適正になる構造検討を行う。
- (2) 支圧板は、中央空孔の正方形や円形などの鋼部材からなるものであり、プレストレスを支持する適正な耐荷性能と、背面部材の支圧力が適正になる構造検討を行う。
- (3) 構造物体は、支圧板などから伝達するプレストレスを支持する、無筋コンクリートまたは鉄筋コンクリートなどの種類からなるものであり、適正な耐荷性能を有する構造検討を行う。
- (4) 土留部材は、台座・腹起し・ブラケットが一体構成となって土留壁面にプレストレスを伝達するものであり、適正な耐荷性能を有する構造検討を行う。

4.5.1 受圧板・吹付のり枠の支持力安定と滑動安定

受圧板と吹付のり枠は、土工構造物のアンカー頭部側の地盤面に設置する受圧体であり、アンカープレストレスの永続作用に対して、支持力安定と滑動安定が保持できる安全性を有するように検討する。

【解説】

- (1) 受圧板または吹付のり枠の支持力安定は、NEXCO 設計要領に則り、簡便的な式(4.5.1)により安全性を照査する。この場合の作用力は同要領に則り、アンカー法線角 δ によらず、すべてが作用するものとする。
- (2) 受圧板の滑動安定は、NEXCO 設計要領に則り、式(4.5.2)により安全性を照査する。同式の逆算から、アンカー法線角 δ の滑動限界 δ_L が式(4.5.3)、アンカー傾角 α の滑動限界 α_L が式(4.5.4)で計算できる。アンカー法線角 δ の滑動限界 δ_L は、シルトや泥岩相当の内部摩擦角 $\phi = 20^\circ$ で $\delta_L = 13.6^\circ$ 、砂質土相当の内部摩擦角 $\phi = 30^\circ$ で $\delta_L = 21.1^\circ$ となることから、一般に適用されている標準的なアンカー法線角範囲 $\delta = 15^\circ$ 以下であれば、受圧板の滑動安定の照査は満足できる。ただし、アンカー軸方向と受圧板は、プレストレス伝達の安全性で直交が必要なことから、受圧板と受圧体間には角度調整部材が必要である。アンカー法線角 $\delta = 15^\circ$ 以下の角度調整部材は、表-4.5.1 に示す、のり面角度台座(ST 台座)などを使用して行う。
- なお、受圧板の滑動安定が満足できない場合は、後述の図-4.10.4 に示す、角度調整吹付枠(エフケー不陸調整枠)や削孔内設置補強管・せん断補強ボルトなどの滑動防止対策を適用する。
- (3) 吹付のり枠の滑動安定は、のり面などの地盤面と吹付モルタルの接着抵抗力が比較的大きく、かつ、のり枠のアンカー法線角が一般に 15° 以下となることから、滑動安定検討は不要である。

■支持力安定の照査

$$w = T_d / A \leq q_a = q_u / f_{sb0} \quad \dots(4.5.1)$$

■滑動安定の照査

$$F_s = T_d \cdot \cos \delta \cdot \mu / (T_d \cdot \sin \delta) \geq f_{ss0} \quad (\text{ただし、} \mu = \tan \phi) \quad \dots(4.5.2)$$

■アンカー法線角の滑動限界 δ_L

$$\delta_L = \tan^{-1}(\tan \phi / f_{ss0}) \geq \delta \quad \dots(4.5.3)$$

■アンカー傾角 α の滑動限界 α_L

$$\alpha_L = 90 - \theta_0 - \delta_L \geq \alpha \quad \dots(4.5.4)$$

ここに、

- ・ w : 受圧板または吹付のり枠の地盤設置面に作用の分布荷重 (kN/m²)
- ・ T_d : 設計アンカー力(= P_e : プレストレス) (kN/本)
- ・ A : 受圧板または吹付のり枠の地盤設置面積 (m²)
- ・ q_a : 許容支持力 (kN/m²)
- ・ q_u : 表-4.1.11 の極限支持力 (kN/m²)
- ・ f_{sb0} : 表-4.1.10 の支持力安全係数
- ・ F_s : 滑動安全率
- ・ δ : 図 4.1.12 のアンカー法線角 (°)
- ・ f_{ss0} : 表-4.1.10 の滑動安全係数
- ・ ϕ : 設置地盤の内部摩擦角 (°)
- ・ θ_0 : 図 4.1.12 ののり面勾配角 (°)
- ・ α : 図 4.1.12 のアンカー傾角 (°)

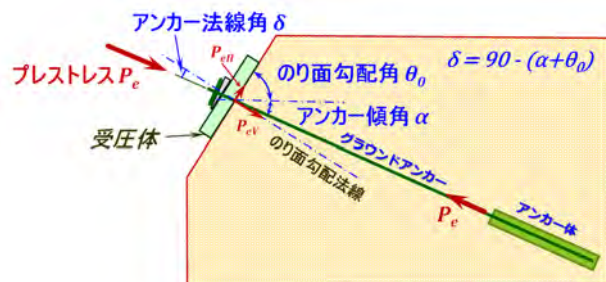


図-4.1.12 再掲

4.5.2 受圧板

受圧板は、作用プレストレスに対する所要の耐荷性能を有する規格を選定し、永続的に耐久性能が確保できるものを使用する。

【解説】

- (1) 受圧板は、製造メーカーで独自に、アンカー力への耐荷性能と地盤設置の受圧面積を設定した受圧板規格で構成されており、種類は、鋼 FRP 組合せ部材の植生に優れたアンカーパネル、耐食性に優れた強化プラスチック部材のFFU受圧板、めっき型鋼部材の各種の鋼製受圧板、PC部材や RC 部材の各種のコンクリート製受圧板がある。これらは、設計アンカー力と地盤支持力、適用環境状態、現場運搬性、施工性、経済性などを考慮の上、適正な選定を行う。
- (2) 受圧板の選定は、4.1.3 に示した適用環境状態を考慮する。塩害環境が著しくない一般的な環境下は、一般に海岸線から 1.0km 以上離れている場合である。海岸線から 1.0km 未満の場合は、コンクリート製受圧板では図-4.1.5 を考慮して地域に応じたかぶり増厚などの何らかの対策が必要である。
- (3) 泥岩・シルト岩などの酸性土環境(pH2.0~5.0)ののり面では、めっき仕様の鋼製受圧板は耐食性に劣るので留意が必要である。当該環境状態では、耐食性に優れた強化プラスチック受圧板を推奨する。

4.5.3 吹付のり枠

吹付のり枠は、金網型枠と鉄筋配置の状態にモルタル吹付で格子状のり枠を形成するもので、高所での施工性が良いことから一般的に使用される。アンカー適用では、作用プレストレスに対する所要の耐荷性能を有する構造として、永続的に耐久性能が確保できる検討を行う。

【解説】

- (1) 吹付のり枠の検討は、設計基準強度 $f_{ck}=18\text{N/mm}^2$ を標準とし、断面形状□400~□600 範囲が一般に使用される。設計は、「のり枠工の設計・施工指針(改訂版第 3 版)」の限界状態設計法や NEXCO 設計要領の許容応力度法に則する方法があるので、適用分野に応じて適切に行う。
- (2) 吹付のり枠の鉄筋かぶりの設定は、コンクリート標準示方書設計編の最小かぶりと施工誤差、乾湿繰返しのかぶり加算考慮などがあるので、4.1.3 に示した適用環境状態を考慮して適切に設定する。なお、吹付のり枠のアンカー箱抜部の鉄筋かぶりにも留意が必要である。
- (3) 吹付のり枠格子部のアンカー設置箇所は、支圧板を介してアンカープレストレスによる局部載荷支圧が作用するので、式(4.5.5)を用いて局部載荷支圧応力 σ_b の照査を行う。式(4.5.6)の局部載荷の許容支圧強度 σ_{ba} は、のり枠格子部の有効面積と支圧板有効面積の比が大きくなるほど荷重分散効果が加味されて増加することになるが、その上限は $0.5f_{ck}$ である。

■支圧板面の局部載荷支圧応力 σ_b の照査

$$\sigma_b = 1000T_d / (L_{PL}^2 - D_v^2 \cdot \pi/4) \leq \sigma_{ba} \quad \dots(4.5.5)$$

■局部載荷の許容支圧強度 σ_{ba}

$$\sigma_{ba} = f_{ck} \cdot \min(0.5, 0.25 + 0.05 \cdot (B^2 - D_v^2 \cdot \pi/4) / (L_{PL}^2 - D_v^2 \cdot \pi/4)) \quad \dots(4.5.6)$$

ここに、

- ・ σ_b : 支圧板面の局部載荷支圧応力 (N/mm²)
- ・ T_d : 設計アンカー力(= P_e :プレストレス) (kN/本)
- ・ f_{ck} : 吹付のり枠の設計基準強度(=18N/mm²)
- ・ L_{PL} : 支圧板幅 (mm) ・ D_v : 箱抜径 (mm)
- ・ B : 吹付のり枠のはり断面幅 (mm)

4.5.4 支圧板

支圧板は、中央空孔を有する正方形などの鋼部材からなるものであり、背面の受圧体や台座などで支持され、上面のナットなどの定着具からプレストレス作用を受けることから、これを支持する適正な耐荷性能と、背面部材の支圧力が適正になる構造検討を行う。

【解説】

- (1) 支圧板は、おもに図-4.5.1の受圧体支持のものと、図-4.5.2の台座支持のものがあり、定着具外周作用のせん断力に抵抗する支圧板厚と、箱抜径 $D_v >$ 定着具径 D_0 条件で曲げモーメント作用に抵抗する支圧板厚の2条件を満足するように検討する。なお、背面の受圧体がなく、支圧板が無筋コンクリート構造物などに直接設置する場合は、4.5.5 構造物体を参照の上、構造物側での局所載荷支圧や必要に応じて押抜きせん断の検討を行う。支圧板の背面部材が台座などの鋼部材からなる場合は、支圧耐力が十分に大きいので支圧検討は一般に不要である。
- (2) 支圧板の検討モデルは、せん断検討で定着具外周の直接せん断の安全性照査、曲げ検討で箱抜径 D_v や側板内間隔 D_v を支点とした曲げモーメント作用に対して安全性照査を実施する。
- (3) 支圧板のせん断応力 τ_s の照査は式(4.5.7)、曲げ応力 σ_s の照査は式(4.5.8)を用いて実施する。式(4.5.8)は、 $D_v > D_0$ 条件で適用し、 $D_v \leq D_0$ では、 $\sigma_s = 0$ である。
- (4) 支圧板の標準規格は、表-3.1.2に示したものとする。のり面安定対策などに用いるアンカーで、アンカー方向とのり面法線とが偏角を有する場合は、アンカー頭部でテンドン屈曲による耐力低下が生じないように、のり面角度台座(ST 台座)を使用して、目的とする設計アンカー方向に一致させる必要がある。

のり面角度台座(ST 台座)を用いる場合のアンカー角度調整部材と形状を図-4.5.3に、ST 台座と管付支圧板・補剛板の組合せを表-4.5.1に示す。同図(a)のように、のり面角度台座(ST 台座)は、上下分離の台座構造となっており、上下間の個別回転で、管付支圧板上設置のアンカー一定着具に傾き角が生じることから、アンカー方向角が任意に調整できる。本部材の調整角範囲は、 $0 \sim 20^\circ$ である。角度調整部材の選定は、同表に示した、アンカー規格に適合する、のり面角度台座(ST 台座)・管付支圧板・補剛板を組合せたものとする。なお、角度調整の設計最大角は、 15° とし、残量 5° 分はアンカー削孔段階の施工精度吸収用とする。調整角が 15° より大きい場合は、図-4.10.4に示す不陸調整枠を使用する。

■支圧板のせん断応力 τ_s の照査

$$\tau_s = 1000T_d / (\pi \cdot D_v \cdot t_{PL}) \leq f_{ss} \cdot \tau_{yk} \quad \cdots(4.5.7)-1$$

下式は、台座支持 & $D_v \geq D_0$ で適用

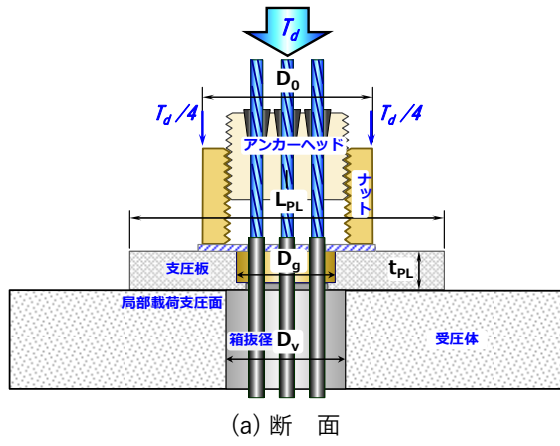
$$\tau_s = 1000T_d / (\min(2 \cdot L_{PL}, \pi \cdot D_v) \cdot t_{PL}) \leq f_{ss} \cdot \tau_{yk} \quad \cdots(4.5.7)-2$$

■支圧板の曲げ応力 σ_s の照査($D_v > D_0$ で適用)

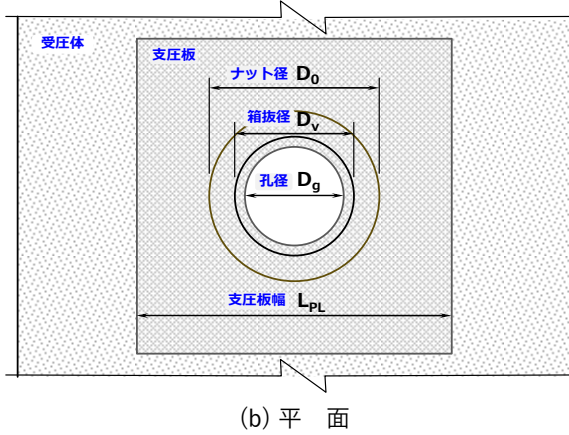
$$\sigma_s = 750 \alpha_0 \cdot T_d \cdot (D_v - D_0) / ((L_{PL} - D_g) \cdot t_{PL}^2) \leq f_{ss} \cdot \sigma_{yk} \quad \cdots(4.5.8)$$

ここに、

- ・ T_d : 設計アンカー力(= P_e :プレストレス) (kN/本)
- ・ f_{ss} : 表 4-1-9 のアンカー部材安全係数
- ・ τ_{yk} : 表 4-1-8 のせん断降伏特性 (N/mm²)
- ・ σ_{yk} : 表 4-1-8 の引張降伏特性 (N/mm²)
- ・ D_0 : 定着具(ナット)径 (mm)
- ・ L_{PL} : 支圧板幅 (mm)
- ・ t_{PL} : 支圧板厚 (mm)
- ・ D_g : 支圧板孔径 (mm)
- ・ D_v : 箱抜径または側板内間隔 (mm)
- ・ α_0 : 補正係数(受圧体支持=1、台座支持=2)

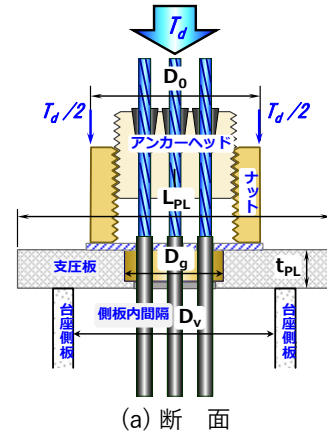


(a) 断面

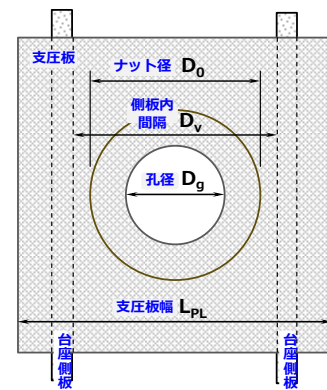


(b) 平面

図-4.5.1 受圧体支持の支圧板の概念

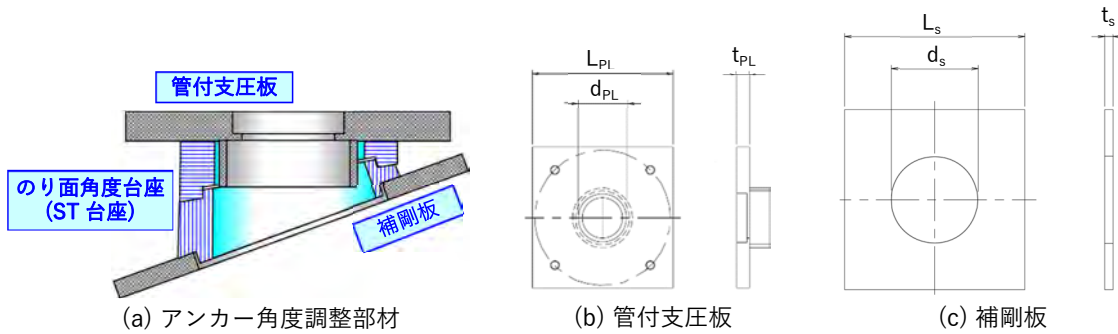


(a) 断面



(b) 平面

図-4.5.2 台座支持の支圧板の概念



(a) アンカー角度調整部材

(b) 管付支圧板

(c) 補剛板

図-4.5.3 アンカー角度調整部材と形状

表-4.5.1 アンカー規格対応 ST 台座と管付支圧板・補剛板の組合せ、形状寸法 (mm)

アンカー規格	ST台座規格	管付支圧板		補剛板	アンカー規格	ST台座規格	管付支圧板		補剛板
		規格	$L_{PL} \times d_{PL} \times t_{PL}$	規格: $L_s \times t_s \times d_s$			規格	$L_{PL} \times d_{PL} \times t_{PL}$	規格: $L_s \times t_s \times d_s$
EHD5-1H	ST140	PLP5-1	210 φ 25t19	210 φ 131t12	EHD6-1H	ST140	PLP6-1	210 φ 30t19	210 φ 131t12
EHD5-2H	ST140	PLP5-2	210 φ 60t19	210 φ 131t12	EHD6-2H	ST140	PLP6-2	210 φ 60t19	240 φ 131t12
EHD5-3H	ST140	PLP5-3	210 φ 60t19	240 φ 131t12	EHD6-3H	ST140	PLP6-3	240 φ 65t19	270 φ 131t16
EHD5-4H	ST140	PLP5-4	210 φ 60t19	270 φ 131t12	EHD6-4H	ST170	PLP6-4	240 φ 76t19	300 φ 143t16
EHD5-5H	ST170	PLP5-5	240 φ 76t19	280 φ 143t12	EHD6-5H	ST220	PLP6-6	290 φ 92t22	350 φ 180t16
EHD5-6H	ST170	PLP5-6	240 φ 76t19	310 φ 143t16	EHD6-6H	ST220	PLP6-6	290 φ 92t22	350 φ 180t16
EHD5-7H	ST170	PLP5-7	240 φ 76t25	350 φ 143t19	EHD6-7H	ST220	PLP6-7	290 φ 92t25	350 φ 180t19
EHD5-8H	ST220	PLP5-9	290 φ 106t22	350 φ 180t19					
EHD5-9H	ST220	PLP5-9	290 φ 106t22	350 φ 180t19					
EHD5-10H	ST220	PLP5-10	290 φ 106t25	350 φ 180t19					
EHD5-11H	ST220	PLP5-11	290 φ 106t28	350 φ 180t22					
EHD5-12H	ST220	PLP5-12	290 φ 106t30	350 φ 180t22					

注)1. 角度調整は、アンカー規格に適合の、のり面角度台座(ST 台座)・管付支圧板・補剛板を組合せて行う。
2. ST 台座による角度調整の設計最大角は、15° とし、残量 5° 分は施工精度吸収とする。

4.5.5 構造物体

構造物体は、支圧板や壁面台座などの受圧体から伝達するプレストレスを支持する、無筋コンクリートまたは鉄筋コンクリートなどの一般構造物からなるもので、構造物が適正な耐荷性能でプレストレスに抵抗できるように、アンカー設置位置、および支圧板や受圧体側の面積の検討を行う。

【解説】

- (1) 構造物体は、一般に無筋コンクリート・鉄筋コンクリート・プレキャスト(PCa)製プレストレスコンクリートの構成部材からなり、アンカー適用は、この既設構造物の外的安定の安定性向上の補強対策に標準的に使用される。コンクリートの設計基準強度 f_{ck} は、一般に、無筋コンクリート： $f_{ck}=18\text{N/mm}^2$ 、鉄筋コンクリート： $f_{ck}=24\text{N/mm}^2$ 、プレキャスト製プレストレスコンクリート： $f_{ck}=30\text{N/mm}^2$ 以上が使用されているので、構造物の局部載荷支圧や必要に応じて行う押抜きせん断の照査は、これらを適正に評価して構造物安全性が満足できる、アンカー設置位置、および支圧板や受圧体側の面積を検討する必要がある。
- (2) 支圧板は、アンカー法線角 $\delta=0^\circ$ で使用する。 $0^\circ \leq \delta \leq 15.0^\circ$ で支圧板とのり面角度台座、 $0^\circ \leq \delta \leq 30.0^\circ$ で壁面台座が使用される。壁面台座は、後述の図-4.10.5 に示すように、支圧板と鋼管を一体構成したものであり、鋼管のせん断抵抗で、構造物境界部の滑動安定性の確保を図るものであり、のり面角度台座に比べて、鉛直に近い構造物壁面での頭部部材配置の施工性が良いのが特長である。
- (3) 図-4.5.4 に構造物体の支圧抵抗の概念を示す。支圧板面の局部載荷支圧応力 σ_b の照査は、式(4.5.9)により行う。式(4.5.10)の局部載荷の許容支圧強度 σ_{ba} の計算は、同式に示すように、構造物有効面積でアンカー縁辺距離 $2S$ とアンカー間隔 a_p の小さい方を採用して行う。
- (4) 押抜きせん断の照査は、もたれ擁壁・重力式擁壁、ブロック岸壁、鋼管杭頭部コーピングコンクリートなどの壁部材やスラブ部材へのアンカー設置の場合で、式(4.5.11)を用いて行う。

■支圧板面の局部載荷支圧応力 σ_b の照査

$$\sigma_b = 1000T_d / (L_{PL}^2 - D_v^2 \cdot \pi/4) \leq \sigma_{ba} \quad \cdots(4.5.9)$$

■局部載荷の許容支圧強度 σ_{ba}

$$\sigma_{ba} = f_{ck} \cdot \min(0.5, 0.25 + 0.05 \cdot (\min(L_{PL} + t_c, 2S, a_p)^2 - D_v^2 \cdot \pi/4) / (L_{PL}^2 - D_v^2 \cdot \pi/4)) \quad \cdots(4.5.10)$$

■押抜きせん断応力 τ_{cp} の照査

・ $S \geq t_c + 0.5L_{PL}$ で適用

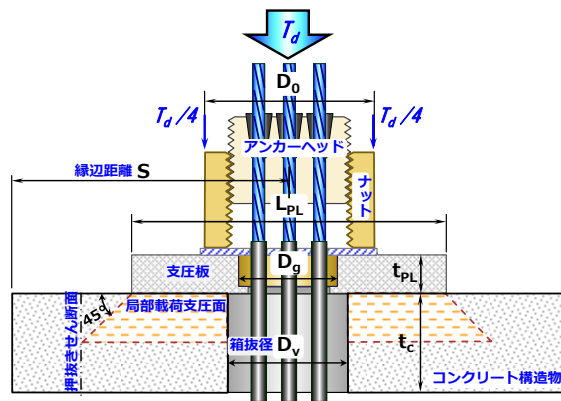
$$\tau_{cp} = 1000T_d / (t_c (4 \cdot L_{PL} + \pi \cdot t_c)) \leq \tau_{ai} \quad \cdots(4.5.11)-1$$

・ $S < t_c + 0.5L_{PL}$ で適用

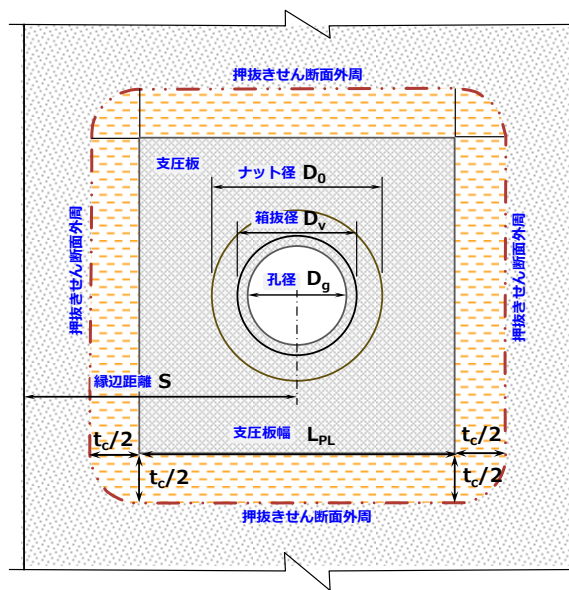
$$\tau_{cp} = 1000T_d / (t_c (4 \cdot L_{PL} + \pi \cdot (S - 0.5L_{PL}))) \leq \tau_{ai} \quad \cdots(4.5.11)-2$$

ここに、

- ・ σ_b : 支圧板面の局部載荷支圧応力 (N/mm^2)
- ・ T_d : 設計アンカー力(= P_e :プレストレス) (kN/本)
- ・ f_{ck} : 吹付のり枠の設計基準強度 (= 18N/mm^2)
- ・ L_{PL} : 支圧板幅 (mm)
- ・ D_v : 箱抜径 (mm)
- ・ t_c : コンクリート板厚 (mm)
- ・ S : アンカー縁辺距離 (mm)
- ・ a_p : アンカー間隔 (mm)
- ・ τ_{cp} : 押抜きせん断応力 (N/mm^2)
- ・ τ_{ai} : 表 4-5-2 の許容押抜きせん断強度 (N/mm^2)



(a) 断面



(b) 平面

図-4.5.4 構造物体の支圧抵抗

表-4.5.2 許容押抜きせん断強度 τ_{al} (N/mm²)

コンクリート設計基準強度 f'_{ck}	18	24	30
許容押抜きせん断強度 τ_{al}	0.80	0.90	1.00

4.5.6 土留部材

土留部材は、台座・腹起し・ブラケットをいい、これらが一体構成となって土留壁面にプレストレスを伝達しており、これらは適正な耐荷性能を有する構造検討を行う。

【解説】

- (1) 本工法の土留壁適用は、一般にアンカー設計供用期間 2 年以上の長期仮設、または本設の残置アンカーになる。土留壁計算は、土留工計算ソフト(KASETSU-5X など)の弾塑性法に則して行うことを推奨する。弾塑性法適用のメリットは、アンカープレストレスがプレロード P_e として入力でき、計算結果でアンカー残存引張力 P_{er} と土留壁変位挙動の両方が連成解析の上で適正に評価される点にある。計算は、予備計算で各段の支保工反力を求め、次に反力の 1.2 倍程度をプレロード入力して、計算結果の支保工反力とプレロードがほぼ同程度になるまで 2~3 回繰返し計算で解の収束を図る。プレロード入力しないケースでは、土留壁仕様が過大になることがあるので設計上の留意が必要である。
- (2) 土留部材は、台座・腹起し・ブラケットであるが、アンカー部材の範疇は一般的に台座部材までであり、アンカーと同等の防食構造Ⅱ(一般環境)の亜鉛めっき HDZT77 適用範囲もここに含まれる。なお、土留部材メーカーの範疇は、腹起し・ブラケット・土留壁である。
- (3) 本工法の残置アンカーとは異なるが、KJS 除去アンカーを長期仮設に適用の場合は、頭部部材と耐荷体は防食構造Ⅱ(一般環境)の仕様を満足する必要がある。
- (4) 土留台座の形状断面と検討モデルを図-4.5.5 に示す。同図に示すように、台座側板は、曲げモーメントとせん断の作用に安全となるように照査を行う。アンカー傾角 $\alpha \geq 45^\circ$ では、アンカー鉛直分力が大きくなるので、台座側板の座屈や下段腹起し接触面の支圧に留意する。式(4.5.12)に下段腹起し接触面の支圧応力の照査式を示す。
- (5) 下段腹起しは、台座水平力の曲げモーメントと台座鉛直力の曲げモーメントによる応力がそれぞれ H 鋼腹起しの強軸方向 σ_x と弱軸方向 σ_y に作用する。この場合の下段腹起しの応力照査は、合成応力 $\sigma_s = (\sigma_x^2 + \sigma_y^2)^{1/2}$ にて耐荷性能の照査を行う

■台座と下段腹起し接触面の支圧応力 σ_b の照査

$$\sigma_b = 500T_d \cdot (\sin\alpha - \mu_b \cdot \cos\alpha) / A_b \leq f_{ss} \cdot a_b \cdot \sigma_{ykb} \quad \dots(4.5.12)$$

ここに、

- ・ σ_b : 台座と下段腹起し交点面の支圧応力 (N/mm²)
- ・ T_d : 設計アンカー力(= P_e :プレストレス) (kN/本)
- ・ f_{ss} : 表 4-1-9 のアンカー部材安全係数
- ・ a_b : 表 4-1-9 の支圧部材補正係数
- ・ σ_{ykb} : 表 4-1-8 の鋼板と鋼材の支圧降伏特性 (N/mm²)
- ・ α : アンカー傾角 (°)
- ・ A_b : 台座側板と下段腹起し接触面の直角部面積 (mm²)
- ・ μ_b : 鋼材と鋼材の摩擦係数(平均:0.45、範囲:0.40~0.50)

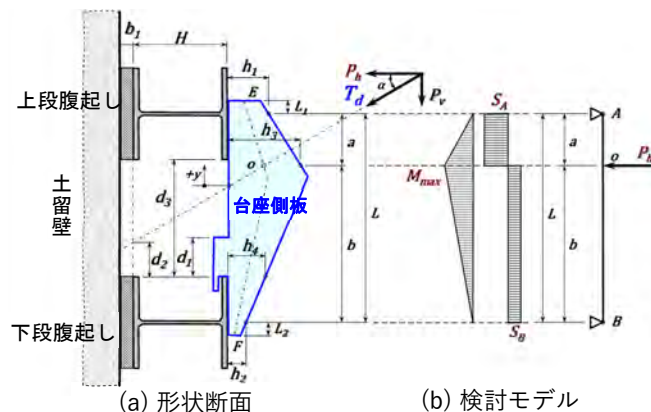


図-4.5.5 土留台座の形状断面と検討モデル

4.6 プレストレスと構造物変位

アンカープレストレスは、所要の作用荷重に抵抗できる設計アンカー力以上のもつて、土工構造物や一般構造物は変位ゼロを保持できる。一方、作用荷重がプレストレスを超える場合に、土工構造物や一般構造物に変位が発生することから、永続的なプレストレスが所要の設計アンカー力未満になる設計では、その変位量を求めて構造物および隣接施設への影響を照査するとともに、変位に伴うアンカー増加力を含めたアンカー力の耐力照査を行う。

【解説】

(1) 永続的なプレストレス P_e が所要の設計アンカー力 T_d 以下になり、設計アンカー力のプレストレス超過力 $\Delta P = T_d - P_e$ の作用荷重に対して、アンカーばね剛性で抵抗させる設計は、構造物変位を生じさせることから、この影響を照査する。さらに、プレストレス超過力 ΔP に伴う変位は、アンカー頭部にせん断変形をもたらし、アンカー損傷や破断の原因にもなり得ることから留意が必要である。旧道路公団では供用アンカー調査結果からプレストレスが小さいものに頭部損傷が多かったことを踏まえ、プレストレスを設計アンカー力の100%以上にする規定が設けられた経緯がある。

なお、後述の 4.11(6)で記すように、アンカーテンドンへのせん断影響を防止するためには、頭部アンカーのせん断変位 δ_{as} は 10mm 程度に抑えることが推奨される。

(2) 図-4.6.1(a)に示すように、土工構造物補強のアンカーで下段アンカー(例えば、No.1)は、一般に短いアンカー自由長 L_{f1} になることから、すべり土塊剛体モードによるプレストレス超過力 ΔP の地盤変位 δ_g に伴って、上段に比べてアンカー力負荷が大きくなる。プレストレス P_e を所要の設計アンカー力 T_d 以下に設定する設計では、これを照査して、変位の悪影響がない適正なプレストレス P_e を設定する必要がある。アンカー設計の限界状態が長期状態と地震状態となり、地震状態の設計アンカー力 T_{de} と長期状態の設計アンカー力 T_{dn} が $T_{de} \geq T_{dn}$ で、プレストレスが T_{dn} 程度の設定の場合も、地震状態でプレストレス超過力 ΔP が生じて、下段アンカーに過度な負荷が作用することから、これを照査して耐荷性能の安全性を満足する必要がある。

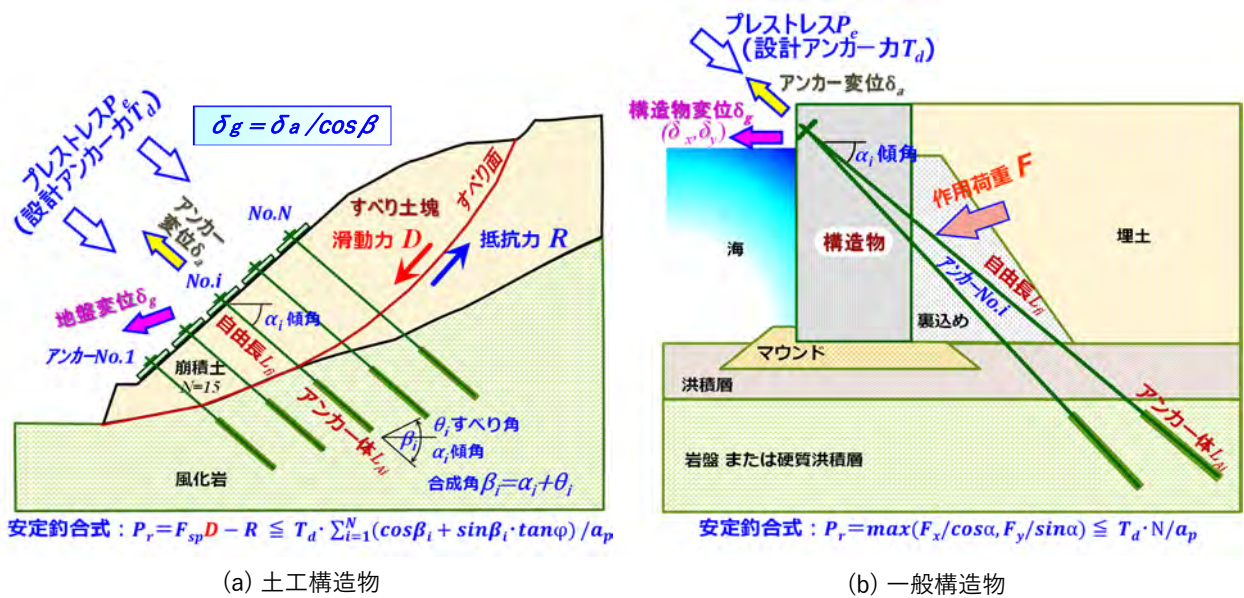


図-4.6.1 プレストレスと構造物変位の検討モデル

(3) 式(4.6.1)は、超過力 ΔP と地盤(構造物)剛体変位 δ_g の釣合い式を示しており、これを变形すると、式(4.6.2)の超過力 ΔP に対する地盤(構造物)剛体変位 δ_g の照査式になる。一般構造物での適用の際は、すべり角 $\theta_i=0$ になるので、 $\beta_i=\alpha_i$ として本式を適用する。許容変位 δ_{ga} は、アンカー頭部せん断によるテンドンの損傷や破断が生じないレベルで適正に設定する。

(4) 式(4.6.5)に i 段アンカー残存引張力 P_{eri} の耐力の照査式を示す。同式の増加力 ΔP_i は、式(4.6.2)~(4.6.4)を代入することで求まる。アンカー残存引張力 P_{eri} の耐力照査は、アンカー力負荷が大きくなる、アンカーの自由長平均から短い側が対象になる。照査耐力の上限は、表-4.1.3 を参考に限界状態が長期・レベル 1 地震で $(0.60\sim 0.70)T_{us}$ 、レベル 2 地震で $(0.85\sim 0.90)T_{ys}$ を推奨する。

■超過力 ΔP と地盤剛体変位 δ_g の釣合い式

$$\Delta P = T_d - P_e = \Sigma \Delta P_i / N = \delta_g \cdot A \cdot E \cdot \Sigma (\cos \beta_i / L_{fi}) / N \quad \dots(4.6.1)$$

■構造物(地盤)剛体変位 δ_g の照査

$$\delta_g = \Delta P / (A \cdot E \cdot \Sigma (\cos \beta_i / L_{fi}) / N) \leq \delta_{ga} \quad \dots(4.6.2)$$

■ i 段アンカー変位 δ_{ai} と地盤剛体変位 δ_g の関係

$$\delta_{ai} = \delta_g \cdot \cos \beta_i \quad \dots(4.6.3)$$

■ i 段アンカー増加力 ΔP_i と i 段アンカー変位 δ_{ai} の関係

$$\Delta P_i = \delta_{ai} \cdot A \cdot E / L_{fi} \quad \dots(4.6.4)$$

■ i 段アンカー残存引張力 P_{eri} の耐力の照査

$$P_{eri} = P_e + \Delta P_i \leq (0.60\sim 0.70) \cdot T_{us} \text{ or } (0.85\sim 0.90) \cdot T_{ys} \quad \dots(4.6.5)$$

■アンカー頭部せん断変位 δ_{asi}

$$\delta_{asi} = \delta_g \cdot \sin \beta_i = \delta_{ai} \cdot \tan \beta_i \quad \dots(4.6.6)$$

ここに、

- ・ ΔP : アンカー超過力 (kN/本)
- ・ T_d : 設計アンカー力 (kN/本)
- ・ P_e : プレストレス (kN/本)
- ・ N : アンカー段数 (段)
- ・ A : アンカー断面積 (mm^2)
- ・ E : アンカー弾性係数 ($=0.195\text{MN}/\text{mm}^2$)
- ・ β_i : i 段アンカー合成角 ($=\alpha_i + \theta_i ; ^\circ$)
- ・ α_i : i 段アンカー傾角 ($^\circ$)
- ・ θ_i : i 段アンカーすべり角 ($^\circ$)
- ・ L_{fi} : i 段アンカー自由長 (m)
- ・ δ_{ga} : 構造物やアンカー頭部せん断考慮の許容変位 (mm)
- ・ T_{us} : アンカー極限耐力 (kN/本)
- ・ T_{ys} : アンカー降伏耐力 (kN/本)

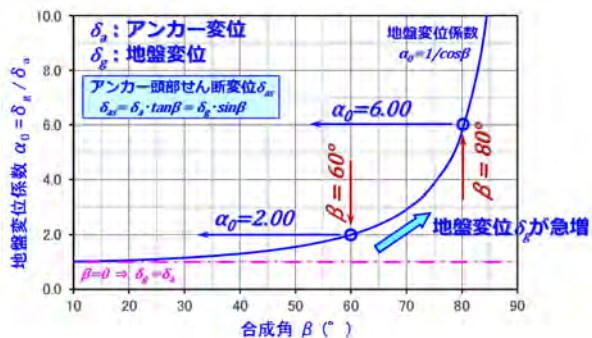


図-4.6.2 アンカー合成角 β と地盤変位 δ_g

(5) ここで、図-4.6.1(a)に示したアンカー設置のアンカー傾角とすべり角のモデルで、アンカー耐力照査の試算結果事例を示す。

表-4.6.1 に土工構造物の設計条件を示す。同表に示すように、プレストレス P_e は、設計アンカー力 T_d の $P_e=0.6 \times T_d=189.2\text{kN/本}$ と待受けで設定する。短自由長ケースと長自由長ケースの2ケースを設定し、剛体変位 δ_g と各段の残存引張力 P_{eri} の設計結果を表-4.6.2、表-4.6.3に示す。地盤の剛体変位 δ_g は、短自由長が 45.2mm 、長自由長が 208.9mm と算出でき、平均超過力 ΔP が $\Delta P=T_d-P_e=189.2\text{kN/本}$ と同一でも、アンカー自由長で地盤(構造物)変位に差が出るので留意が必要である。各段の残存引張力 P_{eri} は、両ケースとも No.01 と No.02 で許容耐力を超え、特に、短自由長ケースの No.01 は $0.90T_{ys}$ (421.2kN/本) を超えている。この場合のプレストレス P_e の $P_e=0.6 \times T_d$ 設定は、適正な設計ではないので、プレストレス P_e 設定の修正が必要ながことが明らかである。なお、永続的なプレストレス $P_e \geq T_d$ (\geq 作用荷重 P_0) であれば、式(4.6.1)から明らかかなように剛体変位 δ_g とアンカー増加力 ΔP_i はゼロである。

表-4.6.1 照査事例の土工構造物の設計条件

項目	単位	諸元
必要抑止力 P_r	kN/m	450.0
すべり面内部摩擦角 ϕ	°	25.0
アンカー水平間隔 a_p	m	2.5
アンカー段数 N	段	5
設計アンカー力 T_d	kN/本	315.3 ($F_s=1.20$)
アンカー規格	—	EHD5-3H
断面積 A	mm ²	296.1
アンカー弾性係数 E	MN/mm ²	0.195
プレストレス比(待受け比) $R_p=P_e/T_d$	—	0.60
プレストレス P_e	kN/本	189.2 ($F_s=1.10$)
平均超過力 $\Delta P=T_d-P_e$	kN/本	126.1
許容耐力 T_{as}	kN/本	329.4
0.9×降伏耐力($0.9T_{ys}$)	kN/本	421.2

表-4.6.2 土工構造物の剛体変位と耐力照査の設計結果(①短自由長ケース)

項目	単位	① 短自由長ケース(待受け比 $R_p=0.60$)				
		No.01	No.02	No.03	No.04	No.05
アンカー段 No.	—	No.01	No.02	No.03	No.04	No.05
自由長 L_{fi}	m	4.5	5.5	6.5	8.0	9.0
すべり角 θ_i	°	17.50	23.71	29.65	35.43	41.11
アンカー傾角 α_i	°	44.70	44.70	44.70	44.70	44.70
合成角 β_i	°	62.20	68.41	74.35	80.13	85.81
地盤(構造物)剛体変位 δ_g	mm	45.2	45.2	45.2	45.2	45.2
アンカー変位 δ_{ai}	mm	21.1	16.6	12.2	7.7	3.3
アンカー増加力 ΔP_i	kN/本	270.5	174.6	108.3	55.9	21.2
アンカー残存引張力 P_{eri}	kN/本	459.7	363.8	297.5	245.1	210.4
プレストレス許容耐力照査	—	NG	NG	OK	OK	OK

表-4.6.3 土工構造物の剛体変位と耐力照査の設計結果(②長自由長ケース)

項目	単位	② 長自由長ケース(待受け比 $R_p=0.60$)				
		No.01	No.02	No.03	No.04	No.05
アンカー段 No.	—	No.01	No.02	No.03	No.04	No.05
自由長 L_{fi}	m	24.5	25.5	26.5	28.0	29.0
すべり角 θ_i	°	17.50	23.71	29.65	35.43	41.11
アンカー傾角 α_i	°	44.70	44.70	44.70	44.70	44.70
合成角 β_i	°	62.20	68.41	74.35	80.13	85.81
地盤(構造物)剛体変位 δ_g	mm	208.9	208.9	208.9	208.9	208.9
アンカー変位 δ_{ai}	mm	97.4	76.9	56.3	35.8	15.3
アンカー増加力 ΔP_i	kN/本	229.6	174.0	122.8	73.8	30.4
アンカー残存引張力 P_{eri}	kN/本	418.7	363.2	311.9	263.0	219.6
プレストレス許容耐力照査	—	NG	NG	OK	OK	OK

(6) 既設高盛土の地震安定対策では、写真-4.6.1 に示すように、アンカー補強対策により盛土のり面の安定化を図る事例がある。高盛土は、盛土高が 10m～15m 程度以上の盛土を称し、盛土体が土砂や岩石などの地盤材料を人工的に締固めて盛立てたものであり、盛土高増加に伴い地震動による盛土天端の加速度応答が大きく、かつ傾斜地山上の盛土基礎が多いことから、地震安定の程度が低くなりやすいという課題がある。

本盛土補強アンカーの対策上の留意点は、切土のり面・斜面を対象にしたアンカーに比べて、アンカー受圧体設置地盤面の N 値が 10 程度と小さいため、アンカー力に対する受圧体面積が大きくなりやすいこと、主目的が盛土天端道路面などの安定確保であり、アンカー配置が上段側開始点となるため、アンカーが比較的長くなりやすいことである。一方、盛土天端から高さ 2.0～3.0m 程度は、保全段階のガードレール基礎や路盤・路床の更新影響を考慮して、アンカーを設置しないことが必要である。盛土アンカーの配置は、これら影響を考慮して適正に行う必要がある。

高盛土の地震対策検討は、レベル 1 地震やレベル 2 地震による震度法のすべり解析をもとに必要抑止力を求めてアンカー配置する、一般的なアンカー設計方法と、すべり安全率 $F_s=1.0$ の降伏震度 k_y とレベル 2 地震加速度を用いて、必要抑止力および地震すべり変位(残留変位量) δ_g をニューマーク法により求めて、盛土許容変位 δ_{ga} 以下にする設計方法と、盛土許容変位 δ_{ga} が生じた時にアンカーと受圧体が破壊せず修復性・保全管理性を保持してアンカー引抜けが生じる設計方法などがある。

ニューマーク法検討では、盛土の地震すべり変位 δ_g が許容変位 δ_{ga} 以下の場合でも、地震すべり変位 δ_g により対策工アンカーの各段 i のアンカー変位 δ_{ai} が伴うことから、各段アンカーの増加力 ΔP_i が生じ、地震後のアンカー修復性が困難になることがあるので留意する。各段アンカーの増加力 ΔP_i は、ニューマーク法の地震すべり変位 δ_g を式(4.6.3)に代入し、その結果を式(4.6.4)に代入して求める。アンカー修復性を確保するためには、各段アンカーの残存引張力 P_{eri} は、 $P_{eri} \leq 0.85 \times \text{降伏耐力 } T_{ys}$ とする必要がある。これは、アンカー緊張作業のみではテンドン限界緊張力 $P_{Mt}=0.9T_{ys}$ が修復性限界になるが、アンカー力減調整作業は、テンドン緊張のナット浮き状態でナット回転によるアンカー力緩め作業を行うことから、本作業に伴う緊張力増加余裕 $0.05T_{ys}$ を見込んだことによっている。

なお、ニューマーク法解析結果のアンカー残存引張力 P_{eri} が $P_{eri} > 0.85T_{ys}$ の場合は、アンカー規格アップの余裕力増加による修復性確保、または、アンカー抑止力増での降伏震度 k_y 増による地震すべり変位 δ_g の低減方法などが必要になる。盛土のり面法線方向に計画したアンカー軸から、さらにアンカー傾角 α を小さくしてアンカー力を低減する方法もあり、この場合には、のり面角度台座(ST 台座)や角度調整吹付枠(エフケー不陸調整枠)を使用して、アンカー傾角 α を調整する必要がある。



写真-4.6.1 高盛土のアンカー補強事例

4.7 定着プレストレス

土工構造物や一般構造物への永続作用のプレストレスは、所要の作用荷重に抵抗できる設計アンカー力以上のもので、構造物施設の変位をゼロに保持できる。定着プレストレスは、初期緊張からのジャッキ除荷によるアンカー定着直後に作用する、アンカーのプレストレスであり、これは長期継続の地盤クリープ沈下やテンドンの純リラクセーションなどの影響を受けて長期的に低下することから、これらを考慮して適正に割増した設計とする。

【解説】

(1) 定着プレストレス P_t は、図-4.7.1 に示すように、ジャッキ緊張の初期緊張力 P_i から、ジャッキ除荷でくさび装着のアンカーテンドンが定着具のアンカーヘッドに嵌合固定された時点のものをいう。これにより、土工構造物や一般構造物は、プレストレスが付与されて、初めて外部からの作用荷重に対して変位ゼロの抵抗が可能になる。この際のアンカーヘッドへのくさび嵌入長をセット量 S_t といい、本工法では ECF12.7 : EHD5 および ECF15.2 : EHD6 とともに $S_t=10\text{mm}$ である。セット量 S_t に伴うアンカー伸び低下とともに、アンカー力は、初期緊張力 P_i からセットロス ΔP_{st} の減少が生じることから、定着プレストレス P_t の設計は、これを考慮する。

セット量 S_t は一定値であるが、セットロス ΔP_{st} はアンカー自由長 L_f の逆数に比例して大きくなるので留意する。さらに、土工構造物ののり面アンカー対策で、当該アンカー周囲にも隣接アンカーが継続打設されるが、これに伴って中央に位置するアンカーでは、定着プレストレス P_t から 4.0%程度が低下した事例もあることから留意する必要がある。

なお、本工法は、定着具がくさびナット型であり、単純なナット型のように受圧体沈下に敏感な定着具長の固定構造ではなく、くさび定着により、施工時の受圧体沈下による影響を受け難いことから、比較的沈下影響が顕著に大きくなりやすい、受圧体背面の地盤 N 値が $N \leq 30$ でも施工性が良く、この点でも優位性を有している。

