

国鉄におけるアースアンカーの設計・施工例

雨 下 武*
渡 部 留 雄**

1. ま え が き

最近、平面、斜面を問わず開削工事においてアースアンカーを土留め支保工として使用する例が非常に多くなってきている。これはアンカーの施工が確実性を増してきたことに起因するのは勿論であろうが、アースアンカー式土留め工が切ばり式土留め工に比較して次のような利点を有していることにもよると思われる。

- ① 斜面での開削工事および掘削面積の広い大規模工事においては土留め支保工の施工が容易である。
- ② 構築コンクリート打設に伴う切ばりの盛替えおよび中間杭の移設、仮受けの必要がない。
- ③ 掘削が大土工方式でできるので省力化がはかられ、施工能率が良く工期が短縮される。
- ④ 安全管理が容易である。

このように、アースアンカーの使用例が増加する傾向に対応して国際的にも関心が高まり、我が国でも土質工学会において JSF 規格 (D1-77) を制定して設計・施工・試験に関する基本的な考え方を示すに至っている。

アンカー工法は、最初、岩盤を対象としたロックアンカーから出発して、アースアンカー専用のユニバーサル機が開発されたことで削孔機と削孔法に改良が加えられ、あらゆる地盤に対応できるようになって、近年、急速に普及した。このような経過をたどった経験工学であるため設計上の問題がないわけではなく、例えば、

- ① アンカーの引抜き力の算定方法
(特に極限引抜き抵抗と安全率)
 - ② アンカーの変形量の算定方法
(特にアンカー耐力およびプレストレス量とそれらの経時変化)
 - ③ 主材料としての PC 鋼材
(特に防食と付着強度)
 - ④ 構造系全体の安定の検討方法
- など基本的な事柄でさえも現在研究途中であり、今後、施工法の改良開発ならびに資料の集積による解決が望まれているのが実状である。

* 日本国有鉄道東京第一工事局技術管理課長

** 日本国有鉄道東京第一工事局成田空港工事区長 (前: 技術管理課設計第一係長)

現在、国鉄におけるアースアンカーの設計ならびに施工は、JSF 規格に準拠して管理されている。しかし、アースアンカーがプレストレスを与えることを条件としているため東京第一工事局では、外力とプレストレスならびに安定条件を包括して満足する設計法として「仮設構造物設計要領」(案) 2. アースアンカー式土留め工 をまとめ、これによって設計管理している。

この要領は、アンカーによる土留め工の設計の基本として、

- a) 掘削底面地盤の安定
- b) 土留め壁の応力
- c) 土留め壁の変位
- d) アンカー力
- e) 構造系の安定
- f) 土留め壁の鉛直支持
- g) 土留め支保工 (アンカーを除く) の応力

を挙げて、この各項目に対して安全性、確実性、施工の迅速性を達成できるように設計することになっている。さらに、その設計計算法の基本は弾塑性法 (拡張法) であり、これを誘導して簡便計算法としている。また、土留め壁の変形を押さえるためにアンカーの有効緊張力の最低値を示しているが、有効緊張力を比較的大きく設定しているので土留め壁を含めた構造系全体の安定の検討

表-1 有効プレストレス導入率の最小値 (λ_{min})

$$P_e \geq \lambda \cdot P_0$$

ここに、 P_e : アンカーの有効緊張力 (t/本)
 P_0 : 設計アンカー力 (t/本)
 λ_{min} : 有効プレストレス導入率の最小値

土 質	N_b あるいは D	土 留 め 壁 の 種 類	λ_{min}
粘性土	$N_b \leq 4.0$	全 種 類	0.5
	$4.0 < N_b \leq 5.0$	全 種 類	0.7
砂質土	$D \leq 10 \text{ m}$	全 種 類	0.5
	$10 \text{ m} < D$	親ぐい横矢板壁 鋼矢板壁	0.5
		鋼管矢板壁 柱列式地下連続壁 地下連続壁	$EI \leq 1.5 \times (10)^4 \text{ tm}^2/\text{m}$
	鋼管矢板壁 柱列式地下連続壁 地下連続壁	$EI > 1.5 \times (10)^4 \text{ tm}^2/\text{m}$	0.7

注) N_b : 安定係数
 D : 掘削深さ (m)
 EI : 土留め壁の曲げ剛性 ($\text{t} \cdot \text{m}^2/\text{m}$)

(外的安定の検討という)を行えば、背面地盤の内的安定の検討は省略できるものとしている。以下、要領の概要について述べるとともに、この要領に基づいて設計・施工されている例を報告する。

2. 安定計算法

2.1 既往の安定計算法

アースアンカー式土留め工も一般の構造物と同様に安定条件を満足しないと崩壊するが、アースアンカー式土留め工においては、アンカー体の引抜けに対して安全が確保されたことだけで安定が満足されたとすることは不十分で、そのほか表-2に示す各崩壊形態が安定を満足しなければならない。これらのうち(a)および(b)の崩壊については切ばり式土留め工でも満足する必要があるので省略し、(c)および(d)に対する安定を検討する。表-3は(c)および(d)の崩壊パターンに対する既往の検討方法の概要である。これらを含めて一般に使用されている円弧すべり法も含めた検討方法を区分すると図-1のようになる。

