

グラウンドアンカーのテンドンとグラウトの付着強度

グラウンドアンカー 付着強度 引抜試験

弘和産業(株) 正会員 ○川崎 廣貴
弘和産業(株) 野口 明
弘和産業(株) 正会員 末吉 達郎

1. はじめに

グラウンドアンカーのアンカー体では、アンカー力を与えられたプレストレス状態のテンドンが直接グラウトと接触し、この界面での付着抵抗により、アンカー力はテンドンからグラウトに伝達される。さらに、グラウト外周面と地盤との界面での摩擦抵抗により、アンカー力が地盤まで伝達することで、アンカー体は地盤に拘束状態となる。これにより、グラウンドアンカーは、頭部でのアンカー緊張・定着後に自由長間の構造物や地盤にプレストレスを与えることができる。当該部の挙動は、テンドン・グラウト・地盤の3層2界面の境界値問題であり、アンカーの種類が引張型・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雑なものとなっている。

一方、現場でアンカーの引抜試験を実施して、アンカー体と地盤の極限摩擦抵抗を求める場合は、グラウトとテンドンの付着強度(極限付着抵抗力÷見掛け周長)を設定して、付着切れが生じずに、地盤との極限摩擦抵抗が求まるアンカーの試験仕様を設計する必要がある。しかし、グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説(アンカー基準)¹⁾では、許容付着応力度のみが記され、付着強度が明示されていないことから、引抜試験の仕様を設定する上で、困難性が生じている。

ここでは、グラウトとテンドンの付着試験の実施による付着強度検討、およびコンクリート標準示方書(コ示)²⁾の異形鉄筋の付着強度式とアンカー基準の許容値との関係から付着安全係数の算定を試みたので、その結果を報告する。

2. グラウトとテンドンの付着試験に基づく付着強度検討

2.1.1 付着試験の準拠規格

現在、アンカー体のグラウトとテンドン(引張型：PC鋼より線)、およびグラウトと拘束具(圧縮型・分散型)の付着試験に適用可能な試験規格は、次の3種類である。これらの概要をまとめて表-1に示す。本試験は、普通PC鋼より線φ12.7で試験を行い、ISO規格と同一の引抜荷重評価である規格①で実施した。グラウト強度は、 $f'_{ck}=26.9\text{N/mm}^2$ である。

- ・規格①：JSCE-E 736-2010 内部充てん型エポキシ樹脂被覆PC鋼より線試験方法—引抜き試験—(案)³⁾
- ・規格②：JSCE-G 503-2010 引抜き試験による鉄筋とコンクリートとの付着強度試験方法(案)⁴⁾
- ・規格③：JSCE-E 516-2010 樹脂被覆鉄筋の付着強度試験方法(案)⁵⁾

表-1 テンドン・拘束具の付着試験(引抜試験)の規格一覧

	規格①	規格②	規格③
試験対象	普通PC鋼より線や付着型 ECF ストラットの規定。PC鋼より線を対象にした唯一の規定。	D16～D51の異形鉄筋を対象に規定。広範囲の直径に適用可。	D19に限定し、樹脂被覆鉄筋または異形鉄筋を対象に規定
供試体寸法	一辺150mm立方体。付着長75mm+自由長75mm=150mm	一辺100～300mm範囲、鉄筋径Dの6倍の立方体。付着長4D+自由長2D程度=6D程度	一辺150mm立方体。付着長75mm+自由長75mm=150mm
グラウト圧縮強度	コンクリート強度： $30\pm 3\text{N/mm}^2$ (アンカー用は、グラウト 24N/mm^2 以上が標準なので、強度を読替えて適用する)		
付着強度算定規定	変位測定側自由端の最大すべり量を0.02mm(φ12.7)、0.03mm(φ15.2)と規定し、最大すべり量時の値もしくはそれまでの最大値を初滑荷重とする。普通PC鋼より線の結果との割合を求める。なお、初滑荷重をPC鋼より線の見掛け周長で除すことで、アンカーの極限付着強度が求まる。	変位測定側自由端の最大すべり量の規定はない。単に、「すべり量0.002Dの荷重および最大荷重を記録する」との記載のみ。付着応力度は、 $\tau=P\cdot(30/f_c)/4\pi D^2$ にて求める。上式の試験体長はL=4Dである。	変位測定側自由端の最大すべり量の規定はない。単に、「すべり量0.04mmの荷重および最大荷重を記録する」との記載のみ。付着応力度は、 $\tau=222P\cdot(30/f_c)\times 10^{-6}$ にて求める。無塗装鉄筋の結果との割合を求める。
PC鋼材への適性評価	・初滑荷重の規定は、アンカー体付着試験として適性 ・PC鋼より線に適性	・初滑荷重の規定を設けることで、アンカー体付着試験に適性 ・圧縮型などの拘束具に適性	—