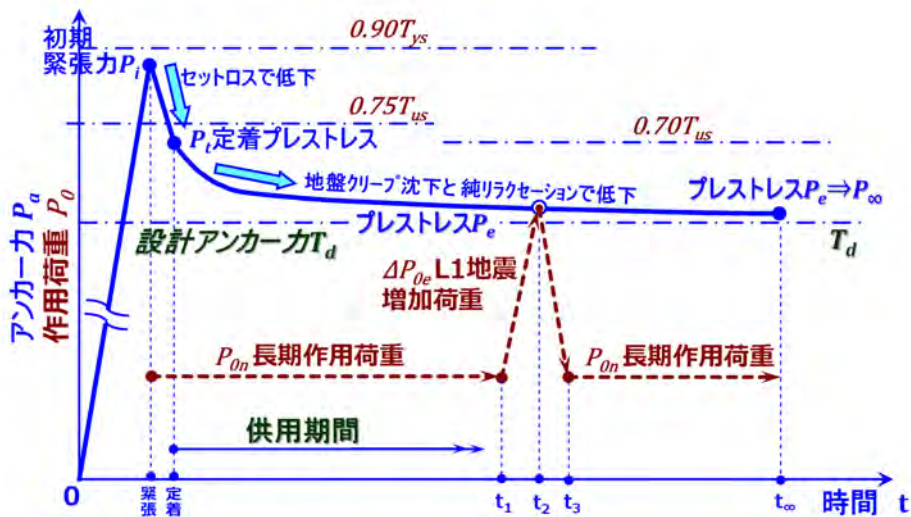


図-4.7.1 プレストレスと作用荷重の変位ゼロ保持の概念

(2) 施工後の土工構造物や一般構造物の設計供用期間で、定着プレストレス P_t は、地盤クリープ沈下の時間経過の漸増沈下による低下力 ΔP_c と、テンドンの純リラクセーションによる低下力 ΔP_r の影響を受けて、徐々に低下する傾向を示すが最終的にある程度の値に収束する。ここで、この収束後の設計プレストレスを永続作用のプレストレス(永続プレストレス) P_∞ と称する。なお、純リラクセーションは、図-4.1.6 に示したように、定着プレストレスレベルとテンドンの PC 鋼材成分や製造方法などの PC 鋼より線材料特性に依存する。地盤クリープ沈下は、受圧体背面地盤の地盤 N 値、地山掘削緩み域程度、岩盤割れ目や変成・風化の程度などで因子が多く複雑なので、総合的な地盤評価が必要である。特に、シルトや粘土分の介在が多い地盤やスレーキングが生じやすい泥岩のり面などでは留意する。

(3) 定着プレストレス P_t の設計は、式(4.7.1)～式(4.7.4)を用いて、若干の繰返し計算により設定することで行う。初めに、式(4.7.1)より ΔP_{st} が自由長 L_f から既値であり、初期緊張力 $P_i \leq \text{限界緊張力 } P_M (= \min\{0.9T_{ys}, L_A \cdot \min(\tau_{by} \cdot U, \tau_{gy} \cdot D_A \cdot \pi)\} / (\text{安全係数 } 1.25))$ の条件になる P_t を設定する。次に、式(4.7.2)より ΔP_c 、式(4.7.3)より ΔP_r を求める。最後に、式(4.7.4)より永続プレストレス P_∞ を求めて、 $P_\infty \geq T_d$ の条件を満足すれば、設計が終了となる。 $P_\infty < T_d$ の場合は、定着プレストレス P_t を大きく設定して再計算を繰返す。 $P_\infty \geq T_d$ の場合には、 $P_i \leq P_M$ と $P_\infty \geq T_d$ の 2 条件が満足できたので、設計アンカー力 T_d を超える設計想定以上の作用荷重が作用しない限り、構造物は変位ゼロを保持できる。この定着プレストレス P_t は、異なる自由長アンカーが存在する場合には、その各アンカーに適用して、上記 2 条件が満足できることを確認する。

なお、アンカー実挙動を考慮した、初期緊張力 P_i から永続プレストレス P_∞ までの詳細設計は、後述 4.11 に厳密な算定方法を記述しているので、本設計法の適用を推奨する。

■ 定着プレストレス力 P_t 、初期緊張力 P_i とセットロス ΔP_{st}

$$P_t = P_i + \Delta P_{st} \quad (P_i \leq P_M (= \min(0.9 \cdot T_{ys}, \text{降伏引抜耐力} / 1.25)) \quad \dots(4.7.1)-1$$

$$\Delta P_{st} = S_t \cdot A \cdot E / L_f \quad \dots(4.7.1)-2$$

$$\text{降伏引抜耐力} = L_A \cdot \min(\tau_{by} \cdot U, \tau_{gy} \cdot \pi \cdot D_A) \quad \dots(4.7.1)-3$$

■ 地盤クリープ低下力 ΔP_c と地盤クリープ変位 δ_c

$$\Delta P_c = \delta_c \cdot A \cdot E / L_f \quad \dots(4.7.2)-1$$

$$\delta_c = \alpha_c \cdot P_t / (A_c \cdot k_v) \quad \dots(4.7.2)-2$$

$$k_v = 2.8N / 0.3 \cdot (A_c^{0.5} / 0.3)^{-3/4} \quad \dots(4.7.2)-3$$

■ リラクセーション低下力 ΔP_r と純リラクセーション率 γ_0

$$\Delta P_r = \gamma_0 \cdot P_{i0} \quad \dots(4.7.3)-1$$

$$\gamma_0 = 1.6 \cdot P_{i0} / T_{us} \cdot (P_{i0} / T_{us} - 1) + 0.42 \quad (P_{i0} / T_{us} > 0.5) \quad \dots(4.7.3)-2$$

$$\gamma_0 = 0.02 \quad (P_{i0} / T_{us} \leq 0.5) \quad \dots(4.7.3)-3$$

■ 永続プレストレス P_∞

$$P_\infty = P_t - \Delta P_c - \Delta P_r \quad (P_\infty \geq T_d) \quad \dots(4.7.4)$$

ここに、

- ・ P_t : 定着プレストレス (kN/本)
- ・ P_{i0} : リラクセーション用プレストレス (kN/本)
- ・ S_t : セット量 (本工法: $S_t=10\text{mm}$)
- ・ A, E : アンカー断面積 (mm^2)、アンカー弾性係数 ($=0.195\text{MN}/\text{mm}^2$)
- ・ L_f : アンカー自由長 (m)
- ・ L_A : アンカー体長 (m)
- ・ α_c : クリープ変位係数 (平均 2.0、 $=1.0 \sim 3.0$)
- ・ A_c : 受圧体面積 (m^2)
- ・ k_v : 地盤反力係数 (MN/m^3)
- ・ N : 受圧体支持地盤 N 値
- ・ T_{us} : アンカー極限耐力 (kN/本)
- ・ T_{ys} : アンカー降伏耐力 (kN/本)

(4) アンカー自由長が短いケースでは、設計アンカー力 T_d とアンカー規格から設定の許容耐力 T_{as} との余裕度の関係で、検討結果が $P_i \leq P_M$ と $P_\infty \geq T_d$ の 2 条件を満足できない状態が存在する。この場合には、設定可能な最大の初期緊張力 P_i を設計し、定着プレストレス P_t の補足分力 ΔP_s は、アンカー定着後にナット回転でアンカーヘッドをナット下端から増浮きすることにより、所要力を補う必要がある。本所要力は設計段階で設定して施工管理側への送り特記事項とする。

現場の全アンカーを対象とした、供用段階の地盤クリープと純リラクセーションを考慮した定着プレストレス P_t の一定値管理は、設計供用期間の保全段階メンテナンスのアンカー力管理が容易になることから推奨する。

(5) アンカー施工での適性試験、確認試験のアンカー緊張試験前には、図-4.7.2 に示す限界緊張力 P_M でのプレ緊張 2 回サイクルを、実施することを推奨する。プレ緊張の緊張速度は、特に規定しないが、作業の安全性が確保できる緊張速度範囲で行う必要がある。本プレ緊張の目的は、受圧体背面地盤のアンカー圧縮力付与による事前の地盤クリープ影響低減、アンカー初期緩み除去、アンカー自由長部摩擦除去、および頭部アンカーテンドンのプレート止水構造の止水ゴム孔・押え板孔・アンカーヘッド孔への適正な整列性確保などである。なお、施工段階のプレ緊張の作業方法は、後述 5.9 に記述していることから必要に応じて参照されたい。

図-4.7.3 は、アンカー自由長 58m で自由長部摩擦除去効果の確認調査のため、 $0.9T_{ys}$ でのプレ緊張 5 回サイクルを実施した結果の、アンカー頭部のアンカー力 P_0 ・変位 δ_0 関係である。この結果から、各サイクル回 i の緊張剛性 $K_i = P_i / \delta_i$ と 1 回目緊張剛性 $K_1 = P_1 / \delta_1$ の比を緊張剛性比 (K_i / K_1) とし、同様に各サイクル回 i の最大力 $stp.5 \sim$ 除荷力 $stp.4r$ の除荷剛性 $K_{ri} = \Delta P_{ri} / \Delta \delta_{ri}$ と 1 回目除荷剛性 $K_{r1} = \Delta P_{r1} / \Delta \delta_{r1}$ の比を除荷剛性比 (K_{ri} / K_{r1}) として、それぞれ求めたものを図

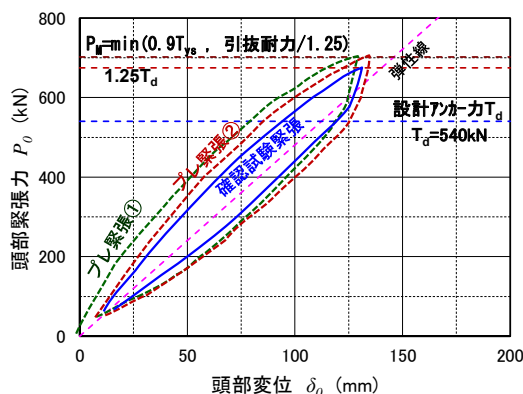


図-4.7.2 アンカー緊張試験前のプレ緊張 P_M の概念

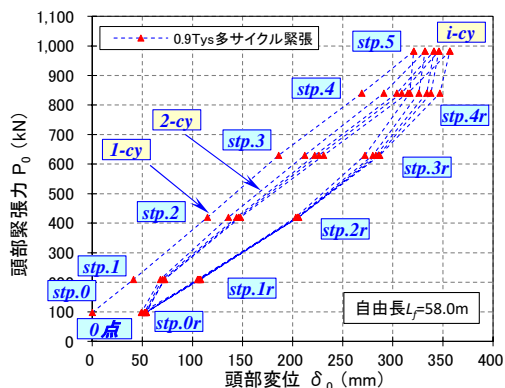


図-4.7.3 $0.9T_{ys}$ 多サイクルプレ緊張の調査結果

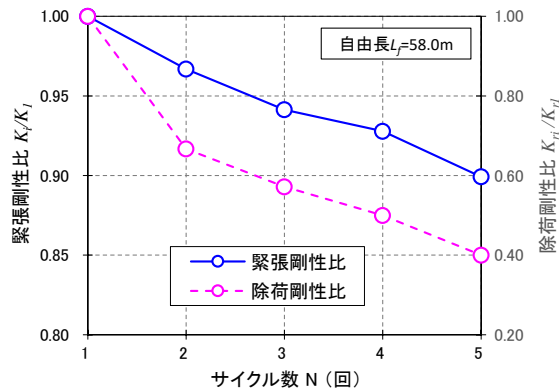


図-4.7.4 緊張剛性比と除荷剛性比の変化

-4.7.4 に示す。同図より、緊張剛性比は、サイクル数が多いほど低下傾向が見られ、摩擦低減が良好である。除荷剛性比は、サイクル回数 2 回まで低下勾配が大きく、それ以降は低下勾配が小さく、やや安定的になることが分かる。本結果を考慮して、アンカーの緊張剛性・除荷剛性のある程度均一化・一定化する観点から、ここではプレ緊張サイクル数 2 回と設定している。

図-4.7.5 は、本緊張に与えるプレ緊張効果の現場調査事例であり、自由長 $L_f=24.0\text{m}$ 、 31.5m 、 40.0m 、 68.0m の各々の緊張除荷のプレ緊張と本緊張の結果を示す。同図の結果から、プレ緊張段階の緊張力・変位挙動はばらつきが大きく定量的な傾向が見られないが、その後の本緊張段階の緊張力・変位挙動はアンカー剛性 $K=AE/(L_f+0.5L_{fA})$ の自由長摩擦なしの簡略化した弾性線に近似したものとなっており、良好なプレ緊張効果が得られることが分かる。ここに、 L_f ：自由長、 L_{fA} ：アンカー体自由長、 A ：テンドン断面積、 E ：テンドン弾性係数である。なお、同図に示す初期緩みとは、施工時削孔内へのアンカー挿入・設置に伴うテンドンのシース内緩みをいう。

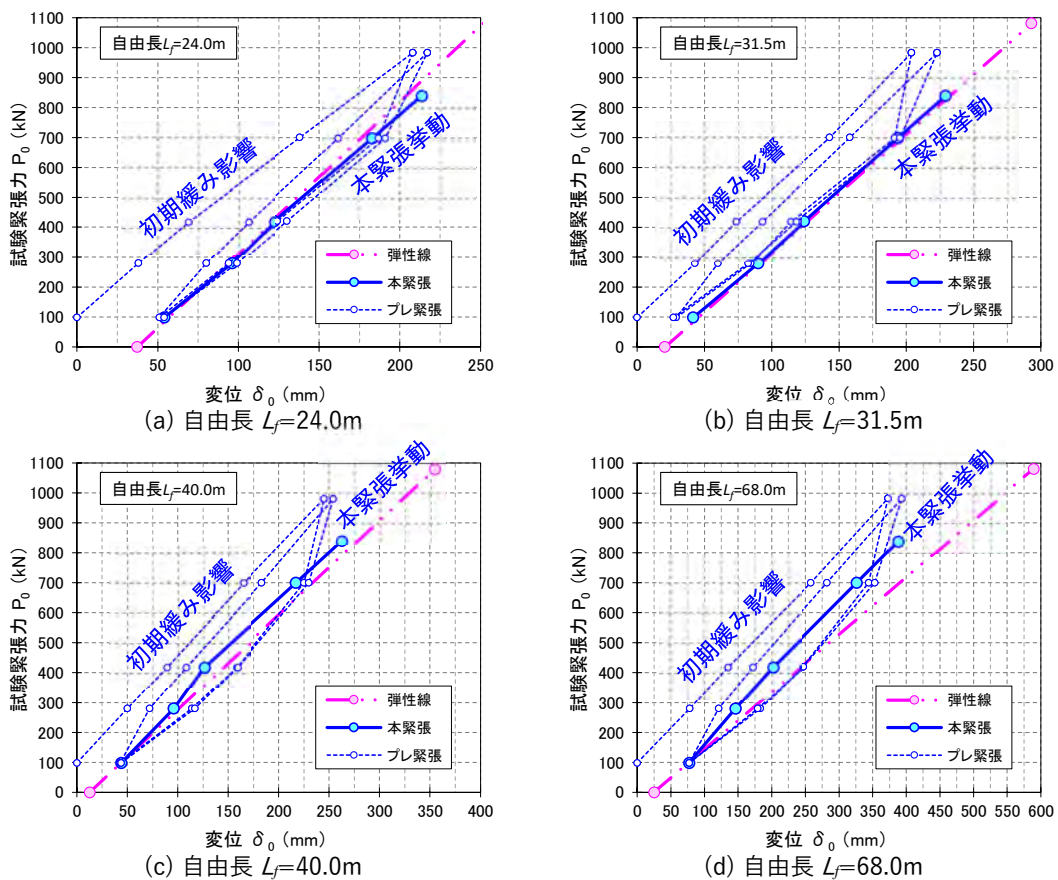


図-4.7.5 本緊張に与えるプレ緊張効果

(6) 図-4.7.6 に緊張・定着作業段階の初期緊張力 P_i からのプレストレス P_e 挙動変化の関係を示す。同図に示すように、除荷挙動ループで初期緊張力 P_i からセットロス ΔP_{st} で定着プレストレス P_t になり、さらに永続プレストレス P_∞ 状態になる。定着直後のプレストレス P_e (=定着プレストレス P_t) は、施工数年の期間経過で、受圧体の背面地盤クリープ沈下とテンドンの純リラクゼーションとの影響を受けて長期的に低下するが、最終的には収束状態に至る。土工構造物や一般構造物は、永続プレストレス P_∞ が設計アンカー力 T_d 以上の場合に、設計想定外力の作用荷重範囲内で、変位ゼロを保持可能なので、この条件を満足できるように設計する。

設計段階では、永続プレストレス P_∞ の設定量 P_{cd} を明示することが重要である。永続プレストレス P_∞ は、設計アンカー力 T_d が作用荷重条件で長期・L1 地震・L2 地震の限界状態のどれを対

象に構造物変位をゼロ規制するかで設定値 P_{ed} が異なることに留意する。なお、アンカー供用段階のアンカー調査によるリフトオフ試験などでのプレストレス P_e (残存引張力 P_{er}) が、設計設定プレストレス P_{ed} に比べて著しく増減した場合などは、その程度に応じて原因把握などの検討を行い、必要に応じて対策を講じる必要がある。

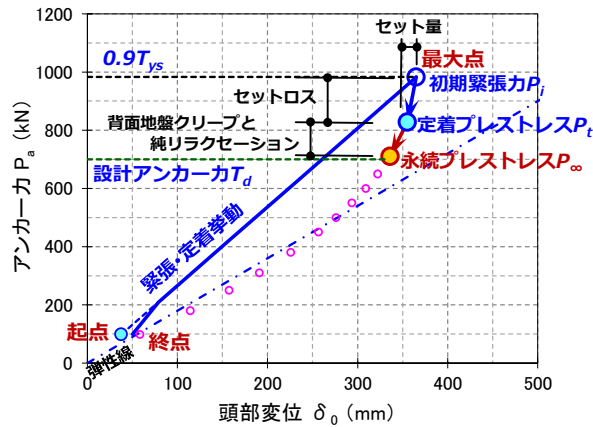


図-4.7.6 初期緊張力 P_i からのプレストレス P_e 挙動変化の関係

(7) 図-4.7.7 にアンカー定着直後から 2 ヶ月程度のアンカープレストレス P_e の残存比 β 変化を示す。本プレストレス低下挙動の地盤条件は、のり面からアンカー体までの全体が換算 N 値 100 以上の DH~CL 級の風化岩である。同図の個別データは、荷重計付アンカーの各経時挙動、データ平均は、同一経過日数が得られたアンカーデータのみを平均化したもの、中央推定はデータ平均の回帰式であり、相関係数 r は $r=0.884$ である。なお、下限推定は、中央推定をもとにして設定している。

プレストレス P_e の経時挙動は、同図に見られるように、定着後の 10 日程度で急激に低下し、その後緩慢であるが徐々に低下している。本現場でのプレストレス低下挙動は、岩盤地すべりのアンカー対策で、部分的な緩み地盤帯もやや含まれることから、おもにのり面近傍地盤のクリープ剛性影響とのり面近傍から深部地盤の応力伝播分布のクリープ剛性影響が複合して発生したものと考えられる。いずれにしても、DH~CL 級の風化岩地盤であっても地盤クリープ影響により、アンカープレストレス低下が発生することから、これに留意して定着プレストレスを設定することが重要である。

なお、現場地盤状態が複合・互層などで複雑な場合、現場条件により地盤のクリープ挙動推定が困難な場合などは、経験的手法により簡便的に、定着プレストレス P_t は、1.15~1.25 倍 (平均 1.20) × 設計アンカー力 T_d 程度を目安値に設定することが推奨される。

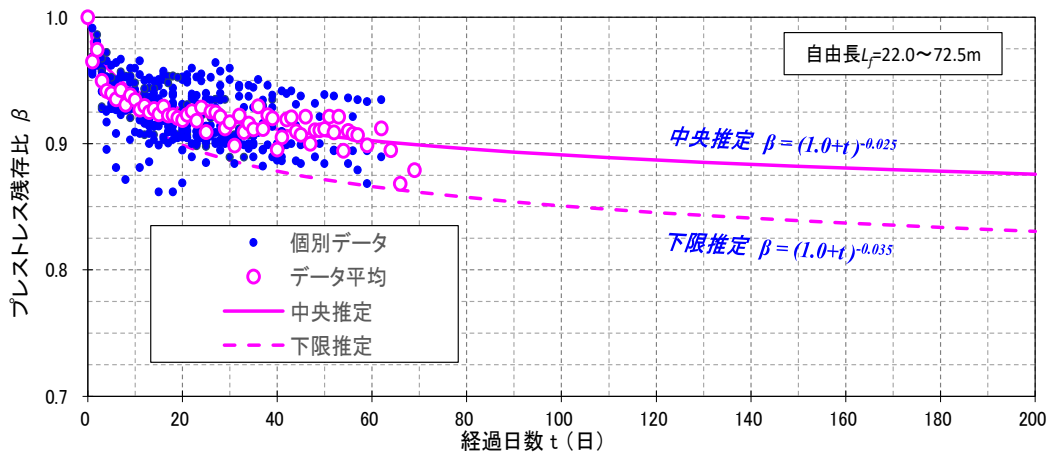


図-4.7.7 プレストレス P_e の残存比 β 変化

4.8 プレストレス調整

プレストレス調整は、設計供用期間でのプレストレスの増減程度に応じて、適正に実施可能なナット付定着具を用いて行う。特に、除荷側の減調整が適用不可になると、補強対策の新規アンカー数量が増加して経済性が劣ることから、アンカー定着の減調整長は 30mm 設定を標準とする。

【解説】

- (1) プレストレス増減を行う定着具の調整長 L_L は、式(4.8.1)に示すように、ナット高 H_0 とアンカーヘッド高 H_1 、嵌合長 L_0 に依存する。同式のアンカーヘッド側で 2 倍の嵌合長を減じるのは、ナット嵌合長とジャッキ側つかみ代の嵌合長が必要なためである。図-4.8.1 に定着具の各寸法関係を示す。定着具でプレストレス増減を行う調整長 ΔL は、プレストレス増減に必要な調整力 ΔP_s をもとに式(4.8.2)で求める。
- (2) 本工法の定着具は、最小嵌合長 L_0 とプレストレス調整長 L_L が表-4.8.1 に示すようになっており、同時に示すアンカー規格ごとの減調整限界 L_{da} と増調整限界 L_{ua} も同表の通りである。プレストレス調整が必要な場合には、減調整長 L_d と増調整長 L_u は、それぞれ式(4.8.3)と式(4.8.4)を用いて求める。なお、プレストレス減調整長 30mm は、アンカー施工実績 90%本数の自由長 20m 以下のプレストレス除荷がカバーできる実務的な長さから設定している。

■定着具のプレストレス調整長 L_L

$$L_L = \min(H_0 - L_0, H_1 - 2L_0) = L_{da} + L_{ua} \quad \dots(4.8.1)$$

■プレストレス増減の調整長 ΔL と調整力 ΔP_s

$$\Delta L = \Delta P_s \cdot L_f / (A \cdot E) = L_d + L_u \quad \dots(4.8.2)$$

■減調整長 L_d と減調整力 ΔP_d

$$L_d = \Delta P_d \cdot L_f / (A \cdot E) \quad (L_d \leq L_{da} = 30\text{mm}) \quad \dots(4.8.3)$$

■増調整長 L_u と増調整力 ΔP_u

$$L_u = \Delta P_u \cdot L_f / (A \cdot E) \quad (L_u \leq L_{ua} : \text{表-4.8.1}) \quad \dots(4.8.4)$$

ここに、

- ・ H_0 : ナット高 (mm)
- ・ H_1 : アンカーヘッド高 (mm)
- ・ L_0 : 最小嵌合長 (mm)
- ・ L_{da} : 減調整限界 (mm)
- ・ L_{ua} : 増調整限界 (mm)
- ・ A : アンカー断面積 (mm^2)
- ・ E : アンカー弾性係数 ($=0.195\text{MN}/\text{mm}^2$)
- ・ L_f : アンカー自由長 (m)

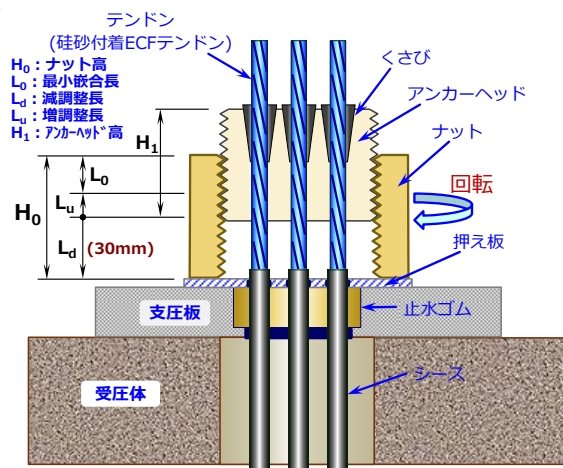


図-4.8.1 定着具の各寸法関係(図-3.6.1 再掲)

(3) 同表に示すように、増調整限界 L_{ua} は、減調整限界 L_{da} よりも小さく設定している。これは、増調整側は、定着具のナット下部に所要厚のシム(shim：すき間詰め材)を設置することで、容易にアンカー力増調整が可能になるためであり、ナットやアンカーヘッドのねじ増により、アンカー力増調整側を特に増やす必要性がないことによっている。

一方、アンカー力減調整側は、アンカー施工段階で事前にアンカーヘッドをナットから浮かせたセット状態で、設計供用期間のアンカー力減調整量が固定され、それ以上の減調整量確保は、経済性の劣るアンカー力完全解放を実施しない限り困難になる。したがって、アンカー設計や施工の定着段階でのアンカーヘッドのナットからの減調整用浮き設定は、アンカー補強対策の保全段階の経済性確保で極めて重要な事項であることから、この点に十分な留意が必要である。

表-4.8.1 定着具の最小嵌合長 L_0 とプレストレス調整長 L_L

アンカー規格	ナット高 H_0 mm	アンカーヘッド高 H_1 mm	最小嵌合長 L_0 mm	プレストレス調整長 L_L mm	減調整限界 L_{da} mm	増調整限界 L_{ua} mm
EHD5-1H	55.0	65.0	12.0	41.0	30.0	11.0
EHD5-2H	65.0	85.0	12.0	53.0	30.0	23.0
EHD5-3H	65.0	85.0	18.0	47.0	30.0	17.0
EHD5-4H	65.0	85.0	22.0	41.0	30.0	11.0
EHD5-5H	75.0	105.0	24.0	51.0	30.0	21.0
EHD5-6H	75.0	105.0	28.0	47.0	30.0	17.0
EHD5-7H	75.0	105.0	32.0	41.0	30.0	11.0
EHD5-8H	80.0	115.0	26.0	54.0	30.0	24.0
EHD5-9H	80.0	115.0	30.0	50.0	30.0	20.0
EHD5-10H	80.0	115.0	32.0	48.0	30.0	18.0
EHD5-11H	80.0	115.0	36.0	43.0	30.0	13.0
EHD5-12H	80.0	115.0	38.0	39.0	30.0	9.0
EHD6-1H	55.0	65.0	12.0	41.0	30.0	11.0
EHD6-2H	65.0	85.0	16.0	49.0	30.0	19.0
EHD6-3H	70.0	95.0	20.0	50.0	30.0	20.0
EHD6-4H	70.0	95.0	26.0	43.0	30.0	13.0
EHD6-5H	75.0	105.0	24.0	51.0	30.0	21.0
EHD6-6H	75.0	105.0	28.0	47.0	30.0	17.0
EHD6-7H	75.0	105.0	32.0	41.0	30.0	11.0
EHD6-8H	85.0	125.0	30.0	55.0	30.0	25.0
EHD6-9H	85.0	125.0	34.0	51.0	30.0	21.0
EHD6-10H	85.0	125.0	36.0	49.0	30.0	19.0
EHD6-11H	85.0	125.0	40.0	45.0	30.0	15.0
EHD6-12H	85.0	125.0	44.0	37.0	30.0	7.0
EHD6-13H	90.0	145.0	42.0	48.0	30.0	18.0
EHD6-14H	90.0	145.0	46.0	44.0	30.0	14.0

4.9 アンカー引抜試験計画

アンカー引抜試験計画は、アンカー体でのグラウトと地盤の摩擦強度が適正に求まるように行う。アンカー体は、頭部定着具でのアンカープレストレスを、グラウト付着と地盤摩擦のせん断伝達の両方の抵抗で地盤に固着する部位であることから、本試験計画は、テンドンのグラウト付着切れが生じずに、グラウトと地盤の摩擦強度が求まる引抜試験仕様を設定する。

【解説】

(1) アンカー引抜試験計画は、アンカー体でのグラウトと地盤の摩擦強度が適正に求まるように、アンカー体の現場地盤状態を考慮して、引抜試験用のアンカー体長・アンカー体径・最大試験力・アンカー規格を設定し、試験目的が確実に達成可能なものとする。試験のアンカー体長は、図-4.1.11 のアンカー体長の寸法効果を考慮して、可能な限り 3.0m とすることが望ましい。3.0m 未満の場合は、寸法効果を考慮して、試験の最大試験力の割増設定を行い、試験結果は低減設定して摩擦強度の現場試験値を評価する。引抜試験では、自由長グラウトの摩擦抵抗影響がないように、アンカー体と自由長境界に引抜試験パッカーを設置するため、試験用アンカー体径が標準アンカー体径よりやや大きくなることもあるので、これに留意して計画する。

引抜試験パッカーは、鋼管・ゴム・布の 3 層構造で、テンドンを被覆して、アンカー体と自由長を縁切りするものである。この縁切りは、引抜試験パッカーを水注入で膨張し、アンカー体グラウト固化までこれを保持し、試験前にパッカー内水圧力を解放することで行う。

引抜試験でのアンカー自由長範囲は、アンカー体のケーシング加圧注入後に引抜試験パッカーの水注入膨張を行い、自由長内部を水洗浄し、アンカー摩擦影響をなくして、頭部からのアンカー緊張力がアンカー体に確実に伝達されるようにする。引抜試験は、アンカー体設置地盤の中で代表とできる適切な場所で、自由長 L_f が比較的小さい範囲の、 $L_f=4m\sim 30m$ での実施が望ましい。

(2) 引抜試験の最大試験力 T_p は、式(4.9.1)～式(4.9.3)を満足する摩擦耐力 P_f を求め、それを 10kN 単位で丸めたものとする。なお、最大試験力 T_p の設定では、設計アンカー力 T_d を担保する

目的で、式(4.9.1)～式(4.9.3)に加えて設計アンカー力 T_d の 1.1 倍以上を考慮する方法もある。試験結果の摩擦耐力 P_{fl} は、式(4.9.4)を用いて降伏摩擦強度 τ_{gy} に評価する。式(4.9.1)の試験力割増係数 β_0 と式(4.9.4)の引抜力低減係数 β_1 は、図-4.1.11 の寸法効果を考慮した補正係数であり、表-4.9.1 に示すように設定している。引抜試験アンカー体径 D_{A0} は、引抜試験パッカー設置用の表-4.9.2 に示すものを用いる。

(3) アンカー体地盤の検証諸元と引抜試験仕様の推奨事例を表-4.9.3 に示す。なお、引抜試験にて最大

■摩擦耐力 P_f (kN)

$$P_f = \tau_{gy0} \cdot \beta_0 \cdot L_0 \cdot \pi \cdot D_{A0} \quad \dots(4.9.1)$$

■付着耐力 P_b (kN)

$$P_b = \tau_{by} \cdot L_0 \cdot U \quad \dots(4.9.2)$$

■摩擦耐力 P_f の必要条件

$$P_f \leq P_{Mt} \text{ かつ } P_f \leq P_b \quad \dots(4.9.3)$$

■引抜試験結果の降伏摩擦強度 τ_{gy} の評価

$$\tau_{gy} = P_{fl} \cdot \beta_1 / (L_0 \cdot \pi \cdot D_{A0}) \quad \dots(4.9.4)$$

ここに、

- ・ τ_{gy0} : 検証用降伏摩擦強度 (N/mm²)
- ・ τ_{by} : 降伏付着強度 (図-4.1.7 参照、EHD アンカー HP : =4.41N/mm²)
- ・ β_0 : 試験力割増係数 (表-4.9.1 参照)
- ・ L_0 : 引抜試験アンカー体長 (m)
- ・ D_{A0} : 引抜試験アンカー体径 (表-4.9.2 参照、mm)
- ・ U : 見掛け周長 (mm)
- ・ P_{Mt} : テンドン限界緊張力 (=0.9 T_{ys} kN)
- ・ T_{ys} : テンドン降伏耐力 (kN)
- ・ τ_{gy} : 引抜試験結果の降伏摩擦強度 (N/mm²)
- ・ P_{fl} : 引抜試験結果の摩擦耐力 (kN)
- ・ β_1 : 引抜力低減係数 (表-4.9.1 参照)

試験力 T_p 作用でアンカー体が引抜けない場合は、テンドン限界緊張力 $P_{Mt}(=0.9T_{ys})$ まで試験緊張力を作用させた後に試験終了とする。

- (4) 引抜試験の試験カステップ数は、5～10 分割であり、標準的に 6 分割で実施されている。この場合の各ステップ分割は、最大試験力 T_p の比で 0.40、0.55、0.70、0.80、0.90、1.00 である。なお、引抜試験のアンカー体施工と試験は、削孔・孔内洗浄・グラウト注入・引抜試験パッカー付テンドン挿入・ケーシング引上げ・ケーシング加圧注入・引抜試験パッカー膨張・自由長洗浄・養生・引抜試験パッカー圧力解放・引抜試験の手順で行うのが一般的である。
- (5) 引抜試験アンカーの試験本数は、アンカー体設置地盤が数種類の異なる場合などを除き、一般に 1 本である。ただし、求める地盤種類と摩擦強度が数種類の場合や、広範囲のアンカー設置範囲に対して地盤調査結果が少なく不陸地盤の補足が必要な場合は、必要に応じて試験本数を増加した計画とする。

表-4.9.1 引抜試験アンカー体長と試験力割増係数 β_0 ・引抜力低減係数 β_1 の関係

	引抜試験アンカー体長 L_0 (m)					摘 要
	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	
試験力割増係数 β_0	1.05	1.10	1.15	1.20	1.25	引抜試験の摩擦耐力算定用
引抜力低減係数 β_1	1.000	0.955	0.913	0.874	0.839	試験結果の降伏摩擦強度評価用

表-4.9.2 見掛け周長 U と引抜試験アンカー体径 D_{A0}

アンカー規格	見掛け周長 U (mm)	アンカー体径 ^{※1} D_{A0} (mm)	アンカー規格	見掛け周長 U (mm)	アンカー体径 ^{※1} D_{A0} (mm)
EHD5-1H	39.9	φ 90	EHD6-1H	47.8	φ 90
EHD5-2H	79.8	φ 90	EHD6-2H	95.5	φ 90
EHD5-3H	119.7	φ 90	EHD6-3H	143.3	φ 115
EHD5-4H	145.7	φ 90	EHD6-4H	191.0	φ 115
EHD5-5H	145.7	φ 115	EHD6-5H	206.8	φ 135
EHD5-6H	203.3	φ 115	EHD6-6H	206.8	φ 135
EHD5-7H	206.6	φ 135	EHD6-7H	251.7	φ 135
EHD5-8H	206.6	φ 135	EHD6-8H	251.7	φ 135
EHD5-9H	263.4	φ 135	EHD6-9H	251.7	φ 135
EHD5-10H	263.4	φ 135	EHD6-10H	320.8	φ 165
EHD5-11H	263.4	φ 165	EHD6-11H	320.8	φ 165
EHD5-12H	263.4	φ 165	EHD6-12H	320.8	φ 165
			EHD6-13H	357.1	φ 165
			EHD6-14H	357.1	φ 165

注)1. アンカー体の自由長境界に引抜試験パッカーを設置した場合に適用する。削孔径は同一とする。

表-4.9.3 アンカー体地盤の検証諸元と引抜試験仕様の推奨事例

アンカー体地盤の検証諸元			引抜試験仕様					
地盤の種類		降伏摩擦強度 τ_{gy} (N/mm ²)	アンカー体長 L_0 (m)	アンカー体径 D_{A0} (mm)	最大試験力 T_p (kN)	アンカー規格	限界緊張力 $P_{Mt}=0.9T_{ys}$ (kN)	
								岩 盤
軟 岩	1.00	1.5	φ 90	510.0	EHD5-4H	561.6		
風化岩	0.60	3.0	φ 90	540.0	EHD5-4H	561.6		
砂 礫	N 値	50	0.45	3.0	φ 90	410.0	EHD5-3H	421.2
		30	0.25	3.0	φ 90	230.0	EHD5-2H	280.8
砂	N 値	50	0.30	3.0	φ 90	270.0	EHD5-2H	280.8
		30	0.23	3.0	φ 90	210.0	EHD5-2H	280.8

4.10 構造物補強の留意点

アンカーによる構造物補強は、アンカープレストレス効果を適正に考慮して構造物の変位を含めた安全性が確保できるように実施するとともに、構造物へのアンカー施工影響や施工性を適切に考慮して設計する。

【解説】

(1) アンカーによる構造物補強では、アンカーの設置位置や傾角の条件により構造物への作用プレストレスの水平・鉛直・モーメントの成分が種々のものとなるので、これを考慮して構造物の変位を含めた安全性を確保する必要がある。例えば、図-4.10.1 に示す(a)斜めアンカーと(b)鉛直アンカーでは抵抗機構が異なっている。構造物の滑動安定を考えると、斜めアンカーは、水平抵抗でプレストレスの水平分力と鉛直分力×摩擦係数 μ の両方が見込め、鉛直アンカーは、水平抵抗がプレストレスによる鉛直分力×摩擦係数 μ のみとなる。一方、プレストレスを加えた滑動抵抗力を超える作用荷重の水平分力 ΔP_x が生じた場合、式(4.10.4)で明らかのように、アンカー傾角 $\alpha \leq 45^\circ$ の斜めアンカーは、アンカーばね抵抗が比較的大きく、 $\alpha > 45^\circ$ で急激にばね抵抗が小さくなるのが分かる。特に、鉛直アンカー($\alpha = 90^\circ$)は水平分力 ΔP_x に抵抗不能なので留意が必要である。

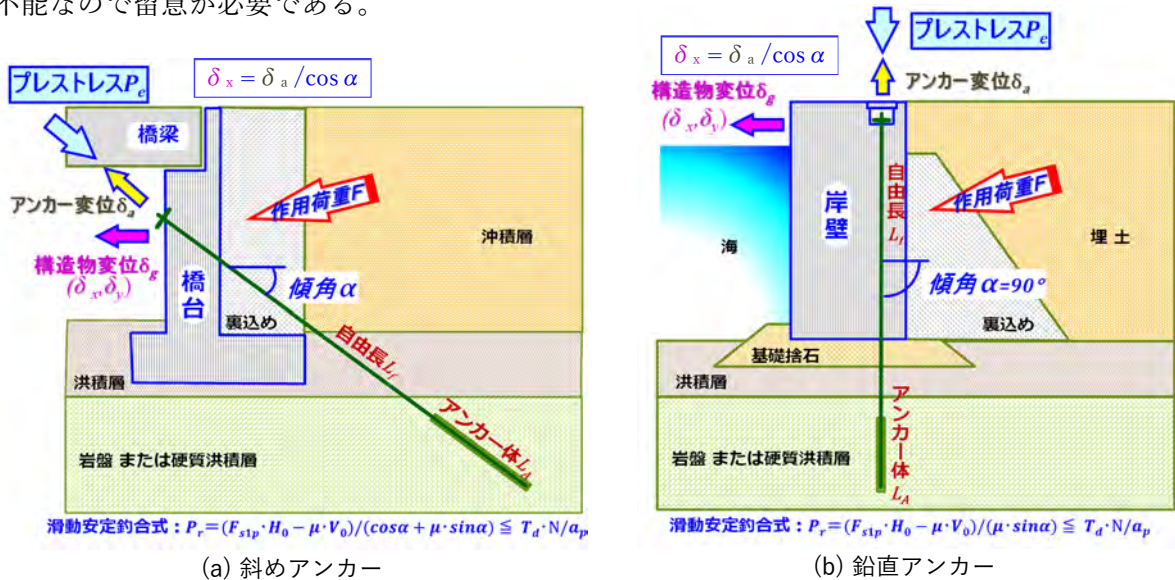


図-4.10.1 アンカーによる構造物補強の概念

■プレストレス超過力 ΔP_a と水平分力 ΔP_x

$$\Delta P_a = \Delta P_x / \cos \alpha \quad \dots(4.10.1)$$

■プレストレス超過力 ΔP_a (kN) とアンカー変位 δ_a (mm)

$$\Delta P_a = k_a \cdot \delta_a \quad \dots(4.10.2)$$

$$k_a = A \cdot E / L_f \quad \dots(4.10.3)$$

■水平分力 ΔP_x ・鉛直分力 ΔP_y と構造物変位 δ_g 成分(水平変位 δ_x ・鉛直変位 δ_y)

$$\begin{Bmatrix} \Delta P_x \\ \Delta P_y \end{Bmatrix} = k_a \begin{bmatrix} \cos^2 \alpha & \cos \alpha \cdot \sin \alpha \\ \cos \alpha \cdot \sin \alpha & \sin^2 \alpha \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta_x \\ \delta_y \end{Bmatrix} \quad \dots(4.10.4)$$

■アンカー超過力 ΔP_a によるアンカー変位 δ_a と構造物水平変位 δ_x

$$\delta_x = \delta_a / \cos \alpha \quad \dots(4.10.5)$$

ここに、

- ・ k_a : アンカーばね (kN/mm)
- ・ A : アンカーテンドン断面積 (mm²)
- ・ E : アンカーテンドン弾性係数 (=0.195MN/mm²)
- ・ L_f : アンカー自由長 (m)
- ・ α : アンカー傾角 (°)

(2) 構造物への作用荷重によりアンカープレストレス P_e を超える、プレストレス超過力 ΔP_a が発生した場合の、構造物水平変位 δ_x とアンカー変位 δ_a の関係を式(4.10.5)に示す。これをグラフ化したのが図-4.10.2 であり、構造物水平変位 δ_x は、アンカー傾角 60° を超えるとアンカー変位 δ_a に比べて急増するので留意が必要である。

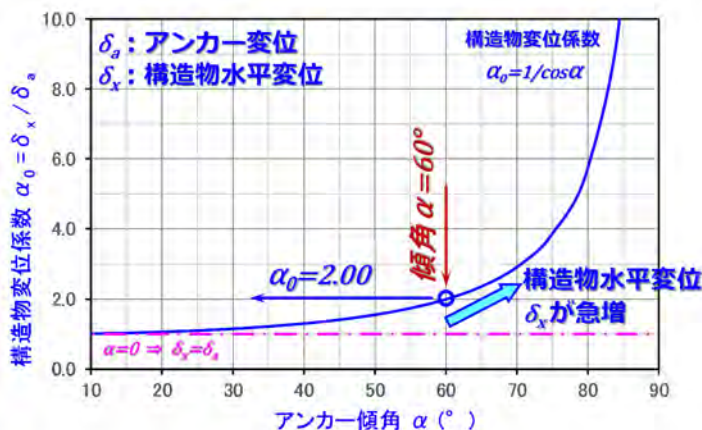


図-4.10.2 アンカー傾角 α と構造物水平変位 δ_x

(3) プレストレス超過力 ΔP_a とアンカー変位 δ_a の発生概念を図-4.10.3 に示す。同図(a)は、L1地震力の設計アンカー力 T_d に対して、それを下回るプレストレス P_e 作用のもとで、設計想定荷重の L1 地震力作用ケースの概念であり、プレストレス超過力 ΔP_a から式(4.10.2)と式(4.10.5)を用いて、構造物水平変位 δ_x が計算できる。構造物変位をゼロに保持する場合は、4.7 定着プレストレスで示したように、永続プレストレス P_∞ が L1 地震力の設計アンカー力 T_d を超えるように定着プレストレス P_f を設定する必要がある。

同図(b)は、L1地震力の設計アンカー力 T_d に対して、ほぼ同じプレストレス P_e 作用のもとで、L2地震力作用ケースの概念を示す。この場合、L2地震力で生じたアンカーのプレストレス超過力 ΔP_a に伴う構造物変位が、構造物施設の適切な許容範囲内で、かつアンカーなどの部材が適正な修復性範囲内となる必要がある。なお、プレストレス超過力に伴う構造物変位は、アンカー頭部にせん断変形 ($\delta_a \cdot \tan \alpha$) をもたらし、アンカーテンドンの損傷や破断の原因にもなり得ることから、構造物のアンカー箱抜き孔クリアランスのアンカーテンドンの変形余裕を考慮した構造物変位量設定や、設計アンカー力のプレストレス割増による変位量の軽減設定などで、検討内容に留意が必要である。

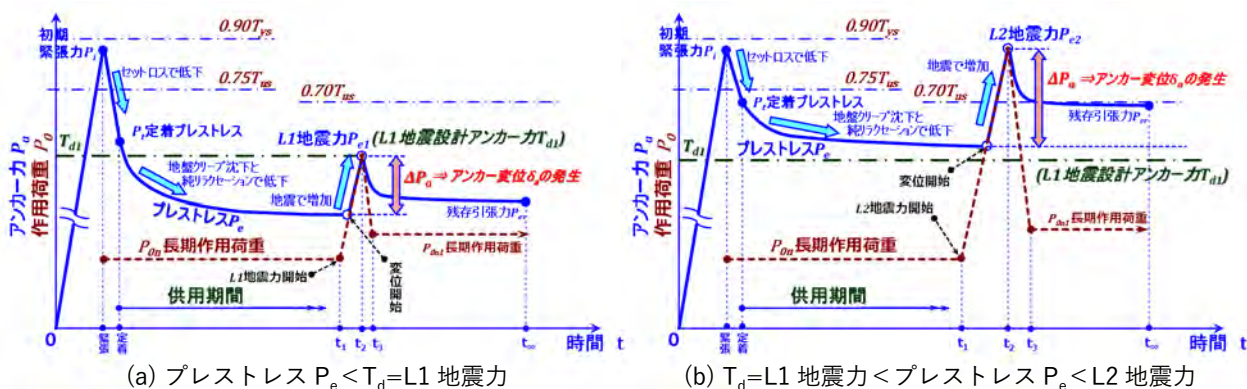
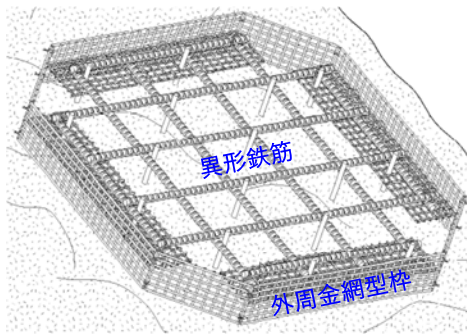


図-4.10.3 プレストレス超過力 ΔP_a とアンカー変位 δ_a の発生概念

(4) 既設ブロック積擁壁などのアンカー補強では、受圧体設置面が変状などで凹凸面になっていることがあり、この表面処理の角度調整や凹凸調整には図-4.10.4 に示す不陸調整枠を使用する。不陸調整枠は、受圧板背面に四角形状の外周金網型枠と内部に異形鉄筋を正方配置して、モルタル吹付した受圧板の四角形下地調整枠であり、枠内部補強が異形鉄筋であることから、モルタルひび割れの抑制効果が従来枠工より優れている。受圧板設置面の凹凸吸収やアンカー振れ角が大きい場合の受圧板角度調整用に適用可能である。



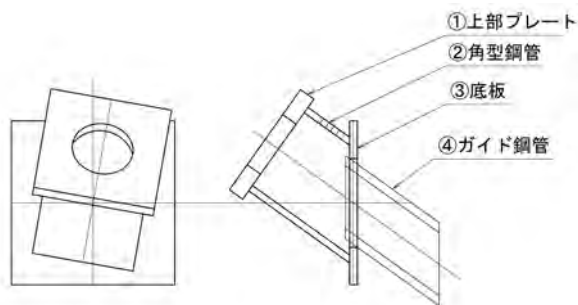
(a) 不陸調整枠



(b) 吹付後の不陸調整枠と受圧板

図-4.10.4 不陸調整枠による角度調整と凹凸調整

(5) 橋台豎壁のコンクリート壁面などにアンカーを直接設置する場合には、図-4.10.5 に示す壁面台座を使用する。本台座は、支圧板機能の上部プレート・底板(補剛板)とコンクリート壁内側に設けるガイド鋼管を一体構成したものであり、ガイド鋼管のせん断抵抗で、構造物境界部の滑動安定性の確保が図られている。壁面台座の振れ角は、アンカーの傾角と水平角の両方に調整可能である。



(a) 正面

(b) 断面



(c) 設置事例

図-4.10.5 壁面台座の概念と設置事例

(6) アンカー施工では自由長の削孔内空隙充填にグラウトを使用することから、河川近傍の橋台や海岸施設の岸壁などにアンカーを直接設置する場合には、河川や海へのグラウト漏出防止の環境対策用に自由長パッカーを使用する。岸壁のグラウト漏出パターンには、岸壁基礎捨石や方塊ブロック岸壁など海水に直接繋がる空隙からの漏出が考えられるので留意が必要である。また、橋台豎壁背面や擁壁背面には、排水層が設置されており、グラウト漏出による排水層の目詰り防止の観点から自由長パッカーを使用する。

自由長パッカーは、アンカー自由長の長さ方向全体に自由長部のテンドンシースを筒袋状に

包むものであり、これを適用することで、表-4.10.1 に示すように、削孔径が標準サイズに比べて、1 ランク程度大きな削孔径になるアンカー規格があるので、設計にあたっては留意が必要である。

表-4.10.1 自由長バッカー適用の削孔径 D_{A1}

アンカー規格	【標準サイズ】 最小アンカー体径 D_A (mm)	自由長バッカー 適用の削孔径 D_{A1} (mm)	アンカー規格	【標準サイズ】 最小アンカー体径 D_A (mm)	自由長バッカー 適用の削孔径 D_{A1} (mm)
EHD5-1H	$\phi 90$	$\phi 90$	EHD6-1H	$\phi 90$	$\phi 90$
EHD5-2H	$\phi 90$	$\phi 90$	EHD6-2H	$\phi 90$	$\phi 90$
EHD5-3H	$\phi 90$	$\phi 115$	EHD6-3H	$\phi 90$	$\phi 115$
EHD5-4H	$\phi 90$	$\phi 115$	EHD6-4H	$\phi 115$	$\phi 115$
EHD5-5H	$\phi 90$	$\phi 115$	EHD6-5H	$\phi 115$	$\phi 135$
EHD5-6H	$\phi 115$	$\phi 115$	EHD6-6H	$\phi 115$	$\phi 135$
EHD5-7H	$\phi 115$	$\phi 135$	EHD6-7H	$\phi 135$	$\phi 146$
EHD5-8H	$\phi 115$	$\phi 135$	EHD6-8H	$\phi 135$	$\phi 146$
EHD5-9H	$\phi 135$	$\phi 146$	EHD6-9H	$\phi 135$	$\phi 146$
EHD5-10H	$\phi 135$	$\phi 146$	EHD6-10H	$\phi 146$	$\phi 165$
EHD5-11H	$\phi 135$	$\phi 146$	EHD6-11H	$\phi 146$	$\phi 165$
EHD5-12H	$\phi 135$	$\phi 146$	EHD6-12H	$\phi 146$	$\phi 165$
			EHD6-13H	$\phi 165$	$\phi 216$
			EHD6-14H	$\phi 165$	$\phi 216$

