# グラウンドアンカーの新しい定着設計方法

グラウンドアンカー アンカー定着 自由長摩擦

弘和産業㈱ 正会員 ○川崎 廣貴 清水建設㈱ 正会員 河田 雅也

### 1. はじめに

グラウンドアンカー(以下、アンカー)には、緊張・除荷過程で自由長摩擦の影響挙動が存在するが、これを考慮した アンカー定着設計方法が未だに確立しておらず、解決すべき課題となっている。

ここでは、アンカー自由長摩擦を考慮したアンカー力設計モデルと緊張除荷挙動解析式を構築し、長尺アンカー施工 の現場データ1)をもとにパラメータ実測式を求め、アンカーリラクセーションや地盤クリープを考慮して、アンカー定 着設計方法を新たに考案したので、その内容を報告する。

## 2. アンカー自由長摩擦を考慮したアンカー力設計モデル

アンカーは、テンドン(PC 鋼より線束)・頭部・自由長・アンカー体の部位からなり、頭部のテンドンは定着具で受圧体 に定着し、頭部との正対側はテンドンをアンカー体で地盤固着している。その間の自由長は、テンドンがシース被覆で 伸縮可能状態であり、頭部でテンドンを緊張・定着することで、定着具とアンカー体間にアンカー力(プレストレス)が

作用する。アンカー体は、テンドンがグラウトを介して地盤に固着し、 アンカー力をせん断伝達する機能を有する。

自由長摩擦は、自由長内グラウト拘束に伴うテンドン・シース間摩 擦であり、この支配因子は、自由長部の長さ摩擦、アンカー削孔曲り、 テンドン挿入時たわみとケーシング引抜時回転の4種類である。本摩 擦により、アンカー緊張過程で伸び変位が小さくなる。アンカー除荷 過程では反転摩擦挙動になることから、地盤クリープ変位などによる プレストレス低下量はやや急勾配の非線形での減少挙動になる。

図-1は、アンカー緊張除荷挙動の事例として、緊張力の多段サイク ル載荷の適正試験結果を示したものである。同図の最終サイクルの緊 張除荷挙動に着目すると、起点  $stp.0(\delta_0,P_0)$  ⇒最大点  $stp.i(\delta_i,P_i)$  ⇒終点  $stp.0r(\delta_{0r},P_{0r})$ に見られるように、摩擦影響は緊張除荷でループ挙動に

なることが分かる。特に、最大点から除荷側の緊張力低 下は大きな剛性勾配になり、アンカー初期緊張や定着後 のプレストレス低下量が大きくなるので、設計供用期間 で適正なプレストレスを永続的に保持するためには、こ の影響を考慮することが重要になる。

図-2 に、自由長摩擦考慮のアンカー力設計モデルを 示す。ここで、自由長摩擦がアンカー長方向に一定と考 えると、アンカー体側のアンカー力 Pil は頭部アンカー 力  $P_{i0}$  から低下した、 $P_{il} = \kappa_f \cdot P_{i0}$  と表せる。  $\kappa_f$  は、アン カー力伝達係数と定義する、≦1.0 の係数である。同図 から頭部の緊張過程のアンカー緊張変位 δι は緊張摩擦 剛性  $K_f$  を用いて式(1)で表せる。

除荷過程は、図-1の最大点から終点ま でをアンカー力 Pの3次曲線で表し、除 荷変位 δ<sub>r</sub> は式(2)で表す。同式の未定係 数  $A_1 \sim A_3$  は、上除荷剛性  $K_{rl}$ ・下除荷剛 性  $K_{r\theta}$ ・終点( $\delta_{\theta r}$ , $P_{\theta r}$ )が既知なので、式(5) ~(10)で求まる。図-3 の現場データの近 似から、 $\kappa_f \cdot S_{rl} \cdot S_{r0}$  のパラメータ実測式 が式(11)~(13)で求められる。

以上より、設計モデルの緊張除荷挙動 解析式の式(1)、(2)が確定できる。

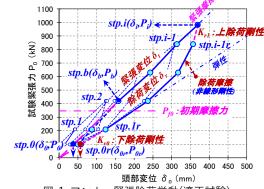


図-1 アンカー緊張除荷挙動(適正試験)

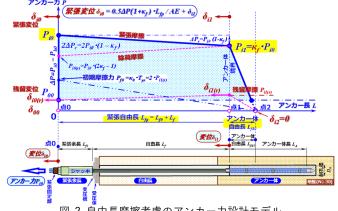
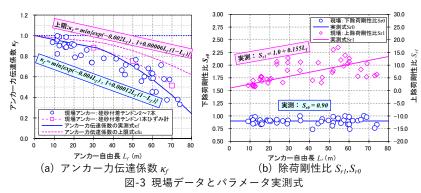


図-2 自由長摩擦考慮のアンカー力設計モデル



A new anchoring design method for ground anchor

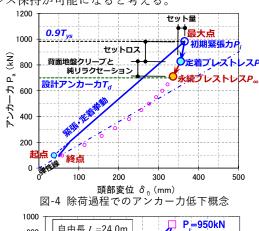
KAWASAKI Hirotaka Kowa Sangyo Corp. KAWATA Masaya Shimizu Corp.