2.1.2 普通PC鋼より線の試験結果と付着強度

付着試験の概念を図-2、付着応力とすべり変位の関係の試験結果は、全体挙動と初滑荷重挙動に分け図-3示す。同図(a)では同規格解説で示されている、初滑荷重(初期の付着切れ)後の変位増加に伴う、より線回転抵抗の影響を受けた付着応力の見掛け上の増加が見られる。同図(b)では、最大すべり量の規定限界0.02mm以下で、初滑荷重に当る初期の付着応力増加がほぼ終了し、その後に付着応力がやや減少する範囲が存在することが分かる。また、初滑荷重に達するまでのすべり変位は極めて小さいことから、同規定の最大すべり量の限界値0.02mmは、適正なものであると首肯でき、本試験により、PC鋼より線の付着強度を適正に評価できると考える。なお、3本の付着強度の平均は、 $\tau_{bu}=2.57\text{N/mm}^2$

Bond strength between tendon and grout of ground anchor

KAWASAKI Hirotaka Kowa Sangyo Corp.
NOGUCHI Akira Kowa Sangyo Corp.
SUEYOSHI Tatsuro Kowa Sangyo Corp.

となり、これは後述のアンカー規準の許容値 0.8N/mm^2 ($f'_{ck}=24\text{N/mm}^2$) に比べて、約 3.2 倍の値となった。

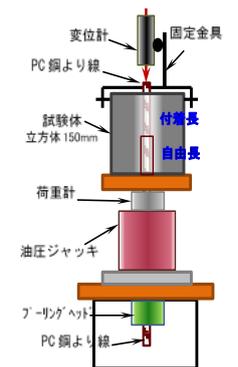


図-2 付着試験の概念

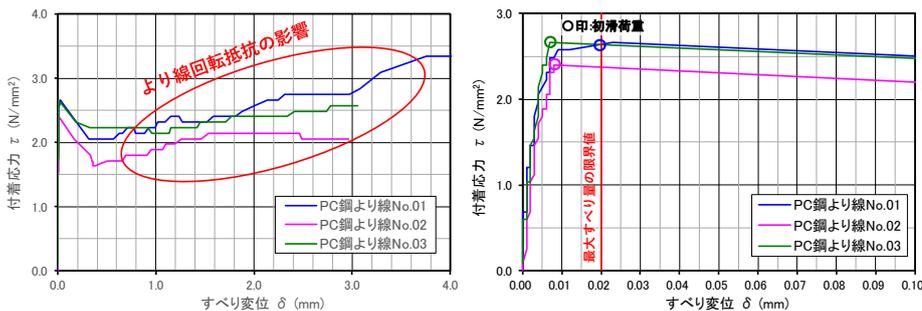


図-3 普通 PC 鋼より線の付着試験結果

3. アンカー基準の PC 鋼材の付着強度と付着安全係数

ここでは、テンドン・グラウト界面の付着強度と付着安全係数 f_{sb} (安全余裕度) について考察する。アンカー規準の PC 鋼材(より線・鋼棒)のランク A、B の許容付着応力度 τ_a を、表-2 に示すが、ランク A の値は 1976 年版旧コ示に基づくものであり、ランク B の値はアンカー基準で独自に定められたものである。一方、コ示²⁾では、異形鉄筋 (=異形 PC 鋼棒) の極限付着強度 τ_{bu} が、 $\tau_{bu}=0.28f'_{ck}{}^{2/3} \cdot \cdot (1)$ で表されている。コ示の PC 構造物では、コンクリートの設計基準強度が必ず $f'_{ck}=30\text{N/mm}^2$ 以上なので、これを基に同式からの τ_{bu} と同表の異形 PC 鋼棒の許容値 τ_{ba} との関係から、その比となる付着安全係数 f_{sb} は、 $f_{sb}=1.5$ と算定できる。同様に、式(1)の係数 0.28 に相当する PC 鋼より線用の係数 α を逆算的に求めると、 $\alpha=\tau_{ba} \cdot f_{sb}/f'_{ck}{}^{2/3}=1.35 \times 1.5/30^{2/3}=0.21$ となる。したがって、PC 鋼より線の極限付着強度 τ_{bu} は、 $\tau_{bu}=0.21f'_{ck}{}^{2/3} \cdot \cdot (2)$ で表される。同表の PC 鋼より線のランク A とランク B の許容値(短期/長期)の間に長期用安全係数 $f_i=1.5$ が存在するので、これを考慮した付着安全係数 f_{sb} は $f_{sb}=2.25$ と設定できる。これらを整理したものを、表-2 に改めて示している。