(7) 既設橋台アンカー補強の橋桁上空制限や、岸壁荷捌き場庇の上空制限などの鉛直アンカー施工では、小型削孔機が必要になることがある。小型削孔機には種々のものがあるが、その一事例を図-4.10.6(a)に示す。本削孔機はスプリングドリルと呼ばれるもので、削孔長 30m、削孔径 $\phi 115\text{mm}$ 以下での削孔が可能である。

一方、岸壁際からの岸壁補強や道路上からの下部擁壁補強などのアンカー施工では、海上の台船・構台や道路外側下部からの作業足場を不要とする、バックホウ型削孔機の事例を図-4.10.6(b)に示す。本削孔機はアクロドリルと呼ばれるもので、削孔長 30m、削孔径 $\phi 165\text{mm}$ 以下での削孔が可能である。



(a) 小型削孔機(スプリングドリル)



(b) 岸壁際での削孔機(アクロドリル)

図-4.10.6 施工制限箇所でのアンカー削孔機の事例

4.11 設計プレストレスとアンカー頭部変位の適正評価

アンカー定着後のプレストレスは、受圧体背面地盤のクリープ変位などによる低下量が、テンドンと自由長シースの自由長摩擦の影響を受け、やや急勾配で非線形ループ挙動で減少する。一方、アンカープレストレス導入の緊張作業での頭部変位は、アンカー施工でのテンドン挿入緩みの影響、緊張力増加に伴う比較的小さいアンカー体内の付着切れや摩擦切れの変位可動範囲(以下、アンカー体自由長)の影響、および自由長摩擦の影響を受ける。

永続プレストレス P_o や定着プレストレス P_t などの設計プレストレス、供用段階ののり面や構造物の変形量、アンカー剛性、施工管理用限界変位のこれらの設定は、アンカー変位挙動に係る種々の影響を考慮して、現場の実態挙動と同等になるように適正に評価する必要がある。

【解説】

(1) アンカー頭部でのアンカー変位挙動は、緊張除荷に伴う頭部作用力が、頭部側からアンカー体側のアンカー長方向に摩擦を伴って徐々に伝達されることから、その影響を受けて定量的評価が難しい複雑な挙動を示す。この変位挙動の傾向は、アンカー長方向に進展しながら、微視的なすべりと固着が交互に生じる間欠摩擦挙動(スティックスリップ現象と呼ばれる)がおもな因子となっている。アンカー自由長摩擦は、緊張段階でアンカー自由長内の頭部側からアンカー体側に進展すること、除荷段階でその摩擦挙動が反転することにより、アンカー力・頭部変位挙動が図-4.7.6 に示したように最大点から除荷側に非線形ループ形状で生じるものとなる。

一方、アンカー緊張除荷での頭部変位挙動は、表-4.11.1 に示すように、アンカーが地盤削孔・地盤内設置というアンカー機構自体の特異性や施工状態などの影響を受けた種々の支配因子のもとに生じており、実挙動はこれらの複合状態であり、より複雑なものとなっている。同表に示すように、変位挙動で軟剛性の支配因子は、施工のテンドン挿入・設置に伴うテンドンシース内緩みによる初期緩み・緊張力増加に伴うアンカー体自由長の進展・アンカー体全体のグラウト付着切れや地盤摩擦切れである。一方、硬剛性の支配因子は、テンドンと自由長シース間で生じるアンカーの自由長摩擦である。これらは、地上施工の構造物内で人工的に PC 鋼材が配設され、両端に定着具を有する PC 橋梁や PC 構造物の摩擦挙動とは異なっており、アンカー固有の特徴的な挙動になっている。

表-4.11.2 にアンカー自由長摩擦の支配因子と挙動状態を示す。自由長摩擦の支配因子は、おもに自由長部の長さ・アンカーの削孔曲り・シースの削孔内たわみ・シースの削孔内回転の 4 種類であり、これらの摩擦影響の低減は図-4.7.2、図-4.7.5 で示したプレ緊張により、ある程度小さくできる。

表-4.11.1 アンカー変位挙動と支配因子

アンカー緊張除荷の変位挙動	挙動状態	支配因子
①軟剛性と過度な残留変位	・アンカー体自由長 1/2 考慮の弾性挙動に比べて、初期緊張の変位が大きく、残留変位移動も大きい	・テンドン挿入・設置のシース内緩みによる初期緩み
②軟剛性	・自由長考慮の弾性挙動に比べて、緊張変位が大きい	・緊張力増加に伴うアンカー体自由長の進展
③過度な軟剛性	・アンカー体長 1/2 考慮の弾性挙動に比べて、緊張変位が大きい	・アンカー体のグラウト付着切れ ・アンカー体の地盤摩擦切れ
④軟剛性側への折れ曲り	・アンカー体長 1/2 考慮の弾性剛性に比べて、折れ線勾配剛性が小さい	・同 上
⑤緊張除荷挙動線の平行移動	・緊張挙動線と除荷挙動線が同勾配で平行移動状態	・同 上 ・アンカー体拘束具前面のグラウト圧縮破壊に伴う圧縮型拘束具の移動
⑥硬剛性	・アンカー体自由長 1/2 考慮の弾性挙動に比べて、緊張変位が小さい	・テンドンと自由長シース間で生じる、緊張除荷に伴う自由長摩擦

表-4.11.2 アンカー自由長摩擦の支配因子と挙動状態

アンカー自由長摩擦の支配因子	挙動状態	低減方法
①自由長部の長さ	・アンカー自由長部の長さに応じて、テンドン・シース摩擦が漸増的に増加する。アンカー体自由長 1/2 考慮の弾性変位挙動に比べて、緊張変位が小さい	・図-4.7.2、図-4.7.5 のプレ緊張
②アンカーの削孔曲り	・アンカー施工での削孔曲りは、アンカー長が長くなるほど大きくなる。アンカー体 1/2 自由長考慮の弾性変位挙動に比べて、緊張変位が小さい	・同 上
③シースの削孔内たわみ	・削孔内挿入のシースはややたわみ状態になる。その後の削孔内グラウト充填・硬化でたわみ状態が固定されるため、摩擦が生じ、緊張変位が小さい	・同 上
④シースの削孔内回転	・テンドン挿入・グラウト充填注入後のケーシング引抜回転時に、削孔内テンドンシースはやや回転状態になる。その後のグラウト硬化で、回転状態が固定されるため、摩擦が生じ、緊張変位が小さい	・同 上

(2) 図-4.11.1 に、アンカー緊張除荷挙動と地盤圧縮変位挙動を比較した概念を示す。同図(a)に示すように、アンカー緊張除荷のアンカー変位挙動は、一般に自由長摩擦の影響を受けたものとなり、弾性線を挟んで、剛性勾配変化により緊張摩擦挙動と除荷摩擦挙動が現れる。緊張側で弾性線よりも硬剛性で最大力 P_i に達し、その後の除荷でループ挙動でやや急激にアンカー力が低下して、除荷側初期力 P_0 に戻って残留変位 δ_{or} となる。この除荷摩擦挙動は弾性線よりも軟剛性になる。同図(a)から明らかなように、アンカー力 0 点で考えると、アンカー摩擦影響のみによる挙動では残留変位が生じず、現場で見られる残留変位 δ_{or} 発生は、ジャッキ正対用初期力 P_0 の緊張設定により、見掛け上で発生するものである。

一方、地盤圧縮変位挙動は、同図(b)に示すように、弾性材料の PC 鋼より線を用いたアンカーとは異なり、地盤特性の非線形挙動による影響で塑性変位 δ_p が生じ、除荷過程では弾性勾配に近似した直線的なものとなる。除荷後には、この履歴最大力を超えない範囲の圧縮力の負荷・除荷に対して、平行移動の挙動で同一勾配を繰返すものとなって、アンカー挙動のような摩擦影響による緊張除荷のループ形状が生じない挙動を示す。

図-4.11.2 は、PC 鋼より線 1 本の緊張除荷ひずみ計測による、自由長 50m と 70m の長尺アンカーの現場実験結果を示す。同図から、両アンカーの頭部変位(青線)とも、アンカー自由長摩擦に伴う変位のループ挙動が得られ、特に、自由長 70m アンカーはループが大きくなって摩擦影響が大きい。同図の破線は、アンカー体境界ひずみ計によるアンカー体引張力であり、頭部緊張力が摩擦影響でアンカー体側に伝達しにくいことが、伝達力低下状態から確認できる。

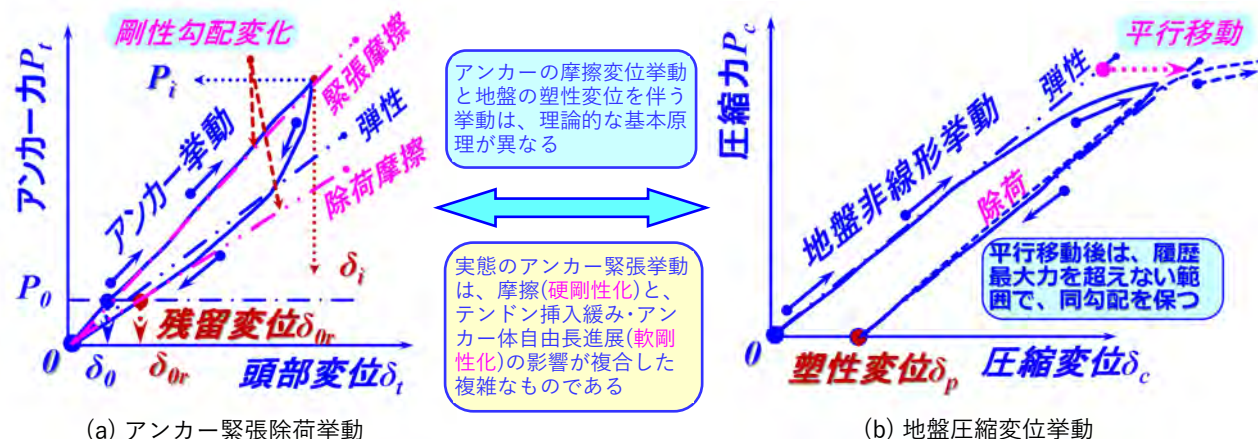
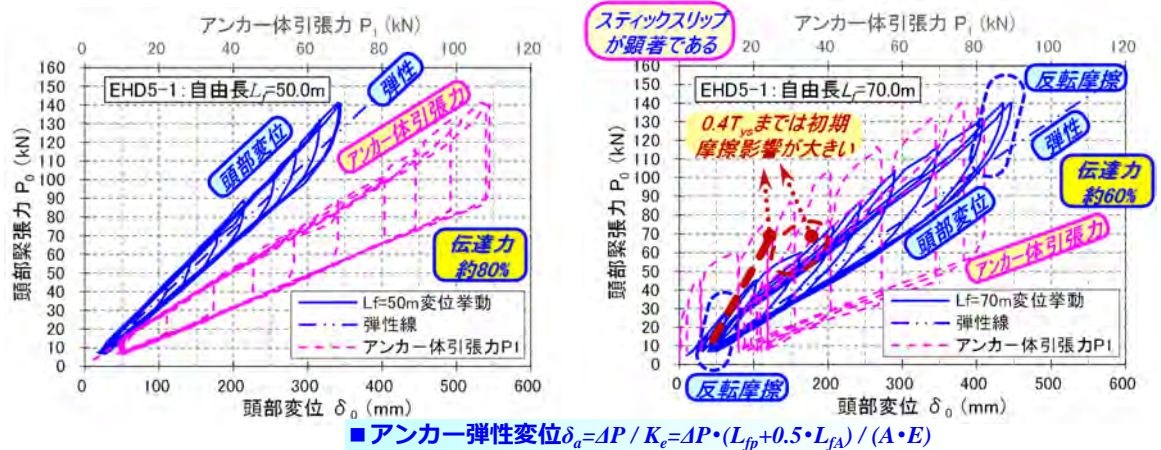


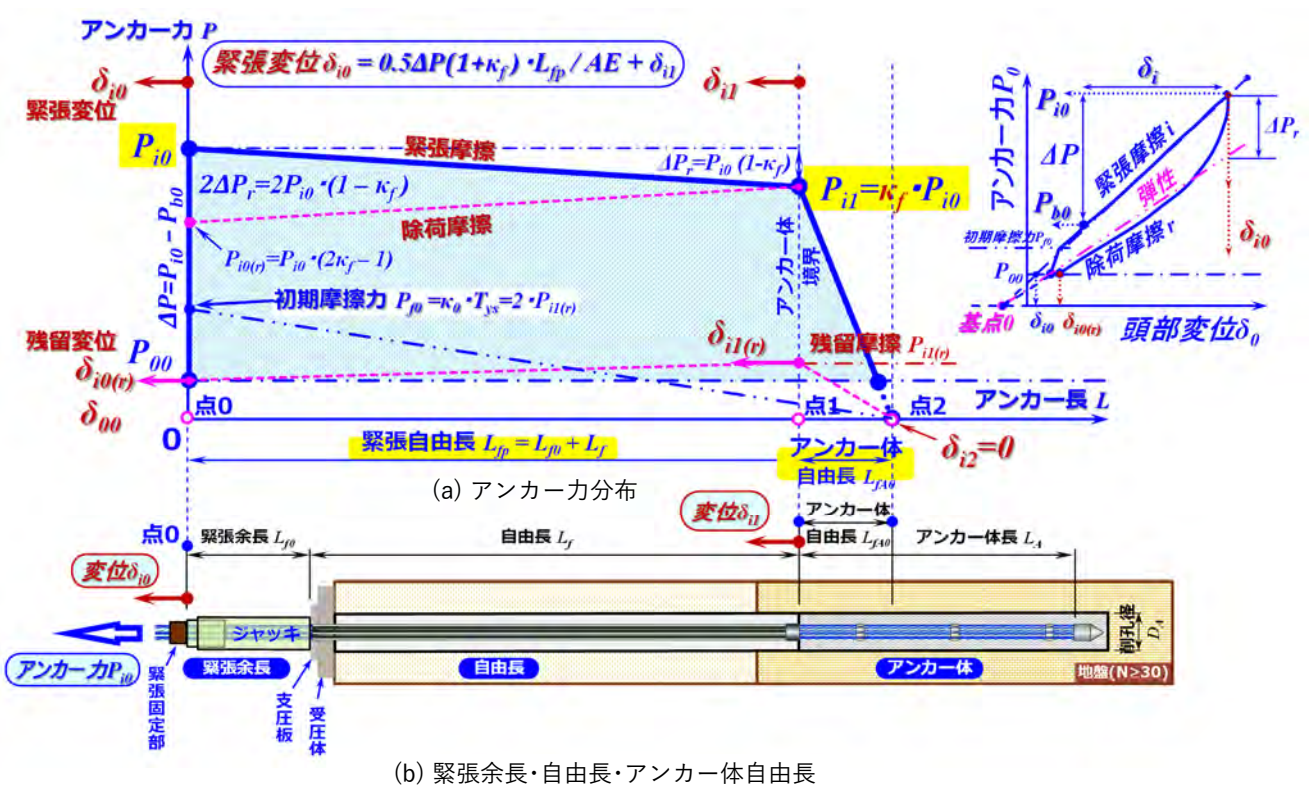
図-4.11.1 アンカー緊張除荷挙動と地盤圧縮変位挙動の概念



■ アンカー弾性変位 $\delta_a = \Delta P / K_e = \Delta P \cdot (L_{fp} + 0.5 \cdot L_{fA}) / (A \cdot E)$
 (a) 自由長 $L_f = 50m$ の挙動 (b) 自由長 $L_f = 70m$ の挙動
 図-4.11.2 アンカー緊張除荷の多段サイクル変位挙動

(3) 図-4.11.3 に、アンカー長方向の自由長摩擦を考慮したアンカー緊張除荷挙動でのアンカー力分布の概念を示す。同図は、アンカー体自由長と自由長摩擦の影響を含めて、模擬的に汎用一般化して図示したものである。同図(a)にアンカー力分布、同図(b)に緊張余長 L_{f0} ・自由長 L_f ・アンカー体長 L_A と基本アンカー体自由長 L_{fA0} の関係を示す。ここで、緊張自由長 L_{fp} は、式(4.11.1)で $L_{fp} = L_{f0} + L_f$ と定義しており、設計で緊張・定着後の供用アンカーの、プレストレス超過力などに対する変位挙動を考える場合は、 $L_{f0} = 0$ とする。アンカー力作用の影響を受けた自由長摩擦なし条件の頭部変位算出用の自由長は、 $L_{f0} + L_f + 0.5 \cdot L_{fA0}$ になる。ここでは、一般化したアンカー緊張除荷状態での変位挙動を対象にして、アンカー摩擦理論による定式化を行う。

同図のアンカー頭部の点0で、ジャッキ緊張により緊張サイクルiの初期ジャッキ緊張力 P_{00} から所要緊張のアンカー力 P_{i0} に増加すると、それに伴い頭部変位 δ_{i0} が発生する。本挙動によ



(a) アンカー力分布 (b) 緊張余長・自由長・アンカー体自由長
 図-4.11.3 自由長摩擦考慮のアンカー緊張除荷挙動でのアンカー力分布の概念

り、アンカー体境界の点1では、式(4.11.2)に示す、自由長摩擦影響でやや低下したアンカー力 $P_{i1} = \kappa_f \cdot P_{i0}$ が発生し、 P_{i1} に伴いアンカー体自由長 L_{fA} が生じて、点1でアンカー体境界変位 δ_{i1} が発生する。したがって、受圧体構造物側のアンカー頭部点0のアンカー力 P_{i0} による頭部変位 δ_{i0} は、自由長摩擦影響とアンカー体自由長 L_{fA} を考慮して求める必要がある。なお、アンカー頭部点0の (δ_{i0}, P_{i0}) に至る、任意の前ステップ状態を (δ_{b0}, P_{b0}) とし、この間の増分力 ΔP は式(4.11.3)で表す。

アンカー体自由長 L_{fA} は式(4.11.5)、アンカー体境界点1の変位 δ_{i1} は式(4.11.6)、点0の頭部変位 δ_{i0} は式(4.11.7)で表せることから、未知数のアンカー力伝達係数 κ_f は式(4.11.9)で表すことができる。したがって、多数の現場データからのアンカー力伝達係数 κ_f をもとにした実測式を予め求めておくことにより、アンカー自由長摩擦を考慮した設計用のアンカー変位を予測できる。なお、自由長摩擦なしのアンカー頭部の弾性変位 δ_{e0} は、式(4.11.8)で求まる。

■ 緊張自由長 L_{fp} 、アンカー体境界のアンカー力 P_{i1} と増分力 ΔP

$$L_{fp} = L_{f0} + L_f \quad \dots(4.11.1)$$

$$P_{i1} = \kappa_f \cdot P_{i0} \quad \dots(4.11.2)$$

$$\Delta P = P_{i0} - P_{b0} \quad \dots(4.11.3)$$

■ 基本アンカー体自由長 L_{fA0} とアンカー体自由長 L_{fA}

$$L_{fA0} = P_{mh} / \min(\tau_{by} \cdot U, \tau_g \cdot \pi \cdot D_A) \quad \dots(4.11.4)$$

$$L_{fA} = \kappa_f \cdot L_{fA0} \quad \dots(4.11.5)$$

■ アンカー体境界変位 δ_{i1}

$$\delta_{i1} = 0.5 \kappa_f \cdot \Delta P \cdot L_{fA} / (AE) \quad \dots(4.11.6)$$

■ アンカー頭部の緊張摩擦変位 δ_{i0} と自由長摩擦なしの緊張弾性変位 δ_{e0}

$$\delta_{i0} = \delta_{b0} + \Delta P \cdot 0.5 \{ L_{fp} \cdot (1 + \kappa_f) + \kappa_f^2 \cdot L_{fA0} \} / (AE) \quad \dots(4.11.7)$$

$$\delta_{e0} = \delta_{b0} + \Delta P \cdot (L_{fp} + 0.5 \cdot L_{fA0}) / (AE) \quad \dots(4.11.8)$$

■ アンカー力伝達係数 κ_f の現場データ算定式

$$\kappa_f = (-L_{fp} + \{ L_{fp}^2 - 2a_0(L_{fp} - a_1) \}^{0.5}) / a_0 \quad \dots(4.11.9)$$

$$a_0 = 2 \cdot L_{fA0} \quad \dots(4.11.9)-1$$

$$a_1 = 2 \cdot AE \cdot (\delta_{i0} - \delta_{b0}) / \Delta P = 2 \cdot AE / K_f \quad \dots(4.11.9)-2$$

ここに、

- ・ L_{fp} : 緊張自由長 (m)
- ・ L_{f0} : 緊張余長 (m)
- ・ L_f : 自由長 (m)
- ・ L_{fA0} : 基本アンカー体自由長 (m)
- ・ L_{fA} : アンカー体自由長 (m)
- ・ P_{i0} : サイクル i の頭部点 0 のアンカー力 (kN)
- ・ P_{i1} : サイクル i のアンカー体境界点 1 のアンカー力 (kN)
- ・ ΔP : 頭部点 0 の増分力 (kN)
- ・ P_{b0} : サイクル i の P_{i0} に至る前ステップのジャッキ緊張のアンカー力 (kN)
- ・ P_{mh} : アンカー頭部点 0 での履歴最大アンカー力 (kN)
- ・ δ_{i1} : サイクル i のアンカー体境界変位 (mm)
- ・ δ_{i0} : サイクル i の頭部の緊張摩擦変位 (mm)
- ・ δ_{b0} : サイクル i の δ_{i0} に至る前ステップの頭部の緊張摩擦変位 (mm)
- ・ δ_{e0} : 自由長摩擦なしのアンカー頭部点 0 の弾性変位 δ_{e0}
- ・ A : アンカー tendon 断面積 (mm²)
- ・ E : アンカー tendon 弾性係数 (=0.195MN/mm²)
- ・ τ_{by} : tendon とグラウトの降伏付着強度 (式(4.1.4)参照、N/mm²)
- ・ U : tendon 見掛け周長 (表-4.4.2 参照、mm)
- ・ τ_g : アンカー体設置地盤の摩擦強度 (表-4.1.6 または引抜試験結果、N/mm²)
- ・ D_A : 設計アンカー体径 (表-4.4.2 または設定値、mm)
- ・ κ_f : アンカー力伝達係数の現場データ算定式

(4) 多段サイクル緊張を実施した場合のアンカー緊張サイクル*i*に着目した頭部変位挙動を考えると、自由長摩擦を考慮したアンカー緊張除荷の変位挙動モデルは、図-4.11.4 に示すようになる。同図の緊張摩擦挙動の $stp.i(\delta_i, P_i)$ と $stp.b(\delta_b, P_b)$ の関係は、式(4.11.7)により成立しており、初期緊張 $stp.0(\delta_0, P_0)$ の変位 δ_0 は、 $stp.i(\delta_i, P_i)$ と $stp.b(\delta_b, P_b)$ の線形関係から求まることから、緊張変位挙動が確定できる。なお、同図内に青色破線で示す $stp.i-1$ 以下の段階状緊張サイクルのやや軟剛性の変位挙動は、テンドンのシース内緩みに伴う初期緩みの影響である。

同図の緊張摩擦挙動の緊張摩擦剛性 K_f と弾性剛性 K_e は、アンカー力伝達係数 κ_f と基本アンカー一体自由長 L_{fA0} を含めた式(4.11.10)、式(4.11.11)で求められる。 $stp.i$ の頭部緊張変位 δ_i は、緊張摩擦剛性 K_f を用いると、式(4.11.12)で表され、これは式(4.11.7)と等価なものである。

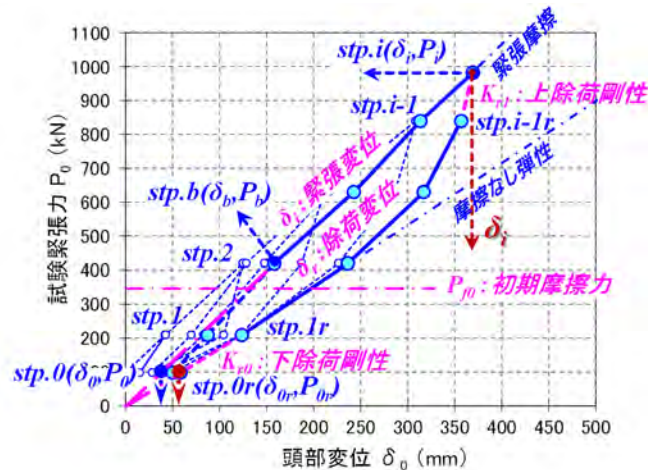


図-4.11.4 アンカー緊張除荷の変位挙動モデル

■ 緊張摩擦剛性 K_f と弾性剛性 K_e

$$K_f = 2 \cdot AE / \{ L_{fp} \cdot (1 + \kappa_f) + \kappa_f^2 \cdot L_{fA0} \} = (P_i - P_b) / (\delta_i - \delta_b) \quad \dots(4.11.10)$$

$$K_e = AE / (L_{fp} + 0.5 \cdot L_{fA0}) \quad \dots(4.11.11)$$

■ アンカー頭部の緊張変位 δ_i

$$\delta_i = \delta_0 + (P_i - P_0) / K_f \quad \dots(4.11.12)$$

ここに、

- ・ K_f : 緊張摩擦剛性 (kN/mm)
- ・ K_e : 弾性剛性 (kN/mm)
- ・ δ_i : $stp.i$ の頭部の緊張変位 (mm)
- ・ P_i : $stp.i$ の緊張力 (kN)
- ・ δ_0 : $stp.i$ と $stp.b$ の線形勾配からの、 $stp.0$ の頭部の緊張変位 (mm)
- ・ P_0 : $stp.0$ の緊張力 (kN)

次に、定式化未定となっている除荷変位挙動と初期摩擦係数 κ_0 の定式化を考える。

同図の除荷変位挙動は、経路 $stp.i(\delta_i, P_i) \cdot stp.i-1r(\delta_{i-1r}, P_{i-1r}) \dots stp.1r(\delta_{1r}, P_{1r}) \cdot stp.0r(\delta_{0r}, P_{0r})$ を經由した非線形挙動となっており、本除荷挙動経路を $stp.i$ 起点の 3 次関数の近似式 $\delta = f(P^3)$ で表すことにする。既知数を δ_i 、 δ_{0r} 、 $stp.i \cdot stp.i-1r$ 間の上除荷剛性 K_{r1} 、 $stp.1r \cdot stp.0r$ 間の下除荷剛性 K_{r0} の 4 個とすると 3 次近似式の未定項を求めることができる。式(4.11.13)は $stp.i \cdot stp.i-1r$ 間の上除荷剛性 K_{r1} 、式(4.11.14)は $stp.1r \cdot stp.0r$ 間の下除荷剛性 K_{r0} であり、各除荷剛性は弾性剛性 K_e との積で表せるように、それぞれで剛性比 S_{r1} 、 S_{r0} を定義しており、 $S_{r1} \geq 1.0$ 、 $S_{r0} \leq 1.0$ となる。除荷変位 δ_r は、 $stp.i \sim stp.0r$ 間を式(4.11.15)に示す、アンカー緊張力の 3 次式で表すことができる。ここで、実測の現場データとのフィッティングを向上する目的で、剛性補正係数 α_1 、 α_0 を導入しており、経験的に $\alpha_1 = 2.0 \sim 5.0$ (平均 3.5)、 $\alpha_0 = 0.7 \sim 1.0$ (平均 0.85) が推奨値である。

初期摩擦係数 κ_0 は、図-4.11.3(a)を参照して初期摩擦力 P_{f0} を求め、それをテンドン降伏耐力 T_{ys} で除して、式(4.11.16)で求めるものとする。初期摩擦力 P_{f0} は、アンカー頭部の緊張力 P が $P < P_{f0}$ 条件で、本節での自由長摩擦理論の定式化によらない著しく大きな摩擦抵抗(例えば、図-4.11.2(b)の茶色破線)が生じる範囲限界力をいい、緊張力 $P \geq P_{f0}$ 条件では、自由長摩擦理論に依存した式(4.11.7)が成立すると考える。したがって、施工管理の緊張試験(適正・確認試験)や緊張・定着は、stp.b のステップ緊張力 P_b を初期摩擦力 P_{f0} 以上として、アンカー品質特性の施工管理確認や定着プレストレス確保を行う必要がある。

■上除荷剛性 K_{r1} , 上除荷剛性比 S_{r1} と下除荷剛性 K_{r0} , 下除荷剛性比 S_{r0} の現場データ算定式

$$K_{r1} = S_{r1} \cdot K_e = (P_i - P_{i-1r}) / (\delta_i - \delta_{i-1r}) \quad \dots(4.11.13)$$

$$K_{r0} = S_{r0} \cdot K_e = (P_{1r} - P_{0r}) / (\delta_{1r} - \delta_{0r}) \quad \dots(4.11.14)$$

■除荷変位 δ_r

$$\delta_r = A_0 + A_1 \cdot (P - P_i) + A_2 \cdot (P - P_i)^2 + A_3 \cdot (P - P_i)^3 \quad \dots(4.11.15)$$

$$A_0 = \delta_i \quad \dots(4.11.15)-1$$

$$A_1 = 1 / (\alpha_1 \cdot K_{r1}) \quad \dots(4.11.15)-2$$

$$A_2 = 0.5 \cdot \{ (1/(\alpha_0 \cdot K_{r0}) - 1/(\alpha_1 \cdot K_{r1})) / (P_{0r} - P_i) - 3 \cdot A_3 (P_{0r} - P_i) \} \quad \dots(4.11.15)-3$$

$$A_3 = \{ (P_{0r} - P_i) \cdot (1/(\alpha_0 \cdot K_{r0}) + 1/(\alpha_1 \cdot K_{r1})) - 2 \cdot (\delta_{0r} - \delta_i) \} / (P_{0r} - P_i)^3 \quad \dots(4.11.15)-4$$

■初期摩擦係数 κ_0 の現場データ算定式

$$\kappa_0 = P_{f0} / T_{ys} = 2 \cdot \{ P_{0r} + 2 \cdot (\delta_{0r} - \delta_0) \cdot AE / (L_{fp} + \kappa_f \cdot L_{fA0}) \} / T_{ys} \quad \dots(4.11.16)$$

ここに、

- ・ K_{r1} : 上除荷剛性 (kN/mm)
- ・ S_{r1} : 上除荷剛性比
- ・ K_{r0} : 下除荷剛性 (kN/mm)
- ・ S_{r0} : 下除荷剛性比
- ・ P_i, δ_i : stp.i の緊張力 (kN) と頭部の除荷変位 (mm)
- ・ P_{i-1r}, δ_{i-1r} : stp.i-1r の緊張力 (kN) と頭部の除荷変位 (mm)
- ・ P_{1r}, δ_{1r} : stp.1r の緊張力 (kN) と頭部の除荷変位 (mm)
- ・ P_{0r}, δ_{0r} : stp.0r の緊張力 (kN) と頭部の除荷変位 (mm)
- ・ α_1 : 上剛性補正係数 (推奨値: 2.0~5.0、平均 3.5)
- ・ α_0 : 下剛性補正係数 (推奨値: 0.7~1.0、平均 0.85)
- ・ κ_0 : 初期摩擦係数の現場データ算定式
- ・ P_{f0} : 初期摩擦力 (kN)
- ・ T_{ys} : テンドン降伏耐力 (kN)
- ・ δ_0 : stp.i と stp.b の線形勾配からの、stp.0 の頭部の緊張変位 (mm)

(5) 現場アンカーのアンカー力伝達係数 κ_f 、上除荷剛性比 S_{r1} 、下除荷剛性比 S_{r0} 、初期摩擦係数 κ_0 の諸係数は、各アンカーでの多段サイクルの適性試験や単サイクルの確認試験で得られる、アンカー頭部のアンカー緊張除荷サイクルによるアンカー変位挙動の現場データに対して、式(4.11.9)、式(4.11.13)、式(4.11.14)、式(4.11.16)を適用することで求められる。

図-4.11.5~図-4.11.7 に施工の適性試験アンカーの現場データをもとに諸係数値を求め、実測式でまとめた結果を示す。同図の横軸パラメータ L_f は、施工の緊張自由長 L_{fp} を用いてまとめているが、供用アンカーの設計変位算定などに適用の場合は、単に自由長 L_f を代入する。

図-4.11.5~図-4.11.7 の各実測式をまとめて、式(4.11.17)~式(4.11.21)に示す。式(4.11.17)の第一項は、PC 橋梁や PC 構造物で使用されている土木学会コンクリート標準示方書のものと同一式であり、同式の第二項は自由長 30m 程度ですり付く形態に設定したものである。一般経験的にアンカー自由長 20m 以下であれば、自由長の摩擦影響がほぼ無視できるとされており、図-4.11.5 からも、データばらつきがあるが、摩擦影響が小さい傾向を裏付けることができる。

自由長 30m を超えた程度から、アンカー力伝達係数 κ_f の低下勾配がやや大きくなる傾向が見られる。図-4.11.6 の除荷挙動の上除荷剛性比 S_{r1} は自由長増加に伴って増える傾向があり、ばらつきも大きくなる傾向が見られ、下除荷剛性比 S_{r0} は一定値 0.9 で、ばらつきも小さい傾向である。図-4.11.7 の初期摩擦係数 κ_0 は、自由長増加に対して緩い勾配である。本結果から、初期摩擦力 P_{f0} は、降伏耐力 T_{ys} 比の 0.29~0.35(平均)にある。したがって、施工の適性試験・確認試験の緊張試験での、stp.1 の緊張力 P_1 は、 $P_1 \geq (0.29 \sim 0.35) \cdot T_{ys}$ に設定する必要があるとあり、これにより自由長摩擦抵抗の異常挙動が解消できることから、この緊張力レベルの活用を推奨する。

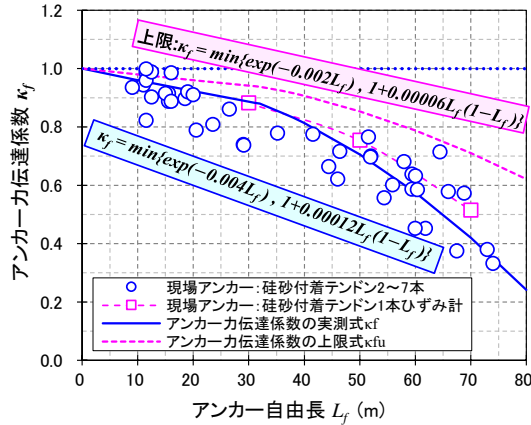


図-4.11.5 アンカー力伝達係数 κ_f の現場データと実測式

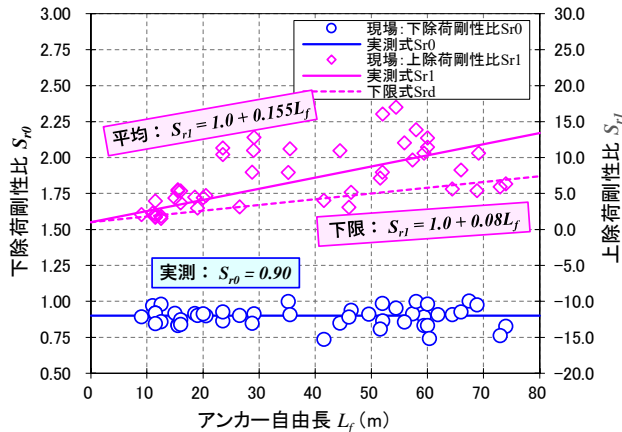


図-4.11.6 除荷剛性比 S_{r1} , S_{r0} の現場データと実測式

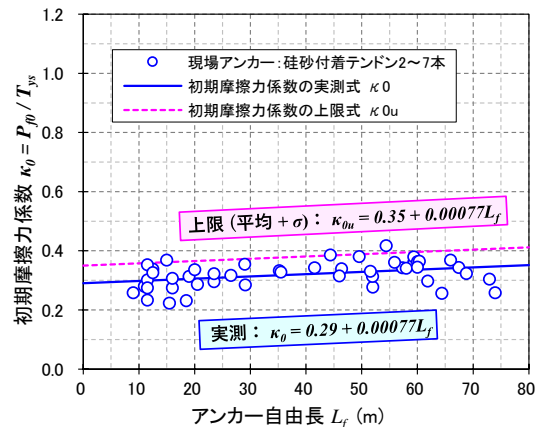


図-4.11.7 初期摩擦係数 κ_0 の現場データと実測式

■アンカー力伝達係数 κ_f の実測式

$$\kappa_f = \min(\exp(-0.004L_f), 1 + 0.00012L_f(1 - L_f)) \quad \dots(4.11.17)$$

■上除荷剛性比 S_{r1} と下除荷剛性比 S_{r0} の実測式

$$(\text{平均}) : S_{r1} = 1.0 + 0.155L_f \quad \dots(4.11.18)-1$$

$$(\text{下限}) : S_{r1} = 1.0 + 0.080L_f \quad \dots(4.11.18)-2$$

$$S_{r0} = 0.9 \quad \dots(4.11.19)$$

■初期摩擦係数 κ_0 の実測式

$$(\text{平均}) : \kappa_0 = 0.29 + 0.00077L_f \quad \dots(4.11.20)$$

$$(\text{上限}) : \kappa_0 = 0.35 + 0.00077L_f \quad \dots(4.11.21)$$

■実測式による stp.0r の除荷変位 δ_{0r} の逆算設定

$$\delta_{0r} = \delta_0 + (0.25 \cdot \kappa_0 \cdot T_{ys} - 0.5 \cdot P_{0r}) \cdot (L_{fp} + \kappa_f \cdot L_{fA0}) / AE \quad \dots(4.11.22)$$

ここに、

- ・ κ_f : アンカー力伝達係数の実測値
- ・ L_f : 自由長、または緊張自由長 (m)
- ・ S_{r0} : 下除荷剛性比の実測値
- ・ S_{r1} : 上除荷剛性比の実測値
- ・ κ_0 : 初期摩擦係数の実測値

(6) 設計での定着プレストレス P_t は、アンカー緊張除荷の変位挙動が例えば図-4.11.4 に示したもので、その挙動が式(4.11.12)と式(4.11.15)の $stp.i(\delta_i, P_i)$ 点で連成結合しており、さらに永続プレストレス P_∞ が制約条件式(4.7.1)～式(4.7.4)をもとに求められることを考慮して、これら条件を満足するように設定する必要がある。換言すると、 $stp.i(\delta_i, P_i)$ 点を起点とする式(4.11.15)で表される除荷曲線上に、設計設定の永続プレストレス P_∞ ・定着プレストレス P_t ・初期緊張力 P_i が存在する解を、制約条件式(4.7.1)～式(4.7.4)を考慮して求める問題に帰着する。この解の定着プレストレス P_t ・初期緊張力 P_i は、数値的に一意に定まらないので永続プレストレス P_∞ を開始点とした連成した式(4.11.12)と式(4.11.15)の緊張除荷曲線上での収束解析にて求める。

収束解析での与条件は、設計アンカー力 T_d 以上の永続プレストレス P_∞ 、始点 $stp.0(\delta_0, P_0)$ 、終点 $stp.0r(\delta_{0r}, P_{0r})$ 、解析用のアンカー仕様や諸係数の式(4.11.17)～(4.11.20)の値である。

収束解析結果の事例を図-4.11.8 に示す。詳細は割愛するが、同図の初期緊張力 P_i ～定着プレストレス P_t 間にはセット量 10mm が考慮されており、縦軸の緊張力差分はセットロスになる。定着プレストレス P_t ～永続プレストレス P_∞ 間には地盤クリープ変位による低下力と純りラクセーション低下力が考慮された収束解が求まっている。なお、本定着プレストレス P_t 解析手法は、EXCEL マクロ化されており、希望者には提供可能なので、弘和産業(株)にお問合せ頂きたい。

永続プレストレス P_∞ は、設計アンカー力 T_d 以上を標準とする。止むを得ず、 $P_\infty < T_d$ となる場合は、 T_d 作用時に P_∞ からの超過力 ΔP に対してアンカー変位と構造物変位が生じるので、前述 4.6、4.10 により変位検討を実施する必要がある。なお、アンカー変位方向と受圧体構造物の変位方向は一般に同方向にならず、地震などの作用荷重に伴う過大なアンカー変位 δ_a は緊張状態のアンカー頭部テンドンにせん断力が生じてアンカー破断の原因となることから、これをある程度制限する必要がある。アンカーせん断変位 δ_{as} は、 $\delta_{as} = \delta_a \cdot \tan \alpha$ 、(α : アンカー傾角)で表せるので、アンカー頭部支圧板孔の口元余裕を片側 10mm として、これ以下にせん断変位 δ_{as} を抑えることが推奨される。

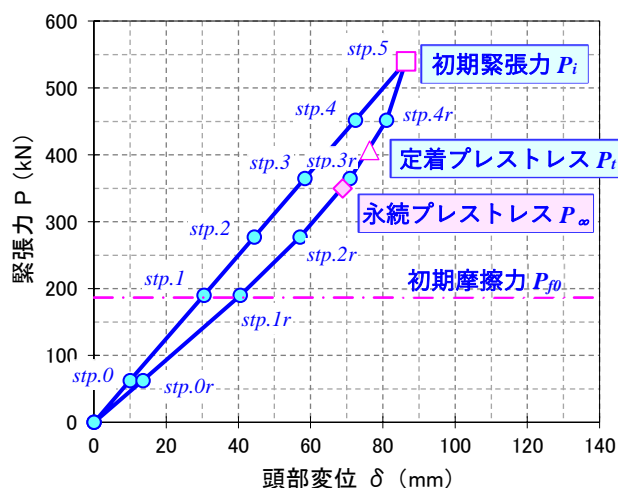


図-4.11.8 除荷挙動を考慮したアンカー力予測

(7) PC 橋梁や PC 構造物のプレストレス導入は、設計断面でのコンクリートひび割れ抑制が目的であり、設計断面での必要プレストレス確保のため、端部定着具での定着プレストレスは設計断面までの摩擦抵抗を考慮して割増したものが導入される。

一方、アンカープレストレスは、土工構造物などのアンカー定着構造物の安定性確保と変形抑止を目的としており、アンカー頭部で所要プレストレスを保持することにより、構造物安定性などの設計要求品質が満足できることになる。これを考慮すると、設計者側の定着プレストレスの仕様規定設定と、それに応じた施工者側での確実な緊張・定着の施工管理の実施が必要である。この観点から、両者の連携が必要であり、初期緊張力や定着プレストレスを設計引継事項として明記することが求められる。

4.12 アンカー耐久性

アンカーは、耐力性能の維持が必要な鋼材部材が、適用する現場環境の腐食・劣化因子から遮断され、適正な所要機能を永続的に発揮可能な耐久性とする必要がある。

アンカーの耐久性の要求仕様には、頭部キャップ境界・支圧板背面境界・自由長境界の部材境界の耐水圧の耐荷性能とともに、被覆材料や境界部構成材料の長期的な安定性・密着性・接着性・空隙充填性などがある。アンカー耐久性の維持には、テンドン・定着具などの鋼材を、これら構成材料の長期安定性により現場環境から永続的に遮断可能なことが重要である。

【解説】

- (1) 図-4.12.1 に示すように、アンカー設置地盤には必ず被圧地下水が存在しており、この水分や水圧影響からアンカー使用鋼材を遮断して、アンカー耐久性を確保する必要がある。本観点から、同図の頭部のキャップ境界と背面境界、自由長境界、アンカー体でのテンドン被覆やテンドン素線間空隙を対象にして、従来から種々の空気・水環境からの遮断方法が採用されている。しかし、供用中のアンカー調査結果では、図-4.12.2 に示すように、アンカー頭部部材に腐食が見られ、現状で未だに耐久性確保の課題が存在している。これらの腐食要因には、頭部キャップ内グリースの比較的短い期間での劣化、支圧板背面境界材料の劣化に伴う背面密封性低下、およびアンカー体グラウトひび割れによる素線間空隙毛管水の頭部浸入が挙げられる。
- (2) 鋼材腐食は、空気または水の存在下で発生し、湿度 60%は腐食発生臨界湿度と呼ばれ、湿度 60%以上の空気環境で鋼材腐食が生じるので、この防止に頭部キャップ内や背面管内に従来からグリースなどの充填材が用いられる。一方、グリースは重量比 0.1%以上の水混入で劣化し、現場での直接日射は温度 60°C程度に達して、経年的な熱劣化影響も受けるので、グリースの頭部定着具の防食効果が短期間でなくなる。支圧板背面接続部での止水に波型管接続法や接着剤による止水性目的の管接続法が用いられるが、接着剤などの保証期間は 1 年程度が多く、頭部温度が 60°C程度にも達するので温度を考慮した長期安定の劣化影響に留意する必要がある。
- (3) これらの課題を解決したのが、本工法のプレート止水構造である。プレート止水構造は、止水ゴムが支圧板内設置で、従来アンカーの頭部耐久性の最大の弱点であった頭部の背面止水構造とグリース充填をなくして、アンカー頭部の耐久性を著しく高めている。本構造により、アンカー頭部の背面調査も不要にでき、メンテナンス性の観点からも優れたものになっている。

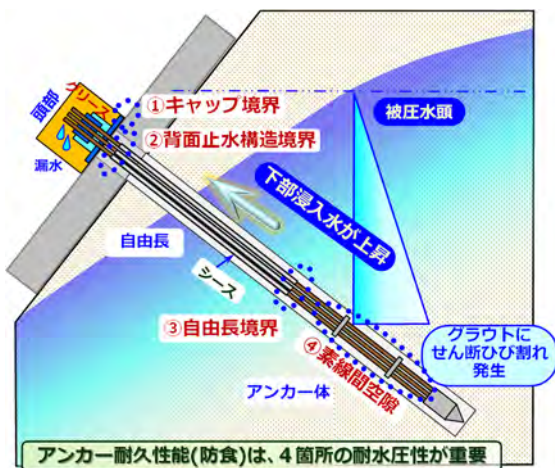


図-4.12.1 耐久性の重要箇所



図-4.12.2 アンカー頭部の腐食実態

4.13 ライフサイクルコスト(LCC)

ライフサイクルコスト(LCC)は、社会インフラ施設の建設段階と設計供用期間の保全段階を含めたコストであり、この最適化は、同施設の一体的なマネジメントサイクルのもとに、同期間を通じて費用対効果がもっとも高くなる観点から検討することが求められている。

アンカー設計では、建設コストとともに、保全コストである点検・調査コストや耐久性能評価による更新時期などのコストを含めて適正化することとし、ライフサイクルコスト(LCC)の最小化程度を検討する必要がある。

【解説】

(1) 近年の公共工事は、設計供用期間を通じた社会インフラ施設の費用対効果がもっとも高くなる手段を講じる設計手法が取り入れられ、保全段階の点検・調査や更新時期などの合理化を含めたライフサイクルコスト(LCC)の縮減が求められている。

本工法は、透明キャップ・グリースレス定着具・プレート止水構造という新しい3構造の採用で、メンテナンスが簡便化できることから、保全コストの縮減が見込まれる。一方、初期の建設コストのアンカー施工費や材料費との関係も、ライフサイクルコストでは重要になる。

ここでは、EHD アンカーHP 工法のライフサイクルコスト経済性を確認のため、国土交通省標準歩掛、および日本アンカー協会積算ガイドブックに則して、建設コストと保全コストを含めたライフサイクルコストの程度を求める、ライフサイクルコスト検討を実施する。

ライフサイクルコスト検討は、本工法と従来EHD アンカー工法を対象に、建設コストと保全コストの調査を実施して、ライフサイクルコストの経済性効果を確認する。

(2) 検討条件は、以下に示す通りである。

- ・頭部キャップ : 本工法の透明キャップ・5窓キャップ・下1窓キャップ
- ・グリース充填 : グリースレス (グリース無充填)
- ・アンカー設計条件 : 図-4.13.1、表-4.13.1～表-4.13.4 に示すアンカー設計条件・仕様とする。
- ・アンカー本数 : 延長10m 当り 13.32本(表-4.13.1:縦N=4段、水平S=3.0m 間隔)とする。
- ・保全コスト : アンカー頭部調査に係る、定期点検(近接点検・外観調査)、頭部詳細調査(頭部露出調査)と頭部背面調査の3種類の点検調査と、その際に必要になる頭部保護撤去工と頭部修復工を含めて、コスト算出を行う。

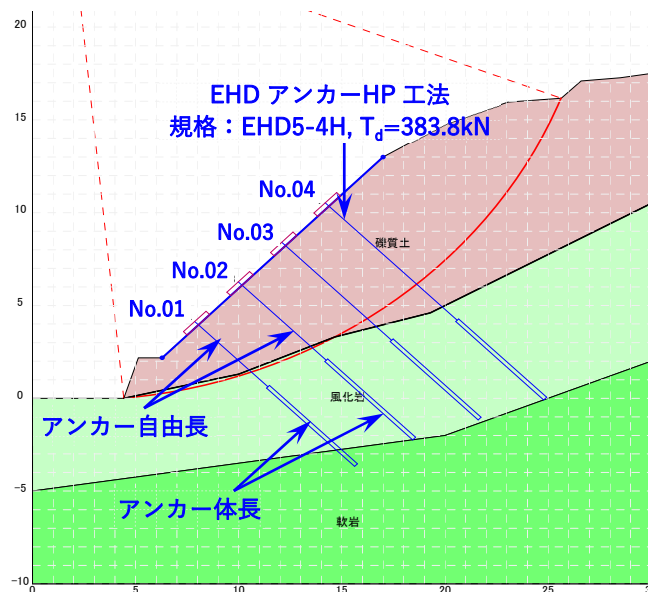


図-4.13.1 設計アンカーの配置概念

表-4.13.1 アンカー設計条件

項目	単位	諸元
必要抑止力 Pr	kN/m	360.0
アンカー施工段数 N	段	4
アンカー間隔 S	m	3.0
アンカー傾角 α	°	44.7
すべり面摩擦角 ϕ	°	25.0
すべり面角(平均) θ	°	30.68
アンカーランク	—	ランク A