## 3. アンカー定着設計方法

アンカー緊張・定着による定着プレストレス  $P_t$  は、図-4 に示すように、設計アンカーカ  $T_d$ 以上の永続プレストレス  $P_\infty$ をもとに、地盤クリープ低下力  $\Delta P_c$  とリラクセーション低下力  $\Delta P_r$  を割増した式(14)で求める。くさび定着の場合の初期緊張力  $P_i$  は、セットロス  $\Delta P_{st}$  を割増して式(18)で求める。

上記の $P_{\infty} \cdot P_i \cdot P_i$ は、同図の起点・終点が既知、最大点で式(1)、(2)が一致という制約条件のもとで、緊張除荷挙動曲線上に存在する解として求めることに帰着する。これらは、式(1)(2)、式(14)~(19)により数値的に一意に定まらないので永続プレストレス $P_{\infty}$ を開始点、起点・終点が既知点とした緊張除荷挙動曲線上での多重収束解析にて求める。

表-1 に多重収束解析の  $P_t$ ,  $P_t$ 求解結果の事例、図-5 に求解した緊張除荷挙動曲線と  $P_t$ ,  $P_t$ を示す。本アンカー定着設計方法により、設計段階でアンカー自由長毎の定着プレストレス  $P_t$ などが設定可能になることから、保全段階での適正なプレストレス保持が可能になると考える。



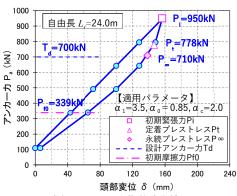


図-5 求解した緊張除荷挙動曲線と $P_t, P_i$ 

#### ■アンカーカ P の緊張除荷挙動の解析式

$\delta_t = \delta_0 + (P - P_0)/K_f$	···(1)
$\delta_r = P/K_r(P) = \delta_i + A_1 \cdot (P - P_i) + A_2 \cdot (P - P_i)^2 + A_3 \cdot (P - P_i)^3$	···(2)
$K_f = 2.0 \cdot A \cdot E / \{L_{fp} \cdot (1 + \kappa_f) + \kappa_f^2 \cdot L_{fA0}\}$	•••(3)
$L_{fA0}=P_{mh}/min(\tau_{by} \cdot U, \tau_g \cdot \pi \cdot D_A)$	•••(4)
$A_I=1.0/(\alpha_I \cdot K_{rl})$	···(5)
$A_2 = 0.5 \cdot \{(1.0/(\alpha_0 \cdot K_{r0}) - 1.0/(\alpha_1 \cdot K_{r1}))/(P_{0r} - P_i) - 3.0 \cdot A_3(P_{0r} - P_i)\}$	•••(6)
$A_3 = \{ (P_{0r} - P_i) \cdot (1.0/(\alpha_0 \cdot K_{r0}) + 1.0/(\alpha_1 \cdot K_{rl})) - 2.0 \cdot (\delta_{0r} - \delta_i) \} / (P_{0r} - P_i)^3$	· · · (7)
$K_{rl} = S_{rl} \cdot K_e$	•••(8)
$K_{r0}=S_{r0}\cdot K_e$	•••(9)
$K_e = A \cdot E/(L_{fp} + 0.5 \cdot L_{fA0})$	···(10)
$\kappa_f = min\{exp(-0.004 \cdot L_f), 1.0 + 0.00012 \cdot L_f \cdot (1.0 - L_f)\}$	···(11)
$S_{rl} = 1.0 + 0.155 \cdot L_f$	···(12)
$S_{r0} = 0.9$	•••(13)
7 .7 l-	

 $\delta_t$ : 緊張変位、 $\delta_t$ : 除荷変位、 $\delta_0$ : 起点変位、 $P_0$ : 起点アンカーカ、 $\delta_i$ : 最大点変位、 $P_i$ : 最大点アンカーカ、 $\delta_0$ : 終点変位、 $P_0$ : 終点アンカーカ、 $K_f$ : 緊張摩擦剛性(kN/mm)、A: アンカー断面積( $mm^2$ )、E: アンカー弾性係数( $0.195MN/mm^2$ )、 $\kappa_f$ : アンカー力伝達係数、 $L_{fp}$ : 緊張自由長  $L_{fp}+L_{fr}$   $L_{f0}$ : 緊張余長、 $L_{f}$ : 自由長、 $L_{f40}$ : 基本アンカー体自由長、 $P_{mh}$ : アンカー履歴最大力、 $\tau_{by}$ : テンドングラウト降伏付着強度( $N/mm^2$ )、 $\tau_g$ : グラウト地盤摩擦強度( $N/mm^2$ )、U: テンドン見掛け周長(nm)、 $D_A$ : アンカー体径(nm)、nm0: 下除荷剛性(nm0)、nm0: 下剛性補正係数(nm0)、nm0: 下剛性補正係数(nm0)、nm0: 下除荷剛性比、nm0: 下條元