表-2 テンドンの極限付着強度 f_{bok} と許容付着応力度 τ_{ba} の関係 (N/mm²)

PC 鋼種別	PC 鋼より線		異形 PC 鋼棒(拘束具)		備考	
	アンカー型式		異形 PC 鋼棒(拘束具)			
	引張型		圧縮型・分散型			
グラウト設計基準強度 f'_{ck}	24	30	24	30		
許容付着 応力度 τ_{ba}	ランク B(短期)	1.20	1.35	1.60	1.80	アンカー基準 ¹⁾
	ランク A(長期)	0.80	0.90	1.60	1.80	
材料安全係数 f_m	1.50	1.50	1.50	1.50		
長期用安全係数 f_i	1.50	1.50	1.00	1.00		
付着安全係数 f_{sb}	2.25	2.25	1.50	1.50		
極限付着強度 τ_{bu}	1.747	2.028	2.330	2.703	式(2),(1)の算定値	

以上より、テンドン・グラウト界面の極限付着強度 τ_{bu} は普通 PC 鋼より線が式(2)、異形 PC 鋼棒(拘束具)が式(1)と一般式化され、ランク A の付着安全係数 f_{sb} は PC 鋼より線で 2.25、異形 PC 鋼棒(拘束具)で 1.50 となるのが明らかになった。これにより、極限付着強度や許容付着応力度が任意のグラウト設計基準強度 f'_{ck} で設定できるので、引抜試験の仕様設定、および室内実験や現場での試験結果の評価・考察の際には、有用なものになると考える。ちなみに、前述の付着試験のグラウト圧縮強度の $f'_{ck}=26.9\text{N/mm}^2$ では、極限付着強度 τ_{bu} が $\tau_{bu}=1.885\text{N/mm}^2$ と計算できるが、実際の試験結果は $\tau_{bu}=2.57\text{N/mm}^2$ であったことから、結果はより大きな値が得られたと評価できる。

なお、グラウンドアンカーの普通 PC 鋼より線と異形 PC 鋼棒のグラウトとの付着安全係数 f_{sb} に関して、アンカー基準がそれぞれに 2.25 と 1.50 という異なる安全係数を設定していることは、留意点である。グラウトと地盤との摩擦抵抗の安全率が $f_s=2.5$ であることから、圧縮型アンカーでは安全率の差が大きく、グラウト側への負担が大きくなるので、ここも留意点であり、今後、地盤の摩擦抵抗とグラウトの付着抵抗の安全性の尺度を統一することも一考であろう。

4. おわりに

アンカーの付着強度は、その挙動が鉄筋コンクリートの抵抗機構と異なるものとする。すなわち、鉄筋コンクリートはコンクリートのひび割れが鉄筋で制御されるため、コンクリートに作用する引張力が小さく、かつ鉄筋定着部ではフックが設けられ、高い抵抗性があるが、他方、アンカー体では、大きなプレストレスが継続的に長期に作用し、グラウト内に鉄筋などが無いことから、引張やせん断に伴うひび割れが制御しにくく、これが付着特性に影響する。

本研究では、この付着強度に関して、要素試験である付着試験や文献^{1)~5)}を通じて、極限值や安全係数を求め、設計施工の実務上で活用できるように心掛けたつもりである。本論文が何らかの参考になれば、幸甚である。

【参考文献】

- 1) 地盤工学会：グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説，JGS4101-2012，pp. 76
- 2) 土木学会：2017年制定 コンクリート標準示方書 [設計編]，pp. 39
- 3) 土木学会：エポキシ樹脂を用いた高機能PC鋼材を使用するプレレストコンクリート設計施工指針(案)，pp. 182-187
- 4) 土木学会：2010年制定 コンクリート標準示方書 [規準編]，pp. 279-282
- 5) 土木学会：2010年制定 コンクリート標準示方書 [規準編]，pp. 100-103