表-4.13.2 設計アンカー仕様

項目	単位	諸元
アンカー呼び名	—	EHD5-4H
許容アンカー力 T_a	kN/本	439.2
設計アンカー力 T_d	kN/本	383.8
見掛け周長 U	mm	145.7

表-4.13.3 設計アンカー体仕様

項目	単位	諸元
設計アンカー体径 d_A	mm	$\phi 90$
アンカー体地盤	—	風化岩
地盤の設計 N 値	—	N=100
摩擦抵抗レベル	—	最小
極限摩擦抵抗 τ_{gu}	N/mm ²	0.600
摩擦抵抗の安全率 f_s	—	2.5
テンドン許容付着 τ_{ba}	N/mm ²	1.2
アンカー体長 L_A	m	6.0

表-4.13.4 設計アンカー長仕様

アンカー段番号		No.01	No.02	No.03	No.04	合計
アンカー自由長 L_f	m	5.0	6.0	7.5	9.0	27.5
アンカー体長 L_A	m	6.0	6.0	6.0	6.0	24.0
アンカー長 L_i	m	11.0	12.0	13.5	15.0	51.5
すべり面角 θ_i	°	20.02	27.30	34.29	41.11	平均 30.68

(3) 保全段階のアンカー頭部調査の調査項目・標準歩掛・調査数量と調査必要性は、表-4.13.5 に示す通りであり、それぞれ「グラウンドアンカー維持管理マニュアル 2020 年」、「2022 年版グラウンドアンカー積算ガイドブック」で規定されている。本工法の C グレード(透明キャップ)・W5 グレード(5 窓キャップ)・W1 グレード(下 1 窓キャップ)は、グリースレスのプレート止水構造で背面止水構造がなく、外観目視でキャップ内部調査が可能なことから、同表の②頭部保護撤去～⑤頭部修復工が不要となる。なお、G グレード(アルミキャップ)は、プレート止水構造であり、同表の④頭部背面調査のみを不要にできるが、窓なしの普通アルミキャップのグリース充填仕様のため外観目視で内部調査ができないことから、ここでのライフサイクルコスト比較は割愛する。

建設コストと保全コストを含めたライフサイクルコストの程度把握のため、アンカーの国土交通省標準歩掛および日本アンカー協会積算ガイドブックに則して、本工法と従来 EHD アンカーの「建設コスト+保全コスト」の調査を実施して、ライフサイクルコストの経済性効果を確認する。

なお、グラウンドアンカー工の建設コストの歩掛は、「平成 25 年版 国土交通省土木工事標準積算基準」、アンカー調査の保全コストの歩掛は、「2022 年版グラウンドアンカー積算ガイドブック」、コスト算出の労務単価は、公共工事設計労務単価表 令和 4 年 3 月の東京都単価を使用する。

表-4.13.5 アンカー頭部調査の調査項目・標準歩掛・調査数量と各アンカーの調査必要性

調査項目	アンカー調査の標準歩掛 ・くさびナット式 ・ナット式	調査数量 (全体比率)	■EHD アンカーHP 工法	■従来 EHD アンカー工法
			・C グレード(透明キャップ) ・W1 グレード(5 窓キャップ) ・W5 グレード(下 1 窓キャップ)	■従来他工法アンカー (くさびナット式、ナット式)
アンカー設計供用期間 t_d	—	—	50 年	50 年
アンカー調査頻度	—	—	5 年	5 年
①定期点検(近接点検・外観調査) ・現場調査 ・データ整理	0.05 日/本 0.05 日/本	10 %	必要	必要
②頭部保護撤去	0.10 日/本	10 %	不要	必要
③頭部詳細調査(頭部露出調査) ・現場調査 ・データ整理	0.20 日/本 0.10 日/本	10 %	不要	必要
④頭部背面調査 ・除荷工($T_a < 400\text{kN/本}$) ・現場調査 ・データ整理 ・再緊張定着工($T_a < 400\text{kN/本}$)	0.15 日/本 (0.10 日/本) ^{※3} 0.20 日/本 0.10 日/本 0.70 日/本 (0.30 日/本) ^{※3}	5 %	不要	必要
⑤頭部修復工	0.08 日/本	10 %	不要	必要

(注) 1. 頭部調査項目は、「グラウンドアンカー維持管理マニュアル 2020 年、土木研究所ほか編」による。
2. アンカー調査の標準歩掛は、「2022 年版グラウンドアンカー積算ガイドブック、日本アンカー協会」による。
3. 除荷工・再緊張定着工の()内は、ナット式アンカーの値である。

(4) 最初に、ライフサイクルコスト(建設コスト+保全コスト)のうちの建設コストを調査する。
表-4.13.6 に、本工法と従来 EHD アンカー工法の建設コストを示す。削孔径が同じ $\phi 90\text{mm}$ であることから、施工費 C_w は同一で、材料費 C_m は本工法の方がやや安価な状態になる。

表-4.13.6 アンカーの建設コスト

(a) EHD アンカーHP 工法

名称	規格	単位	数量	単価(円)	金額(円)	摘要
削孔工(礫質土)	$\phi 90$	m	73.469	11,359	834,534	ロータリーパネーション式
削孔工(軟岩)	$\phi 90$	m	94.562	13,974	1,321,409	ロータリーパネーション式
アンカー組立加工・挿入工	400kN 未満	本	13.32	4,287	57,103	
注入打設工(礫質土)	$\phi 90$	m ³	1.496	57,587	86,150	
注入打設工(軟岩)	$\phi 90$	m ³	1.926	57,587	110,913	
緊張・定着・頭部処理工	400kN 未満	本	13.32	12,671	168,778	
施工費 C_w 小計		本	13.32		2,578,887	
材料費 C_m	EHD5-4H	本	13.32		1,324,795	透明キャップ
合計(工事費 C_c)					3,903,682	延長 10.0m 当り

(b) 従来 EHD アンカー工法

名称	規格	単位	数量	単価(円)	金額(円)	摘要
削孔工(礫質土)	$\phi 90$	m	73.469	11,359	834,534	ロータリーパネーション式
削孔工(軟岩)	$\phi 90$	m	94.562	13,974	1,321,409	ロータリーパネーション式
アンカー組立加工・挿入工	400kN 未満	本	13.32	4,287	57,103	
注入打設工(礫質土)	$\phi 90$	m ³	1.496	57,587	86,150	
注入打設工(軟岩)	$\phi 90$	m ³	1.926	57,587	110,913	
緊張・定着・頭部処理工	400kN 未満	本	13.32	12,671	168,778	
施工費 C_w 小計		本	13.32		2,578,887	
材料費 C_m	EHD5-4	本	13.32		1,366,419	
合計(工事費 C_c)					3,945,306	延長 10.0m 当り

(注) 1. グラウンドアンカー工の歩掛は、「平成 25 年版 国土交通省土木工事標準積算基準」による。
2. 労務単価は、公共工事設計労務単価表 R4 年 3 月の東京都単価による。

(5) 保全コストを、表-4.13.7 に示す。同表のように、本工法と従来 EHD アンカー工法・他工法くさびナット式、および参考に他工法ナット式アンカーの保全コスト(アンカー頭部調査)を示す。本工法のアンカー設計供用期間 50 年間でアンカー調査費は、従来 EHD アンカーのわずか 6% であり、著しく調査費が軽減できることが明らかである。

なお、各調査費のコスト内訳を、表-4.13.8～表-4.13.12 に示す。

表-4.13.7 保全コスト(アンカー頭部調査)の比較

調査項目		EHD アンカーHP ・C グレード ・W1 グレード ・W5 グレード		従来 EHD アンカー 他工法くさびナット式		【参考】 他工法 ナット式 アンカー	摘 要
大項目	小項目	調査 数量	コスト (円/本)	調査 数量	コスト (円/本)	コスト (円/本)	—
①定期点検 (近接点検・外観調査)	小 計	10%	9,210	10%	9,210	9,210	
	・現場調査	—	7,760	—	7,760	7,760	表-4.13.8(a)
	・データ整理	—	1,450	—	1,450	1,450	表-4.13.8(b)
②頭部保護撤去工	小 計	—	—	10%	7,971	7,971	表-4.13.9
③頭部詳細調査 (頭部露出調査)	小 計	—	—	10%	38,100	38,100	
	・現場調査	—	—	—	31,040	31,040	表-4.13.10(a)
	・データ整理	—	—	—	7,060	7,060	表-4.13.10(b)
④頭部背面調査	小 計	—	—	5%	179,973	95,628	
	・除荷工	—	—	—	22,635	15,090	表-4.13.11(a)
	・現場調査	—	—	—	19,508	19,508	表-4.13.11(b)
	・データ整理	—	—	—	7,060	7,060	表-4.13.11(c)
	・再緊張定着工	—	—	—	130,770	53,970	表-4.13.11(d)
⑤頭部修復工	小 計	—	—	10%	10,918	10,439	表-4.13.12
⑥調査数量 1 本当り調査費		—	921	—	15,617	11,352	Σ(数量×小計)
⑦供用 50 年間アンカー調査費	10 回×13.32 本	—	122,677 (6%)	—	2,080,184 (100%)	1,512,086 (73%)	延長 10m 当り 13.32 本
【検討条件】							
・アンカー設計供用期間 t_d		50 年					
・アンカー健全性調査頻度		1 回/5 年					

- (注) 1. 頭部調査項目は、「グラウンドアンカー維持管理マニュアル 2020 年、土木研究所ほか編」による。
 2. アンカー調査の標準歩掛は、「2022 年版グラウンドアンカー積算ガイドブック、日本アンカー協会」による。
 3. 労務単価は、公共工事設計労務単価表 令和 4 年 3 月の東京都単価による。

表-4.13.8 定期点検(近接点検・外観調査)

(a) 現場調査 (20 本当り)

積算項目	単位	数量	単価	金額
世話役	人	1	26,500	26,500
特殊作業員	人	1	25,700	25,700
普通作業員	人	1	22,300	22,300
技師 B	人	1	41,600	41,600
技術員	人	1	29,000	29,000
諸雑費	%	7		10,100
計	式	1		155,200
1 本当り				7,760

(b) データ整理 (1.0 本当り)

積算項目	単位	数量	単価	金額
技術員	人	0.05	29,000	1,450
計	式	1		1,450
1 本当り				1,450

表-4.13.9 頭部保護撤去 (頭部キャップ 10.0 本当り)

積算項目	単位	数量	単価	金額
世話役	人	1	26,500	26,500
特殊作業員	人	1	25,700	25,700
普通作業員	人	1	22,300	22,300
諸雑費	%	7		5,210
計	式	1		79,710
1 本当り				7,971

表-4.13.10 頭部詳細調査(頭部露出調査)

(a) 現場調査 (5.0 本当り)

積算項目	単位	数量	単価	金額
世話役	人	1	26,500	26,500
特殊作業員	人	1	25,700	25,700
普通作業員	人	1	22,300	22,300
技師 B	人	1	41,600	41,600
技術員	人	1	29,000	29,000
諸雑費	%	7		10,100
計	式	1		155,200
1 本当り				31,040

(b) データ整理 (1.0 本当り)

積算項目	単位	数量	単価	金額
技師 B	人	0.10	41,600	4,160
技術員	人	0.10	29,000	2,900
計	式	1		7,060
1 本当り				7,060

表-4.13.11 頭部背面調査

(a) 除荷工

積算項目	単位	数量	単価	金額	
				くさびナット式 6.6667 本当り	ナット式 10 本当り
世話役	人	1	26,500	26,500	同 左
特殊作業員	人	1	25,700	25,700	同 左
普通作業員	人	1	22,300	22,300	同 左
技師 B	人	1	41,600	41,600	同 左
諸雑費	%	30		34,800	同 左
計	式	1		150,900	同 左
1 本当り				22,635	15,090

(b) 現場調査 (5.0 本当り)

積算項目	単位	数量	単価	金額
普通作業員	人	1	22,300	22,300
技師 B	人	1	41,600	41,600
技術員	人	1	29,000	29,000
諸雑費	%	5		4,640
計	式	1		97,540
1 本当り				19,508

(c) データ整理 (1.0 本当り)

積算項目	単位	数量	単価	金額
技師 B	人	0.10	41,600	4,160
技術員	人	0.10	29,000	2,900
計	式	1		7,060
1 本当り				7,060

(d) 再緊張定着工

積算項目	単位	数量	単価	金額	
				くさびナット式 1.4286 本当り	ナット式 3.3333 本当り
世話役	人	1	26,500	26,500	同 左
特殊作業員	人	1	25,700	25,700	同 左
普通作業員	人	2	22,300	44,600	同 左
技師 B	人	1	41,600	41,600	同 左
諸雑費	%	30		41,500	同 左
材料(くさび)	式	—	4,840	6,914	—
計	式	1		186,814	179,900
1 本当り				130,770	53,970

表-4.13.12 頭部修復工 (12.5 本当り)

積算項目	単位	数量	単価	金額	
				くさびナット式	ナット式
世話役	人	1	26,500	26,500	同 左
特殊作業員	人	1	25,700	25,700	同 左
普通作業員	人	2	22,300	44,600	同 左
諸雑費	%	10		9,680	同 左
材料(防錆油)	式	1	—	30,000	24,000
計	式	1		136,480	130,480
1 本当り				10,918	10,438

(5) 表-4.13.13 に、本工法と従来 EHD アンカー工法の建設段階コストと保全段階コストを含めたライフサイクルコスト LCC を考慮した経済性評価を示す。本工法のライフサイクルコスト LCC のコスト比率は、従来 EHD アンカー工法の 67%であり、ライフサイクルコストの経済性で約 30%コスト縮減可能な効果が確認できる。

ここで示すように、本工法は、保全段階でのアンカーの点検・調査費用を著しく縮減できることから、建設段階コストと保全段階の調査コストを含めたライフサイクルコスト経済性を考慮すると、他のアンカー工法に比べても優位になるものである。

なお、後述の表-6.3.3 では、アンカー力調査を含めて、健全性調査の全調査項目の歩掛比較をまとめているので、必要に応じて参照されたい。

一方、本工法の硅砂付着 ECF テンドンは、3.2 テンドンで記述したように、エポキシ樹脂被覆厚 0.4mm~1.2mm(平均厚 0.6mm)であることから、土木学会規準(JSCE-E141-2018)により、飛沫帯塩分環境のもとで設計耐用年数 100 年の耐久性能を有することが認められている。アンカーテンドンは、プレストレス作用状態で地盤内に埋設されるものであり、補修や修繕が困難であることから、この点に留意したアンカー工法選定も重要である。

表-4.13.13 ライフサイクルコスト LCC を考慮した経済性評価

項 目		単位	EHD アンカーHP 工法 C グレード	従来 EHD アンカー工法
頭部構造の種類	頭部止水構造	—	プレート止水構造	背面止水構造
	頭部仕様	—	透明キャップ / グリース	アルミキャップ / グリース充填
設計供用期間 t_d		—	50 年	50 年
アンカー調査頻度		—	5 年	5 年
【建設段階コスト】 (延長 10.0m 当り)				
施工費 C_w		円/10m	2,578,887	2,578,887
材料費 C_m		円/10m	1,324,795	1,366,419
工事費 C_c		円/10m	3,903,682 (99%)	3,945,306 (100%)
【保全段階の調査コスト(アンカー頭部調査のみ)] (延長 10.0m 当り)				
50 年間の頭部調査費 C_{mL}		円/10m	122,677 (6%)	2,080,184 (100%)
【経済性効果：LCC (建設+保全)]				
ライフサイクルコスト LCC	13.32 本当り	円/10m	4,026,359	6,025,490
	1 本当り	円/本	302,280	452,365
	経済性比率	—	1.00 (67%)	1.50 (100%)
LCC 考慮の経済性評価		—	LCC 考慮で、EHD アンカーHP 工法は、従来 EHD アンカー工法に比べて、30%コスト縮減できる。	

(注) 1. 頭部調査項目は、「グラウンドアンカー維持管理マニュアル 2020 年、土木研究所ほか編」による。
 2. アンカー調査の標準歩掛は、「2022 年版グラウンドアンカー積算ガイドブック、日本アンカー協会」による。
 3. 労務単価は、公共工事設計労務単価表 令和 4 年 3 月の東京都単価による。

第5章 施工

5.1 施工計画

アンカー施工は、アンカー設計仕様の要求品質・定着プレストレス・永続プレストレス・耐久性などが適正に満足できる施工方法で行うこととし、施工計画書にもとづき実施する。

アンカーの施工計画書は、設計仕様を満足するアンカーを造成するために、各施工段階における施工方法や施工管理方法、管理基準を定めたものとし、現場およびその周辺の安全と環境保全、保全段階のアンカー維持管理に配慮したものとする。

【解説】

- (1) アンカー施工は、アンカー設計仕様の要求品質・定着プレストレス・永続プレストレス・耐久性などが適正に満足できる施工方法で行う。施工に際しては、施工方法・削孔機・設備・使用材料などを検討し、現場に適するものを計画するとともに、施工は、設計仕様を十分に満足するように、適正な施工管理のもとで行う。

現場では、設計段階の地盤条件や仮設計画などで想定と異なる状態に遭遇することもあるので、この場合には、担当職員とともに適切な施工方法などを検討・協議し、速やかに対処することが重要である。

- (2) 施工計画書は、施工前で事前に、施工方法・施工管理・品質管理・安全管理の詳細を計画し、施工手順・使用機械・工程・施工編成等の具体について作成する。施工は、施工計画に従って行い、設計仕様で求められた要求品質のアンカーを造成する。施工管理基準は、発注機関の「土木工事施工管理基準および基準値など」、および「グラウンドアンカー設計施工マニュアル 日本アンカー協会」や本マニュアルなどの施工管理項目・管理基準に則して実施する。

施工計画書の記載項目と内容は、工事目的・工事概要(工事名称、工事場所、発注者、数量、地質地形概要)・設計仕様・工程・工事組織図・使用機材・仮設計画・作業手順・施工要領・施工管理計画・品質管理計画・安全管理計画・技術資料カタログなどである。

- (3) EHD アンカーHP 工法の施工手順を表-5.1.1 に示す。同図に示すように、初めに、削孔・テンドン挿入・グラウト注入・養生を行う。グラウト注入後のグラウト硬化前には、プレート止水構造の支圧板内止水ゴムのテンドンシース挿通孔とケーシング挿入済みテンドンの連通状態を考慮して、頭部テンドンのシース部に配列スペーサを取付ける。配列スペーサの機能は、養生とアンカー適性試験または確認試験の終了後の緊張・定着の前作業で、シースを支圧板内止水ゴムに直線的かつ円滑な状態で挿通させることであり、これに留意して配列スペーサを取付ける。本作業は、プレート止水構造の耐水圧性を保持する上で重要なものである。

アンカー養生後には、のり枠や受圧板などの受圧体に支圧板を仮設置して、アンカーごとに最大緊張力を限界緊張力 P_M としたプレ緊張 2 回サイクルを実施し、引続き適性試験または確認試験を実施する。試験終了後に、支圧板とプレート止水構造となる止水ゴム・押え板を設置し、次にその上部に定着具を取付けて緊張・定着作業を行い、永続作用の所要アンカー力(プレストレス P_e)になるように、設計引継ぎ事項の受圧体背面地盤の圧縮クリープ沈下、テンドンの純リラクセーションを考慮した定着プレストレス P_i をもとに、定着具のセットロス を考慮した初期緊張力 P_i を設定して抑止対象構造物にプレストレスを適正に与える。

受圧体がのり枠の場合は、削孔前にのり枠が施工済となるので、アンカー打設孔は、箱抜孔で仕上げられる。なお、アンカー打設前の小段基礎部がない急傾斜ののり枠は、滑動安定

の不安定化懸念があるので、事前に十分な照査が必要である。

受圧体が受圧板などの場合は、アンカー養生後に受圧板設置を行い、引き続き、支圧板仮設置・プレ緊張および適性試験・確認試験を実施する。

アンカー打設方向が受圧体設置面法線と整合せず法線振れ角が 15° 超で大きい場合や受圧板背面不陸影響で背面厚調整が必要な場合は、モルタル吹付による不陸調整枠を受圧体背面に設ける。

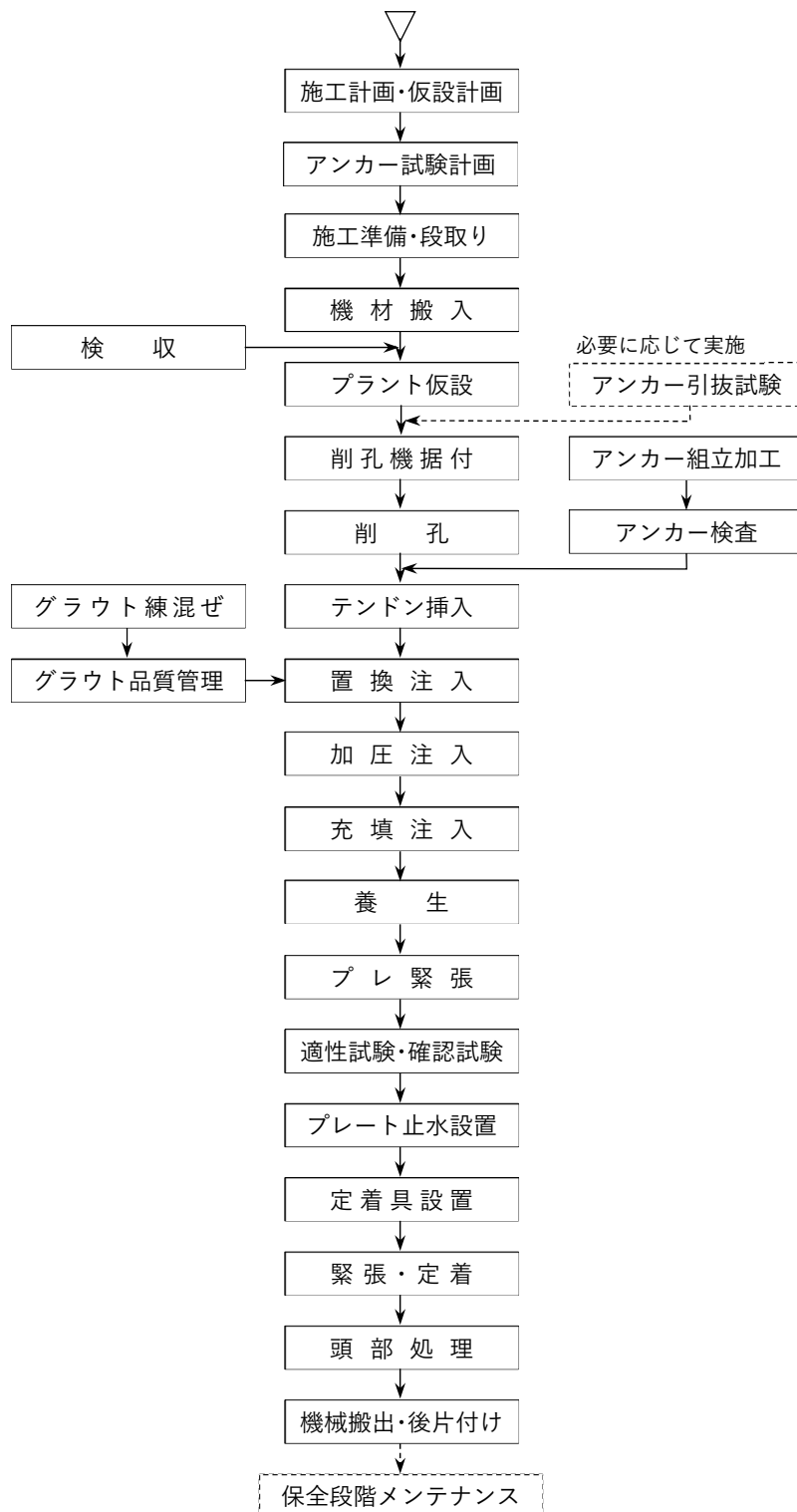


図-5.1.1 EHD アンカーHP 工法の施工手順

5.2 削孔

アンカー削孔は、設計図書に示された打設位置・方向角・削孔長・削孔径などの設計仕様を満足し、かつ削孔の直線性が保持可能な適切な方法を用いて行い、アンカー体の外周地盤に乱れが生じないように実施する。

孔内洗浄は、地盤条件や施工条件に応じて清水またはエアなどの適切な方法により行う。

【解説】

- (1) アンカー削孔は、アンカー品質や工期・経済性に影響を与えるもっとも重要な作業工程であることから、設計仕様・地盤条件・施工条件・施工規模などを考慮して削孔機械を選定し、アンカー品質が十分満足なものとなるように適正な管理のもとに施工する。

削孔管理では、単なる施工管理のみに留まらず、周辺環境に対する影響や安全性の確保という点に配慮する。
- (2) アンカー削孔でのおもな留意点は、以下に示す通りである。
 - ①削孔方法は、孔壁崩壊などの外周地盤の乱れが防止でき、かつテンドン挿入・グラウト注入・ケーシング加圧が確実に実施可能な、ロータリーパーカッション削孔機の二重管削孔を標準に選定する。
 - ②削孔の打設位置と方向角は、デジタルスラント・デジタル方位計・トランシットなどを使用して適正に設定する。方向角精度は、 $\pm 2.5^\circ$ 以下を基本にして可能な限り小さくし、隣接アンカー体離れや設計アンカー力などへの影響をできるだけ抑える。なお、アンカー間隔2.0m以下、かつ自由長20m程度では、方向角精度 $\pm 0.5^\circ$ 以下が推奨される。
 - ③削孔精度は、隣接アンカー体の設置間隔が1.5m以上確保できるように適正に管理する。斜めアンカーの風化岩での施工実績によれば、削孔精度は削孔長に依存することが明らかになっており、削孔長20m以下で1/200、40m以下で1/100、40m超で1/40とされている(出典：清水建設土木クォータリ Vol.164,pp38-73)。削孔精度の関係で、所要のアンカー体間隔が確保できない場合は、アンカー体のアンカー長方向での千鳥配置が必要である。一方、削孔地盤による削孔精度は、比較的均質な地盤で1/100～1/200、砂礫・崖錐・不均質互層地盤で1/50以下とされている。
 - ④アンカー体設置地盤の削孔では、削孔長位置と地盤種類・性状・層厚の確認と記録を行う。アンカー体の地盤確認後に、設計仕様の地盤条件を満足しないと想定される場合は、協議の上、地盤再調査、引抜試験の実施、削孔径のランクアップ、アンカー体の長尺化、アンカー体設置位置の深部化などで適正な対策を講じる必要がある。
 - ⑤削孔終了後には、清水またはエアを用いてスライムなどを排除する孔内洗浄作業を行い、連続作業で、テンドン挿入・アンカー体注入を速やかに行う。泥岩や凝灰岩などのスレーキング性の軟岩では、掘置きで所要の摩擦強度が得られないこともあるので留意する。
 - ⑥削孔段階で、構造物背面排水層の水抜き孔や水抜きボーリングなどから削孔水の漏出が生じた場合は、次作業のグラウト注入段階で排水層などの目詰りや河川・海などへの環境影響が懸念される。このグラウト漏出の防止対策には、自由長パッカーを使用する。なお、自由長パッカー使用の場合は、表-4.10.1に示したように、削孔径がラックアップする場合があるので留意が必要である。

5.3 削孔機械

アンカーの削孔機械は、アンカー施工の地盤条件・施工条件・周辺環境条件を考慮して選定する。

【解説】

- (1) アンカーの削孔機械の分類は、削孔方法と機械型式によるものがあり、削孔方法がロータリーパーカッションとロータリーの2分類、機械型式がスキッド型とクローラー型の2分類になっており、この組合せの4種類で構成される。
- (2) 削孔方法のロータリーパーカッションは、回転力と打撃力での削孔、ロータリーは回転力または回転力とエアハンマー打撃力で削孔するものである。アンカー施工では、地盤条件への幅広い適用範囲や施工性が良好という点から、ロータリーパーカッション二重管削孔が一般汎用的に適用されており、これを標準に使用する。
- (3) 機械型式のスキッド型とクローラー型は、足場条件により使い分ける。スキッド型は吊上げ移動式で軽量性から単管足場で適用可能であり、狭隘な個所でも施工可能であることから汎用的に利用されている。クローラー型は自走式で高い施工能力を有するが、大重量なことから、新設切土のり面安定対策などの土足場状態で利用されている。

なお、スキッド型単管足場の平面形状は、アンカー打設位置を起点に算定されており、断面幅4.5m、端部片側水平幅2.25mが標準的である。

5.4 テンドン組立加工

アンカーテンドンの組立加工は、テンドン仕様・アンカー自由長・アンカー体長・境界部止水性などが設計仕様に基づいたものとし、アンカー性能と機能が永続的に保持できるように実施する。

【解説】

- (1) アンカーテンドンは、アンカープレストレスを頭部側構造物とアンカー体地盤の両側で支持させる、もっとも重要なものであることから、組立加工では、テンドン仕様・アンカー自由長・アンカー体長・境界部止水性などが設計仕様に基づいたものとし、アンカー性能と機能が永続的に保持できるように実施する。アンカー体は、所要グラウトかぶりを確保し、アンカー設置孔中央部に配置可能なように加工する。テンドン切断は、その特性を損なわないディスクカッターなどの方法で行う。
- (2) 組立加工では、部材規格、加工組立後の形状寸法、油脂・錆など有害物の無付着、頭部側緊張部テンドンの適正な保護、止水境界部の堅固性などについて、確実な検証を行う。
- (3) 図-5.4.1に組立加工手順を示す。最初に、組立加工部材の規格・寸法確認を行い、次にテンドン切断・検尺を行う。アンカーの各部位の加工は、自由長・頭部緊張部長・止水境界・注入ホース・アンカー体の順序で行い、最後のアンカー検尺を経て、巻取りでアンカー製品が完成となる。組立加工は、工場加工を推奨するが、現場加工では適切な指導のもとで行う。
- (4) 組立加工の詳細手順は、表-5.4.1に示す通りである。

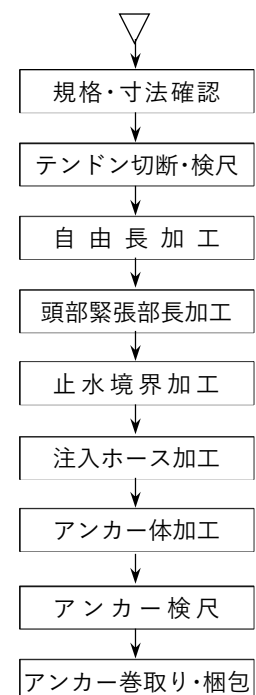


図-5.4.1 組立加工手順

表-5.4.1 組立加工の詳細手順(1)


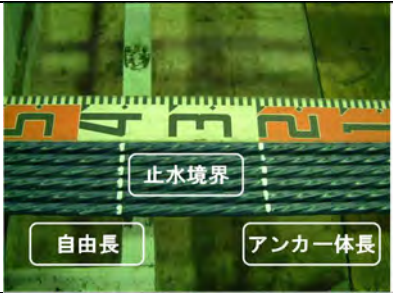





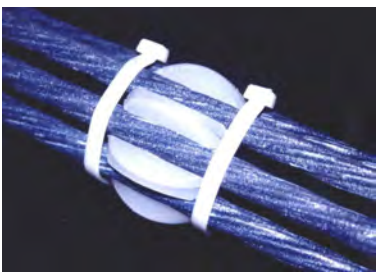


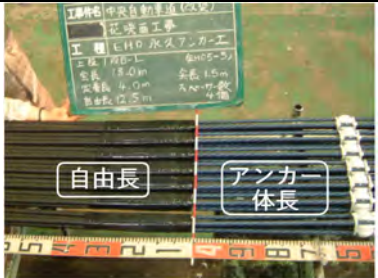

① テンドン切断・検尺		
(a) テンドン引出し	(b) テンドン切断	(c) アンカー長検尺
		
テンドン長=頭部緊張部長+自由長+アンカー体長+先端部長		
② 自由長加工		
(a) 境界位置設定	(b) 自由長グリース塗布	(c) 自由長シース被覆
		
③ 頭部緊張部長加工		
(a) グラウト止キャップ設置	(b) 接続部テーピング	
		
④ 止水境界加工		
(a) 弾性接着剤塗布	(b) 1本ごとに熱収縮チューブ設置	(c) テンドン束に熱収縮チューブ設置
		
⑤ 注入ホース加工		
(a) 注入ホース定尺切断	(b) 先端斜めカット	(c) パイロットキャップ 上部カット
		

表-5.4.1 組立加工の詳細手順(2)

⑥ アンカー体加工		
(a) スペース取付	(b) パイロットキャップ取付	
		
⑦ アンカー検尺		⑧ アンカー巻取り・梱包
(a) 全長検尺	(b) アンカー体検尺	—
		

5.5 テンドン取扱い

テンダンの取扱いは、損傷や過度な曲げがなく、被覆防食材の硅砂付着エポキシ樹脂や自由長シースが破損しないように行う。アンカー体は、グラウト付着部であることから、機能を阻害するものが付着しないようにする。

【解説】

- (1) テンダンは、アンカーのもっとも重要部材であることから、取扱いは機能損傷がないように行う。テンダンは、工場検査などで所要規格のものが出荷されており、その後の現場での挿入作業終了まで、損傷がないように取扱う。また、被覆防食材の硅砂付着エポキシ樹脂や自由長シースは破損しないように取扱う。本工法のアンカー体は、硅砂付着で高付着強度となっており、グラウト付着の阻害が生じる異物付着がないものとする。
- (2) テンドン運搬は、擦れや衝撃などで、テンドンや被覆防食材に損傷・変形が生じない方法で行う。現場でのテンドン保管は、巻ぐせや変形が生じないように直線状態が推奨され、地面設置しない架台上などに行う。なお、止むを得ずコイル巻保管の場合は、直径1.5m以上とする。

5.6 テンドン挿入

テンドン挿入は、有害な損傷や変形を与えない方法を使用して、アンカー体が設計仕様の位置になるように適正に行う。

【解説】

- (1) テンドン挿入位置までの運搬では、テンドン損傷が生じないようにする。テンドンは、挿入前仮置きで直接地面に置かないこととし、作業に伴う油・土砂などの異物付着がなく、よじれ・損傷がない状態で、アンカー体が設計仕様の位置になるように挿入する。
- (2) 長尺テンドンや狭隘な施工場所での挿入作業では、テンドンを引き伸ばさずに挿入可能なように、回転装置やローラーを使用する。



写真-5.6.1 テンドン挿入状況

5.7 グラウト配合

グラウト配合は、設計仕様のグラウト設計基準強度が得られるものとし、試験練りを行って所要強度が得られる配合設定とフロー値の管理値設定を行う。

【解説】

- (1) グラウト配合は、設計仕様に則して行い、試験練りを行って設計基準強度が得られる現場配合設定とフロー値の管理値設定(P ロート：10～18 秒)を行う。フロー値は混和剤種類・添加量・水温などにより変化するので留意する。練混ぜ水は水道水を標準とする。地下水・河川水などを使用する場合は、JSCE-B101により適正なものであることを確認する。
- (2) グラウトの配合例を表-5.7.1に示す。グラウト注入量 V_g は、一般に式(5.7.1)で計算する。
$$V_g = \pi/4 \times D_A^2 \times (\text{削孔長}(=\text{地盤部自由長} + \text{アンカー体長} + \text{先端長})) \times (1+K), K=2.2 \dots (5.7.1)$$
ここに、 D_A ：削孔径、 K ：割増係数である。

表-5.7.1 グラウト標準配合(例)

普通ポルトランドセメント C	W/C	混和剤
1,230kg	50%	C×0.2～6.0%
■1m ³ 当り配合計算例(設計基準強度 $f_{ck}=24N/mm^2$)		
普通セメント C	水 W	混和剤(液体) (マスターロックFLC400)
1228kg	600kg	14kg

5.8 グラウト注入・配列スペーサ取付・養生

グラウト注入・配列スペーサ取付は、置換注入・加圧注入・配列スペーサ取付・充填注入の4段階で行い、初めの置換注入は、アンカー最深部から開始し、注入グラウトと同性状のものが孔口排出されるまで連続して行う。

加圧注入は、アンカー体造成のために実施するものであり、ケーシング加圧を標準とする。

加圧注入後の孔口のテンドン内包シースは、孔径中央部に位置して、プレート止水構造の止水ゴム孔・押え板孔・アンカーヘッド孔と正対する配列状態にして配列スペーサを取付ける。

配列スペーサ取付後は、自由長の空隙充填と地山緩みを抑えるため、孔口までの充填注入を実施して、テンドンが孔径中央部に位置するように、テンドン緊張作業まで適正な養生を行う。

【解説】

- (1) 置換注入は、テンドン挿入後に注入ホースを用いてアンカー最深部から開始し、注入グラウトと同性状のものが孔口排出されるまで連続して行う。本工法の置換注入は、テンドン挿入後にテンドン最深部注入ホースからのグラウト吐出によって実施するため、テンドンの挿入前地下水浸入や挿入時エア捲込みの影響を防止できることから、グラウト品質確保の点で優位である。置換注入後は、注入ホース上部を配列スペーサ取付部と支障しないように切断する。
- (2) 加圧注入は、アンカー体を対象にケーシング加圧注入により実施するもので、ケーシングを1.5m程度引抜きながら複数回に分けて行う。注入圧力は、一般に、現場の地下水圧の1.5～2.0倍程度、かつ0.3～0.5MPa設定での適用が多い。注入圧力は、グラウトが地盤内に圧力注入され、所要アンカー体が確実に造成できるように、適正な圧力設定と管理を行う必要がある。
- (3) 加圧注入後の孔口のテンドン内包シースは、孔径中央部に位置して、プレート止水構造の止水ゴム孔・押え板孔・アンカーヘッド孔と正対する配列状態にして配列スペーサを取付ける。写真-5.8.1に、グラウト注入・頭部洗浄・配列スペーサ取付を示す。
- (4) 配列スペーサ取付後は、自由長の空隙充填と地山緩みを抑えるため、孔口部までのグラウトの充填注入を実施し、テンドンシースに取付けた配列スペーサは孔径中央に位置させる。アンカーテendonは、テンドン緊張作業まで孔径中央に保持してグラウト硬化できるように、適正に養生する。テンドンの孔径中央への養生では、必要に応じて、配列スペーサと他の適切な部材や方法などと組合せることで、より適切なテンドンの孔口元整列ができる場合もある。

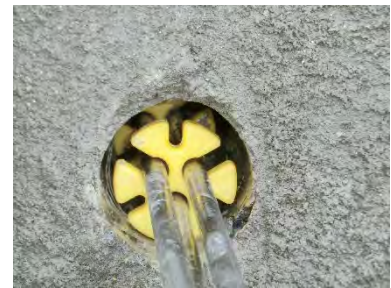
なお、自由長からのグラウト漏出で河川や海などへの環境影響、既設構造物背面の排水層への影響が懸念される場合は、自由長パッカーを使用するなど適切な措置を行う必要がある。



(a) 加圧注入状況



(b) 頭部洗浄状況



(c) 配列スペーサ取付状況

写真-5.8.1 グラウト注入・配列スペーサ取付

5.9 プレ緊張

プレ緊張は、最大緊張力を限界緊張力 P_M とした 2 回サイクル緊張をいい、アンカー施工での適性試験、確認試験のアンカー緊張試験前に実施することを推奨する。この緊張速度は、特に規定しないが、作業の安全性が確保できる緊張速度範囲で行う。

【解説】

(1) プレ緊張は、図-5.9.1 に示すように、最大緊張力を限界緊張力 $P_M (= \min\{0.9T_{ys}, L_A \cdot \min(\tau_{by} \cdot U, \tau_{gy} \cdot D_A \cdot \pi) / (\text{安全係数 } 1.25)\})$ とした 2 回サイクル緊張で、アンカー施工での適性試験、確認試験のアンカー緊張試験前に行うことを推奨する。すべてのアンカーに実施することにより、設計供用期間にわたって、適正なアンカー設計特性が確保できるようにする。これを実施しない場合は、5.10.2 と 5.10.3 で示す、施工管理での変位規定範囲に入らないなどの支障が懸念されるので留意する。

なお、プレ緊張の緊張速度は、特に規定しないが、作業の安全性が確保できる緊張速度範囲で行う必要がある。

(2) プレ緊張の目的は、受圧体背面地盤へのアンカー圧縮力付与による地盤クリープ影響低減、アンカー初期緩み除去、アンカー自由長部摩擦除去、および頭部アンカーテンドンのプレート止水構造の止水ゴム孔・押え板孔・アンカーヘッド孔への適正な整列性確保などである。こうした観点を踏まえて、プレ緊張は確実な実施を推奨する。

(3) プレ緊張効果の確認事例を図-5.9.2 に示す。同図に見られるように、最初の緊張除荷サイクルではアンカーテンドン挿入・設置に伴う初期緩み影響が入っており、適正な変位挙動になっていないものを評価して、施工管理する懸念があることから、これを回避する目的でプレ緊張は有効となる。同図のプレ緊張 2 回サイクル後の本緊張は、式(4.11.8)に示した自由長摩擦なしの簡略化弾性線の勾配にはほぼ一致した傾向を示しており、プレ緊張効果の良好性が明瞭に確認できる。

(4) プレ緊張は、アンカー自由長部摩擦除去に特に有効なものである。自由長 20m を超えるアンカーで、施工管理の変位規定を満足しないなどで不十分な摩擦除去の結果が得られた場合は、必要に応じて、さらにサイクル回数を増やす増プレ緊張も一考である。一方、アンカー自由長摩擦は、緊張・定着でのセットロス(テンドン緊張力低下)をより大きくするが、本影響をナット調整による増緊張で解消できる場合は、増プレ緊張が不要であり、プレ緊張 2 回サイクルで対応可能と考える。

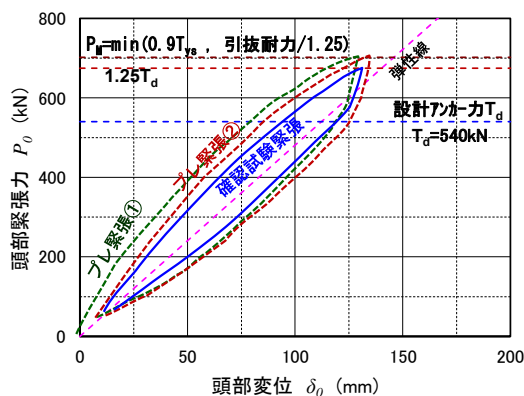


図-5.9.1 アンカー緊張試験前のプレ緊張 P_M の概念

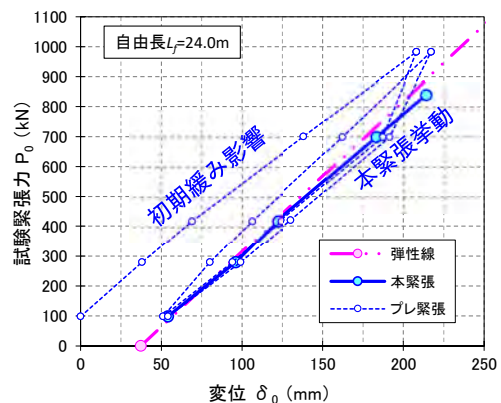


図-5.9.2 プレ緊張効果の確認事例

5.10 アンカー緊張試験

施工でのアンカー緊張試験には、引抜試験・適性試験・確認試験の3種類があり、アンカー体グラウトが所要強度に達した後に、各試験目的を考慮して適正に行う。

引抜試験は、アンカー体設置地盤でのグラウトと地盤の摩擦強度を求めるもの、適性試験と確認試験は、アンカー施工管理を目的のアンカー挙動確認と、設計設定の定着プレストレスをもとに試験結果を反映した初期緊張力設定を行うために実施するものである。

【解説】

- (1) 施工で実施のアンカー緊張試験は、引抜試験・適性試験・確認試験の3種類があり、ここではおもにこれらを解説する。このほかには、アンカー長期挙動確認用の長期試験、アンカープレストレスを確認する残存引張力確認試験(リフトオフ試験)や群アンカー試験などがあるが、これらのおもな試験目的は保全管理用や研究用で活用されるものである。なお、各種の試験は、アンカー体グラウトが所要強度に達した後に実施する必要がある。
- (2) 長期試験は、図-4.7.7 の活用やロードセル設置で代替可能であること、試験結果がアンカー毎でばらつきが生じること、前述 4.7 や 4.11 の方法による定着プレストレスの設計で長期試験の目的をある程度満足可能なことから、施工上で特に必要なものではないと考えられる。なお、残存引張力確認試験は、定着後の経日経過で受圧体地盤変形が見られるなどで施工でのアンカー力低下が大きいと想定された場合のアンカープレストレスの確認用に活用が可能である。
- (3) 表-5.10.1 に、引抜試験・適性試験・確認試験のアンカー緊張試験とプレ緊張の概要を示す。引抜試験は、設計で仕様設定した前述 4.9 でのアンカー引抜試験計画をもとに行うものであり、自由長摩擦抵抗が生じないように、アンカー体と自由長境界に引抜試験パッカーを設置して自由長内グラウトが存在しない状態で試験実施することから、適性試験や確認試験とアンカー変位挙動が異なるので留意が必要である。

プレ緊張は、受圧体背面地盤のクリープ低減、テンドン初期緩み除去、自由長摩擦除去、頭部テンドンの整列性確保に効果的なことから、前節の方法で適性試験や確認試験の実施前に行うことで、アンカーの品質向上が図れ、アンカー緊張除荷のループ挙動が伴う試験変位挙動への悪影響因子を事前に除外することができる。

適性試験は、緊張除荷を多段サイクルで行うものであり、サイクル毎にステップ増加する緊張力と変位のループ挙動が得られることから、緊張力ステップサイクル毎の変位挙動が評価できる。施工管理のアンカー変位管理は、緊張除荷ループ挙動の最終サイクルを対象に実施することとし、さらに本結果からアンカー力伝達係数 k_f などの諸係数を求め、永続プレストレス P_o \geq 設計アンカー力 T_d となる緊張・定着作業での初期緊張力 P_i をアンカー個々に算定する。同初期緊張力 P_i をもとにして、各アンカーの緊張・定着を実施する。

確認試験は、緊張除荷を単サイクルで行うものであり、1 サイクルでのステップ増加する緊張力と変位のループ挙動が得られる。試験対象アンカーの個々の試験結果から、適性試験と同様に、施工管理となるアンカー変位管理を行い、さらに試験結果を反映した初期緊張力 P_i を個々に求め、これをもとに各アンカーの緊張・定着を実施する。
- (4) 図-5.10.1 に、アンカー緊張試験の計測概念を示す。同図のジャッキと油圧ポンプは、緊張力作動装置であり、同装置は最大試験力または $0.9T_{ys}$ の 1.2 倍程度まで緊張可能とし、ストロークに余裕を持たせる。受圧体は、最大試験力を十分に支持可能な安全性を有するものを選定する。試験力計測は、油圧センサーやロードセルを用いて行う。アンカー頭部変位と受圧体変位の計

測用変位計は、精度 0.1mm 以下とし、受圧体変位の影響を受けない位置からの固定梁に設置する。なお、アンカー頭部と受圧体の変位計は、アンカー傾角や水平角のアンカー軸方向に一致させ、方向不一致による変位誤差が生じないように、変位計の設置方向を適正なものとする。

(5) 本工法のアンカー体設置地盤は、N 値 30 以上の堅固な地盤を対象としており、アンカー体でのせん断による地盤緩みやせん断クリープが発生しないことから、試験力保持時間は、比較的短くても良く、通常の砂質土・岩盤パターンでの試験時間程度を参考にして実施する。

表-5.10.1 アンカー緊張試験とプレ緊張の概要

	引抜試験	プレ緊張	適性試験	確認試験
①目的	・グラウトと地盤の摩擦強度評価	・地盤クリープ低減 ・テンドン初期緩み除去 ・自由長摩擦除去 ・テンドン整列性確保	・施工管理 ・試験結果は、緊張・定着力設定に使用	・同 左 ・同 左
②緊張除荷方法	・緊張除荷の多段サイクル ・ステップ試験力を設ける	・緊張除荷の 2 回サイクル ・ステップ試験力なし	・緊張除荷の多段サイクル ・ステップ試験力を設ける	・緊張除荷の単サイクル ・同 左
③対象アンカーと本数	・引抜用アンカー1本 ・アンカー体設置地盤が異なる場合や、強度確認が必要な場合は、適宜追加	・施工アンカー全数 ・適性試験や確認試験前に実施	・施工アンカー全数の5%かつ3本以上 ・確認試験前に実施	・適性試験済アンカーを除く、施工アンカー全数
④最大試験力 T_p	・式(4.9.1)~(4.9.3) ・必要に応じて、 $1.1T_d$ も考慮	・限界緊張力 P_M	・最大 $0.9T_{ys}$ 、かつ図-4.11.8 で示した収束解析による初期緊張力以上 ・ $1.25T_d \geq$ 収束解析の初期緊張力の場合は、 $1.25T_d$ を採用	・同 左 ・同 左
⑤試験力ステップ数	・ $0.4T_p \sim 1.0T_p$ を 5~10 分割、標準 6 分割	・なし	・ $0.4T_p \sim 1.0T_p$ を 5 分割以上、標準 5 分割	・適性試験と同分割
⑥試験力サイクル数	・同上分割でサイクル	・2 回	・同上分割でサイクル	・1 回
⑦評価指標	・グラウトと地盤の摩擦強度 τ_g	—	・アンカー変位管理 ・現場アンカーのアンカー力伝達係数 κ_f 、下除荷剛性比 S_{r0} 、上除荷剛性比 S_{r1} 、初期摩擦係数 κ_0 の評価	・同 左 ・同 左
⑧結果の利用方法	・設計摩擦強度 τ_g の安全性確認 ・試験 $\tau_g <$ 設計 τ_g の場合は、アンカー体長見直し	—	・上記の諸係数から、 $P_\infty \geq T_d$ となる初期緊張力 P_i を求めた後、それをもとにした緊張・定着作業を実施	・同 左