# ■定着プレストレスカ P<sub>t</sub>の設計式

$P_t = P_{\infty} + \Delta P_c + \Delta P_r \left[ P_{\infty} \ge T_d \right]$	···(14)
$\Delta P_c = K_r(P) \cdot P_t \cdot \alpha_c / \{A_c \cdot 2.8 \cdot N/0.3 \cdot (A_c^{0.5}/0.3)^{-3/4}\}$	···(15)
$\Delta P_r = P_{t0} \cdot \gamma_0$	···(16)
$\gamma_0 = r_1 \cdot P_{t0}/T_{us} \cdot (P_{t0}/T_{us} - 1.0) + r_2 \left[ P_{t0}/T_{us} \ge 0.5, P_{t0}/T_{us} < 0.5 : = 0.5 \right]$	···(17)
$P_i = P_t + \Delta P_{st} \left[ P_i \leq P_M (= min(0.9 \cdot T_{ys}, L_A \cdot min(\tau_{by} \cdot U, \tau_g \cdot \pi \cdot D_A)/1.25 \right]$	···(18)
$\Delta P_{st} = K_r(P) \cdot S_t$	•••(19)
ファ!-	

 $P_t$ : 定着プレストレス、 $P_x$ : 永続プレストレス、: 、 $\Delta P_c$ : 地盤クリープ低下力、 $\Delta P_r$ : リラクセーション低下力、 $P_i$ : 初期緊張力、 $\Delta P_{st}$ : セットロス、 $T_d$ : 設計アンカー力、 $\alpha_c$ : クリープ変位係数(1.0~3.0)、 $A_c$ : 受圧体面積 ( $\mathbf{m}^2$ )、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、 $\gamma_0$ : 純リラクセーション率、 $T_{us}$ : テンドン極限耐力、 $T_{ys}$ : テンドン降伏耐力、 $L_A$ : アンカー体長

 $r_1,r_2$ : 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	$r_I$	$r_2$
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

表-1 多重収束解析の $P_t$ ,  $P_i$  求解結果の事例

項目	単位	変位 δ	アンカーカ P	摘要
永続プレストレス P。点	mm,kN	144.81	710.0	
リラクセーション考慮 $P_{\omega}$ + $\Delta P_{r}$ 点	mm,kN	147.37	730.4	
<b>純リラクセーション率<sub>ア。</sub></b>	_	_	0.028	
収束判定	-	0.00	730.36	<i>←710.0 (</i> 初期入力)
受圧体地盤のN値	1-	30	_	
受圧体面積 $A_c$	$m^2$	4.30	_	
クリープ変位係数 α。	_	2.00	_	1.0~3.0範囲
地盤クリープ変位 $\delta_c$	mm	5.52	_	
収束判定	1	0.00	780.18	<i>←781.0 (</i> 初期入力)
定着プレストレス P, 点	mm,kN	152.89	780.18	
セット量パ	mm	10.0	_	
収束判定	_	0.00	946.22	←852.0 (初期入力)
初期緊張力 P <sub>i</sub> 点	mm,kN	162.96	950.00	収 束
0.9×降伏耐力 T <sub>ys</sub> (P <sub>M</sub> ) の照査	_	OK	<i>≦982.8</i>	
		【収享	ŧ ]	

# 4. おわりに

【参考文献】

アンカー自由長摩擦を考慮したアンカー力設計モデルと緊張除荷挙動解析式を構築し、これに現場データを当てはめて、同式のパラメータ実測式を求めた。さらに、設計アンカー力をもとにした永続プレストレスから、設計供用期間のリラクセーションや地盤クリープ影響を考慮することで、設計段階で適切に割増した定着プレストレスの設計が可能になった。この定着施工により、保全段階のアンカー力調査での過度なアンカー力低下の防止が期待できると考える。ここでは、現場経験実務からの設計施工課題と解決法を取り上げた。本論文が何らかの参考になれば、幸甚である。

1) 田久、下田、川崎、田村: グラウンドアンカー自由長部における摩擦損失、地盤工学ジャーナル Vol. 5, No. 2, pp.281-291, 2010