注)1. 記号定義： T_{ys} ：テンドン降伏耐力、 T_d ：設計アンカー力、 P_∞ ：永続プレストレス

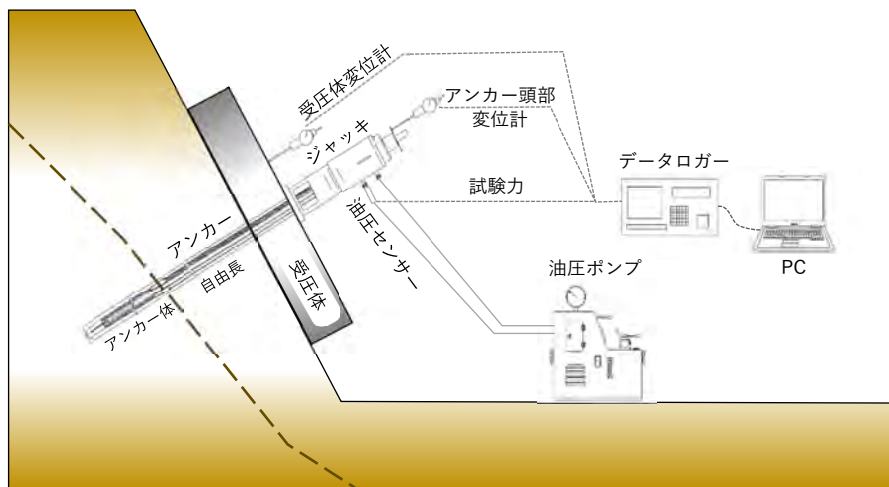


図-5.10.1 アンカー緊張試験の計測概念

5.10.1 引抜試験

引抜試験は、設計で仕様設定した試験計画をもとに行い、アンカー体設置地盤でのグラウトと地盤の摩擦強度を適正に求める。

【解説】

- (1) 引抜試験は、前述 4.9 のように一般に設計段階で計画されており、現場のアンカー体設置地盤の地盤調査結果をもとに、アンカー規格・アンカー体長・アンカー体径・最大試験力の引抜試験仕様を設定されていることから、本試験はその内容を事前に照査して、実施する必要がある。
- (2) 引抜試験のアンカー体施工と試験の一般的な手順は、①削孔・②孔内洗浄・③グラウト注入・④引抜試験パッカー付テンドン挿入・⑤ケーシング引上げ・⑥ケーシング加圧注入・⑦引抜試験パッカー膨張・⑧自由長洗浄・⑨養生・⑩引抜試験パッカー圧力解放・⑪引抜試験である。なお、引抜試験パッカーは、鋼管・ゴム・布の 3 層構造で、テンドンを被覆して、アンカー体と自由長を縁切りするものである。
- (3) 引抜試験用アンカーの施工では、アンカー体が設計仕様の地層・地盤特性を有することを削孔スライムから確認するとともに、アンカー体と自由長境界に引抜試験パッカーを設置してアンカー体のケーシング加圧注入後に、引抜試験パッカーの水注入膨張を行い、自由長内部を水洗浄して、アンカー自由長部の摩擦影響と自由長グラウトによる引抜抵抗をなくする。引抜試験後の自由長部空孔範囲は、ベントナイトモルタルやセメントグラウトなどの充填性が良く、硬化強度を有する自硬性材料を孔口から充填注入して、地盤内空洞を閉塞する。なお、自由長空孔範囲が無筋コンクリートなどで、かつ孔口元が必ず地下水位以上になり、構造物や周囲施設に影響がないケースでは、全体空孔を閉塞しないで孔口元のみ閉塞を行う場合もある。
- (4) 引抜試験アンカーの本数は、地盤種類と地盤 N 値などによる設計摩擦強度の種類数に対応した数量となっており、一般にアンカー体設置地盤が 1 種類で設計することから、標準的には 1 本である。数種類の摩擦強度による設計、広範囲のアンカー設置範囲に対して地盤調査数が不十分な設計、地層不陸が想定される設計では、試験本数が 2 本以上の場合がある。

試験の最大試験力 T_p は、テンドン・グラウトの降伏付着耐力 P_b がグラウト・地盤の摩擦耐力 P_f 以上、かつ $0.9 \times$ テンドン降伏耐力 T_{ys} 以下で設定される。必要に応じて、設計アンカー力 T_d の 1.1 倍以上を考慮する場合もある。なお、引抜試験実施の最大試験力 T_p 作用でアンカー体が引抜けない場合は、テンドン限界緊張力 $P_{Mt}(=0.9T_{ys})$ まで、試験力をステップ増加で単調作用させた後に試験終了とする。

- (5) 引抜試験の stp.0 の初期試験力 T_0 は、ジャッキがアンカー軸方向に正対して整列設置可能な緊張力とし、 $0.10T_p \sim 0.10T_{ys}$ の範囲で設定される。

試験の試験力ステップ数は、5～10 分割であり、一般に stp.1～stp.6 の 6 分割で実施されている。この場合の標準的な各ステップ分割は、最大試験力 T_p の比 R_T で $R_T=0.40, 0.55, 0.70, 0.80, 0.90, 1.00$ が目安である。試験力の緊張除荷サイクルは、ステップ数と同数でサイクル増加毎に順次試験力を最大試験力比 R_T でステップ増加させ、サイクル毎の最大試験力到達後に逆順ステップで T_0 まで除荷し、次の緊張除荷サイクルを繰り返す。

例えば、6 段サイクルの試験力ステップ T_{ij} は、1 サイクル： $T_{11}=T_p \times (0.1, 0.40, 0.1)$ 、2 サイクル： $T_{2j}=T_p \times (0.1, 0.40, 0.55, 0.4, 0.1)$ 、3 サイクル： $T_{3j}=T_p \times (0.1, 0.40, 0.55, 0.70, 0.55, 0.40, 0.1)$ 、・・・、6 サイクル： $T_{6j}=T_p \times (0.1, 0.40, 0.55, 0.70, 0.80, 0.90, 1.00, 0.90, 0.80, 0.70, 0.55, 0.40, 0.1)$ の緊張除荷の繰返しループパターンとなる。

試験力保持時間は、各サイクル毎の最大試験力ステップで 5~60min を目安とし、0.3mm/min 以下の変位安定が見られた場合は、そこから除荷ステップに入って T_0 を経てサイクルを終了し、次サイクル以降を繰り返す。サイクル毎の最大試験力を除く、サイクル内ステップの試験力保持時間は、0.5~1min 程度を目安とする。また、緊張除荷での各ステップ間の試験力増減時間も、0.5~1min 程度を目安とする。

(6) 緊張除荷の多段サイクル試験により、引抜試験の試験力・頭部変位の挙動は、アンカー体自由長進展を受け、ややループ形状の弾性挙動となり、各サイクルの stp.0 試験力 T_0 の初期変位 δ_0 はやや残留変位傾向を示す。引抜け発生時には弾性挙動に比べて大きなすべり変位挙動となる。

(7) 試験結果の整理事例を、図-5.10.2、図-5.10.3 に示す。ここで、各図(a)の弾性線は 6-cy で直線性が得られている stp.2~stp.5 の線形化から stp.0 変位 δ_0 を外挿で求め、弾性線勾配を式(4.11.11)による $K_e = AE / (L_{fp} + 0.5 \cdot L_0)$ 、 L_0 ：試験アンカー体長、で示したものであり、引抜試験の変位挙動は自由長グラウトがないことから、理論弾性にほぼ近似した挙動が得られる。

同図(b)は、同図(a)の引抜力 P_0 を $(\pi \times$ 試験アンカー体径 $D_{A0} \times$ 試験アンカー体長 $L_0)$ で除して引抜摩擦強度 τ_g で表示したものであり、本結果から頭部変位がほぼ安定の stp.5 の値を摩擦強度の降伏値 τ_{gy} として求めることができる。なお、試験結果の摩擦強度 τ_g は、試験アンカー体長が 2.5m 以下の場合に、表-4.9.1 に示した寸法効果考慮の引抜力低減係数 β_l を考慮し、式(4.9.4)を用いて、適正に低減評価したものを設計用値にする必要がある。

引抜試験の結果が、原設計の設計用摩擦強度 τ_g を満足しない場合は、試験結果を用いて摩擦抵抗安全係数 $f_{sg} = 2.5$ を考慮した設計アンカー体長を算定して、原設計を変更する必要があるので留意する。

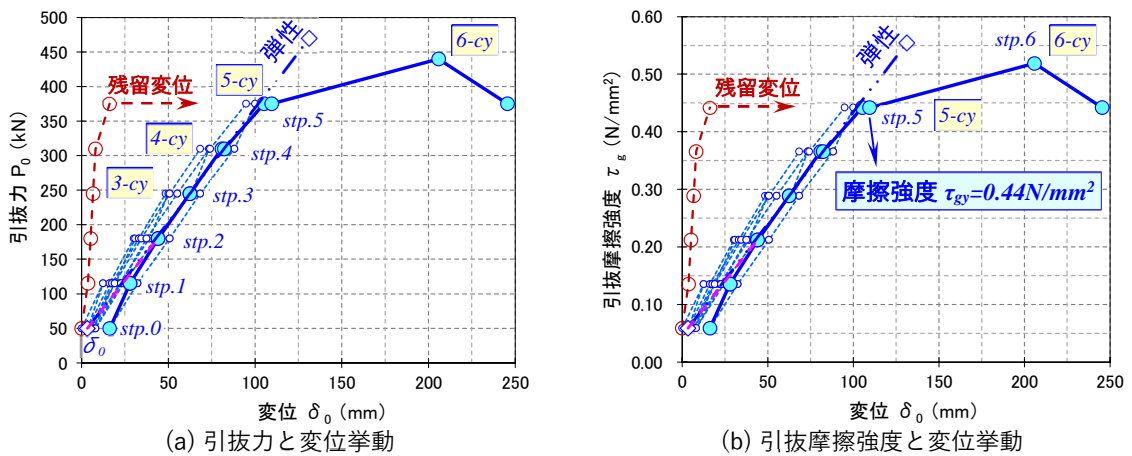


図-5.10.2 引抜試験の事例 1

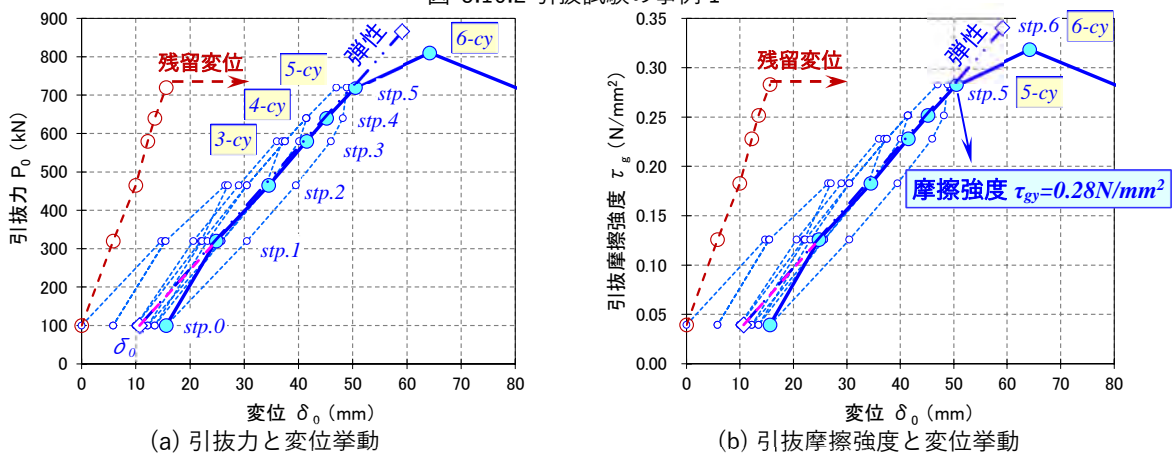


図-5.10.3 引抜試験の事例 2

5.10.2 適性試験

適性試験は、確認試験に先立ち、施工アンカー全数の 5%かつ 3 本以上を対象に、全体的な施工アンカー特性が評価できるようにアンカー施工範囲・アンカー体設置地盤分布・アンカー自由長などを考慮して必要数の試験アンカー位置を選定して実施する。

本試験により、当該アンカーの緊張除荷特性を把握して適正に施工管理を行うとともに、緊張・定着作業に必要な諸係数を求める。なお、適性試験前にはプレ緊張実施を推奨する。

【解説】

(1) 適性試験は、緊張除荷ループ漸増繰返しの多段サイクル試験を行うことで、各ステップの試験力でのループ変位挙動が確認できることから、試験アンカーのアンカー体自由長の進展状況や自由長摩擦影響などの状態をステップ段階のループ挙動で把握できる。さらに、適切な施工管理を行うことで、施工アンカーの品質特性の妥当性を調査・評価できる。この観点から、本試験は、確認試験に先立ち行い、アンカー施工範囲の全体挙動を少ない数量で大まかに把握して、後続の確認試験の挙動評価に役立てる。

アンカー品質特性の施工管理は、緊張除荷挙動ループの最終サイクルを対象に頭部変位をもとに実施することとし、加えて本挙動結果からアンカー力伝達係数 κ_f などの諸係数を個々のアンカー毎に求める。アンカーの緊張・定着作業は、ここでの諸係数をもとに永続プレストレス $P_\infty \geq$ 設計アンカー力 T_d となるアンカー個々の初期緊張力 P_i を算定して、実施する必要がある。

(2) 適性試験・確認試験のアンカー緊張試験後は、引続きアンカー緊張・定着作業となることから、試験前に支圧板天端でシースを切断する準備作業を行い、その後にプレート止水構造の止水ゴム装着なしの支圧板上で、適性試験・確認試験の緊張試験を実施する。

(3) 適性試験アンカーの試験本数は、施工アンカー全数の 5%かつ 3 本以上であり、全体的な施工アンカー特性が評価できるようにアンカー施工範囲・アンカー体設置地盤分布・アンカー自由長などを考慮して試験位置を選定する。

(4) 試験の最大試験力 T_p は、最大が限界緊張力 $P_M (= \min\{0.9T_{ys}, L_A \cdot \min(\tau_{by} \cdot U, \tau_{gy} \cdot D_A \cdot \pi)\} / (\text{安全係数 } 1.25))$ 以下、かつ設計段階での前述 4.11 検討による収束解析結果の初期緊張力(予測初期緊張力と称する) P_i 以上とし、 $1.25 \times$ 設計アンカー力 $T_d \geq$ 予測初期緊張力 P_i の場合は、 $1.25T_d$ とする。最大試験力 $T_p \geq$ 予測初期緊張力 P_i の条件設定は、実施工の個別アンカーの除荷変位挙動をもとに、現場の初期緊張力 P_i が最大試験力 T_p 以下で、定着プレストレス P_i や永続プレストレス P_∞ の設定を外挿せずに適正に行うためである。なお、設計段階で予測初期緊張力 P_i が設定されていない場合は、前述 4.11 検討による収束解析などをもとに最大試験力 T_p 設定を行う。

(5) 適性試験の stp.0 の初期試験力 T_0 は、ジャッキがアンカー軸方向に正対して整列設置可能な緊張力とし、 $0.10T_p \sim 0.10T_{ys}$ の範囲で設定する。

試験の試験力ステップ数は、5~10 分割であり、一般に stp.1~stp.5 の 5 分割で実施されている。この場合の標準的な各ステップ分割は、最大試験力 T_p の比 R_T で $R_T=0.40, 0.60, 0.80, 0.90, 1.00$ が目安である。なお、以降の試験でのサイクル i 、ステップ j の変位、および緊張除荷の試験力はそれぞれ δ_{ij} 、 T_{ij} で表す。

ここで、各サイクル i の stp.1 試験力 T_{i1} は、式(4.11.20)・式(4.11.21)の初期摩擦係数 κ_0 を考慮して強い摩擦影響を排除できるように、 $T_{i1} \geq (0.29 \sim 0.35) \cdot T_{ys}$ を推奨する。

緊張除荷サイクルの試験力 T_{ij} は、ステップ数と同数でサイクル増加毎に順次試験力を最大試験力比 R_T でステップ増加させ、 i サイクル毎の最大試験力 T_{ii} 到達後に逆順ステップで $T_{i0}(=T_0)$ ま

で除荷し、次の緊張除荷サイクルを繰り返す。

例えば、5 段サイクルの試験力ステップ T_{ij} は、1 サイクル： $T_{1j}=T_p \times (0.1, 0.40, 0.1)$ 、2 サイクル： $T_{2j}=T_p \times (0.1, 0.40, 0.60, 0.4, 0.1)$ 、3 サイクル： $T_{3j}=T_p \times (0.1, 0.40, 0.60, 0.80, 0.60, 0.40, 0.1)$ 、 \dots 、5 サイクル： $T_{5j}=T_p \times (0.1, 0.40, 0.60, 0.80, 0.90, 1.00, 0.90, 0.80, 0.60, 0.40, 0.1)$ の stp.0 をサイクル初期値とした緊張除荷の繰返しループパターンとなる。

試験力保持時間は、各サイクル毎の最大試験力ステップで 5～60min を目安とし、0.3mm/min 以下の変位安定が見られた場合は、そこから除荷ステップに入って T_{i0} を経てサイクルを終了し、次サイクル以降を繰り返す。サイクル毎の最大試験力を除く、サイクル内ステップの試験力保持時間は、0.5～1min 程度を目安とする。また、緊張除荷での各ステップ間の試験力増減時間も、0.5～1min 程度を目安とする。

(6) 試験結果の整理事例を、図-5.10.4 に示す。アンカー施工管理と品質特性の評価は、同図(a)～(f)の緊張除荷挙動ループの最終サイクル 5-cy を用いて行う必要がある。5-cy の stp.0 試験力 T_{50} の変位 δ_{50} は、5-cy で直線性が得られている緊張段階の stp.1・stp.5 の変位・試験力関係(δ_{51}, T_{51})-(δ_{55}, T_{55})の線形化から外挿で求めることを基本とする。この範囲が非線形の場合は、直線性が得られる範囲、例えば stp.2・stp.4 などの直線部などに適宜修正して、変位 δ_{50} を求める必要がある。

アンカー施工管理の緊張挙動の摩擦弾性 $\delta_t \cdot UCL$ (上限変位) $\delta_U \cdot LCL$ (下限変位) δ_L は、式(5.10.1)～式(5.10.3)に示す通りであり、stp.0 変位 δ_{50} が基点である。5-cy、stp.5 の緊張変位 δ_{55} は $\delta_L \sim \delta_U$ 範囲内となる必要がある。なお、施工管理の $\delta_L \sim \delta_U$ 範囲は、アンカー施工条件・施工状態のばらつきを考慮して、摩擦弾性 δ_t から従来アンカー施工管理と同じ $\pm 10\%$ としている。

緊張変位 δ_{55} が δ_U 超の場合は、自由長摩擦がもっとも小さい条件の式(5.10.4)による最大上限変位 δ_{Umx} と比較し、 $\delta_{55} \leq \delta_{Umx}$ ならば OK、 $\delta_{55} > \delta_{Umx}$ ならばアンカー体に付着切れや摩擦切れなど何らかの異常が想定されるので、供用アンカーとしての適用性を含めて検討が必要である。緊張変位 δ_{55} が δ_L 未満の場合は、自由長摩擦が通常より大きく、定着作業でのアンカー力低下が通常よりやや大きくなることから、この点に留意して適正にアンカー定着する必要がある。

■アンカー緊張挙動の頭部摩擦弾性変位 δ_t

$$\delta_t = \delta_{50} + (T_{55} - T_{50}) / K_f \quad \dots(5.10.1)$$

$$K_f = 2 \cdot AE / \{ L_{fp} \cdot (1 + \kappa_f) + \kappa_f^2 \cdot L_{fA0} \} \quad \dots(5.10.1)-1$$

$$\kappa_f = \min(\exp(-0.004L_f), 1 + 0.00012L_f(1 - L_f)) \quad \dots(5.10.1)-2$$

■施工管理指標の UCL:上限変位 δ_U と LCL:下限変位 δ_L

$$\delta_U = \delta_{50} + 1.10 \times (T_{55} - T_{50}) / K_f \quad \dots(5.10.2)$$

$$\delta_L = \delta_{50} + 0.90 \times (T_{55} - T_{50}) / K_f \quad \dots(5.10.3)$$

■最大上限変位 δ_{Umx}

$$\delta_{Umx} = \delta_{50} + (T_{55} - T_{50}) / K_f \quad \dots(5.10.4)$$

$$K_f = 2 \cdot AE / \{ L_{fp} \cdot (1 + \kappa_{fu}) + \kappa_{fu}^2 \cdot L_{fA0} \} \quad \dots(5.10.4)-1$$

$$\kappa_{fu} = \min(\exp(-0.002L_f), 1 + 0.00006L_f(1 - L_f)) \quad \dots(5.10.4)-2$$

ここに、

- ・ δ_t : 緊張力 T_{55} の頭部摩擦弾性変位 (mm)
- ・ K_f : 式(4.11.10)と同等の緊張摩擦剛性 (kN/mm)
- ・ κ_f : 式(4.11.17)と同等のアンカー力伝達係数の実測式
- ・ κ_{fu} : 図-4.11.5 のアンカー力伝達係数の上限式
- ・ δ_U : 施工管理の上限変位 (mm)
- ・ δ_L : 施工管理の下限変位 (mm)

(7) 5-cy の緊張除荷挙動ループの試験結果からは、後続施工の緊張・定着作業用に式(4.11.9)、式(4.11.13)、式(4.11.14)を用いてアンカー力伝達係数 κ_f 、下除荷剛性比 S_{r0} 、上除荷剛性比 S_{r1} の諸係数を求める。なお、式(4.11.16)で初期摩擦力係数 κ_0 と初期摩擦力 P_{f0} を求め、図-4.11.7 に示したものとを程度を比較したり、stp.1 試験力での初期摩擦力 P_{f0} 影響を確認する。

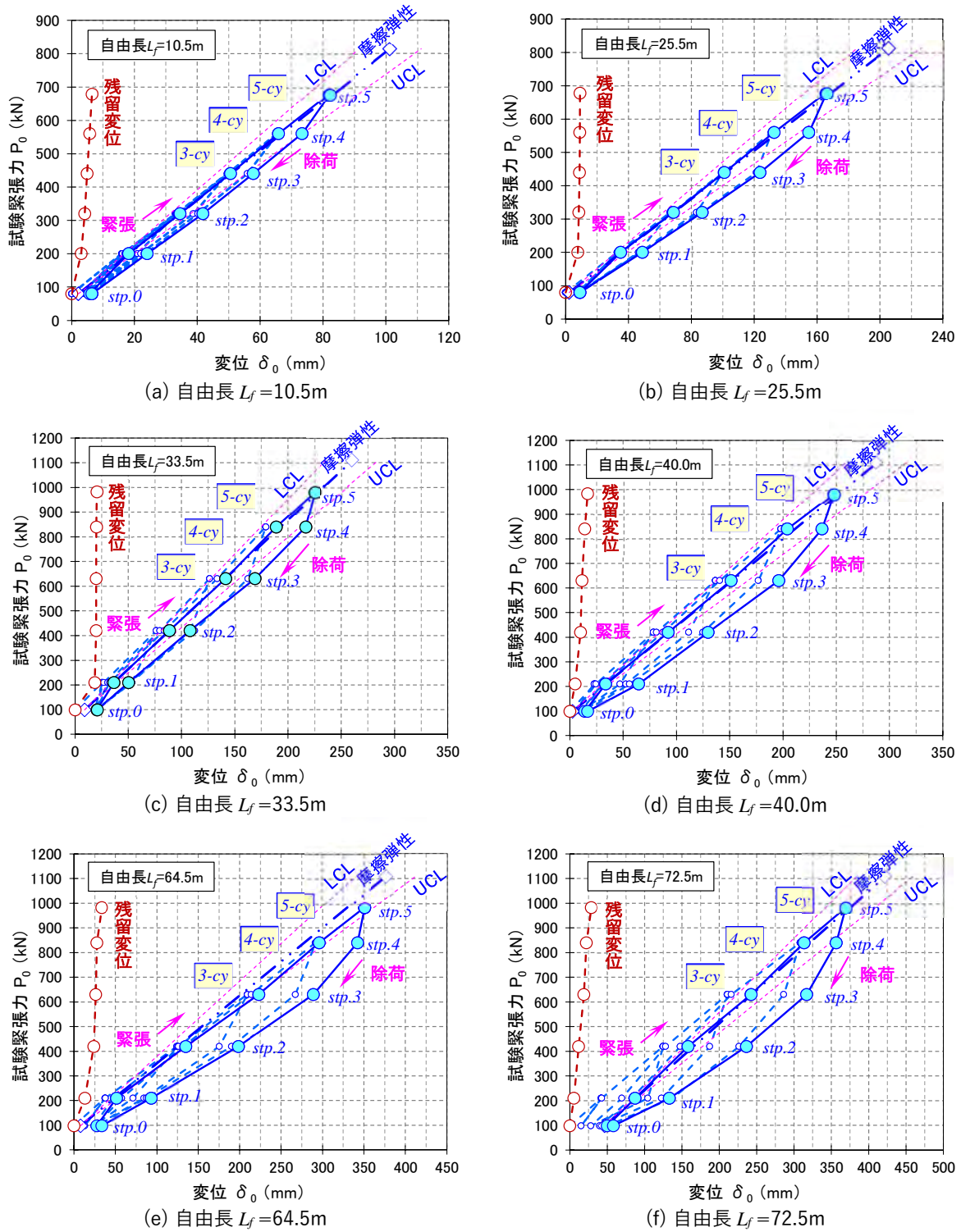


図-5.10.4 適性試験(多段サイクル)の事例

5.10.3 確認試験

確認試験は、適性試験済アンカーを除いた施工アンカー全数を対象に実施することとし、本試験により緊張除荷特性を把握して適正に施工管理を行うとともに、緊張・定着作業に必要な諸係数を求める。なお、確認試験前にはプレ緊張実施を推奨する。

【解説】

(1) 確認試験は、緊張除荷ループの単サイクルを最大試験力 T_p で実施して、ステップ試験力ごとの緊張除荷変位挙動の確認を行う。従来の確認試験 JGS4101-2012 は、プレ緊張しない方法のため、図-5.9.2 に示したアンカー初期緩み影響が含まれ、アンカーの緊張除荷ループ変位挙動の適正な評価が困難であった。本工法の確認試験や適性試験のアンカー緊張試験前にプレ緊張を行う試験方法は、試験変位挙動が適正に評価可能なように、本工法にて改善したものである。

本試験では、現場実態の緊張除荷変位挙動をもとに、適正な施工管理と緊張・定着作業に必要な諸係数を求めることができる。施工管理のアンカー品質特性は、単サイクルの緊張除荷挙動ループの頭部変位により調査・確認でき、その妥当性が評価できる。加えて、本挙動結果からアンカー力伝達係数 κ_f などの諸係数を個々のアンカー毎に求める。アンカーの緊張・定着作業は、ここでの諸係数をもとに永続プレストレス $P_\infty \geq$ 設計アンカー力 T_d となるアンカー個々の初期緊張力 P_i を算定して、実施する必要がある。

(2) 確認試験の方法は、緊張除荷ループが単サイクルであることを除けば、事前のシース切断・最大試験力・試験力ステップ数・ステップ試験力保持時間などが、適性試験と同一の内容である。確認試験の試験力ステップ数と試験力レベルは、実施済の適性試験のループ変位挙動と容易に比較できるように同一とし、最大試験力の保持時間は、2~5min 程度を推奨する。なお、適性試験結果を踏まえて、本試験方法の修正・改善が必要な場合は、必要性に応じて適正に行う。

(3) 試験結果の整理事例を、図-5.10.5 に示す。アンカー施工管理と品質特性の評価は、同図の単サイクル緊張除荷挙動ループを用いて行う。stp.0 試験力 T_{10} の変位 δ_{10} は、ほぼ直線性が得られている緊張段階の stp.1・stp.5 の変位・試験力関係 $(\delta_{11}, T_{11}) - (\delta_{15}, T_{15})$ の線形化から外挿で求めることを基本とする。この範囲が非線形の場合は、直線性が得られる範囲、例えば stp.2・stp.4 などの直線部などに適宜修正して、変位 δ_{10} を求める必要がある。

アンカー施工管理の緊張挙動の摩擦弾性 δ_t ・UCL(上限変位) δ_U ・LCL(下限変位) δ_L は、式(5.10.1)~式(5.10.3)を用いて求める。stp.5 の緊張変位 δ_{15} は $\delta_L \sim \delta_U$ 範囲内となる必要がある。なお、施工管理の $\delta_L \sim \delta_U$ 範囲は、適性試験と同一で、アンカー施工条件・施工状態のばらつきを考慮して、摩擦弾性 δ_t から従来アンカー施工管理と同じ $\pm 10\%$ としている。

緊張変位 δ_{15} が δ_U 超の場合は、自由長摩擦がもっとも小さい条件の式(5.10.4)による最大上限変位 δ_{Umx} と比較し、 $\delta_{15} \leq \delta_{Umx}$ ならば OK、 $\delta_{15} > \delta_{Umx}$ ならばアンカー体に付着切れや摩擦切れなど何らかの異常が想定されるので、供用アンカーとしての適用性を含めて検討が必要である。緊張変位 δ_{15} が δ_L 未満の場合は、自由長摩擦が通常より大きく、定着作業でのアンカー力低下が通常よりやや大きくなることから、この点に留意して適正にアンカー定着する必要がある。

(4) 適性試験と同様に、式(4.11.9)、式(4.11.13)~式(4.11.16)を用いてアンカー力伝達係数 κ_f 、下除荷剛性比 S_{r0} 、上除荷剛性比 S_{r1} 、初期摩擦力係数 κ_0 の諸係数を求める。図-5.10.6 は、試験結果の除荷挙動を整理し、式(4.11.15)を用いて除荷挙動近似を示した事例であり、実測データに対する良好な近似状態が見られることから、本諸係数の適用が効果的であることが確認できる。

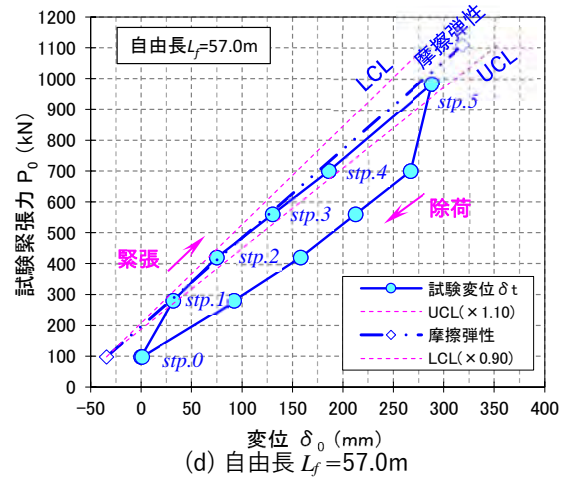
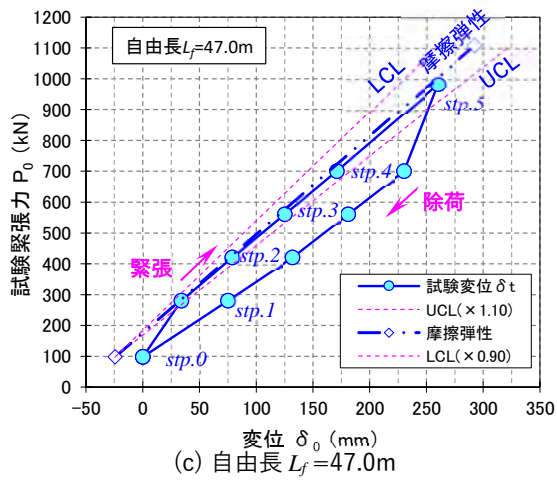
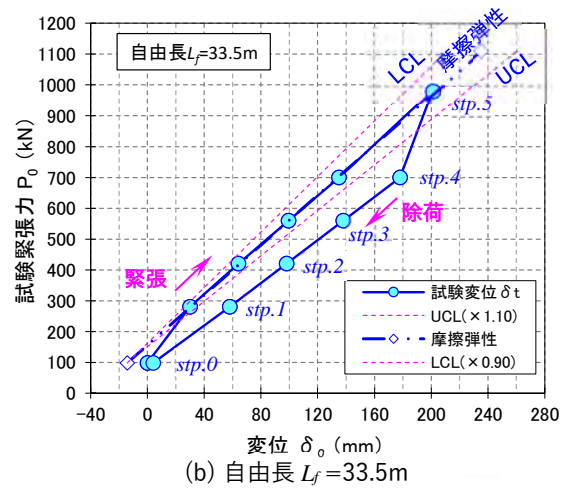
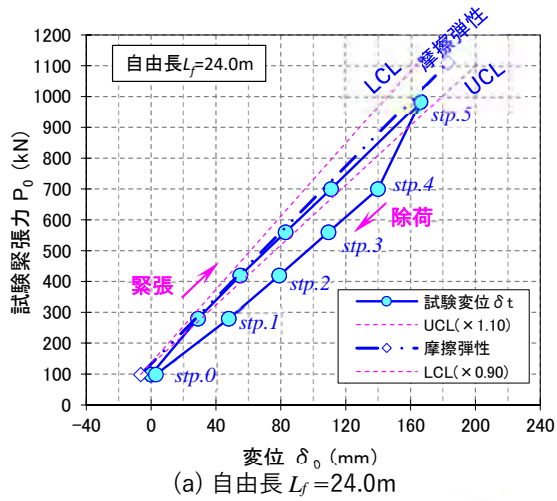


図-5.10.5 確認試験(単サイクル)の事例

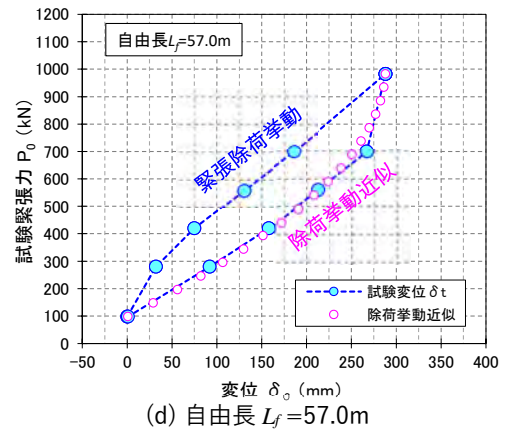
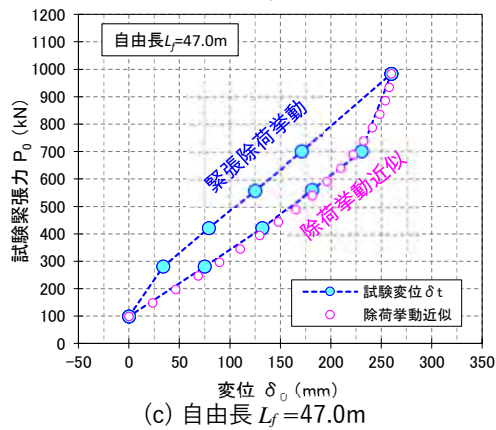
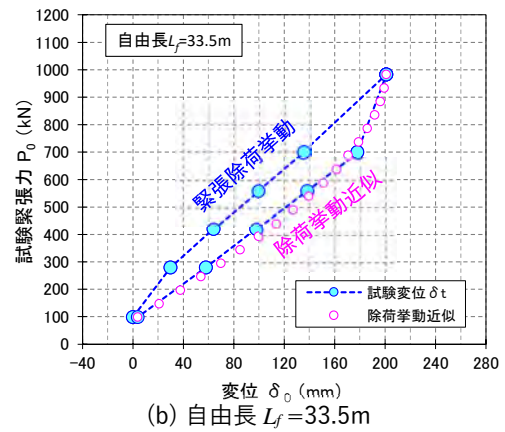
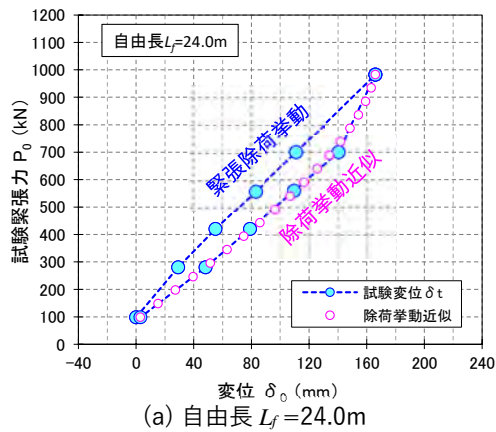


図-5.10.6 確認試験の除荷挙動近似の事例

5.11 緊張・定着

アンカーは、施工管理目的の適性試験・確認試験によりアンカー挙動確認を実施後に、本試験結果を反映させて、永続プレストレスが得られるように、地盤クリープとテンドン純リラクセーションを考慮の定着プレストレスを設定し、さらに本工法のセット量を加味して初期緊張力の設定を適正に行う。

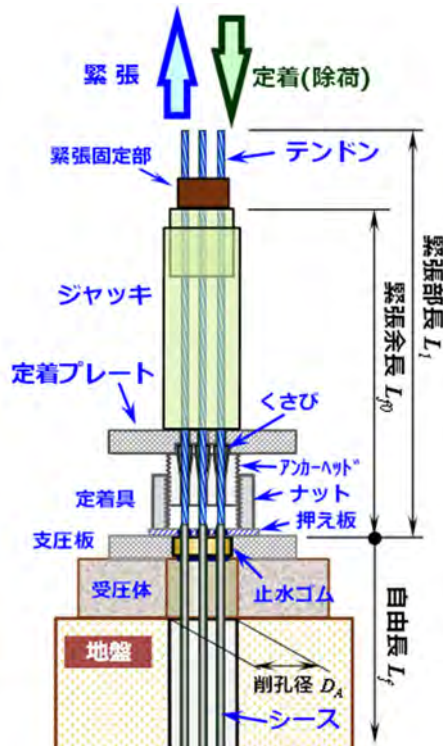
緊張・定着作業は、ジャッキ緊張方向がアンカー軸に確実に一致するように、定着プレート上に設置したジャッキを用いて実施し、アンカー軸方向に初期緊張力を作用させた後にジャッキ除荷で定着を実施する。

【解説】

(1) 緊張・定着は、適性試験や確認試験の緊張試験結果を踏まえたアンカー力伝達係数 k_f 、下除荷剛性比 S_{r0} 、上除荷剛性比 S_{r1} の諸係数から、既述 4.11(6) に示した収束解析を用いて求めた、永続プレストレス $P_{\infty} \geq$ 設計アンカー力 T_d になる初期緊張力 P_i をもとに実施する。

緊張・定着作業は、図-5.11.1 に示すように、最初に緊張試験後の支圧板に、アンカー規格に対応した表-3.1.2 部材規格一覧の止水ゴムの所定規格を装着し、支圧板上部に押え板・定着具（くさび・アンカーヘッド・ナット）を取付け、アンカー緊張のくさび留め空間を有する定着プレートとともに、これら部材をアンカー軸方向に一致させて設置する。次に、定着プレート先端にジャッキを設置し、テンドンを緊張固定部に固着して、ジャッキがアンカー軸方向に正確に一致した設置状態で、ジャッキ伸長でテンドン緊張を行い、ジャッキ縮長でテンドン定着を実施する。定着後は、ジャッキ縮長でくさびがアンカーヘッドに引込まれた嵌合状態になり、テンドンがアンカーヘッドに固着されて、セット量 10mm によるセットロス ΔP_{st} が生じる。

アンカー緊張・定着のアンカー力変位挙動は、図-5.11.2 に示すようになり、初期緊張力 P_i 、定着プレストレス P_t を経て、最終的に設計供用期間の長期のアンカー力は、アンカー構造物を地すべり力や地震力などの荷重作用から安定状態に保持可能な永続プレストレス P_{∞} になる。



【緊張自由長 L_{fp} = 自由長 L_f + 緊張余長 L_{fp} 】
図-5.11.1 アンカーの緊張・定着作業の概念

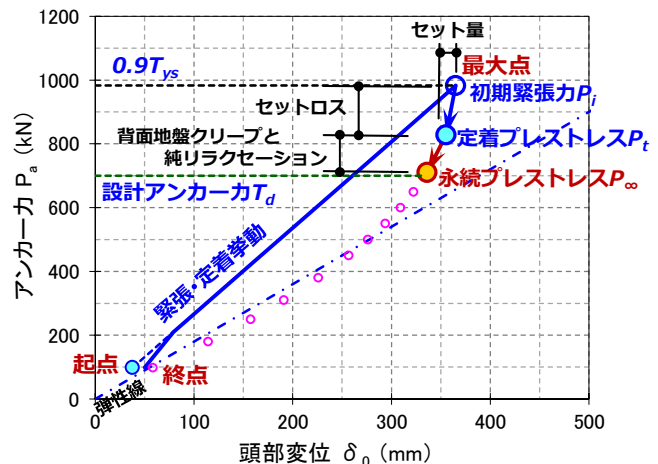


図-5.11.2 緊張・定着のアンカー力変位挙動

(2) 緊張・定着の緊張自由長 L_{fp} とアンカー規格に対応した本工法のジャッキ規格を、表-5.11.1 に示す。同表は、ジャッキの最大緊張力と最大ストロークをもとに、緊張自由長 L_{fp} とアンカー規格を選定可能にしたものであり、同時に図-5.11.1 の緊張部長 L_l も示している。同図の緊張余長 L_{f0} は、ジャッキ長 L_j + 支圧板・ジャッキ間の定着部材長 L_{h0} を 50mm 単位で丸めたものとする。

表-5.11.2 は、ジャッキ規格のジャッキ長・質量と緊張余長 L_{f0} を示しており、緊張・定着作業での参考にされたい。表-5.11.3 は、定着プレート規格の仕様とアンカー規格対応を示したものであり、緊張・定着作業では、必ずアンカー規格に対応した定着プレートを使用する。

なお、アンカー緊張・定着方法で、くさび押込み装置やシャッター板装置を用いる方法は、クサビ刃が絞られながらテンドン表面を強制的に移動する影響で、珪砂付着 ECF テンドンのエポキシ樹脂が剥がれる懸念がある。この影響は、本テンドンの設計耐用年数 100 年の耐食性を低下させる要因になるため、本工法の定着方法では、これら方法を採用しないことを推奨する。

表-5.11.1 緊張自由長とアンカー規格に対応したジャッキ規格

項目	ジャッキ規格					最大ストローク	
	KJS60	KJS100	KJS150	KJS250	SLP-50030		
最大緊張力	600kN	1,000kN	1,500kN	2,500kN	5,000kN		
適用可能な緊張自由長 $L_{fp}^{1)}$	≦ 24.0m	KJS60-180	KJS100-180	—	—	—	180mm
	≦ 27.0m	KJS60-200	KJS100-200	KJS150-200	—	—	200mm
	≦ 34.0m	KJS60-250	KJS100-250	KJS150-250	KJS250-250	—	250mm
	≦ 40.0m	KJS60-300	—	—	—	SLP-50030	300mm
	≦ 68.0m	—	KJS100-500	KJS150-500	KJS250-500	—	500mm
アンカー規格 $^{2)}$	EHD5	~EHD5-4H	~EHD5-7H	~EHD5-10H	~EHD5-12H	—	
	EHD6	~EHD6-3H	~EHD6-5H	~EHD6-7H	~EHD6-12H	~EHD6-14H	
緊張部長 L_l	m	1.0	1.0	1.2	1.2	1.2	
《参考仕様》		KJS60	KJS100	KJS150	KJS250	SLP-50030	
最大緊張圧力	MPa	63.7	67.4	65.1	68.1	68.9	
ジャッキ受圧面積	mm ²	9,425	14,844	23,032	36,700	72,570	
外径	mm	164	218	260	340	510	
センターホール径	mm	55	80	105	130	200	

注) 1. 適用可能な緊張自由長 L_{fp} は、自由長 L_f + 緊張余長 L_{f0} をいい、アンカー弾性係数 $E=0.195\text{MN}/\text{mm}^2$ で算出している。
2. アンカー規格は、最大緊張力 $0.9 \times$ アンカー降伏耐力 T_{ys} と設定して、アンカー規格を算出している。

表-5.11.2 ジャッキ規格のジャッキ長・質量と緊張余長 L_{f0}

ジャッキ規格 No.	ジャッキ長 L_j (mm)	ジャッキ質量 W_j (kg)	緊張余長 L_{f0} (mm)
KJS60-180	316	39	450
KJS60-200	338	42	500
KJS60-250	386	44	550
KJS60-300	455	50	600
KJS100-180	330	70	500
KJS100-200	349	75	500
KJS100-250	400	84	550
KJS100-500	680	142	850
KJS150-200	378	120	550
KJS150-250	430	135	600
KJS150-500	715	215	900
KJS250-250	465	340	650
KJS250-500	740	470	950
SLP-50030	650	950	900

表-5.11.3 定着プレート規格の仕様とアンカー規格対応

定着プレート規格 No.	アンカー規格	テンドン孔数	テンドン孔径 (mm)	定着プレート外径 (mm)	定着プレート厚 (mm)	ヘッド嵌合径 (mm)	定着部材長 L_{h0} (mm)
SP5-1	EHD5-1H	1	$\phi 20$	$\phi 160$	32	$\phi 50$	125
SP5-4	EHD5-2H	4	$\phi 20$	$\phi 160$	32	$\phi 88$	145
SP5-3	EHD5-3H	3	$\phi 20$	$\phi 160$	32	$\phi 88$	145
SP5-4	EHD5-4H	4	$\phi 20$	$\phi 160$	32	$\phi 88$	145
SP5-7	~EHD5-7H	7	$\phi 20$	$\phi 190$	36	$\phi 108$	167
SP5-9	~EHD5-9H	9	$\phi 20$	$\phi 270$	36	$\phi 148$	177
SP5-12	~EHD5-12H	12	$\phi 20$	$\phi 270$	36	$\phi 148$	177
SP6-1	EHD6-1H	1	$\phi 23$	$\phi 160$	32	$\phi 65$	125
SP6-4	EHD6-2H	4	$\phi 23$	$\phi 160$	32	$\phi 88$	145
SP6-3	EHD6-3H	3	$\phi 23$	$\phi 190$	36	$\phi 108$	157
SP6-4	EHD6-4H	4	$\phi 23$	$\phi 190$	36	$\phi 108$	157
SP6-7	~EHD6-7H	7	$\phi 23$	$\phi 270$	36	$\phi 148$	167
SP6-9	~EHD6-9H	9	$\phi 23$	$\phi 340$	45	$\phi 180$	196
SP6-12	~EHD6-12H	12	$\phi 23$	$\phi 340$	45	$\phi 180$	196
SP6-14	~EHD6-14H	14	$\phi 23$	$\phi 510$	60	$\phi 200$	231

(3) 表-5.11.4 に、適性試験や確認試験の緊張試験諸係数と永続プレストレス P_{∞} から、収束解析を用いて求めた定着プレストレス P_f と初期緊張力 P_i の事例を示す。同表に示すように、収束解析では、緊張試験で得られるアンカー個別の諸係数を入力することで、当該アンカーに応じた緊張除荷変位挙動を反映した状態で、テンドンの純リラクセーション・地盤クリープ変位・セットロス を考慮した、定着プレストレス P_f と初期緊張力 P_i が求解できる。したがって、本結果を用いて、現場施工にて、ジャッキ緊張での初期緊張力 P_i からジャッキ除荷を行い、アンカー定着することで、最終的な永続プレストレス P_{∞} を考慮した定着プレストレス P_f が簡便に得られる。

なお、本収束解析手法は、従前検討では、アンカー除荷挙動曲線のもとの永続プレストレス P_{∞} 考慮で、初期緊張力 P_i を数値的に求めることが困難と考えられていた課題である。本手法により、この課題が解決できたことから、アンカー定着での所要アンカー力の適正な保持確保が可能となり、現場でのアンカー緊張・定着作業の信頼性向上をより図ることができる。

(4) 図-5.11.3 は、図-5.10.5 に示した確認試験結果を用いて、収束解析を実施した結果である。同図より、解析結果は、設定した永続プレストレス $P_{\infty}=710\text{kN}$ をもとにして、アンカー除荷曲線上で定着プレストレス P_f と初期緊張力 P_i を求解できることが確認できる。

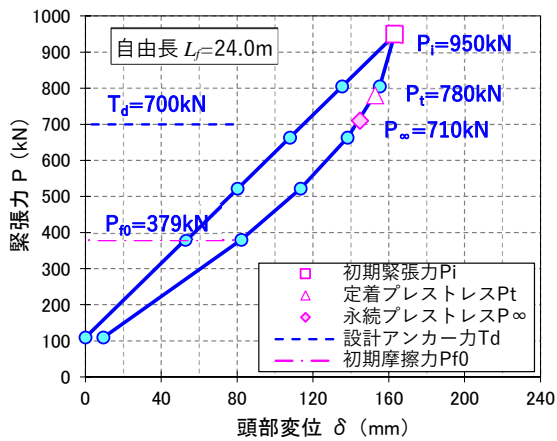
一方、本解析では、自由長 10m 未満の短いアンカー、土木分野のアンカー許容耐力 $0.6T_{us}$ に近い永続プレストレス設定、地盤クリープ沈下が比較的大きい設定などの入力条件で、初期緊張力 P_i が $0.9T_{ys}$ 超過となるケースがある。当該ケースが生じた場合には、ナット調節やアンカー規格アップなどで対処する方法や永続プレストレス $P_{\infty} \leq$ 設計アンカー力 T_d 設定により、初期緊張力 P_i の $0.9T_{ys}$ 超過を解消できる。ただし、永続プレストレス $P_{\infty} \leq$ 設計アンカー力 T_d 設定では、設計アンカー力の作用荷重時にアンカー構造物変位が生じるので、本影響を検討する。

なお、アンカー自由長の地盤状態が複合・互層などで複雑な場合、現場条件によりクリープ変位挙動推定が困難な場合などは、経験的手法により簡便的に、定着プレストレス P_f を 1.15～1.25 倍 (平均 1.20) \times 設計アンカー力 T_d 程度にして、セットロス分を加えて初期緊張力 P_i を設定することが推奨される。

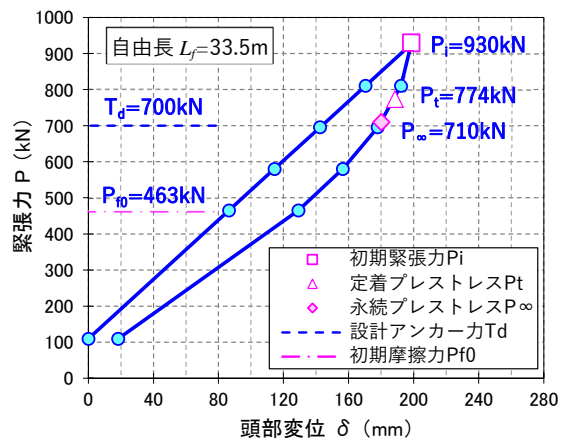
表-5.11.4 定着プレストレス P_t と初期緊張力 P_i の収束解析結果(自由長 $L_f=24.0\text{m}$)

項目	単位	δ (mm)	P (kN)	摘要
永続プレストレス P_∞	mm,kN	144.81	710.0	
リラクセーション考慮 $P_\infty + \Delta P_t$	mm,kN	147.37	730.4	
純リラクセーション率 γ_0	—	—	0.028	
収束判定	—	0.00	730.36	← 710.0 (初期入力)
受圧体地盤の N 値	—	30	—	
受圧体面積 A_c	m^2	4.30	—	
クリープ変位係数 α_c	—	2.00	—	1.0~3.0 範囲
地盤クリープ変位 δ_c	mm	5.52	—	
収束判定	—	0.00	780.18	← 781.0 (初期入力)
定着プレストレス P_t	mm,kN	152.89	780.18	
セット量 S_t	mm	10.0	—	
収束判定	—	0.00	946.22	← 852.0 (初期入力)
初期緊張力 P_i	mm,kN	162.96	950.00	収束
$0.9 \times$ 降伏耐力 $T_{ys}(P_M)$ の照査	—	OK	≤ 982.8	
				【 収束 】

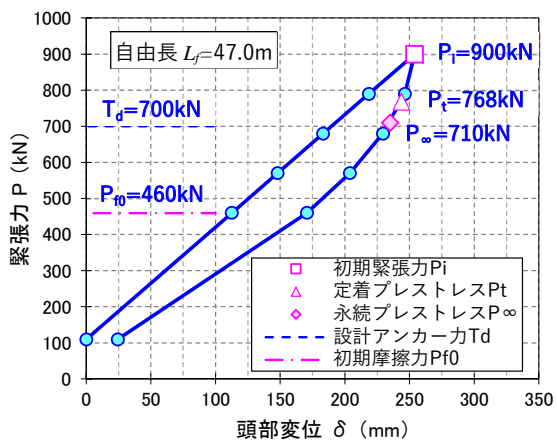
注) 1. 黄色セルは、数値の初期入力部、ピンク色は、収束解析結果である。



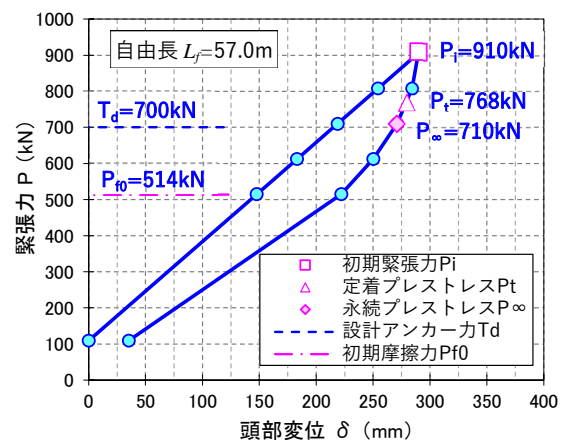
(a) 自由長 $L_f=24.0\text{m}$



(b) 自由長 $L_f=33.5\text{m}$



(c) 自由長 $L_f=47.0\text{m}$



(d) 自由長 $L_f=57.0\text{m}$

図-5.11.3 緊張・定着の収束解析結果の事例

(5) 表-5.11.5 に、アンカーの緊張・定着手順を示す。同表に示すように、本工法のプレート止水構造は、支圧板・止水ゴム・押え板で構成し、押え板をアンカー定着によるナット押圧力で強く押し込むことで、止水ゴムとシース境界や止水板境界との強固な密着性を確保し、当該部での高い耐水圧の止水性確保を実現している。本機構は、押え板へのナット押圧力の均等性が重要であることから、緊張・定着ではアンカー軸方向への正確な据付とジャッキ力作用に十分に留意する必要がある。なお、アンカーヘッドのナット下端からの浮きは、標準 30mm である。

なお、同表(e)に示すように、押え板には切欠き部が設けてあり、ここからファイバースコープを挿入することで、ナット内空間の確認が可能であり、必要に応じて、施工済みアンカーのナット内部の点検などに活用することができる。

表-5.11.5 アンカーの緊張・定着手順

(a) 緊張・定着前	(b) 受圧体・支圧板設置	(c) 止水ゴム装着
<ul style="list-style-type: none"> 配列スペーサは、自由長へのグラウト充填注入前に装着して、テンドンは削孔中央に保持する 	<ul style="list-style-type: none"> 受圧体と支圧板は、テンドンを傷付けないように設置する 	<ul style="list-style-type: none"> 止水ゴムは、テンドン天端から挿通して支圧板に装着する 
(d) 止水ゴム取付後	(e) 押え板・ナット取付	(f) くさび装着
<ul style="list-style-type: none"> 止水ゴムは、支圧板取付後に支圧板天端からやや飛出す シースは、必ず止水ゴム天端より上部に位置する  <p>【注意】シースは止水ゴムから突出させること</p>	<ul style="list-style-type: none"> 押え板・ナットは、テンドンに挿通して装着する アンカーヘッドのナット下端からの浮きは、標準 30mm である 押え板切欠き部は、ナット内空間確認が必要な場合に活用する 	<ul style="list-style-type: none"> くさびは、各テンドンごとに装着して、アンカーヘッドの天端孔に手動力で軽く挿入する 
(g) 定着プレート設置	(h) ジャッキでの緊張・定着	(i) アンカー定着状況
<ul style="list-style-type: none"> 定着プレートは、アンカーヘッド天端に設置し、アンカー軸方向に正対させる 	<ul style="list-style-type: none"> 緊張・定着前のテンドンやジャッキは、吊具を調整の上、アンカー軸方向に正確に一致させて据付ける 	<ul style="list-style-type: none"> アンカー定着後のくさびは、アンカーヘッド天端孔に嵌合し、アンカーヘッド面から数 mm 程度飛出した状態になって、テンドンが固着される 

5.12 頭部処理

頭部処理は、アンカー頭部部材の耐久性能や防食性能を確保して、アンカー頭部の耐荷性能やプレストレス調整機能の維持を目的に実施するものであり、アンカー緊張・定着後に、頭部キャップを所要トルクのボルト緊結で支圧板に固定して定着具被覆を行うなどの、適正な方法を用いて速やかに実施する。

【解説】

(1) 本工法のアンカー頭部グレードの頭部処理仕様と頭部処理手順は、表-5.12.1 に示す通りである。各頭部グレードで頭部キャップ種類が異なっており、それに応じて頭部処理仕様が異なるので、留意して施工を行う必要がある。

C グレード・W5 グレード・W1 グレードは、頭部キャップ種類を除き、同一頭部仕様であり、同表に示すように、頭部処理手順も同じである。当該グレードは、グリースレス(グリース無充填)となることから、定着具が Ni めっき防食である。頭部処理は、テンドンの余長切断面に防錆用のエポキシ樹脂(エポキシ補修塗料)を塗布して、定着具を含む頭部全体に防錆スプレー(AZ 長期防錆オイルスプレー)を噴霧し、次に、珪砂付着 ECF テンドンエポキシ樹脂を太陽光から保護する遮光用の余長キャップを取付ける。

G グレードは、頭部キャップが窓なしアルミキャップで、定着具が無めっきのキャップ内グリース充填型であり、定着具防食とテンドン余長切断面防錆、および珪砂付着 ECF テンドンエポキシ樹脂への遮光は、従来アンカーの形態と同じアルミキャップとグリースにより実施する。

なお、頭部キャップ内充填のグリースは、JIS K 2220 で規定され、本グリースの防錆性能発揮を目的に、JIS K 2246 規定の防錆用添加剤(防錆油)が配合されている。JIS K 2246 では、グリ

表-5.12.1 アンカー頭部グレードの頭部処理仕様と頭部処理手順

頭部グレード	C グレード (透明キャップ)	W5 グレード (5 窓キャップ)	W1 グレード (下 1 窓アルミキャップ)	G グレード (アルミキャップ)
頭部処理仕様	①頭部キャップ ・透明樹脂キャップ ・キャップ固定具 ②キャップ内防食材 ・グリースレス (グリース無充填) ③キャップ境界止水 ・キャップ O リング (材質：シリコンゴム) ④自由長境界止水 ・プレート止水構造 ⑤定着具防食 ・Ni めっき ⑥ECF テンドン遮光 ・余長キャップ ⑦余長切断面防錆 ・エポキシ樹脂塗布	①頭部キャップ ・透明樹脂キャップ ・5 窓キャップ固定具 ②キャップ内防食材 ・同 左 ③キャップ境界止水 ・同 左 (材質：同 左) ④自由長境界止水 ・同 左 ⑤定着具防食 ・同 左 ⑥ECF テンドン遮光 ・同 左 ⑦余長切断面防錆 ・同 左	①頭部キャップ ・下 1 窓アルミキャップ ②キャップ内防食材 ・同 左 ③キャップ境界止水 ・同 左 (材質：NBR ゴム) ④自由長境界止水 ・同 左 ⑤定着具防食 ・同 左 ⑥ECF テンドン遮光 ・同 左 ⑦余長切断面防錆 ・同 左	①頭部キャップ ・窓なしアルミキャップ ②キャップ内防食材 ・グリース充填 ③キャップ境界止水 ・同 左 (材質：同 左) ④自由長境界止水 ・同 左 ⑤定着具防食 ・無めっき(グリース) ⑥ECF テンドン遮光 ・グリース充填 ⑦余長切断面防錆 ・グリース充填
頭部処理手順	①テンドン余長部切断 ②切断面エポキシ樹脂塗布 ③防錆スプレー噴霧 ④余長キャップ取付 ⑤頭部キャップ取付 ⑥支圧板にボルト緊結	同 左	同 左	①テンドン余長部切断 ②頭部キャップ取付 ③支圧板にボルト緊結 ④キャップ内グリース充填
おもな適用環境	・積雪：少ない ・落石衝撃：小さい	・積雪：比較的多い ・落石衝撃：同 左	・積雪：同 左 ・落石衝撃：同 左	・積雪：同 左 ・落石衝撃：同 左

注) 1.「積雪：少ない」は、のり面での積雪深 2.0m 程度以下を対象としている。

ース添加剤の防錆油の品質性能と試験方法が規定されており、本適用範囲で防錆油は一時的防食(防錆)効果に限定されている。このため、土木分野での 50 年耐久性をグリースに求めるのは困難であることから、本グレード適用の場合は、グリースの交換期間(5~10年程度)に留意が必要である。

(2) 頭部キャップのボルト緊結方法は、アルミ部材の頭部キャップを対象とすることから、締付けトルクを 0.5T 系列とし、仮締め・本締めの工程を設けた対角締め法を標準とする。締付けボルトの締付けトルクは、仮締め 3 段階、本締め 1 回の 4 工程を締付け手順とする。

M12 ボルト(頭部キャップ S・M・L 型)のトルクは、次の通りとする。

・仮締めトルク ⇒ ①6.0Nm 程度、②13.0Nm 程度、③21.0Nm の 3 段階

・本締めトルク ⇒ 21.0Nm

M16 ボルト(頭部キャップ LL 型)のトルクは、次の通りとする。

・仮締めトルク ⇒ ①12.0Nm 程度、②32.0Nm 程度、③53.0Nm の 3 段階

・本締めトルク ⇒ 53.0Nm

(3) 図-5.12.1 に、頭部構造(C グレード)の事例、写真-5.12.1 に、頭部キャップ(C グレード)の設置状況を示す。同写真に見られるように、C グレードの透明キャップの適用は、頭部キャップ内の定着具視認が良好にでき、グリースレスによりグリース交換も不要になることから、供用段階のアンカー点検・調査が極めて簡便化できることが容易に確認できる。

なお、現場設置アンカーの透明キャップでは、外気温度の寒暖差影響を受けて、外気低温時の内面に結露水が付着することがある。これによる発錆対策として、本アンカーの頭部キャップ内の部材は、Niめっき定着具とエポキシ樹脂の珪砂付着 ECF テンドンの仕様になっており、結露での防食効果が確保できるように工夫されている。

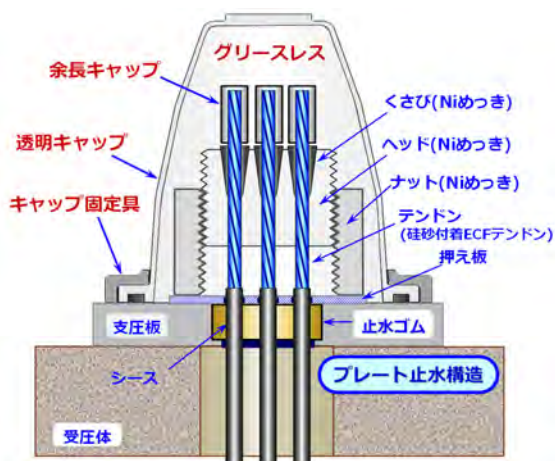


図-5.12.1 頭部構造(C グレード)の事例



写真-5.12.1 頭部キャップ(C グレード)の設置状況

第6章 維持管理

6.1 耐久性能と維持管理

アンカーの耐久性能は、土工構造物や橋台・岸壁の一般構造物のアンカー適用分野の補強対象構造物と同程度の設計供用期間にするとともに、アンカーのテンドン・定着具・頭部構造・自由長・アンカー体は、設計耐荷性能が適用環境の経年劣化のもとで適合安全性余裕に留まり、設計耐久期間が所要信頼性のもとで実現可能なように設計・施工・維持管理を行う必要がある。

一般にアンカー補強対象構造物の耐久性能確保は、維持管理の適切な実施が前提であることから、アンカーの維持管理は、同構造物と同様の頻度・仕様で適正に行う。さらに、アンカー設計では、維持管理の確実性と容易性・簡便性を十分に考慮する必要がある。

【解説】

(1) アンカー耐久性能は、保全段階の適切な維持管理が前提となる土工構造物や一般構造物などのアンカー適用分野の補強対象構造物と同程度で設計されることから、アンカー維持管理は、設計供用期間にわたってアンカー耐荷性能が発揮可能なように、適正に実施する必要がある。

アンカーは、設置現場の地域性や環境性、地盤状態や適用状態などで設計供用期間にわたって種々の劣化因子作用の影響を受けるが、これらの不確実性のすべてを、地盤調査・設計・施工の段階で完全に解消することはほとんど困難と考えられる。本観点から、設計供用期間の適切な点検・調査・補修などの維持管理を通じて、アンカーの耐荷性能を維持しつつ、段階的な補修措置などにより、供用期間という保全段階での不確実性の低減を図ることが重要である。

(2) アンカー維持管理の確実性と容易性・簡便性とは、設計供用期間の通常点検・定期点検・地盤災害などの被災有無確認点検などの点検作業、変状・損傷確認の場合の健全性調査作業、およびアンカー補修・更新作業という、維持管理の3要素作業が、確実かつ合理的に実施可能なことをいう。これらは、設計前提の耐荷性能・耐久性能・ライフサイクルコスト経済性とも、密接に関連するので留意する。

(3) アンカー設計での経済性は、単に建設段階コストを最小にするのみではなく、インフラ施設のライフサイクルコストを最小化する観点から、耐荷性能・耐久性能とともに、点検・調査・補修などの維持管理の保全段階コストを含めたものがより小さくなるように工夫する必要がある。

(4) アンカーの永続プレストレス保持に係る耐荷性能部材は、テンドン・定着具・支圧板・自由長・アンカー体である。このうち地盤内に存在する、テンドン・自由長・アンカー体の部材は、保全段階の維持管理で交換不可能であることから、設計供用期間を考慮した合理的な仕様とする。特に、テンドンは、アンカープレストレスの緊張力作用状態であり、アンカー体でグラウトひび割れ影響、頭部でキャップ内充填グリースの経年劣化影響などを受けやすく、耐荷性能と耐久性能(防食性能)の長期的な劣化が懸念されることから、設計での留意が必要である。

本工法のテンドンは、平均厚 0.6mm のエポキシ樹脂が PC 鋼より線に密着被覆で、かつ素線間充填状態であり、外部環境からの密封性に優れることから、図-3.2.4 で示したように、テンドン単体で塩分環境に対して設計耐用年数 100 年である。さらに、エポキシ樹脂表面の珪砂付着でアンカー体グラウトとの降伏付着強度が普通 PC 鋼より線の 1.5 倍程度と極めて高く、グラウトひび割れが生じ難いことから、アンカー体の地盤摩擦の長期安定性が優れたものとなっている。

(5) アンカーの定着具と支圧板の耐荷性能部材は、アンカーのプレストレス解放により交換可能

である。ただし、定着具と支圧板は、き裂や変形などの何らかの変状が確認されない限り、耐荷性能が保持できることから、基本的に交換不要であり、プレストレス解放の必要がない。

頭部キャップは、アンカープレストレス解放なしでの交換可能部材であり、落石力や融雪沈降力などからの頭部テンドンや定着具の保護部材として用いる。なお、頭部キャップと支圧板境界には一般に O リングが施され、内部鋼材を外部環境から密封遮断する機能を有することから、現場で頭部キャップの破損などが確認された際には可能な限り速やかなキャップ交換が必要である。グリース充填を行った頭部キャップから、グリース漏出が見られる場合は、O リング劣化や頭部キャップ変形などの影響が考えられることから、これに配慮した措置を実施する。

(6) 土工構造物の点検は、国土交通省 道路土工構造物点検要領で規定されており、切土高おおむね 15m 以上の長大切土、および盛土高おおむね 10m 以上の高盛土が特定道路土工構造物と定義され、これらは特定土工点検の対象になり、定期的な 1 回/5 年程度の点検頻度として、近接目視、もしくは近接目視と同等程度の定期点検が基本となっている。

アンカー点検は、同要領を参考にすると、アンカー対策ののり面を含むすべり崩壊規模高 10～15m 以上を対象にした場合で、点検頻度が 1 回/5 年が目安と考えられる。この場合、アンカー適用分野の特定道路土工構造物とアンカーとの維持管理が同等頻度になることから、アンカー点検は適正なものとなる。すべり崩壊規模高 10～15m 未満ののり面对策のアンカーは、同要領と同様に、巡視などでの変状確認後の通常点検の対象と考えられ、これに対応した点検・調査が必要になる。なお、アンカーの点検と健全性調査などは、次節以降に示す仕様にて実施する。

(7) 表-6.1.1 に、アンカー維持管理でのアンカー力調査の調査種類と特性を示す。同表の①耐荷性能調査は、アンカープレストレス解放の必要がなく、一連作業で残存引張力からアンカー耐荷性能までが調査可能なことから、従来調査法の同表②～④が必要なものに比べて、アンカー力調査の経済性ももっとも高くなる方法である。本調査は、対象アンカーに限界緊張力 P_M までを、ジャッキ緊張の単サイクルで作用させるものであり、簡便・的確に現場アンカーの残存引張力・設計アンカー力・テンドンとアンカー体の耐荷性能を調査できる特徴を有している。

表-6.1.1 アンカー維持管理でのアンカー力調査の試験種類と特性

調査種類	①耐荷性能調査 (統合リフトオフ試験)	②残存引張力調査 (リフトオフ試験)	③設計アンカー力調査 (簡易維持性能確認試験)	④アンカー多段サイクル 挙動調査 (維持性能確認試験)
調査による 評価指標	・リフトオフ力 P_{e0} ・設計アンカー力 T_d 抵抗 ・テンドン耐荷性能 ・アンカー体耐荷性能	・リフトオフ力 P_{e0} ・設計アンカー力 T_d 抵抗	・リフトオフ力 P_{e0} ・設計アンカー力 T_d 抵抗	・テンドン耐荷性能 ・アンカー体耐荷性能
調査内容	①プレストレス解放 ・必要なし ②調査対象 ・限界緊張力 P_M までのアンカー挙動 ③試験方法 ・緊張除荷の単サイクルで、リフトオフ後の最大力は限界緊張力 P_M	①プレストレス解放 ・同 左 ②調査対象 ・リフトオフ時の残存引張力 P_e のみ ③試験方法 ・緊張除荷の単サイクルで、リフトオフ後の最大力はリフトオフ力超過の近傍値程度	①プレストレス解放 ・同 左 ②調査対象 ・設計アンカー力 T_d までのアンカー挙動 ③試験方法 ・緊張除荷の単サイクルで、リフトオフ後の最大力は $1.2 \times$ 設計アンカー力 T_d 程度	①プレストレス解放 ・必要あり ②調査対象 ・限界緊張力 P_M までのアンカー挙動 ③試験方法 ・緊張除荷の多段サイクルで、通常のアンカー適正試験と同様に実施
変位挙動評価	・リフトオフ力 P_e を超えて、耐荷性能までの変位挙動	・リフトオフ力 P_e 近傍後までの変位挙動	・設計アンカー力 T_d 近傍後までの変位挙動	・リフトオフが伴わない状態の、耐荷性能までの変位挙動
備考	・施工段階のプレ緊張実施は、自由長軟剛性影響が除去でき、本試験でのアンカー剛性などが適正に評価可能	・同 左	・同 左	・同 左

6.2 点検

アンカーは、適用分野の補強対象構造物と同様に、アンカーの耐荷性能損失に繋がる変状を事前に把握し、健全性を評価し、適切な措置を講じることで、補強対象構造物への影響を最小限に留めることを目的として、巡視などにより変状が見られた場合に通常点検を実施する。

のり面を含むすべり崩壊規模高 10～15m 以上の土工構造物や、橋台・岸壁などの一般構造物は、アンカー耐荷性能損失に伴う補強構造物変状の際に社会的影響が大きいことから、当該補強部材のアンカーは定期点検を行い、健全性を評価する。

点検によりアンカー変状が確認された場合などは、その程度と必要性に応じて、アンカーの健全性調査を行い、健全性評価と必要な措置を適切に講じる。

【解説】

(1) アンカーは、補強対象構造物の安定化を図る補強部材であり、同構造物の安全性や効率的な維持保全を図るため、アンカー点検などで耐荷性能損失に繋がる健全性評価を適正に行う。アンカー点検の目的は、適切な時期と手法により変状進行状況などの健全性情報を得て、必要に応じて適切な措置を講じることであり、同構造物の安全性向上と効率的な維持修繕の実施を図るとともに、豪雨や地震災害などでの社会的な損失影響を最小限に留めることにある。

(2) アンカーの健全性評価は、耐荷性能の程度を把握するものであり、初めにアンカー全数を対象に網羅的に設置アンカーの変状状態を捉える目的で点検を行い、次に点検結果の必要性に応じて、健全性調査を実施して、健全性(耐荷性能)の評価を行うものである。点検は、巡視での変状確認後の通常点検と、点検頻度が 1 回/5 年程度の定期点検がある。点検での健全性は、アンカー頭部の近接目視や打音などをもとに概略的に診断するものであり、これをもとに健全性調査の実施を判断する。

なお、一般土木構造物は、「国土交通省 土木・建築にかかる設計の基本」などを参考にすると、設計供用期間(安全性・使用性の基本的要求性能が補修のみで維持可能な期待期間)が 50～100 年程度とされるものが多いようである。一方、アンカーに設計供用期間を満足する確実な防食仕様が規定されたのは、「地盤工学会 グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説 1990 年 2 月」である。このため、1990 年以前の施工アンカーは、既存不適格であり、基本的に更新対象になり得ることから、本章で対象とする維持管理は、1990 年以降に施工のアンカーになる。

(3) 表-6.2.1 は、アンカー点検内容と診断評価・診断措置を示しており、アンカー点検は、現場設置のアンカー全数を対象に、近接目視によりアンカーの頭部キャップ・支圧板・受圧体を点検部

表-6.2.1 アンカー点検内容と診断評価・診断措置

点検部材	点検内容		診断評価	診断措置	適用対象
	点検位置	点検項目			
頭部キャップ	・支圧板境界 (支圧板上面部)	・グリース漏出・漏出跡	・キャップ変形 ・Oリング劣化	・健全性調査	・グリース充填アンカー
	・キャップ	・劣化・発錆 ・変形・破損・孔食	・環境影響不適合 ・落石・融雪力影響等	・進行定期把握 ・健全性調査	・全アンカー ・同上
	・固定ボルト	・緩み・打音異常	・所要トルク不足	・同上	・同上
支圧板	・支圧板	・緩み	・ゼロアンカー力	・健全性調査	・全アンカー
		・発錆 ・腐食	・環境影響不適合 ・同上	・進行定期把握 ・健全性調査	・同上 ・同上
	・受圧体境界 (支圧板下面部)	・漏水・漏水跡	・浸透水滞留	・同上	・背面止水構造アンカー
受圧体	・地山境界	・浮き・基礎浸食	・アンカー力低下	・同上	・全アンカー

材として、外観から目視で変状確認を行う。

同表に示すように、グリース充填アンカーで、支圧板上面部からのグリース漏出や漏出跡の存在は、おもに O リングなし頭部キャップや長期間設置の頭部キャップに見られる事象であり、比較的早期に発生するシーリング材劣化、または長期間で発生する HDPE・PP 樹脂キャップの熱変形や O リング劣化に伴い発生するものが多い。O リング設置済みの頭部キャップの場合は、キャップ熱変形や O リング劣化が生じない限り、グリース劣化が基油分離状態でもグリース漏出は基本的に生じないので、この点の原因考察は留意が必要である。点検でのグリース漏出・漏出跡確認の場合は、定着具やテンドンの発錆とグリース劣化の存在が懸念されることから、健全性調査が必要になる。

頭部キャップが落石・融雪沈降力影響などで変形・破損している場合は、所要仕様でのキャップ再設置が必要であり、アンカープレストレスへの影響も想定されることから、健全性調査を実施する。

背面止水構造アンカーで、支圧板下面からの漏水や漏水跡の存在は、止水板背面の背面止水構造内のエポキシ樹脂充填被覆がないテンドンや定着具などの部材で水分影響による発錆の懸念があることから、アンカープレストレス解放が必要な頭部背面調査を含む健全性調査が必要になる。一方、本工法は、プレート止水構造であり、背面止水構造がないことから、頭部背面調査は不要である。仮に、支圧板下面からの漏水や漏水跡が存在しても、本工法は、その水面上部での支圧板内部の水影響遮断構造となっており、従来アンカー工法と異なり、直接的な水影響を受けないものである。

なお、頭部キャップは日射影響を受けて最大温度 60℃程度になり、止水材料や防食材料の劣化進行が比較的早いことから、キャップ部材の外周囲などのシール材劣化に伴うシーリング材補修やグリース定期交換の期間には留意が必要である。

- (4) 写真-6.2.1 は、点検で健全性調査が必要なアンカーの事例を示す。同写真(a)はシール材劣化とともに、樹脂キャップの熱劣化変形に伴うグリース漏出が、同写真(b)はキャップ破損が、生じているものであり、次段階の健全性調査の結果にもよるが、補修措置によりアンカー耐荷性能の機能確保ができる可能性がある。一方、同写真(c)は、テンドン余長変形とナットネジ部破損が確認でき、アンカー力調査が困難であること、アンカー力調整機能が損失していることから、補修措置がほぼ困難と想定され、アンカー更新が必要と考えられる。



樹脂キャップの熱劣化変形に伴うグリース漏出

(a) グリース漏出



上部引張破壊と下部圧縮破壊の融雪沈降力に伴う樹脂キャップの破損

(b) 融雪沈降力キャップ破損



落石に伴うアルミキャップ・定着具・テンドンの破損

(c) 落石衝撃のキャップ破損

写真-6.2.1 点検で健全性調査が必要なアンカー

6.3 健全性調査

健全性調査は、アンカー点検の診断措置をもとに所要アンカーに対して行うものであり、アンカー耐荷性能に関わる頭部キャップ内部の定着具、アンカープレストレスやテンドン耐力などの状態を把握して、より詳しく具体的にアンカー健全性評価を行う。

健全性調査により劣化・変状が確認された場合は、その程度と必要性に応じて、所要の補修措置などを実施する。

【解説】

(1) アンカーの健全性評価は、補強対象構造物の一部材となるアンカーの、耐荷性能程度を把握するものであり、点検の診断措置で選択された所要アンカーを対象に健全性(耐荷性能)の評価を行う。アンカーの耐荷性能部材は、テンドン・定着具・支圧板・自由長・アンカー体である。このうち地盤内に存在する、テンドン・自由長・アンカー体は、維持管理の補修措置で交換不可能な部材であることから、アンカー力調査により当該部材のテンドンやアンカー体の耐荷性能に、変状挙動が確認されたアンカーは、更新対象と評価する必要がある。なお、アンカー力調査には、表-6.1.1 に示した種類があることから、調査目的に応じて適正に選定して実施する。ここでは、アンカー力調査の調査コストの経済性が高く、テンドンやアンカー体の耐荷性能の評価指標がリフトオフ力と同時に得られる、耐荷性能調査(統合リフトオフ試験)の実施を推奨する。

表-6.3.1 に、アンカー健全性調査の調査内容・評価・必要措置を示す。同表のように、調査対象は、頭部キャップ内部・支圧板背面・アンカーの耐荷性能やリフトオフ力などであり、これらの調査対象に応じて、調査名称は、頭部詳細調査(露出調査)・頭部背面調査・アンカー耐荷性能調査(統合リフトオフ試験)・リフトオフ力調査(リフトオフ試験)・設計アンカー力調査(簡易維持性能確認試験)・アンカー多段サイクル挙動調査(維持性能確認試験)となっている。

頭部詳細調査では、グリース色相、テンドン・定着具(くさび・アンカーヘッド・ナット)・押え板・支圧板の腐食状態を調査する。頭部背面調査では、アンカープレストレスの解放後にグリース色相、支圧板背面管・テンドンの腐食状態を調査する。頭部背面調査でテンドン腐食が広範に確認された場合はアンカー力調査が必要であるが、アンカープレストレス解放済みであることから、アンカー多段サイクル挙動調査を用いて、テンドンとアンカー体の耐荷性能を確認する。

アンカー力調査では、アンカープレストレス解放前に、アンカー耐荷性能調査により、リフトオフ力・設計アンカー力抵抗・テンドン耐荷性能・アンカー体耐荷性能を調査する。

アンカーの健全性調査結果から、同表の調査項目ごとに、個別の健全性評価を行い、その必要措置を検討する。なお、追加調査や補修措置などが必要と判断されたものが存在する場合は、アンカー全体を対象にして、評価の適正な整合性と適確性が得られていることを再度確認し、アンカー健全性評価などの調査作業の追加などで手戻りが生じないようにする。

表-6.3.2 に、アンカー健全性調査の調査項目と標準歩掛を示す。同表には、同時に「グラウンドアンカー維持管理マニュアル 2020 年、土木研究所ほか編」による調査数量の目安を示す。同表の調査歩掛をアンカー許容耐力 $T_a=400kN$ /本で、調査項目ごとにまとめて、EHD アンカー HP 工法の各グレードと他工法とを比較したものを表-6.3.3 に示す。同表に示すように、本工法の Ni めっき定着具採用のグリースレスの C グレード・W1 グレード・W5 グレードは、健全性調査歩掛集計が従来他工法くさびナット式(100%)に比べて、アンカー1 本当りで 42.4%で、維持管理でのアンカー調査歩掛が軽減できることから、健全性調査の経済性が高いことが分かる。

なお、本工法でナット・アンカーヘッド嵌合部の内部空間調査が必要な場合は、ファイバースコープを押し板切欠き部から挿入して、同調査を実施することが可能である。

表-6.3.1 アンカー健全性調査の調査内容・評価・必要措置

■調査名称：頭部詳細調査(頭部露出調査)					
方法：頭部キャップとグリース除去後に、キャップ内部の定着具などを観察					
調査対象	調査部材	調査項目	健全性評価	必要措置	適用対象アンカー
頭部キャップ内部	・グリース	・色相	・薄黄色 ・赤褐色化 ・黒色化 ・白濁化 ・基油分離化	・正常 ・進行定期把握 ・交換(熱影響) ・交換(水浸入) ・交換(機能劣化)	・グリース充填アンカー
	・テンドン	・腐食状態	・発錆なし ・発錆 ・腐食	・正常 ・進行定期把握 ・耐荷性能調査	・全アンカー
	・くさび	・腐食状態	・発錆なし ・発錆 ・腐食	・正常 ・進行定期把握 ・耐荷性能調査	・同 上
	・アンカーヘッド	・腐食状態	・発錆なし ・発錆・腐食 ・天端面亀裂	・正常 ・進行定期把握 ・交換(応力腐食)	・同 上
	・ナット	・腐食状態	・発錆なし ・発錆・腐食 ・断面欠損	・正常 ・進行定期把握 ・交換(経年腐食)	・同 上
	・押し板	・腐食状態	・発錆なし ・発錆・腐食 ・断面欠損	・正常 ・進行定期把握 ・交換(経年腐食)	・EHD アンカーHP 工法
	・支圧板 (内外全体)	・腐食状態	・発錆なし ・発錆・腐食 ・断面欠損	・正常 ・進行定期把握 ・交換(経年腐食)	・全アンカー
■調査名称：頭部背面調査					
方法：頭部キャップとグリース除去後に、プレストレス解放して支圧板背面部を観察					
調査対象	調査部材	調査項目	健全性評価	必要措置	適用対象アンカー
支圧板背面	・グリース	・色相	・同上グリース参照	・同上グリース参照	・背面止水構造アンカー
	・支圧板背面管	・腐食状態	・同上支圧板参照	・同上支圧板参照	・同 上
	・テンドン	・腐食状態	・発錆なし ・発錆 ・腐食	・正常 ・進行定期把握 ・維持性能試験	・同 上
■調査名称：アンカー耐荷性能調査(統合リフトオフ試験)					
方法：頭部キャップとグリース除去後に、プレストレス解放せずに、耐荷性能試験を実施					
調査対象	調査部材	調査項目	健全性評価	必要措置	適用対象アンカー
アンカー耐荷性能	・テンドン全長 ・アンカー定着具 ・支圧板 ・アンカー自由長 ・アンカー体長	・リフト力 P_{e0} ・設計アンカー力抵抗 ・テンドン耐荷性能 ・アンカー体耐荷性能	・表-6.3.5 参照	・同 左	・全アンカー ・定着具耐力調査可能
		・緊張挙動	・アンカー変位異常	・措置不要	・同 上
■調査名称：リフトオフ力調査(リフトオフ試験)					
方法：頭部キャップとグリース除去後に、プレストレス解放せずに、リフトオフ試験を実施					
調査対象	調査部材	調査項目	健全性評価	必要措置	適用対象
リフトオフ力 (残存引張力)	・アンカー自由長	・リフト力 P_{e0} ・緊張挙動	・表-6.3.5 参照 ・アンカー変位異常	・同 左 ・措置不要	・全アンカー ・同 上
■調査名称：設計アンカー力調査(簡易維持性能確認試験)					
方法：頭部キャップとグリース除去後に、プレストレス解放せずに、簡易維持性能確認試験を実施					
調査対象	調査部材	調査項目	健全性評価	必要措置	適用対象アンカー
設計アンカー力抵抗	・アンカー自由長	・リフト力 P_{e0} ・設計アンカー力抵抗 ・緊張挙動	・表-6.3.5 参照 ・アンカー変位異常	・同 左 ・措置不要	・全アンカー ・同 上
■調査名称：アンカー多段サイクル挙動調査(維持性能確認試験)					
方法：プレストレス解放後に、多段ステップサイクルの適正試験を実施					
調査対象	調査部材	調査項目	健全性評価	必要措置	適用対象アンカー
アンカー維持性能	・テンドン全長 ・アンカー自由長 ・アンカー体長	・テンドン耐荷性能 ・アンカー体耐荷性能 ・緊張挙動	・表-6.3.5 参照	・同 左	・全アンカー ・定着具耐力調査不可 ・全アンカー

表-6.3.2 アンカー健全性調査の調査項目と標準歩掛

調査項目	アンカー調査の標準歩掛	調査数量(全体比率)	プレストレス解放必要性	摘要
①定期点検(近接点検・外観調査) ・現場調査 ・データ整理	0.05 日/本 0.05 日/本	10 %	不 要	
②頭部保護撤去	0.10 日/本	10 %	同 上	・頭部キャップ
③頭部詳細調査(頭部露出調査) ・現場調査 ・データ整理	0.20 日/本 0.10 日/本	10 %	同 上	
④頭部背面調査 ・除荷工($T_a < 400\text{kN/本}$) ・除荷工($T_a < 800\text{kN/本}$) ・現場調査 ・データ整理 ・再緊張定着工($T_a < 400\text{kN/本}$) ・再緊張定着工($T_a < 1,300\text{kN/本}$)	0.15 日/本 (0.10 日/本) 0.30 日/本 (0.12 日/本) 0.20 日/本 0.10 日/本 0.70 日/本 (0.30 日/本) 0.90 日/本 (0.50 日/本)	5 %	必 要	・除荷工：くさびナット式を適用、()内は、ナット式 ・再緊張定着工：くさび式を適用、()内は、ナット式
⑤頭部修復工	0.08 日/本	10 %	不 要	・頭部キャップ
⑥アンカー力調査				
(a) 統合リフトオフ試験・リフトオフ試験 ・単サイクル試験工($T_a < 400\text{kN/本}$) ・単サイクル試験工($T_a < 1,300\text{kN/本}$) ・データ整理	0.80 日/本 1.00 日/本 0.30 日/本	5 %	不 要	・試験工：くさびナット式を適用、ナット式は同一歩掛
(b) 維持性能確認試験 ・多段サイクル試験工($T_a < 400\text{kN/本}$) ・多段サイクル試験工($T_a < 1,300\text{kN/本}$) ・データ整理	1.40 日/本 (1.20 日/本) 1.60 日/本 (1.40 日/本) 0.50 日/本	5 %	必 要	・試験工：くさび式を適用、()内は、ナット式

(注) 1. 調査項目と調査数量の目安は、「グラウンドアンカー維持管理マニュアル 2020 年、土木研究所ほか編」による。

2. アンカー調査の標準歩掛は、「2022 年版グラウンドアンカー積算ガイドブック、日本アンカー協会」による。

表-6.3.3 EHD アンカーHP 工法と他工法の健全性調査の調査歩掛比較

調査項目	調査歩掛 単位：日/本 ($T_a < 400\text{kN/本}$)	■EHD アンカーHP ・C グレード ・W1 グレード ・W5 グレード	■EHD アンカーHP ・G グレード	■従来 EHD アンカー ■従来他工法アンカー ・くさびナット式 ・集計()内はナット式
①定期点検(近接点検・外観調査)	0.10	必 要	必 要	必 要
②頭部保護撤去	0.10	不 要	同 上	同 上
③頭部詳細調査(頭部露出調査)	0.30	同 上	同 上	同 上
④頭部背面調査	1.15 (0.70)	同 上	不 要	同 上
⑤頭部修復工	0.08	同 上	必 要	同 上
⑥アンカー力調査 (統合リフトオフ試験)	1.10	必 要	必 要	同 上
調査歩掛集計 (単位：日/本)	2.83 (2.38)	1.20 【42.4%】	1.68 【59.4%】	2.83 【100.0%】 (2.38 【84.1%】)

(注) 1. 調査歩掛集計欄の()内は、ナット式アンカー工法の歩掛である。

(2) アンカーの頭部キャップ内部のグリースは、JIS K 2220 で規定されるものが標準的に適用されており、本グリースの防食性能発揮には JIS K 2246 規定の防錆用添加剤(防錆油)が配合されている。JIS K 2246 では、グリース添加剤防錆油の品質性能と試験方法が規定されている。本規定の適用範囲では、金属材料の一時的防食(防錆)効果に限定した記述になっていることから、土木分野で一般の耐久性能 50 年の防食(防錆)効果をグリースに求めるのは困難と考えられる。機械部品のグリースの劣化限界は、図-6.3.1 に示す JIS K 2580 の酸化劣化判定指標(色相変化)の赤褐色(色相 2.5)で評価している。

アンカーの頭部露出調査からの現場実態で、長期経過のグリースは、日射熱の劣化影響を受けることから、新品の薄黄色(色相 0.0)⇒赤褐色(色相 2.5 程度)⇒赤色(色相 5.0 程度)⇒黒色(色相 8.0)に変化する。特に、頭部キャップ内の空気接触部グリースは劣化進行(色相変化)が早い傾向が見られる。

グリースメーカーによるグリースの保証防錆の耐用期間は 0.5 年～1.0 年程度とされている。しかし、現場実態からは、頭部キャップ内部定着具の発錆状態から 5～10 年程度が実質的な耐久期間の防錆効果の熱劣化限界(色相 4.0～6.0)と見られ、現場環境状態にもよるが、これを考慮した定期的な交換に留意が必要と考えられる。

さらに、アンカーの場合は、グリースが水影響を受けやすい状態にある。頭部キャップ内への水浸入は、図-4.12.1 に示したように、アンカー体せん断ひび割れに伴うテンドン素線間空隙からの地下浸透水の毛管水移動によるものが多く、図-4.12.2(b)のように、テンドン周囲グリースの白濁色は本影響が原因である。グリースへの重量比 0.1%の水混入は、グリース内添加の防錆剤が加水分解で分離して逆に腐食性を及ぼす劣化が生じることもあるので、十分な留意が必要である。

この観点から、頭部キャップ内グリース充填アンカーでは、キャップ内への水浸入を完全に遮断可能な構造が、グリース防食効果を維持する上で重要になる。頭部キャップ外周境界に用いるシーリング材の耐用年数は、頭部の直接日射状態にもよるが、現場実態からあまり長くはないと考えられることから、頭部キャップ境界部の水遮断は、シーリング材などの接着型止水材は避け、Oリングなどの圧縮密封型の水遮断材を基本にすることを推奨する。

図-6.3.2 にグリース交換が必要な現場グリースの劣化形態の事例を示すので、健全性評価の参考にされたい。

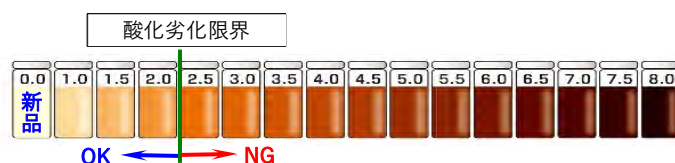


図-6.3.1 JIS K 2580(ASTM 色簡易比色法)による酸化劣化限界

形態	白濁色劣化	赤色劣化	黒色劣化	基油分離漏出
現場事例	水混入影響 (重量比 0.1%水混入:NG)	日射熱影響 (経過期間で色相変化)	過度な日射熱影響 (下部は白濁劣化)	増ちょう剤劣化影響 (経年や熱劣化)

図-6.3.2 グリース交換が必要な現場グリースの劣化形態

(3) 頭部キャップ内部の定着具(くさび・アンカーヘッド・ナット)は、グリース充填アンカーが無処理の鉄面状態、本工法のグリースレスは Ni めっき状態である。グリース充填アンカーの場合の鉄面状態の定着具は、前述のように防食性保持がグリースの耐久年数に依存するので留意が必要である。Ni めっき定着具は、頭部キャップ内の密封状態で表面 Ni めっきの消失状態が始まるため、図-3.3.1 に示したように、ほとんど錆が生じないか、図-3.3.2 に示したように、仮に密封性が弱くなっても、かなり長期間の防錆効果が期待できると考えられる。

本工法のテンドンは、平均厚 0.6mm の厚膜被覆を用いたエポキシ樹脂充填被覆構造となっており、アンカー体せん断ひび割れでも素線間が遮水状態で、アンカー体側から通水しない構造となっており、かつ海水飛沫帯条件で発錆しない設計耐用年数 100 年の仕様のため、耐久性能は十分なものである。なお、平均厚 0.6mm 樹脂テンドンのくさび嵌合部は、くさび刃が樹脂を貫通して PC 鋼より線を把持する密着圧力で固着されており、当該部に空気や水が入り込む余地がなく、当該部のテンドン腐食が生じないと考えられる。テンドンにくさび把持跡などが見られる場合は、エポキシ樹脂で補修する必要がある。一方、無被覆や薄被覆の PC 鋼より線は、防食性保持がグリースの耐久年数依存なので、グリース定期交換時期などに留意が必要である。

定着具の中でアンカーヘッドは、局所的な応力集中が生じやすく、発錆個所での亀裂進行はテンドン破断に繋がるので留意する。図-6.3.3 に、FEM 解析によるアンカーヘッドくさび嵌合孔間の応力集中状況を示す。応力表示は Von Mises 応力であり、同図(b)から、くさび嵌合孔間で応力集中が見られ、ここに亀裂が生じる可能性が高いので調査観察では留意が必要である。

本工法のプレート止水構造の止水ゴムや他工法の背面止水構造の止水ゴムは、頭部キャップ止水用の O リングなどに比べて、部材厚さが大きく、かつ日射熱を直接受ける箇所に用いないことから、劣化影響が極めて小さいと考えられる。ただし、何らかの施工理由で、アンカー軸と止水ゴム孔方向が一致しない場合は、止水ゴムによる密封遮断効果が損なわれる可能性があることから、施工段階や補修作業での止水ゴム設置では、この点に留意が必要である。

頭部キャップ内部部材の調査結果で、定着具などの部材腐食が著しい場合は、アンカー力調査により、限界緊張力 P_M までのジャッキ緊張により、テンドン・定着具・支圧板・アンカー体の耐荷性能を把握し、各部材の健全性を評価する必要がある。

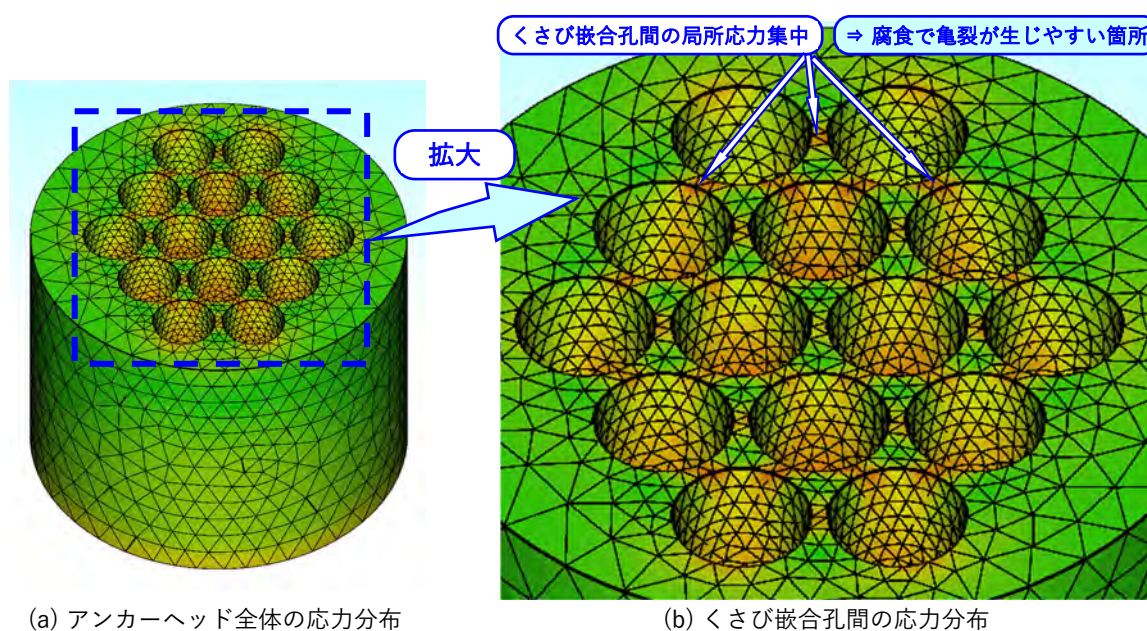


図-6.3.3 FEM 解析によるアンカーヘッドくさび嵌合孔間の応力集中状況

(4) アンカー力調査で調査可能な最大力(限界緊張力 P_M)は、設計アンカー T_d の設定値に依存することから、これを考慮する必要がある。また、アンカー力調査の把持緊張法の種類には、アンカーヘッドとテンドン余長の2種類がある。これらをまとめて、表-6.3.4に、アンカー力調査の調査最大力と把持緊張法の調査適性を示す。

同表に示すように、アンカー体引張型の調査最大力(限界緊張力 P_M)は、 $P_M = \min\{0.9T_{ys}, L_A \cdot \min(\tau_{by} \cdot U, \tau_{gy} \cdot D_A \cdot \pi) / (\text{安全係数 } 1.25)\}$ である。なお、限界緊張力 P_M は、設計アンカー力 T_d が $0.45T_{ys} = 0.383T_{us}$ を下回る設定でない限り、アンカー体摩擦最大力とその設計安全係数 2.5 の関係から、上式より一般に $0.9T_{ys}$ となる。最大力 $0.9T_{ys}$ は、 $0.95T_{ys}$ 超にすると現場アンカーでは各PC鋼より線間の緊張ばらつきによりアンカー破断発生が多くなることから、これを回避する目的で、若干の余裕(0.05)を見込んで設定されている。

一方、同表に示すように、アンカー力調査の把持緊張法種類の選択によっては、調査可能な項目が異なるので留意が必要である。テンドン余長を把持緊張する方法は、テンドン緊張に伴い定着具が浮上って緊張力が定着具に作用せず、定着具安全性と定着具テンドンすべりの耐荷性能調査が困難であることから、アンカー力調査では、アンカーヘッド把持緊張法にて行うことを推奨する。

調査項目の定着具安全性は、発錆などでアンカーヘッドの応力集中部に亀裂が入るなどの脆弱部が存在せず、安定的にテンドンのプレストレス(緊張力)を保持できることである。当該部の亀裂は、テンドン緊張に伴う、くさびのテンドン嵌合把持力が不均一になり、くさび先端部に局所的な嵌合力集中が生じて、テンドン破断に繋がる懸念があるので留意する。定着具テンドンすべりは、くさび部の発錆や異物混入でくさびがアンカーヘッドのくさび孔に固着され、緊張力増加に伴って生じるくさび嵌合力増加が発揮できなくなり、テンドン把持が機能不全になってテンドンがすべり抜ける事象をいう。本挙動の発生は、アンカー設計で定着具に求められる、耐荷性能の確実な発揮が維持不可能になるので留意する。

表-6.3.4 アンカー力調査の調査最大力と把持緊張法の調査適性

調査項目	調査最大力(限界緊張力) P_M (下記内の最小値を選択)	把持緊張法種類	
		アンカーヘッド	テンドン余長
①定着具安全性・定着具テンドンすべり	$0.9T_{ys}$	調査適性あり	調査適性なし
②テンドン限界緊張力 P_{Mt}	$0.9T_{ys}$	同上	調査適性あり
③アンカー体	・付着最大力 T_{by}	引張型： $2.25T_{ba0} / (\text{安全係数 } 1.25)$ 圧縮型： $1.50T_{ba0} / (\text{安全係数 } 1.25)$	同上
	・摩擦最大力 T_{gy}	$T_{gy0} / (\text{安全係数 } 1.25)$	同上

(注) 1. 付着最大力用の許容付着力 T_{ba0} は、表-4.1.5をもとにした下式により計算する。

- ・引張型： $T_{ba0} = L_{Ab} \cdot \tau_{ba} \cdot U$ (L_{Ab} : テンドン付着長、 τ_{ba} : 引張型のグラウト許容付着強度、 U : テンドン見掛け周長)
- ・圧縮型： $T_{ba0} = L_{Ab} \cdot \tau_{ba} \cdot U$ (L_{Ab} : 拘束具付着長(拘束長)、 τ_{ba} : 圧縮型のグラウト許容付着強度、 U : 拘束具見掛け周長)

2. 摩擦最大力用の T_{gy0} は、下式により計算する。

・ $T_{gy0} = L_A \cdot \tau_{gy} \cdot \pi \cdot D_A$ (L_A : アンカー体長、 τ_{gy} : 地盤摩擦強度、 D_A : アンカー体径、または削孔径)

(5) アンカー力調査の耐荷性能調査結果の整理事例を、図-6.3.4に示す。同図に示すように、耐荷性能調査では、調査時点でのアンカー力であるリフトオフ力 P_{e0} が得られるとともに、リフトオフ後の直線的な変位挙動から、設計アンカー力 T_d 抵抗、最大 $0.90T_{ys}$ 緊張力作用でのテンドン耐荷性能とアンカー体耐荷性能に対する安全性を確認できる。

リフトオフ力 P_{e0} の算定点は、図-4.1.3 模式図に示したように、テンドンの調査緊張力 P_0 がアンカープレストレス P_e 超過で急激変位が生じる挙動変化点をいい、一次・二次勾配の交点と定義される。急傾斜の一次勾配の変位は、受圧体沈下やテンションロッド伸び変位、緩傾斜の二

次勾配は、アンカー自由長と図-4.11.3 のアンカー体自由長の伸び変位である。なお、図-6.3.4 では、リフトオフ力の事前確認作業であるプレ緊張(予備載荷)挙動の描画を省略している。

本調査で得られるリフトオフ力は、一般にアンカー荷重計測定値に比べて 5~20%程度大きな値となる。これは、一次・二次勾配の交点をリフトオフ点とする現場試験特性上から生じるものであり、これを変位計データでの変位浮上り瞬間点とすれば、荷重計測定値に近付くがこの方法は評価の不偏性で実用性に欠ける。一方、電気式荷重計の現場での実用耐用年数は、ほとんどが 5~8 年程度であり、計測不能が早い場合は落雷の迷走電流影響などで使用不能になることもあるので、アンカー力調査は、リフトオフを利用する方法が維持管理上で確実である。なお、今後の技術革新により、耐久性能がより高い荷重計の出現に期待したい。

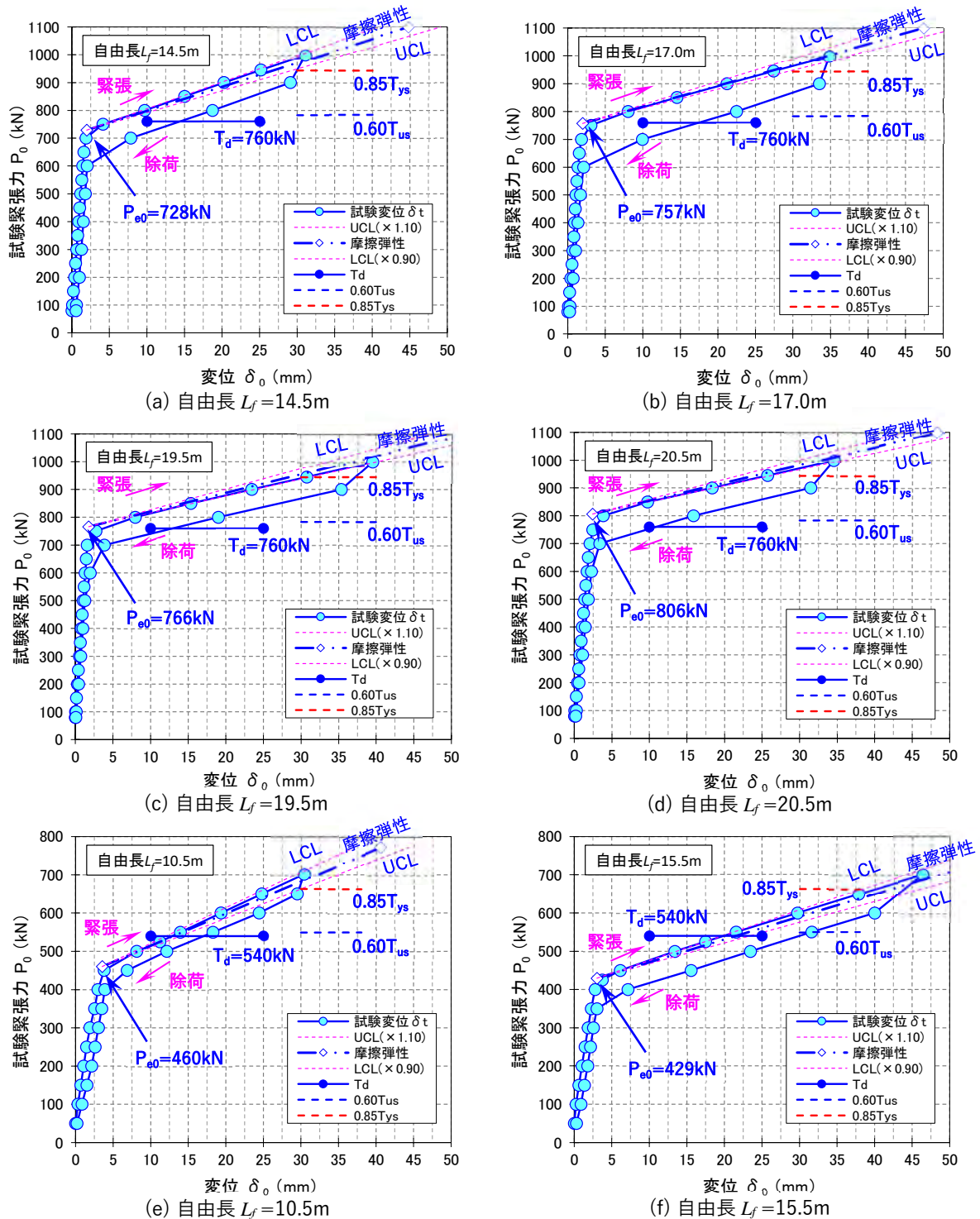


図-6.3.4 耐荷性能調査(統合リフトオフ試験)の事例

(6) リフトオフ力 P_{e0} は、アンカー力調査時期の地盤表面温度の影響を受ける。荷重計測定値から温度影響を推定すると、アンカープレストレス(残存引張力) P_e が夏期温度の高温影響、または冬期低温の凍結影響で数%~5%程度増加するので、アンカー力調査時期による計測値ばらつきに留意する。さらに、寒冷地の地盤凍上発生地域では、凍結深度にもよるが凍上によりアンカープレストレスが 40%程度増加した事例もあることから、調査時期と同時に凍結深度の地域性や地盤凍上特性にも留意が必要である。リフトオフ力 P_{e0} は、あくまでも調査時点のアンカー力であることから、アンカープレストレス(残存引張力) P_e の経時変化データの移動平均評価では、温度影響などのばらつき変動がある程度含まれることに留意する。

表-6.3.5 にリフトオフ力 P_{e0} の健全性評価を示しており、健全性評価のステージは、I~V の 5 段階で表す。同表に示すように、ステージ I は、リフトオフ力 P_{e0} が $T_d > P_{e0}$ で設計アンカー力 T_d より小さいことから、図-4.10.3 に示したように、補強対象構造物の設計変位照査が必要であり、リフトオフ力 P_{e0} から設計アンカー力 T_d に到達した時点までの、設計増加力 $\Delta P (=T_d - P_{e0})$ に対して、4.6 プレストレスと構造物変位の式(4.6.3)、4.10 構造物補強の留意点の式(4.10.5)を参照のもとに、補強構造物変位 δ_g または δ_s の照査を実施する。さらに、アンカー自由長が異なる場合は、式(4.6.5)により、短い自由長側へのアンカー力増加影響に対するアンカー耐力の照査を実施する。補強構造物変位 δ_g または δ_s を所要変位以下にする場合は、アンカープレストレス(残存引張力) P_e を増加させる必要がある。なお、ナットによるアンカー力増調整長が不足する場合は、ナット下部にシム材を設置して、アンカー力増加を行う。

ステージ II は、リフトオフ力 P_{e0} が $0.70T_{us}(0.82T_{ys}) \geq P_{e0} \geq T_d$ の健全領域であり、アンカー力が正常範囲なのでアンカー力調査後は頭部修復工を行って、一般的な維持管理の点検を継続する。なお、 $0.70T_{us}$ は、交通荷重(活荷重)作用の安全性に対するテンドン疲労試験($0.7T_{us} \sim 0.6T_{us}$ 振幅の 200 万回繰返し試験)の振幅上限値であり、土木学会コンクリート標準示方書や道路橋示方書によれば、使用性と防食耐久性能の限界値となる。振幅下限値 $0.6T_{us}$ は、PC 橋梁の交通荷重(活荷重)の疲労作用を受ける構造物のテンドンの限界値である。

ステージ III は、リフトオフ力 P_{e0} が $0.72T_{us}(0.85T_{ys}) \geq P_{e0} \geq 0.70T_{us}(0.82T_{ys})$ のアンカー力減調整領域であり、ナットによるアンカー力減調整が可能なることから、4.8 プレストレス調整の式(4.8.3)を参照のもとに、減調整量を把握してアンカー力調整を適正に実施する。アンカー力減調整に伴い地すべり挙動などの誘発懸念がある場合は、適正な設計を行って、その必要に応じて、アンカー追加対策を実施する。なお、 $0.85T_{ys}$ は、アンカー力減調整作業においてテンドン緊張によるナット浮き状態でナット回転が必要なことから、この減調整用ナット浮き確保の限界値である。アンカー力減調整の作業を実施することで、維持管理でのアンカー修復性が確保でき、経済的にアンカー増打ちなどに対応可能になるので留意が必要である。

ステージ IV は、リフトオフ力 P_{e0} が $0.81T_{us}(0.95T_{ys}) \geq P_{e0} \geq 0.72T_{us}(0.85T_{ys})$ のアンカー力減調整困難領域であり、ナットによるアンカー力減調整が不可能なることから、後述 6.5 短いテンドン余長のアンカー再利用に示す、特殊除荷のゼロ余長除荷工法を適用する。これにより、アンカー力が強制的に解放でき、かつ図-6.5.1 に示す特殊定着具を用いてテンドンの背面定着を行うことで、アンカー再利用を図ることができる。

ステージ V は、リフトオフ力 P_{e0} が $P_{e0} > 0.77T_{us}(0.90T_{ys}) \sim 0.81T_{us}(0.95T_{ys})$ のテンドン緊張限界超過~テンドン破断近傍の領域にある。アンカー力の調査最大力が $0.90T_{ys}$ であることから、リフトオフ力 P_{e0} は $0.90T_{ys}$ になるが、アンカー破断が生じていない場合はリフトオフ力 P_{e0} が

0.90T_{ys}～0.95T_{ys}範囲と評価するのが適正と考えられる。図-6.3.5にアンカー力挙動と各種制限値の関係を示す。同図に示すように、0.95T_{ys}付近から塑性ひずみが急激に生じ始めるのが分かる。現場設置のアンカーは、PC鋼より線を一束にしたものであり、それらのテンドン緊張力には必然的にある程度の現場ばらつきが生じることを考慮すると、リフトオフ力 P_{e0} が 0.95T_{ys} 付近以上ではアンカー破断に繋がる懸念があるので留意が必要である。一方、0.90T_{ys} は、同図から弾性変位の直線性が得られる限界付近であり、これが緊張作業中のテンドン限界値となっている理由である。

なお、表-4.1.2 の地震時許容耐力 0.90T_{ys} は、前述のように、アンカー力が一時的に増加した場合の規定である。換言すると、地震時の一時的な荷重作用の終了後は、アンカー力には地震による影響が残留せず、もとの状態にほぼ完全に戻ることを前提に、0.90T_{ys} が設定されたものである。このことから、補強対象構造物に地震後の背面土圧増加などで残留変位が生じてアンカー力が増加する、待受け型アンカーのケースでは、地震後のアンカー力(残存引張力 P_{er})がステージII状態であることの確認が必要になる。

表-6.3.5 リフトオフ力 P_{e0} の健全性評価

ステージ	リフトオフ力 P _{e0} 状態	健全性評価	摘要
V	P _{e0} > 0.81T _{us} (0.95T _{ys})	⑤テンドン破断領域	・テンドン破断、または破断近傍である
V	P _{e0} > 0.77T _{us} (0.90T _{ys})	⑤テンドン緊張限界超過	・緊張作業中のテンドン緊張力限界を超過、またはテンドン弾性変位限界を超過
IV	0.81T _{us} (0.95T _{ys}) ≥ P _{e0} > 0.72T _{us} (0.85T _{ys})	④アンカー力減調整困難領域	・アンカー追加対策が必要 ・ゼロ余長除荷工法の特種除荷が必要 ・0.85T _{ys} は、減調整用ナット浮き確保の限界値
III	0.72T _{us} (0.85T _{ys}) ≥ P _{e0} > 0.70T _{us} (0.82T _{ys})	③アンカー力減調整領域	・ナットでの減調整が必要 ・必要に応じて、アンカー追加対策 ・0.70T _{us} は、使用性と防食耐久性能の限界値、かつ疲労試験 200 万回振幅上限値
II	0.70T _{us} (0.82T _{ys}) ≥ P _{e0} ≥ T _d	②健全領域	・正常範囲のアンカー力 ・点検継続
I	T _d > P _{e0}	①補強対象構造物の設計変位照査	・設計増加力 ΔP(=T _d - P _{e0})に対して、補強構造物変位 δ _s の照査を実施

(注) 1. 表中記号は、次に示す用語で用いる。

・T_{us}：極限耐力、・T_{ys}：降伏耐力、・T_d：設計アンカー力、・P_{e0}：リフトオフ力

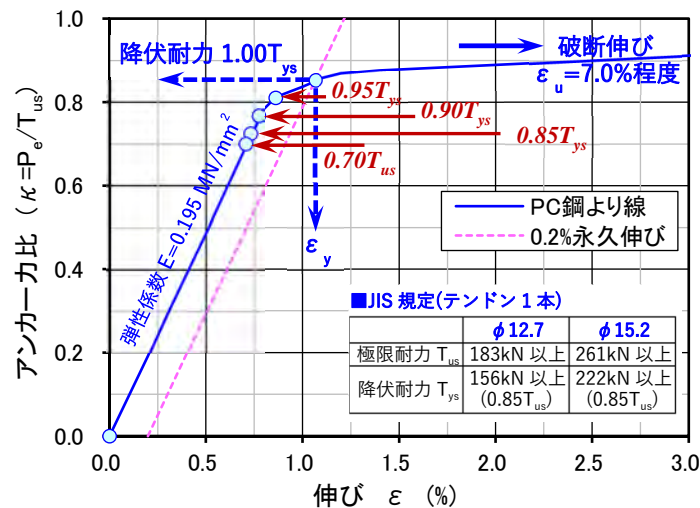


図-6.3.5 アンカー力挙動と各種制限値の関係

(7) アンカー耐荷性能の健全性評価は、アンカー力調査をアンカーヘッド把持緊張法により実施して、定着具安全性・定着具テンドンすべり・テンドン限界緊張力・アンカー体の付着耐力と摩擦耐力に対する安全性を確認する必要がある。アンカー体の圧縮型や分散型では、さらに、式(4.1.2)に示したように拘束具始点グラウトの圧縮力安全性も確認する必要がある。

アンカー力調査の緊張力増加過程で、定着具テンドンすべりやアンカー体付着切れなどの影響で、増加変位に対してジャッキ緊張力増加傾向がない状態が生じた場合は、アンカー耐荷性能が完全に失われないように、速やかにジャッキ緊張力を解放して当該アンカーの調査を中断し、設計上からの必要な措置を講じる。引抜け挙動で、アンカー体付着切れは、急激な緊張力低下挙動を伴い、アンカー体摩擦切れは、緊張力増加勾配の緩慢な低下挙動になることが多い。

図-6.3.4 に示した、アンカー力調査結果の緊張力・変位関係で、リフトオフ後の変位挙動が直線性を有して、調査最大力 P_M までジャッキ緊張できたアンカーは、アンカー耐荷性能が健全であると評価する。リフトオフ後の変位挙動の直線勾配は、特に健全性評価の対象とする必要はないが、アンカー設置年時によっては、対象とした方が良い場合がある。

地盤工学会アンカー基準 2000 年改訂以降の施工アンカーは、施工管理で必ず単サイクル試験や多段サイクル試験が実施されており、これにより、表-4.11.1 や表-4.11.2 に示した、アンカー変位挙動の支配因子が緩和または除去できている可能性がある。一方、アンカー基準 2000 年改訂前の施工アンカーは、現場設置の全アンカー数に対して、多段サイクル緊張試験がアンカー数比で 10%、単サイクル緊張試験がアンカー数比で 10% であり、残りアンカー 80% が単純な緊張・定着作業であったことから、アンカー変位挙動にテンドン初期緩みなどの何らかの施工影響が残っている可能性がある。

リフトオフ後の変位挙動の直線勾配の健全性を評価する場合は、次に示す方法で実施する。図-6.3.4 に示したように、リフトオフ後の変位挙動の直線勾配の健全性評価は、リフトオフ点

(δ_{e0}, P_{e0}) を原点として、式(6.3.1)～式(6.3.3)の摩擦弾性 $\delta_t \cdot UCL$ (上限変位) $\delta_U \cdot LCL$ (下限変位) δ_L で行う。UCL・LCL や式(6.3.4)の最大上限変位 δ_{Umx} を超えた場合は、異常と評価する。ただし、当該アンカーは、表-6.3.5 による評価で耐荷性能に異常がなければ、補修措置などは不要である。

■アンカー緊張挙動の摩擦弾性変位 δ_t

$$\delta_t = \delta_{e0} + (P_M - P_{e0}) / K_f \quad \dots(6.3.1)$$

$$K_f = 2 \cdot AE / \{ L_f \cdot (1 + \kappa_f) + \kappa_f^2 \cdot L_{fA0} \} \quad \dots(6.3.1)-1$$

$$\kappa_f = \min(\exp(-0.004L_f), 1 + 0.00012L_f(1 - L_f)) \quad \dots(6.3.1)-2$$

■健全性評価指標の UCL: 上限変位 δ_U と LCL: 下限変位 δ_L

$$\delta_U = \delta_{e0} + (1.0 + \alpha_{LF}) \times (P_M - P_{e0}) / K_f \quad \dots(6.3.2)$$

$$\delta_L = \delta_{e0} + (1.0 - \alpha_{LF}) \times (P_M - P_{e0}) / K_f \quad \dots(6.3.3)$$

■最大上限変位 δ_{Umx}

$$\delta_{Umx} = \delta_{e0} + (P_M - P_{e0}) / K_f \quad \dots(6.3.4)$$

$$K_f = 2 \cdot AE / \{ L_f \cdot (1 + \kappa_{fu}) + \kappa_{fu}^2 \cdot L_{fA0} \} \quad \dots(6.3.4)-1$$

$$\kappa_{fu} = \min(\exp(-0.002L_f), 1 + 0.00006L_f(1 - L_f)) \quad \dots(6.3.4)-2$$

- ここに、
- ・ δ_t : 緊張力 P_M の摩擦弾性変位 (mm)
 - ・ δ_{e0}, P_{e0} : リフトオフ点の変位とリフトオフ力 (mm, kN)
 - ・ P_M : 調査最大力 (kN)
 - ・ K_f : 緊張摩擦剛性 (kN/mm)
 - ・ κ_f : アンカー力伝達係数の実測式
 - ・ A, E : アンカーテンドン断面積と弾性係数 (mm², ≒0.195MN/mm²)
 - ・ L_f : 自由長 (m)
 - ・ L_{fA0} : 式(4.11.4)による基本アンカー体自由長 (m)
 - ・ κ_{fu} : 図-4.11.5 によるアンカー力伝達係数の上限式
 - ・ δ_U : 健全性評価の上限変位 (mm)
 - ・ δ_L : 健全性評価の下限変位 (mm)
 - ・ α_{LF} : 健全性評価の変位限界係数 (=0.10～0.20)
 - ・ δ_{Umx} : 最大上限変位 (mm)

6.4 補修措置

アンカーは、点検や健全性調査の結果をもとに、必要性に応じて、適正に補修措置などを講じる。

【解説】

(1) アンカー補修措置は、地盤内埋設部材を除く、頭部キャップ・支圧板・キャップ内部材・支圧板背面を含む、アンカー頭部部材を対象に、現場部材の劣化・変状箇所や必要性に応じ、適合措置を計画して、補修・交換などを講じるものとし、適正に実施する必要がある。ここで、厳密に言えば、補修は、部材の劣化・変状の進行抑制や耐久性能の回復・向上が目的であり、劣化・変状部材の交換は、耐荷性能の回復・向上も目的になることから、これは用語上で補強に類する。しかし、アンカー頭部の交換部材が軽微な小物部材であり、比較的簡単なものが対象のため、ここでは補修措置と称して用語分離せずに広義で使用する。なお、劣化は、供用後の時間経過に伴い部材に進行する性能低下、変状は、外観やアンカー力挙動などでの変化状態の異常をいう。

地盤内埋設部材のテンドンや自由長・アンカー体・アンカー体境界止水性などの変状は、補修措置が不可能である。このため、当該部材のアンカー力調査による耐荷性能挙動での変状は、アンカー更新措置が必要になる場合もある。一方、地すべり対策アンカーや構造物地震対策アンカーなどで、リフトオフ力 P_{e0} に過度な増加が発生した場合は、アンカー力の減調整措置が必要になるが、この際には、設計上でアンカー増設などを含めた検討を行う必要がある。

(2) 表-6.4.1 に、アンカー劣化・変状程度と補修措置を示す。同表は、調査大項目を、頭部キャップ・支圧板・キャップ内部などとして、調査小項目でこれらを分類し、その横列を、劣化・変状程度、補修措置等、適用対象アンカーとして、それぞれを対応表にしたものである。

表-6.4.1 アンカー劣化・変状程度と補修措置

調査大項目	調査小項目	劣化・変状程度	補修措置等	適用対象アンカー
頭部キャップ	・キャップ支圧板境界	・グリース漏出・漏出跡	・キャップと O リング交換	・グリース充填アンカー
	・キャップ	・孔食・変形・破損	・キャップ交換	・全アンカー
	・固定ボルト	・極腐食	・ボルト交換	・同 上
支圧板	・支圧板(キャップ 内外)	・極腐食	・支圧板交換	・全アンカー
キャップ内部	・グリース	・色相 (赤褐色・黒色・白濁化・基油分離)	・グリース交換	・グリース充填アンカー
	・テンドン	・極腐食	・アンカー更新	・全アンカー
	・くさび	・極腐食	・くさび交換	・同 上
	・アンカーヘッド	・極腐食	・アンカーヘッドとナット交換	・同 上
	・ナット	・極腐食		
・押え板	・極腐食	・押え板交換	・EHD アンカーHP 工法	
受圧体	・のり枠など	・著しいひび割れ	・受圧体補修または更新	・全アンカー
	・鋼製受圧板	・極腐食	・同 上	・同 上
アンカー	・リフトオフ力	・ T_d 未満、かつ照査結果が構造物許容変位超過	・ナット・シムでのアンカー力増調整	・同 上
	・同 上	・ $0.70T_{us}$ ($0.82T_{ys}$) 超過	・ナットでのアンカー力減調整	・同 上
	・同 上	・ $0.72T_{us}$ ($0.85T_{ys}$) 超過	・ゼロ余長除荷工法でのアンカー力解放と再利用	・同 上
	・耐荷性能 ・定着具安全性 ・定着具テンドンすべり	・鋼材変形・き裂発生 ・すべり発生	・定着具交換 ・同 上	・同 上
	・耐荷性能 ・テンドン限界緊張力 ・アンカー体付着耐力 ・アンカー体摩擦耐力	・耐荷性能未満 ・耐荷性能異常 ・同 上	・アンカー更新 ・同 上 ・同 上	・同 上

(3) 同表の頭部キャップの劣化・変状は、キャップ支圧板境界部からのグリース漏出・漏出跡がおもなものとなり、キャップ種類の中でも HDPE・PP 樹脂製キャップでの発生が多い。補修措置は、キャップと O リング交換であり、内部充填のグリースも必然的に交換になる。本事象が生じたアンカー頭部キャップでは、HDPE・PP 樹脂製キャップ以外のものに交換する必要がある。キャップ変形や破損などの事象が生じた場合も、キャップ交換になるが、本事象の発生原因を明らかにして、それに対する対策も別途行う必要がある。

キャップの孔食、固定ボルトや支圧板の極腐食が生じた場合は、酸性土地盤や飛来塩分影響など、これら事象による進行程度を検討した上で、適正な補修措置を講じる必要がある。酸性土地盤は、黄鉄鉱含有土(泥岩・シルト岩・頁岩・火砕岩・火山岩・片麻岩・片岩・蛇紋岩など)による硫酸生成の影響を受けて、のり面・斜面の地盤面が pH=2.0~5.0 の酸性を呈するものなので、これに留意する。塩分影響地域は、図-4.1.5 に示した海岸線近傍地などが該当するので、これに留意する。当該影響での補修措置は、外気露出するキャップなどの頭部部材の防食構造レベルが的確に向上するように、現場環境に適合した防食方法と部材を用いて、適正に実施する必要がある。

(4) キャップ内部のグリースは、日射熱影響を受けて徐々に劣化進行して、5~10 年程度で劣化が大きくなるので、これを考慮に入れて、定期交換の必要性を判断する。日射熱影響によるグリース劣化は、色相が赤褐色から黒色に変化するものであり、キャップ内残留空気との接触面で色相変化が大きく、本接触面からグリース内部に進行する劣化傾向になる。

グリース白濁化は、重量比 0.1%以上の浸入水影響を受けたものであり、白濁化グリースは鋼材腐食を早める作用があるので留意するとともに、浸入水遮断が十分に可能な補修措置を採用して確実な止水を行う必要がある。頭部テンドンの PC 鋼より線周囲グリースの白濁化は、PC 鋼より線の素線間通水影響であり、原因はアンカー体側からの浸入毛管水である。本事象は、テンドン劣化がアンカー長のどこかで生じている懸念があることから、アンカー力調査でアンカー体やテンドンなどの耐荷性能確認を行う必要がある。

(5) くさびやアンカーヘッドなどの定着具の極腐食は、アンカー力解放で定着具交換を実施する。アンカー力解放は、アンカー力増加くさび除去法による場合に、テンドン余長 110mm 程度以上でマルチカプラー、テンドン余長 50mm 程度以上でシングルカプラーを使用して行う。アンカー力増加くさび除去法は、テンドン余長の把持・緊張・引張り上げで、くさびを外すものである。

鋼製受圧板の極腐食は、酸性土地盤や飛来塩分影響などの因子が考えられることから、これを考慮した補修または更新措置とする。テンドンの極腐食は、アンカー更新措置を基本とし、本工法で用いている設計耐用年数 100 年の珪砂付着 ECF テンドンのアンカー工法採用を推奨する。

(6) アンカー力増調整の補修措置は、ジャッキ緊張でアンカーヘッドを持上げた後に、ナット回転やナット下部シム挿入で実施する。アンカー力減調整の補修措置は、同様にジャッキ緊張でアンカーヘッドを持上げた後に、ナットの緩め回転で実施する。

アンカー再利用を行う場合で、テンドン余長 50mm 未満、またはアンカー力増加くさび除去法が適用不可の場合は、次節に示すゼロ余長除荷工法を用いて補修措置を実施する。

なお、ゼロ余長除荷工法やアンカー力減調整の補修措置を実施する場合は、既設アンカー効果を的確に評価して設計不足分の必要アンカー力などを求め、アンカー増設などを含めた検討を適正に行う必要がある。

6.5 短いテンドン余長のアンカー再利用

短いテンドン余長のアンカー再利用、またはアンカー力増加くさび除去法が適用不可のアンカー再利用は、ゼロ余長除荷工法を使用して実施する。

【解説】

(1) アンカーのテンドン余長 50mm 程度未満で短いテンドン余長の場合、またはアンカープレストレス $0.85T_{ys}$ 超の場合は、アンカー力増加くさび除去法を適用するアンカー力解放が不可能なことから、テンドン余長を把持・緊張しない手法が求められる。一方、単にアンカー力解放を行う場合は、アンカーヘッドガス切断法やアンカーヘッド切削切断法があるが、これらの切断作業時にはくさび嵌合部のテンドン均等保持ができず、テンドンへのくさび嵌合力の局所集中で、過度な噛込み傷によるテンドン損傷懸念がある。このため、アンカーヘッド切断法は、本設アンカー再利用のためのアンカー力解放の適用に不向きとされている。

こうした課題を解決したのが、ゼロ余長除荷工法である。本工法は、アンカー力解放時に既設アンカーヘッドでのくさび位置のズレが生じず、かつ、くさびのテンドン嵌合位置を保持したまま、PC 鋼より線 1 本ごとにドリル切削を行いながら、順次アンカー力解放して、最終的にすべてを完全解放するとともに、その後に、受圧体内部でアンカー定着可能な特殊定着具を用いてアンカー緊張・定着を行うことで、既設アンカーの再利用を図るものである。

特に、アンカープレストレスが過大となった既設アンカーの再利用を図る場合には、本工法を用いることで、新設アンカーの増設低減が可能なことから、のり面安定対策などでの設計の経済性をより高めることができる。

(2) 図-6.5.1 にゼロ余長除荷工法によるアンカー再利用概念を示す。同図は、既設アンカーテンドン切削のアンカー力解放後に、特殊定着具を用いて緊張・定着を実施した概念図であり、特殊定着具は、上部体と下部体からなっている。上部体内部には、緊張・定着用くさび押え板付属のアンカーヘッドが内包され、下部体内部には、止水ゴムが内包される構造である。なお、特殊定着具を使用する場合の標準防食仕様は、特殊定着具(上部体・下部体・ナット・くさび押え板・アンカーヘッド)がアルミナイズ処理、支圧板が溶融亜鉛めっき HDZT77 である。

特殊定着具の構造仕様は、ナット・アンカーヘッドが、上部体へのねじ嵌合結合、下部体がアンカーヘッド下部凸部でのねじ嵌合結合と止水ゴム嵌め込みであり、これらにより一体化構造が成立している。止水ゴムは、下部体の最下部でテンドンシースを圧縮することにより下部体内部での止水性を確保する。上部体と下部体は、連通構造であり、残空間をグリース充填することから、残空気排除と防食性確保が可能な構造となっている。

アンカー緊張・定着は、特殊定着具上部の内ねじ嵌合でジャッキ緊張を実施して、くさびをテンドンに嵌合させ、設計アンカー力 T_d への定着力調整は、ナット回転調整により実施する。

(3) 図-6.5.2 にゼロ余長除荷工法の施工手順を示す。施工手順は、①余長切断(同図(a))、②補助くさび設置、③ドリル設置(同図(b))、④テンドン切削(同図(c))、⑤定着具設置位置確認(同図(d)・(e))、⑥特殊定着具設置(同図(f))、⑦緊張・定着(同図(g)・(h))、⑧頭部処理、である。同図(c)に示すように、テンドン切削前にすべてのくさび隙間に補助くさび貫入することで、テンドン切削でのくさびズレが生じない工夫をしている。同図(g)に示すように、定着後は、くさび押え板が除去された状態になる。頭部処理は、頭部キャップを支圧板にボルト緊結して、特殊定着具を被覆し、その後に、キャップ内部にグリース充填して施工作業終了となる。

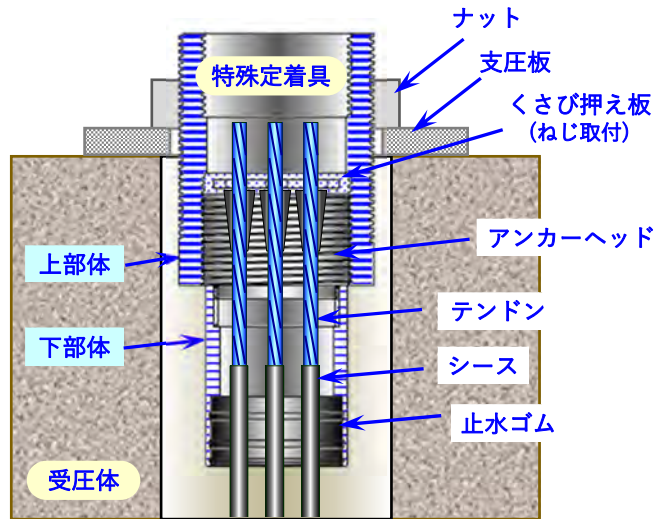


図-6.5.1 ゼロ余長除荷工法によるアンカー再利用概念



図-6.5.2 ゼロ余長除荷工法の施工手順

參考資料

参 1. アンカープレストレスの設計方法

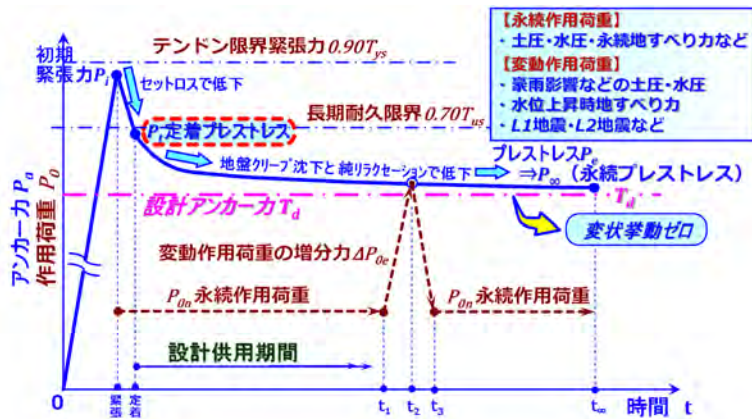
アンカーのプレストレスは、設計供用期間で地盤クリープ沈下などにより漸減することから、定着プレストレス P_t は、永続プレストレス P_∞ (設計アンカー力 T_d 以上で 5~10kN 単位で丸めたもの) から設計供用期間の減少分を割増して設計する。なお、定着プレストレス P_t は、参表-1.1 に示す長期耐久限界 P_{LE} 以下とする。

プレストレス P_e と作用荷重 P_{0e} の関係によるアンカー挙動は、参図-1.1 に示す通りであり、本挙動とアンカー適用構造物の設計前提や設計方法を考慮して、適正に設計する。

参表-1.1 アンカープレストレス P_e の上限

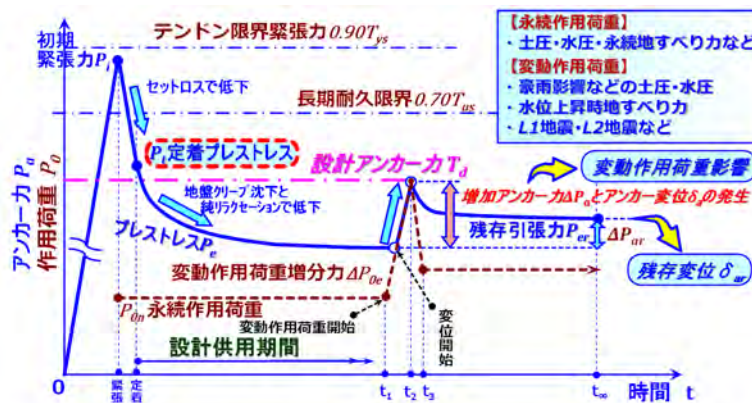
アンカー状態	極限耐力 T_{us} に対する係数	降伏耐力 T_{ys} に対する係数	摘要
① テンドン破断限界 P_{LR}	$0.81T_{us}$	$0.95T_{ys}$	・アンカー現場施工での経験的な破断限界値
② テンドン限界緊張力 P_{Mt} ※1※2※3	$0.77T_{us}$	$0.90T_{ys}$	・適性試験・確認試験などを含むジャッキ緊張作業中のテンドン緊張限界値 ・テンドン弾性変位限界値
③ 限界プレストレス P_L	$0.725T_{us}$	$0.85T_{ys}$	・アンカー力減調整限界であり、減調整用ナット浮き確保用値
④ 長期耐久限界 P_{LE} ※2※3	$0.70T_{us}$	$0.82T_{ys}$	・活荷重変動作用支配状態のない、使用性と防食耐久性能の限界値 ・疲労試験 200 万回振幅上限値
⑤ 疲労耐久限界 P_{LF} ※2※3	$0.60T_{us}$	$0.704T_{ys}$	・活荷重変動作用支配状態の疲労耐久性能の限界値 ・疲労試験 200 万回振幅下限値

- (注)1. 地盤工学会：JGS4101 グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説(2012 年)
 2. 土木学会：コンクリート標準示方書設計編(2017 年)
 3. 日本道路協会：道路橋示方書・同解説III コンクリート橋・コンクリート部材編(H29 年)



挙動状態 ⇒ 増加アンカー力とアンカー変位の発生なし

(a) プレストレス $P_e \cong$ 作用荷重 P_{0e}



挙動状態 ⇒ 増加アンカー力とアンカー変位の発生あり

(b) プレストレス $P_e <$ 作用荷重 P_{0e}

参図-1.1 プレストレス P_e ・作用荷重 P_{0e} 関係によるアンカー挙動

プレストレス設計は、参表-1.2 に示すように、アンカーの適用構造物の設計前提や設計方法を踏まえ、プレストレス P_e 程度に応じた適切な設計方法を選択して実施する。

なお、初期緊張力 P_i は、定着プレストレス P_t にセットロス ΔP_{st} を加えたものとし、参式(1.1)の限界緊張力 P_M 以下とする。初期緊張力 P_i が限界緊張力 P_M を超過する場合は、その超過分を初期緊張力 P_i から減じたもので、新たに緊張・定着する。これに伴う定着プレストレス P_t の不足分は、定着後のナット調整により、アンカー力を増加させることで補足する。

参表-1.2 適用構造物のプレストレス P_e 程度に応じた設計方法

適用分野	適用構造物	プレストレス P_e ・ 作用荷重 P_{0e}	設計方法
1. 土工構造物	①のり面・斜面	$P_e \geq P_{0e}$	・すべり土塊は、不動土塊になる ・増加アンカー力やアンカー頭部せん断変位の検討が不要
		$P_e < P_{0e}$	・増加アンカー力 ΔP_a をもとに、すべり土塊変位を求め、短い自由長のアンカー力を照査 ・アンカー頭部せん断変位の照査 ・土工排水施設変位の照査
2. 一般構造物	①橋梁下部工 (既設橋台補強)	$P_e \geq P_{0e}$	・上部工の設計前提は、一般に下部工が不動点仕様のため、長期的に下部工変位のない設計にする
		$P_e < P_{0e}$	・下部工変位発生条件なので、それを考慮した上部工設計とし、上部工・下部工の設計整合性を図る ・基礎浮上りあり ($1/3 \geq e/B > 1/6$) は、増加アンカー力の照査 ・構造物変位とアンカー頭部せん断変位の照査
	②その他土木構造物 (既設逆 T 型擁壁補強)	$P_e \geq P_{0e}$	・基礎浮上りなし ($e/B \leq 1/6$) で、変位検討不要
		$P_e < P_{0e}$	・基礎浮上りあり ($1/3 \geq e/B > 1/6$) は、増加アンカー力の照査 ・構造物変位とアンカー頭部せん断変位の照査
	③港湾・漁港構造物 (既設岸壁補強など)	$P_e \geq P_{0e}$	・基礎浮上りなし ($e/B \leq 1/6$) で、変位検討不要
		$P_e < P_{0e}$	・基礎浮上りあり ($1/3 \geq e/B > 1/6$) は、増加アンカー力の照査 ・構造物変位とアンカー頭部せん断変位の照査
	④建築構造物 (新設高層建物など)	$P_e \geq P_{0e}$	・建物完成沈下のアンカー力低下考慮で、 P_e 設定 ・基礎浮上りなしで、変位検討不要
		$P_e < P_{0e}$	・建物完成沈下のアンカー力低下考慮で、 P_e 設定 ・基礎浮上りによる、増加アンカー力と建物最上階偏心変位の照査

■限界緊張力 P_M (kN)

$$P_M = \min\{P_{Mt}, P_{Mp} / (\text{安全係数 } 1.25)\} \quad \dots(1.1)$$

■ tendon 限界緊張力 P_{Mt} と降伏引抜耐力 P_{Mp} (kN)

$$P_{Mt} = 0.90 \cdot T_{ys} \quad \dots(1.2)$$

$$P_{Mp} = \min(P_b, P_f) \quad \dots(1.3)$$

■降伏付着耐力 P_b と降伏摩擦耐力 P_f (kN)

$$P_b = L_A \cdot \tau_{by} \cdot U \quad \dots(1.4)$$

$$P_f = L_A \cdot \tau_{gy} \cdot D_A \cdot \pi \quad \dots(1.5)$$

ここに、

- ・ T_{ys} : tendon 降伏耐力 (kN)
- ・ L_A : アンカー体長 (m)
- ・ τ_{by} : 降伏付着強度 (式(4.1.4)参照、N/mm²)
- ・ U : 見掛け周長 (表-4.4.2 参照、mm)
- ・ τ_{gy} : 降伏摩擦強度 (表-4.1.6 参照、N/mm²)
- ・ D_A : アンカー体径 (表-4.4.2 参照、mm)

参表-2.1 待受け型アンカー照査の設計条件

項目	単位	諸元				
必要抑止力 P_r	kN/m	450.0				
すべり面内部摩擦角 ϕ	°	25.0				
アンカー水平間隔 a_p	m	2.5				
アンカー段数 N	段	5				
設計アンカー力 T_d	kN/本	315.3				
アンカー規格	—	EHD5-3H				
断面積 A	mm ²	296.1				
アンカー弾性係数 E	MN/mm ²	0.195				
アンカー段 $No.$	—	No.01	No.02	No.03	No.04	No.05
自由長 L_{fi}	m	4.5	5.5	6.5	8.0	9.0
すべり角 θ_i	°	17.50	23.71	29.65	35.43	41.11
アンカー傾角 α_i	°	44.70	44.70	44.70	44.70	44.70
合成角 β_i	°	62.20	68.41	74.35	80.13	85.81

参表-2.2 必要プレストレス比と計画プレストレス限界の照査結果

項目	単位	諸元				
極限耐力比 β	—	0.70				
計画プレストレス限界 $P_p = \beta \cdot T_{us}$	kN/本	384.3				
必要プレストレス比(待受け比) R_{preq}	—	0.810 = P_e/T_d				
プレストレス P_e	kN/本	255.4				
平均超過力 $\Delta P = T_d - P_e$	kN/本	59.9				
アンカー段 $No.$	—	No.01	No.02	No.03	No.04	No.05
地盤(構造物)剛体変位 δ_g	mm	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5
アンカー変位 δ_{ai}	mm	10.0	7.9	5.8	3.7	1.6
アンカー増加力 ΔP_i	kN/本	128.5	82.9	51.5	26.6	10.1
アンカー残存引張力 $P_{eri} = P_e + \Delta P_i$	kN/本	383.9	338.3	306.8	281.9	265.4
プレストレス限界照査	—	OK	OK	OK	OK	OK

参 3. 定着プレストレスの施工管理方法の事例

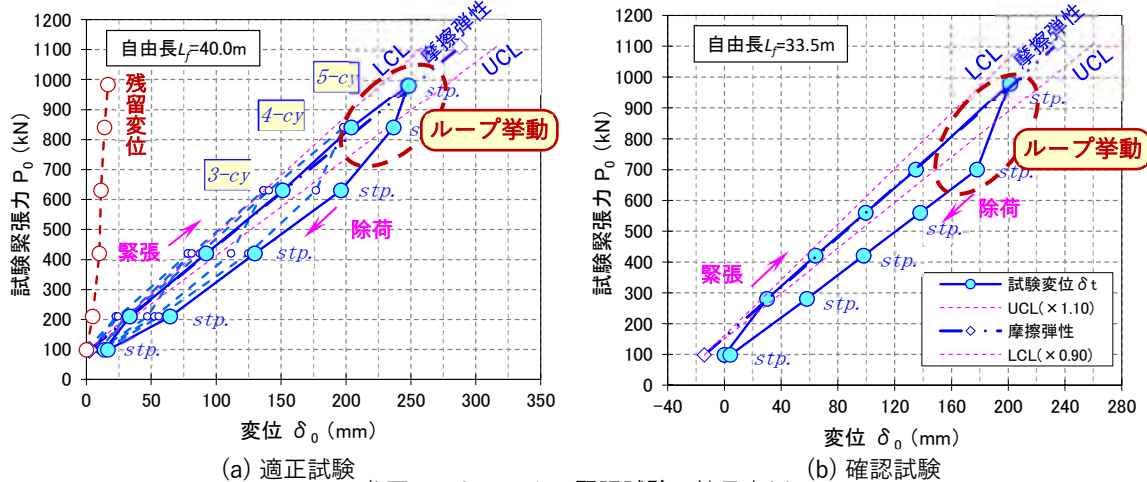
3.1 概説

アンカー緊張・定着では、アンカー頭部でアンカーテンドンを初期緊張力 P_i まで緊張し、ジャッキ除荷により定着具にテンドンを定着することで、アンカーや構造物に定着プレストレス(定着アンカー力)が作用する。この確実性により、構造物の耐荷性能が確保でき、構造物の品質が向上する。

一方、アンカー施工の緊張・定着前には、必ず各アンカー毎にアンカー緊張試験となる適正試験(多段サイクル試験)、または確認試験(単サイクル試験)を実施する。適正試験は、アンカー全数の 5% かつ 3 本以上、確認試験は、適正試験済アンカーを除いた全数が対象になる。

本アンカー緊張試験の結果事例を参図-3.1.1 に示す。同図に見られるように、適正試験や確認試験の挙動は、緊張除荷段階でループ挙動が見られ、緊張と除荷が線形挙動の同一履歴を通過せず、ループ挙動最大点からアンカー力急低下挙動になる。この挙動は、アンカー自由長摩擦の影響により生じるものであり、アンカー緊張・定着の定着プレストレスの施工管理は、この考慮が重要になる。

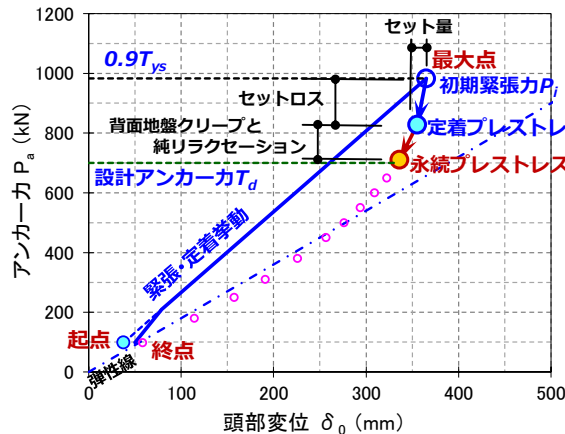
本観点から、緊張・定着は、緊張試験結果を反映させ、連係することで適正な施工管理ができる。すなわち、施工管理は、参図-3.1.2 に示すように初期緊張力のループ挙動最大点からセット量影響を受けた除荷挙動、かつアンカー定着後の定着プレストレスから設計供用期間で生じる受圧体背面地盤クリープと純リラクセーションを考慮して永続プレストレス P_o (\cong 設計アンカー力 T_d) になるように行うのが適正である。従来技術は、当該施工管理がなされておらず、構造物耐荷性能の確保という品質向上の課題になっていた。



(a) 適正試験

(b) 確認試験

参図-3.1.1 アンカー緊張試験の結果事例



参図-3.1.2 初期緊張力(最大点)からのアンカー力低下概

3.2 アンカー緊張試験の実施とデータ整理

3.2.1 緊張試験の実施

アンカー緊張試験は、アンカー緊張・定着前に実施する、適正試験と確認試験であり、これらは参表-3.2.1 に示す仕様で実施する。

参図-3.2.1 にアンカー緊張試験でのアンカー構成を示す。アンカー頭部側から、ジャッキ緊張部の緊張余長 L_{f0} 、自由長 L_f 、アンカー体長 L_A で構成され、この内、アンカー力 P_0 による頭部変位 δ_0 に関係する部位は、緊張自由長 L_{fp} と基本アンカー体自由長 L_{fA0} である。基本アンカー体自由長は、頭部でのアンカー力が増加するに伴い、テンドン・グラウトの付着切れやグラウト・地盤の摩擦切れが生じて進展するものであり、履歴最大アンカー力 P_{mh} に依存した長さになる。

参表-3.2.1 アンカー緊張試験の実施仕様

項目	適正試験	確認試験
①目的	・アンカー力と頭部変位の施工管理 ・結果は、緊張・定着の施工管理に活用	・同 左 ・同 左
②対象アンカーと本数	・施工アンカー全数の5%かつ3本以上 ・確認試験前に実施	・適性試験済アンカーを除く、施工アンカー全数 ・適正試験後に実施
③緊張除荷方法	・プレ緊張(限界緊張力 P_M^{*2} で2回)の実施 ・試験は緊張除荷の多段サイクル(5cy) ・サイクル毎にステップ試験力を実施	・同 左 ・試験は緊張除荷の単サイクル(1cy) ・5ステップ試験力を実施
④最大試験力 T_p	・最大は $0.9T_{ys}$ 、かつ限界緊張力 P_M 以下 ・ $1.25T_d \geq$ 限界緊張力 P_M の場合は、 $1.25T_d$ を採用	・同 左 ・同 左
⑤初期試験力 P_0	・ $0.10T_p \sim 0.10T_{ys}$ の範囲で設定	・同 左
⑥試験力ステップ数	・ $T_{ij} = T_p \times (0.4, 0.6, 0.8, 0.9, 1.0)$ の5分割 ・stp.1 試験力 $T_{i1} \geq (0.29 \sim 0.35) \cdot T_{ys}$ を推奨	・適性試験と同分割 ・同 左
⑦試験力サイクル数	・同上分割の5cyでの多段サイクル	・1回の単サイクル
⑧試験力保持時間	・cy最大：5～60min (変位安定 0.3mm/min 以下で除荷開始) ・stp間：0.5～1min	・cy最大：2～5min (変位安定 0.3mm/min 以下で除荷開始) ・stp間：0.5～1min
⑨評価指標	・アンカー変位管理 ・現場アンカーのアンカー力伝達係数 κ_f 、下除荷剛性比 S_{r0} 、上除荷剛性比 S_{r1} 、初期摩擦係数 κ_0 の評価	・同 左 ・同 左
⑩結果の利用方法	・上記の諸係数から、 $P_\infty \geq T_d$ となる初期緊張力 P_i を求めた後、それをもとに緊張・定着作業を実施し、適正な定着プレストレス管理を行う	・同 左

注)1. 記号定義： T_{ys} ：テンドン降伏耐力、 T_d ：設計アンカー力、 P_∞ ：永続プレストレス

2. 限界緊張力 $P_M = \min\{0.9T_{ys}, L_A \cdot \min(\tau_{by} \cdot U, \tau_{gy} \cdot D_A \cdot \pi)\} / (\text{安全係数 } 1.25)\}$



参図-3.2.1 アンカー緊張試験のアンカー構成

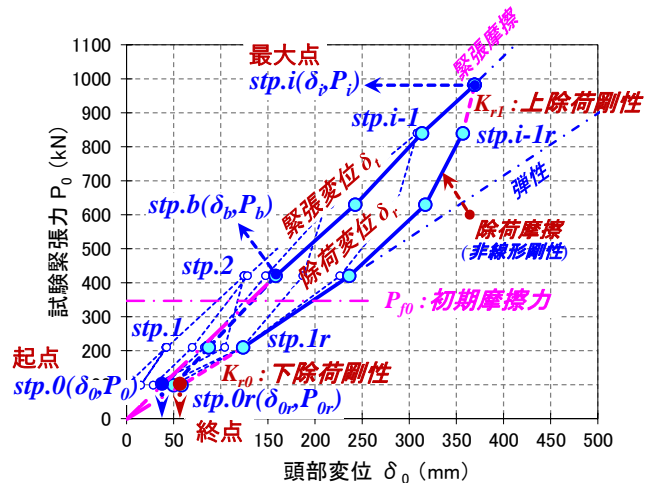
3.2.2 試験結果のデータ整理

緊張試験結果のデータ整理は、適正試験で最終 5cy 段階の緊張除荷挙動、確認試験で単サイクル(1cy 段階)の緊張除荷挙動を使用して行う。参図-3.2.2 に示す適正試験の挙動を事例に、緊張・定着で定着プレストレスの施工管理を実施するための、事前のデータ整理方法を記述する。

初めに、同図の緊張除荷挙動結果は、起点 $stp.0(\delta_0, P_0) \Rightarrow$ 最大点 $stp.i(\delta_i, P_i) \Rightarrow$ 終点 $stp.0r(\delta_{0r}, P_{0r})$ に整理し、緊張挙動は起点 $stp.0(\delta_0, P_0) \sim$ 最大点 $stp.i(\delta_i, P_i)$ 、除荷挙動は最大点 $stp.i(\delta_i, P_i) \sim$ 終点 $stp.0r(\delta_{0r}, P_{0r})$ とする。 P_0 と P_{0r} は初期試験力、 P_i は最大試験力 T_p である。 δ_0 は、 $stp.i$ と $stp.b$ の線形勾配から求める起点 $stp.0$ の変位とする。 $stp.b$ は緊張挙動で適切な直線性が得られる範囲の任意の試験力ステップを選定する。

緊張試験結果から求めるアンカー力パラメータは、緊張挙動からのものと、除荷挙動からのものに分かれるので、各パラメータの求め方を以下に示す。

参式(3.2.1)は、起点 $stp.0 \sim$ 最大点 $stp.i$ の変位 δ_i である。アンカー緊張挙動パラメータは、緊張摩擦剛性 K_f とアンカー力伝達係数 κ_f であり、参式(3.2.2)、(3.2.3)で表せる。緊張摩擦剛性 K_f は、起点 $stp.0 \sim$ 最大点 $stp.i$ の勾配である。アンカー力伝達係数 κ_f は、アンカー体へのアンカー力の伝わりやすさを表すもので、自由長摩擦ゼロで $\kappa_f=1.0$ であり、一般的には自由長摩擦が存在するので 1.0 未満の値を示す。



参図-3.2.2 アンカー緊張除荷挙動(適正試)

■ アンカー緊張挙動パラメータ K_f 、 κ_f の算定

$$\delta_i = \delta_0 + (P_i - P_0) / K_f \quad \dots (3.2.1)$$

$$K_f = (P_i - P_0) / (\delta_i - \delta_0) = 2 \cdot A \cdot E / \{ L_{fp} \cdot (1 + \kappa_f) + \kappa_f^2 \cdot L_{fA0} \} \quad \dots (3.2.2)$$

$$\kappa_f = (-L_{fp} + \{ L_{fp}^2 - 4 \cdot L_{fA0} (L_{fp} - 2 \cdot A \cdot E / K_f) \}^{0.5}) / (2 \cdot L_{fA0}) \quad \dots (3.2.3)$$

$$K_e = A \cdot E / (L_{fp} + 0.5 \cdot L_{fA0}) \quad \dots (3.2.4)$$

$$L_{fp} = L_{f0} + L_f \quad \dots (3.2.5)$$

$$L_{fA0} = P_{mh} / \min(\tau_{by} \cdot U, \tau_g \cdot D_A \cdot \pi) \quad \dots (3.2.6)$$

ここに、

- δ_i : 最大点 $stp.i$ の変位 (mm)
- P_i : 最大点 $stp.i$ の緊張力 (kN)
- δ_0 : 最大点 $stp.i$ と $stp.b$ の線形勾配からの、起点 $stp.0$ の変位 (mm)
- P_0 : 起点 $stp.0$ の緊張力(初期試験力) (kN)
- K_f : 緊張摩擦剛性 (kN/mm)
- κ_f : アンカー力伝達係数
- K_e : 弾性剛性 (kN/mm)
- A : アンカー断面積 (mm²)
- L_{fp} : 緊張自由長 (m)
- L_{f0} : 緊張余長 (m)
- τ_{by} : テンドンとグラウトの降伏付着強度 (N/mm²)
- τ_g : アンカー体設置地盤の摩擦強度 (N/mm²)
- E : アンカー弾性係数 (=0.195MN/mm²)
- L_{fA0} : 基本アンカー体自由長 (m)
- L_f : 自由長 (m)
- U : テンドン見掛け周長 (mm)
- D_A : 設計アンカー径 (mm)

アンカー除荷挙動パラメータは、最大点の上除荷剛性 K_{rl} と終点の下除荷剛性 K_{r0} であり、参式(3.2.7)、(3.2.8)で表せる。なお、参式(3.2.9)の初期摩擦力係数 κ_0 は、アンカー力初期段階の自由長摩擦抵抗のパラメータを表し、図-4.11.7 で整理したように、0.20~0.45 の範囲であればその抵抗が標準的なものと考えることができる。参式(3.2.10)に示すように、 $stp.1$ 点の初期ステップ力 $T_1=0.4 \cdot T_p$ が、 $\kappa_0 \cdot T_{ys}$ より大きい場合に、 $stp.1$ 点を $stp.b$ と適用して、起点 $stp.0$ の変位 δ_0 を求めることができる。

■アンカー除荷挙動パラメータ K_{rl} 、 S_{rl} 、 K_{r0} 、 S_{r0} の算定

$$K_{rl} = (P_i - P_{i-1r}) / (\delta_i - \delta_{i-1r}) = S_{rl} \cdot K_e \quad \dots(3.2.7)$$

$$K_{r0} = (P_{1r} - P_{0r}) / (\delta_{1r} - \delta_{0r}) = S_{r0} \cdot K_e \quad \dots(3.2.8)$$

■初期摩擦力係数 κ_0 の算定

$$\kappa_0 = P_{f0} / T_{ys} = 2 \cdot \{P_{0r} + 2 \cdot (\delta_{0r} - \delta_0) \cdot A \cdot E / (L_{fp} + \kappa_f \cdot L_{fA0})\} / T_{ys} \quad \dots(3.2.9)$$

$$P_{10} = \kappa_0 \cdot T_{ys} \leq T_1 = 0.4 \cdot T_p \text{ を満足で } stp.1 \text{ 点が } stp.b \text{ に適用可} \quad \dots(3.2.10)$$

ここに、

- K_{rl} : 上除荷剛性 (kN/mm)
- P_i, δ_i : 最大点 $stp.i$ の緊張力 (kN) と変位 (mm)
- P_{i-1r}, δ_{i-1r} : 最大点次点 $stp.i-1r$ の緊張力 (kN) と除荷変位 (mm)
- K_{r0} : 下除荷剛性 (kN/mm)
- P_{1r}, δ_{1r} : 終点前点 $stp.1r$ の緊張力 (kN) と除荷変位 (mm)
- P_{0r}, δ_{0r} : 終点 $stp.0r$ の緊張力 (kN) と除荷変位 (mm)
- S_{rl} : 上除荷剛性比
- S_{r0} : 下除荷剛性比
- κ_0 : 初期摩擦力係数
- P_{f0} : 初期摩擦力 (kN)
- T_{ys} : テンドン降伏耐力 (kN)
- δ_0 : 最大点 $stp.i$ と $stp.b$ の線形勾配からの、起点 $stp.0$ の変位 (mm)

3.3 アンカー自由長摩擦考慮のアンカー力設計モデル

アンカー頭部の緊張除荷挙動は、参図-3.1.1 のようにループ挙動を示し、施工段階の緊張・除荷とその後の設計供用期間では、参図-3.1.2 のようにアンカー力が変化する。本アンカー力設計モデルは、次のようにモデル化する。

まず、起点～最大点のアンカー緊張変位 δ_t は、任意のアンカー力 P に対して、起点 $stp.0(\delta_0, P_0)$ から緊張摩擦剛性 K_f を用いて、参式(3.3.1)で表す。次に、最大点～終点のアンカー除荷変位 δ_r は、最大点 $stp.i(\delta_i, P_i)$ から終点 $stp.Or(\delta_{Or}, P_{Or})$ までをアンカー力 P の3次曲線の参式(3.3.2)で表す。

これにより、アンカー力設計モデルは、最大点 $stp.i(\delta_i, P_i)$ での参式(3.3.1)と式(3.3.2)の連成結合により、アンカー自由長摩擦を考慮した緊張除荷挙動の解析式として確定できる。

■アンカー力設計モデル：アンカー力 P の緊張除荷挙動の解析式

$$\delta_t = \delta_0 + (P - P_0) / K_f \quad \dots(3.3.1)$$

$$\delta_r = P / K_r(P) = \delta_i + A_1 \cdot (P - P_i) + A_2 \cdot (P - P_i)^2 + A_3 \cdot (P - P_i)^3 \quad \dots(3.3.2)$$

$$A_1 = 1.0 / (\alpha_1 \cdot K_{r1}) \quad \dots(3.3.3)$$

$$A_2 = 0.5 \cdot \{ (1.0 / (\alpha_0 \cdot K_{r0}) - 1.0 / (\alpha_1 \cdot K_{r1})) / (P_{Or} - P_i) - 3.0 \cdot A_3 (P_{Or} - P_i) \} \quad \dots(3.3.4)$$

$$A_3 = \{ (P_{Or} - P_i) \cdot (1.0 / (\alpha_0 \cdot K_{r0}) + 1.0 / (\alpha_1 \cdot K_{r1})) - 2.0 \cdot (\delta_{Or} - \delta_i) \} / (P_{Or} - P_i)^3 \quad \dots(3.3.5)$$

ここに、

- δ_t : 緊張変位 (mm)
- δ_r : 除荷変位 (mm)
- P : アンカー力 (kN)
- δ_0, P_0 : 起点 $stp.0$ の変位 (mm) と緊張力 (kN)
- δ_i, P_i : 最大点 $stp.i$ の変位 (mm) と緊張力 (kN)
- δ_{Or}, P_{Or} : 終点 $stp.Or$ の変位 (mm) と緊張力 (kN)
- α_1 : 上剛性補正係数 (推奨値：2.0～5.0、平均 3.5)
- α_0 : 下剛性補正係数 (推奨値：0.7～1.0、平均 0.85)

3.4 厳密法による定着プレストレスの施工管理

アンカー施工の緊張・定着は、補強構造物の安全性が設計供用期間にわたって保持できるように、緊張試験結果を反映したアンカー力パラメータとアンカー力設計モデルを用いて、定着プレストレスと初期緊張力を求め、これらを施工管理することで、適正に実施する必要がある。

参表-3.4.1 に、厳密法による定着プレストレス P_t と初期緊張力 P_i の算定手順と方法を示す。

定着プレストレスは、アンカープレストレスが定着直後から背面地盤クリープと純リラクセーションの影響を受けて長期低下することから、設計供用期間で設計アンカー力 T_d 以上の永続プレストレス P_∞ が作用するように事前に求めるとともに、初期緊張力は、定着プレストレスからくさび嵌合のセット量 10mm を考慮したセットロス分を割増したものとする。定着プレストレス力 P_t と初期緊張力 P_i の設定は、アンカー力設計モデルを用いた多重収束解析にて求める。

定着プレストレス力 P_t と初期緊張力 P_i の設計式を参式(3.4.1)～(3.4.6)に示す。参図-3.1.2 で示したように、定着プレストレス P_t は、永続プレストレス P_∞ をもとに、地盤クリープ低下力 ΔP_c とリラクセーション低下力 ΔP_r を割増したものである。くさびナット定着具を用いた初期緊張力 P_i は、参式(3.4.5)によりくさび嵌合のセットロス ΔP_{st} 分を割増したものである。

$P_\infty \cdot P_t \cdot P_i$ は、起点 $stp.0(\delta_0, P_0)$ と終点 $stp.0r(\delta_{0r}, P_{0r})$ が既知、最大点 $stp.i(\delta_i, P_i)$ で参式(3.3.1)、参式(3.3.2)が一致という、緊張除荷挙動曲線上の解として求めることに帰着する。アンカー力設計モデルは参式(3.3.1)と参式(3.3.2)の連成結合の状態、制約条件が参式(3.4.1)～(3.4.6)であり、各プレストレスが数値的に一意に定まらないので、永続プレストレス P_∞ を開始点、緊張試験結果の起点 $stp.0(\delta_0, P_0)$ と終点 $stp.0r(\delta_{0r}, P_{0r})$ を既知点として、これらを緊張除荷挙動曲線上での多重収束解析にて求める。これが厳密法による施工管理プレストレスの設定法である。

収束解析での与条件は、永続プレストレス P_∞ 、始点 $stp.0(\delta_0, P_0)$ 、終点 $stp.0r(\delta_{0r}, P_{0r})$ に加えて、アンカー仕様や緊張試験結果の各種のアンカー力パラメータの参式(3.2.2)～(3.2.8)の値である。

参表-3.4.2 に厳密法による多重収束解析の P_t, P_i 求解の設定事例、参図-3.4.1 に求解した緊張除荷挙動曲線と施工管理用 P_t, P_i を示す。同図の初期緊張力 P_i ～定着プレストレス P_t 間にはセット量 10mm が考慮されており、縦軸の緊張力差分はセットロスになる。定着プレストレス P_t ～永続プレストレス P_∞ 間には地盤クリープ変位による低下力と純リラクセーション低下力が考慮された収束解が求まっている。なお、本定着プレストレス P_t 解析手法は、EXCEL マクロ化されており、希望者には提供可能なので、弘和産業㈱にお問合せ頂きたい。

ここでの定着プレストレス P_t と初期緊張力 P_i の設定により、施工段階でこれらを適正に施工管理できる。これにより、保全段階の設計供用期間にわたり設計アンカー力を上回る永続プレストレスが保持できることから、従来技術で困難であった施工管理が可能になり、補強構造物の設計供用期間の長期的な耐荷性能の保持で、品質がより向上できる。

参表-3.4.1 厳密法による定着プレストレス P_t と初期緊張力 P_i の算定手順と方法

算定手順	方法
①設計アンカー力 T_d の設定	設計段階で、補強構造物の必要抑止力から計算するものであり、施工段階では既知となる。
②永続プレストレス T_∞ の設定	T_d を 5～10kN 単位で丸める。
③地盤クリープ低下力 ΔP_c の算定	P_t 状態での、 ΔP_c を求める。
④リラクセーション後プレストレス P_r の算定	$P_r = T_\infty + \Delta P_c$
⑤リラクセーション低下力 ΔP_r の算定	P_r 状態での、 ΔP_r を求める。
⑥定着プレストレス P_t の算定	$P_t = T_\infty + \Delta P_c + \Delta P_r$
⑦セットロス ΔP_{st} の算定	くさび嵌合のセット量 $S_t(10\text{mm})$ から、セットロス ΔP_{st} を求める。
⑧初期緊張力 P_i の算定	$P_i = P_t + \Delta P_{st}$

■定着プレストレス力 P_t と初期緊張力 P_i の設計式

$$P_t = P_\infty + \Delta P_c + \Delta P_r \quad [P_\infty \geq T_d] \quad \dots(3.4.1)$$

$$\Delta P_c = K_r(P) \cdot P_t \cdot \alpha_c / \{A_c \cdot 2.8 \cdot N / 0.3 \cdot (A_c^{0.5} / 0.3)^{-3/4}\} \quad \dots(3.4.2)$$

$$\Delta P_r = P_{t0} \cdot \gamma_0 \quad \dots(3.4.3)$$

$$\gamma_0 = r_1 \cdot P_{t0} / T_{us} \cdot (P_{t0} / T_{us} - 1.0) + r_2 \quad [P_{t0} / T_{us} \geq 0.5, P_{t0} / T_{us} < 0.5 : = 0.5] \quad \dots(3.4.4)$$

$$P_i = P_t + \Delta P_{st} \quad [P_i \leq P_M (= \min(0.9 \cdot T_{ys}, L_A \cdot \min(\tau_{by} \cdot U, \tau_g \cdot D_A \cdot \pi) / 1.25))] \quad \dots(3.4.5)$$

$$\Delta P_{st} = K_r(P) \cdot S_t \quad \dots(3.4.6)$$

ここに、

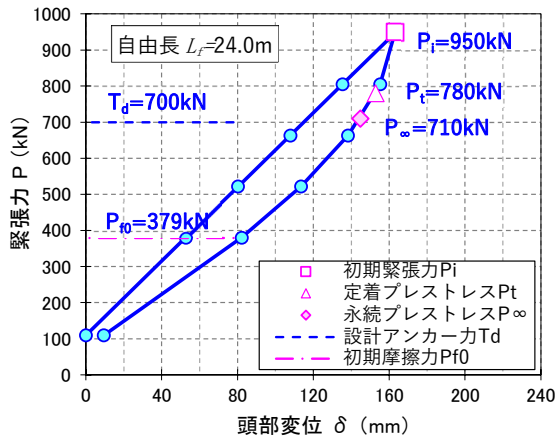
- ・ P_t : 定着プレストレス (kN)
- ・ P_∞ : 永続プレストレス (kN)
- ・ ΔP_c : 地盤クリープ低下力 (kN)
- ・ ΔP_r : リラクセーション低下力 (kN)
- ・ P_i : 初期緊張力 (kN)
- ・ ΔP_{st} : セットロス (kN)
- ・ S_t : セット量 (=10mm)
- ・ T_d : 設計アンカー力 (kN)
- ・ α_c : クリープ変位係数 (推奨値: 1.0~3.0、平均 2.0)
- ・ A_c : 受圧体面積 (m²)
- ・ N : 受圧体支持地盤 N 値
- ・ P_{t0} : リラクセーション用プレストレス (kN)
- ・ γ_0 : 純リラクセーション率 (%)
- ・ T_{us} : テンドン極限耐力 (kN)
- ・ P_M : 限界緊張力 (kN)
- ・ T_{ys} : テンドン降伏耐力 (kN)
- ・ L_A : アンカー体長 (mm)
- ・ τ_{by} : テンドンとグラウトの降伏付着強度 (N/mm²)
- ・ U : テンドン見掛け周長 (mm)
- ・ τ_g : アンカー体設置地盤の摩擦強度 (N/mm²)
- ・ D_A : 設計アンカー体径 (mm)
- ・ r_1, r_2 : PC 鋼より線の純リラクセーション係数(下表)

PC 鋼より線の種類	r_1	r_2
普通リラク PC 鋼より線	1.92	0.51
ECF リラク PC 鋼より線	1.60	0.42
低リラク PC 鋼より線	0.48	0.13

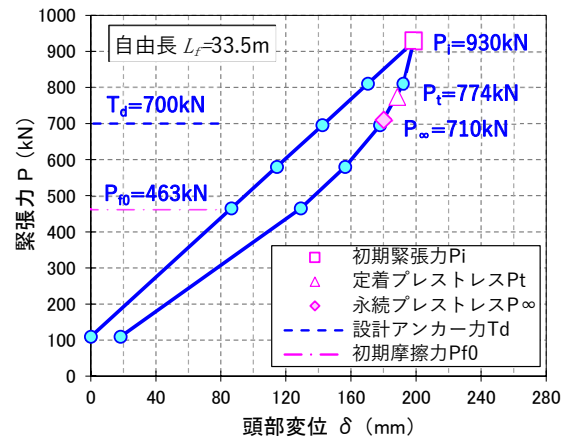
参表-3.4.2 厳密法による定着プレストレス P_t と初期緊張力 P_i の設定事例

項目	単位	δ (mm)	P (kN)	摘要
永続プレストレス P_∞	mm, kN	144.81	710.0	
リラクセーション考慮 $P_\infty + \Delta P_r$	mm, kN	147.37	730.4	
純リラクセーション率 γ_0	—	—	0.028	
収束判定	—	0.00	730.36	← 710.0 (初期入力)
受圧体地盤の N 値	—	30	—	
受圧体面積 A_c	m ²	4.30	—	
クリープ変位係数 α_c	—	2.00	—	1.0~3.0 範囲
地盤クリープ変位 δ_c	mm	5.52	—	
収束判定	—	0.00	780.18	← 781.0 (初期入力)
定着プレストレス P_t	mm, kN	152.89	780.18	
セット量 S_t	mm	10.0	—	
収束判定	—	0.00	946.22	← 852.0 (初期入力)
初期緊張力 P_i	mm, kN	162.96	950.00	収束
0.9 × 降伏耐力 $T_{ys}(P_M)$ の照査	—	OK	≦ 982.8	
				【 収束 】

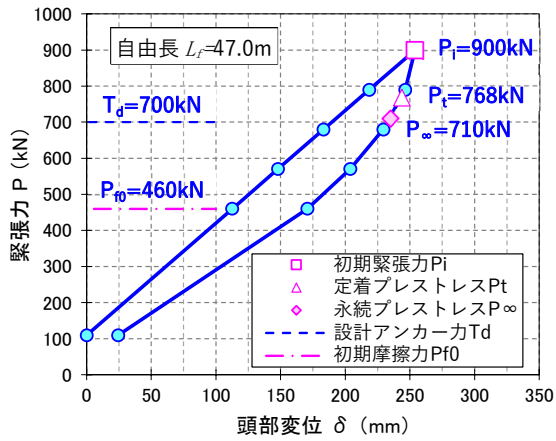
注) 1. 黄色セルは、数値の初期入力部、ピンク色は、収束解析結果である。



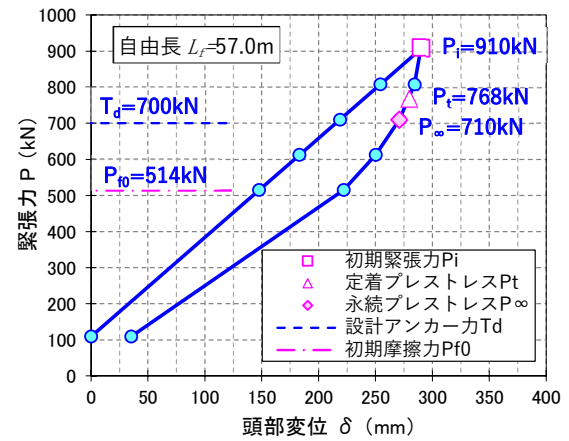
(a) 自由長 $L_f=24.0\text{m}$



(b) 自由長 $L_f=33.5\text{m}$



(c) 自由長 $L_f=47.0\text{m}$



(d) 自由長 $L_f=57.0\text{m}$

参図-3.4.1 施工管理用プレストレス P_i , P_t の厳密法による求解

3.5 簡便法による定着プレストレスの施工管理

前述の厳密法は、アンカー緊張試験を厳密にトレースして、緊張・定着のプレストレス(アンカー力)を正確に評価できるが、やや煩雑になることから、ここでは別法として簡便法を示す。

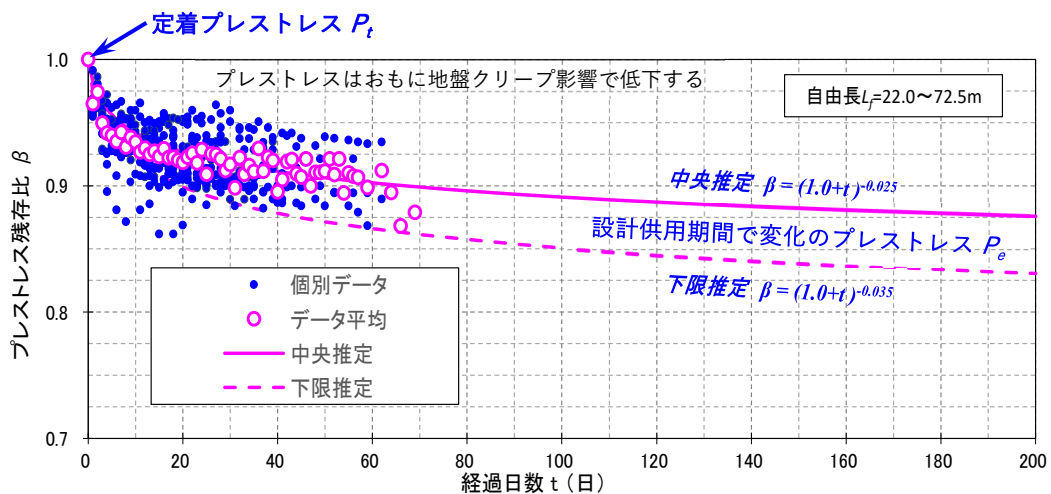
本手法は、現場地盤状態が複合・互層などの複雑な場合、現場条件により地盤クリープ挙動推定が困難な場合などに活用できる。本手法は、簡便的に、経験的手法により定着直後の定着プレストレス P_t を設定するものであり、永続プレストレス P_e をもとに、その 1.15~1.25 倍 (平均 1.20) 程度を目安値とする。

参図-3.5.1 に現場実測に基づき、設計供用期間で変化するプレストレス P_e の残存比 β の挙動傾向を示しており、施工数年にわたりアンカープレストレスは自由長部地盤のクリープ影響やテンドンの純リラクセーション影響を受けたものになる。

本プレストレス低下挙動の現場地盤条件は、のり面からアンカー体までの全体が換算 N 値 100 程度の DH~CL 級の風化岩である。同図の個別データは、荷重計付アンカーの各経時挙動、データ平均は、同一経過日数が得られたアンカーデータのみを平均化したもの、中央推定はデータ平均の回帰式であり、相関係数 r は $r=0.884$ である。なお、下限推定は、中央推定をもとにして設定している。

プレストレス P_e の経時挙動は、同図に見られるように、定着後の 10 日程度で急激に低下し、その後緩慢であるが徐々に低下している。本現場でのプレストレス低下挙動は、岩盤地すべりのアンカー対策で、部分的な緩み地盤帯もやや含まれることから、おもにのり面近傍地盤のクリープ剛性影響とのり面近傍から深部地盤の応力伝播分布のクリープ剛性影響が複合して発生したものと考えられる。いずれにしても、DH~CL 級の風化岩地盤であっても地盤クリープ影響により、アンカープレストレス低下が発生することから、これに留意して定着プレストレスを設定することが重要である。

したがって、簡便法による定着プレストレスは、前述のように、永続プレストレス P_e の 1.15~1.25 倍 (平均 1.20) 程度を目安値に施工管理することを推奨する。



参図-3.5.1 プレストレス P_e の残存比 β の挙動傾向

簡便法による定着プレストレス P_t と初期緊張力 P_i の設定式を、参式(3.5.1)、(3.5.2)に示す。初期緊張力は、セット量 10mm と除荷剛性 S_{rs} を考慮した、参式(3.5.3)のセットロス ΔP_{st} を加えて、初期緊張力を設定する。簡便法では、これらの値を用いて、アンカー緊張・定着の施工管理を行う。参表-3.5.1 に簡便法を用いたプレストレスの設定事例を示す。

なお、参式(3.5.5)の除荷剛性 S_{rs} に替えて、現場の各アンカーの緊張試験結果から、除荷挙動のアンカー力パラメータの上除荷剛性 K_{rl} となる参式(3.2.7)を用いることで、個別アンカーの定着プレストレスの施工管理精度が上がることから、補強構造物の長期的な品質向上ができる。

以上より、簡便法を用いても、従来技術で困難であった施工管理が可能になり、補強構造物の設計供用期間の長期的な耐荷性能の保持で、品質がより向上できる。

■ アンカー緊張挙動パラメータ K_f 、 κ_f の算定

$$P_t = \alpha_p \times P_\infty \quad [P_\infty \geq T_d] \quad \dots(3.5.1)$$

$$P_i = P_t + \Delta P_{st} \quad [P_i \leq P_M (= \min(0.9 \cdot T_{ys}, L_A \cdot \min(\tau_{by} \cdot U, \tau_g \cdot D_A \cdot \pi) / 1.25))] \quad \dots(3.5.2)$$

$$\Delta P_{st} = S_t \times K_e \times S_{rs} \quad \dots(3.5.3)$$

$$K_e = A \cdot E / (L_f + 0.25 \cdot L_A) \quad \dots(3.5.4)$$

$$S_{rs} = 1.0 + 0.08 \cdot L_f \quad \dots(3.5.5)$$

ここに、

- ・ P_t : 定着プレストレス (kN)
- ・ P_∞ : 永続プレストレス (kN)
- ・ α_p : 低下力割増係数 (=1.15 ~ 1.25)
- ・ P_i : 初期緊張力 (kN)
- ・ ΔP_{st} : セットロス (kN)
- ・ S_t : セット量 (=10mm)
- ・ S_{rs} : 除荷剛性係数
- ・ K_e : 弾性剛性 (kN/mm)
- ・ A : アンカー断面積 (mm²)
- ・ E : アンカー弾性係数 (=0.195MN/mm²)
- ・ L_f : 自由長 (m)
- ・ L_A : アンカー体長 (m)
- ・ T_d : 設計アンカー力 (kN)
- ・ P_M : 限界緊張力 (kN)
- ・ T_{ys} : テンドン降伏耐力 (kN)
- ・ τ_{by} : テンドンとグラウトの降伏付着強度 (N/mm²)
- ・ U : テンドン見掛け周長 (mm)
- ・ τ_g : アンカー体設置地盤の摩擦強度 (N/mm²)
- ・ D_A : 設計アンカー体径 (mm)

参表-3.5.1 簡便法による定着プレストレス P_t と初期緊張力 P_i の施工管理値の設定事例

項目	単位	CASE01	CASE02	CASE03	CASE04	摘要
アンカー規格	—	EHD5-7H	EHD5-7H	EHD5-7H	EHD5-7H	
アンカー弾性係数 E	MN/mm ²	0.195	0.195	0.195	0.195	
アンカー断面積 A	mm ²	690.9	690.9	690.9	690.9	
自由長 L_f	m	24.00	33.50	47.00	57.00	
アンカー体長 L_A	m	8.50	8.50	8.50	8.50	
弾性剛性 K_e	kN/mm	5.157	3.782	2.743	2.279	参式(3.5.4)
除荷剛性係数 S_{rs}	—	2.92	3.68	4.76	5.56	
セット量 S_t	mm	10.0	10.0	10.0	10.0	
低下力割増係数 α_p	—	1.15	1.15	1.15	1.15	
永続プレストレス P_∞	kN	710.0	710.0	710.0	710.0	
定着プレストレス P_t	kN	816.5	816.5	816.5	816.5	参式(3.5.1)
セットロス ΔP_{st}	kN	150.6	139.2	130.5	126.7	参式(3.5.3)
初期緊張力 P_i	kN	970.0	960.0	950.0	945.0	参式(3.5.2)

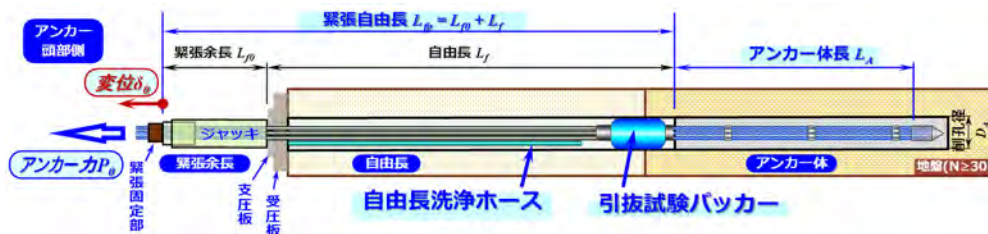
参 4. 引抜試験計画の事例

4.1 概説

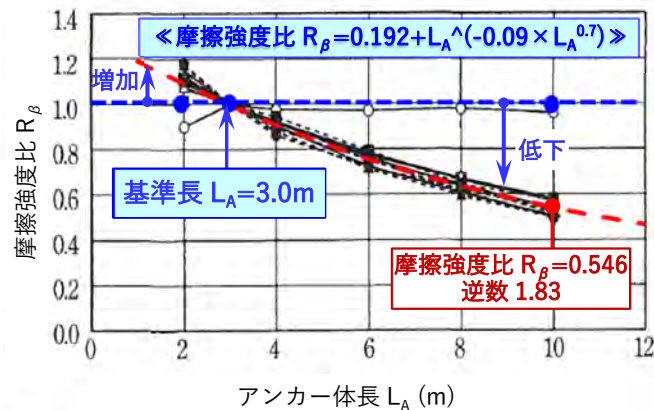
アンカー引抜試験は、現場条件やアンカー体地盤に応じて、適切に設計・施工・試験を実施する必要がある。引抜試験のアンカー構成を参図 4.1.1 に示す。

試験計画のおもなポイントは、次の通りである。

- ①アンカー摩擦強度は、参図 4.1.2 に示すように、アンカー体長 L_A で変化する、「寸法効果」があるので、引抜試験ではこれを考慮する
- ②引抜試験のアンカー体長は、可能な限りアンカー体長 $L_A=3.0\text{m}$ (基準長)が望ましい
- ③アンカー体長 $L_A=3.0\text{m}$ 未満の場合は、最大試験力 T_p や引抜摩擦強度 τ_{gy} で係数調整を行う
- ④受圧板設置の地盤は、短期許容支持力を確保する
- ⑤アンカー体境界には、引抜試験パッカーを設置する
- ⑥アンカー体造成後は、自由長グラウトを洗浄する
- ⑦試験後は、自由長部をグラウトなどで充填する



参図-4.1.1 アンカー引抜試験のアンカー構成



(JGS4101-2012p160 付録図-6.9(b) 加筆転載)

参図-4.1.2 摩擦強度のアンカー体長による寸法効果

4.2 引抜試験の設計

引抜試験の設計は、参式(4.2.1)～(4.2.5)により実施する。参式(4.2.1)、(4.2.2)は、最大試験力 T_p 設計の必要条件である。最大試験力 T_p は、参式(4.2.3)のように、計画摩擦耐力 P_f を 10kN 単位で丸めたものとする。

引抜試験結果の降伏摩擦強度 τ_{gy} は、参式(4.2.4)を用いて、試験結果の試験摩擦耐力 P_{f1} を試験アンカー体長とアンカー体径周長で除したものとする。参式(4.2.5)により、検証用降伏摩擦強度 τ_{gy0} と照査する。

なお、下表の試験力割増係数 β_0 と引抜力低減係数 β_1 は、参図 4.1.2 に示した摩擦強度比 R_β から求めたものであり、これら係数は試験アンカー体長 L_0 に応じたものを選択する。

参表 4.2.1 に、引抜試験のアンカー体径 D_{A0} を $\phi 90$ 、 $\phi 115$ 、 $\phi 135$ に設定した場合の引抜試験仕様事例を示す。本設地盤アンカーは、最小削孔径 $\phi 90$ なので、同表(a)の適用を標準とする。仮設残置アンカーの摩擦耐力調査の場合は、最小削孔径 $\phi 115$ なので、同表(b)を適用する。仮設除去アンカーの摩擦耐力調査の場合は、最小削孔径 $\phi 135$ なので、同表(c)を適用する。

■引抜試験の最大試験力 T_p 設計の必要条件

$$T_p \leq P_{Mt} \text{ かつ } T_p \leq P_b = \tau_{by} \cdot L_0 \cdot U \quad \dots(4.2.1)$$

$$T_p \leq 1.5 \cdot q_a \cdot A_0 \quad \dots(4.2.2)$$

■最大試験力 T_p (kN)の設計

$$T_p = \text{ceiling}(\beta_0 \cdot \tau_{gy0} \cdot L_0 \cdot \pi \cdot D_{A0}, 10.0) \quad \dots(4.2.3)$$

(T_p : 計画摩擦耐力 $P_f = \beta_0 \cdot \tau_{gy0} \cdot L_0 \cdot \pi \cdot D_{A0}$ を 10kN 単位で丸めたもの)

■引抜試験結果の降伏摩擦強度 τ_{gy} の評価

$$\tau_{gy} = \beta_1 \cdot P_{f1} / (L_0 \cdot \pi \cdot D_{A0}) \quad \dots(4.2.4)$$

■降伏摩擦強度の試験値 τ_{gy} の照査

$$\tau_{gy} \geq \tau_{gy0} \Rightarrow OK \quad \dots(4.2.5)$$

ここに、

- ・ T_p : 引抜試験の最大試験力 (kN)
- ・ P_{Mt} : テンドン限界緊張力 (=0.9 T_{ys} kN)
- ・ T_{ys} : テンドン降伏耐力 (kN)
- ・ P_b : 降伏付着耐力 (kN)
- ・ τ_{by} : 降伏付着強度 (EHD アンカーHP 工法 : $\tau_{by}=4.41\text{N/mm}^2$)
- ・ L_0 : 試験アンカー体長 (m)
- ・ U : 試験アンカー規格の見掛け周長 (mm)
- ・ q_a : 受圧板設置地盤の長期許容支持力 (kN/m²)
- ・ A_0 : 引抜試験用の受圧板面積 (m²)
- ・ β_0 : 試験力割増係数 (下表参照)
- ・ τ_{gy0} : 検証用降伏摩擦強度 (N/mm²)
- ・ D_{A0} : 試験アンカー体径 (mm)
- ・ τ_{gy} : 引抜試験結果の降伏摩擦強度 (N/mm²)
- ・ β_1 : 引抜力低減係数 (下表参照)
- ・ P_{f1} : 引抜試験結果の試験摩擦耐力 (kN)

表 試験力割増係数 β_0 ・引抜力低減係数 β_1

	試験アンカー体長 L_0 (m)				
	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
試験力割増係数 β_0	1.05	1.10	1.15	1.20	1.25
引抜力低減係数 β_1	1.000	0.955	0.913	0.874	0.839

参表-4.2.1 試験アンカー体径 D_{A0} 別の引抜試験仕様事例

(a) $D_{A0} = \phi 90\text{mm}$ の引抜試験仕様

アンカー体地盤		降伏摩擦強度 τ_{gy} (N/mm ²)	アンカー体長 L_0 (m)	アンカー規格	最大試験力 T_p (kN)	限界緊張力 $P_{Mt}=0.9T_{ys}$ (kN)
岩盤	硬岩	1.50	1.0	EHD5-4H	540.0	561.6
	軟岩	1.00	1.5	EHD5-4H	510.0	561.6
	風化岩	0.60	3.0	EHD5-4H	540.0	561.6
砂礫	N値 50	0.45	3.0	EHD5-3H	410.0	421.2
	30	0.25	3.0	EHD5-2H	230.0	280.8
砂	N値 50	0.30	3.0	EHD5-2H	270.0	280.8
	30	0.23	3.0	EHD5-2H	210.0	280.8

(b) $D_{A0} = \phi 115\text{mm}$ の引抜試験仕様

アンカー体地盤		降伏摩擦強度 τ_{gy} (N/mm ²)	アンカー体長 L_0 (m)	アンカー規格	最大試験力 T_p (kN)	限界緊張力 $P_{Mt}=0.9T_{ys}$ (kN)
岩盤	硬岩	1.50	1.0	EHD5-6H	680.0	842.4
	軟岩	1.00	1.5	EHD5-5H	660.0	702.0
	風化岩	0.60	3.0	EHD5-5H	690.0	702.0
砂礫	N値 50	0.45	3.0	EHD5-5H	520.0	702.0
	30	0.25	3.0	EHD5-5H	290.0	702.0
砂	N値 50	0.30	3.0	EHD5-5H	350.0	702.0
	30	0.23	3.0	EHD5-5H	270.0	702.0

(c) $D_{A0} = \phi 135\text{mm}$ の引抜試験仕様

アンカー体地盤		降伏摩擦強度 τ_{gy} (N/mm ²)	アンカー体長 L_0 (m)	アンカー規格	最大試験力 T_p (kN)	限界緊張力 $P_{Mt}=0.9T_{ys}$ (kN)
岩盤	硬岩	1.50	1.0	EHD5-7H	800.0	982.8
	軟岩	1.00	1.5	EHD5-7H	770.0	982.8
	風化岩	0.60	3.0	EHD5-7H	810.0	982.8
砂礫	N値 50	0.45	3.0	EHD5-7H	610.0	982.8
	30	0.25	3.0	EHD5-7H	340.0	982.8
砂	N値 50	0.30	3.0	EHD5-7H	410.0	982.8
	30	0.23	3.0	EHD5-7H	310.0	982.8

4.3 引抜試験体の施工

引抜試験体の施工は、次の手順で実施する。

- ①削孔
- ②孔内洗浄
- ③グラウト注入
- ④引抜試験パッカー付テンドン挿入
- ⑤ケーシング引上げ
- ⑥ケーシング加圧注入(圧力 0.3~0.5MPa)
- ⑦引抜試験パッカー水膨張
- ⑧自由長部グラウト洗浄
- ⑨養生
- ⑩引抜試験パッカー圧力解放
- ⑪引抜試験
- ⑫自由長空孔の充填



《引抜試験パッカー：鋼管・ゴム・布の3層構造とする》

【特長】

- ・自由長・アンカー体境界の水膨張・解放で、引抜抵抗がゼロ
- ・パッカー移動がなく、適正・確実な縁切り効果が得られる

参図-4.3.1 引抜試験パッカー

4.4 引抜試験の実施とデータ整理

4.4.1 引抜試験の実施

引抜試験の実施仕様は、参表-4.4.1 に示す通りとする。

参表-4.4.1 アンカー引抜試験の実施仕様

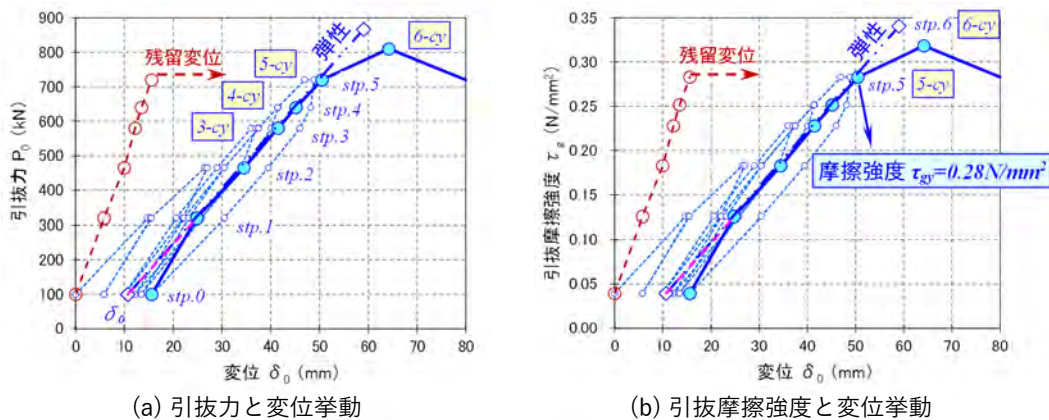
項目	引抜試験
①目的	・試験により、アンカー体設置地盤の摩擦強度を求める ・結果は、検証用値の照査に活用
②対象アンカーと本数	・現場の適切な位置で、施工前に実施 ・一般に1本が標準 ・広範囲の場合などは、必要に応じて増数
③緊張除荷方法	・試験は緊張除荷の多段サイクル(6cy) ・サイクル毎にステップ試験力を実施
④最大試験力 T_p	・参式(4.2.3)による、計画値を採用 ・計画値で引抜けられない場合は、最大 $0.9T_{ys}$ まで緊張
⑤初期試験力 P_0	・ $0.10T_p \sim 0.10T_{ys}$ の範囲で設定
⑥試験力ステップ数	・ $T_{ij} = T_p \times (0.4, 0.55, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0)$ の6分割
⑦試験力サイクル数	・同上分割の6cyでの多段サイクル
⑧試験力保持時間	・cy 最大：5～60min (変位安定 0.3mm/min 以下で除荷開始) ・stp 間：0.5～1min
⑨評価指標	・摩擦耐力 P_{fl}
⑩結果の利用方法	・摩擦耐力 P_{fl} から、 $P_{fl} \geq T_p$ を照査する

4.4.2 試験結果のデータ整理

引抜試験結果のデータ整理は、参図-4.4.1 のように行い、試験摩擦耐力 P_{fl} から、 $P_{fl} \geq T_p$ を照査して、降伏摩擦強度 τ_{gy} が検証用降伏摩擦強度 τ_{gy0} 以上であることを確認する。 $\tau_{gy} < \tau_{gy0}$ の場合は、原設計のアンカー体長の変更設計が必要なので留意する。

なお、引抜試験の変位挙動は、自由長部グラウト洗浄により自由長摩擦がない状態であり、同図の多段サイクル繰返し毎の $stp.0$ 点での変位移動は、アンカー体内で生じるアンカー体自由長の進展影響によるものである。

引抜直前の変位挙動は、同図に示した理論弾性剛性 $K_e = AE / (L_{fp} + 0.5 \cdot L_0)$ 、 L_0 ：試験アンカー体長、とほぼ一致した勾配になる。これにより、試験アンカー体が適正に造成されたことが確認できる。



参図-4.4.1 引抜試験の整理結果

■注意事項

1. EHD アンカーHP 工法は、KJS 協会会員のグラウンドアンカー施工会社により施工を行うものです。この施工技術の専門性により、本工法の施工品質は、安全・安心、かつ適正に確保できます。
2. グラウンドアンカーの設計・施工・維持管理にあたっては、本マニュアルの建設工学上の理論・目的・設計の考え方などを考慮のもと、関連する最新の法規・示方書・基準・指針・要領などを準拠・参考の上、適正に実施することをお願いします。
3. 本マニュアルの記載内容は、設計・施工・維持管理の最新の技術・改善などに対応するため、必要に応じて、予告なく変更する場合があります。あらかじめご了承ください。
4. 本マニュアルの記載内容、および設計方法に関するご質問、または本工法に関するお問合せは、弘和産業(株)までお願いします。

発行元 K J S 協会
製品販売元 弘和産業株式会社
〒198-0023 東京都青梅市今井 3-3-12
TEL. 0428-32-2811 (代表)
MAIL kowa@kowa-anchor.co.jp
URL <http://www.kowa-anchor.co.jp/>

K J S 協会事務局 弘和産業(株)内
〒198-0023 東京都青梅市今井 3-3-12
TEL 0428-32-2811 (代表)

発行 : 2023 年 4 月 3 日
第 1 回改訂 : 2023 年 10 月 2 日