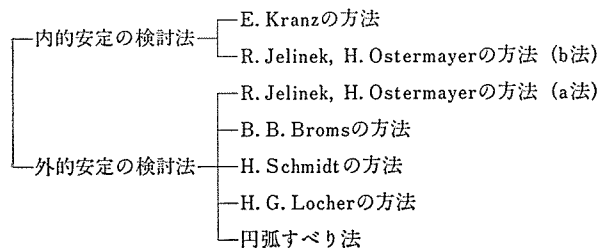


図-1 内的および外的安定の検討法

まず、内的安定の検討方法としての E. Kranz の方法は、ドイツにおいて DIN 規格に採用されているが、スウェーデンでは一般に B.B. Broms の方法が用いられている。我が国においては土質工学会により E. Kranz の方法が紹介されたが、それ以前には主働すべり楔外にアンカー体を設置する方法が一般に用いられていた。H. Ostermayer の方法 (b法) は、基本的には E. Kranz の方法と同様であるが、E. Kranz の方法を実験結果に基づいてより現実に近い形にしたものである。

外的安定の検討方法としての B.B. Broms の方法と H. Schmidt の方法とは互いに良く似ているが、両者の主たる相違点は、

- ① B.B. Broms の場合、深いすべり面が限界根入れ深さを通る。
- ② H. Schmidt の場合、深いすべり面は最小安全率を与える点を通る。

としているところにある。

2.2 比較計算

アースアンカー式土留め工の安定計算方法として幾つかの手法を述べたが、これら各手法の特徴を知る意味で若干の試算結果を示す。

内的安定計算法としての E. Kranz の方法、外的安定計算法としての B.B. Broms の方法および主働すべり面による方法について図-2に示すモデルケースを対象として計算を行ってみた。E. Kranz の方法と B.B. Broms の方法とは、深いすべり面の採り方、土圧の算定方法など細部で異なるが、比較のために基本的な考え方以外は表-4のように統一した。

表-2 アースアンカー式土留め壁の崩壊の種類

	(a) 土留め壁の沈下による崩壊	(b) 掘削底面地盤の崩壊	(c) 背面地盤の崩壊 (内的安定問題)	(d) 構造系全体の崩壊 (外的安定問題)
崩壊の種類				
記 事	鉛直支持力が、アンカー張力の鉛直成分およびその他の鉛直力に対して不足し土留め壁が沈下する場合、沈下に伴いアンカー張力が減少し土留め壁は掘削面側にせり出してくる。この種の崩壊に対しては土留め壁の鉛直支持に対する安全を確保する必要がある。	掘削底面地盤の崩壊に伴い土留め壁根入れ部が掘削面側にハネ出すもので、これについてはヒービング、ボイリングおよび根入れ部の側圧のつり合いに対して安全を確保する必要がある。	根入れ部の崩壊も、アンカー体の引抜けも生ずることなく背面地盤が崩壊するもので、アンカー体は土塊とともに変位する。	アンカー体および土留め壁を含む地盤全体の崩壊である。

表-3 内の・外的安定問題に対する既往の計算方法

提案者	E. Kranz (1953年発表)	R. Jelinek, H. Ostermayer (1967年発表)	B. B. Broms [Sahlström, Nordin, Landahl, Adding] (1966年発表)	H. Schmidt (1974年発表)	H. G. Locher
滑動体 および 力の多角形					
深いすべり面	形状	直線	対数線	直線	直線
	通過点	アンカー体中心から 原則的に土留め壁先端	アンカープレート下端、注入アンカー先端から 土留め壁先端	アンカー体先端より2mから 限界根入れ深さ	アンカー体中心から 根入れ部通過点はトライアルで求める
土圧	クーロンの主動土圧	ランキン・レザールの主動・受働土圧	ランキン・レザールの主動・受働土圧	クーロンの主動・受働土圧 ただし red φ を用いる	仮想背面に主動土圧 ただし φ _n にて算定する
安全率	$F = \frac{\text{mügl } A_h}{\text{vorh } A_h} \geq 1.5$, vorh A _h : 設計アンカー力の水平成分	(a) 図 $F = \frac{\max Z + E_1}{E_1}$ (b) 図 $F = \frac{\max Z + A}{A}$	$F = \frac{(P_p)_{\text{available}}}{(P_p)_{\text{required}}} \geq 1.5$, (P _p) _{available} : 実地盤の受働土圧合力	$F = \frac{\phi}{\text{red } \phi} \geq 1.5$, φ: 実地盤の摩擦角 red φ: 低減摩擦角	$F = \frac{\tan \phi}{\tan \phi_n}$ φ: 実地盤の摩擦角 φ _n : 有効摩擦角
計算手順	所要の安全率が得られるべく、アンカー傾角 α およびアンカー長 L _a を定める。	所要の安全率が得られるべく、アンカー傾角およびアンカー長を定める。	所要の安全率が得られるべく、アンカー傾角およびアンカー長を定める。	深いすべり面の根入れ部通過点を变化させて、ert A _h の最大値を求めるがその最大値はアンカーの実定着力を超えてはいけない。	力の多角形が閉じるように φ _n を変えて、トライアル計算を行う。
備考	この方法は Ranke, Ostermayer らによって多段アンカーおよび切ばり併用式土留め壁の計算にまで拡張されている。	○直線すべり面を仮定した Kranz の方法よりも短いアンカーが使用できる ○多層地盤においては計算が煩雑になる ○多段アンカーにも使用可能	○アンカー体は、C 点を起点とする主動すべり面よりも奥に定着する ○アンカー体は地表面下 5m 以深に定着する ○BF 間の定着力 T は計算上省略しても良い	○多段アンカーに適している ○深いすべり面がアンカー体を切る場合そのアンカーの定着力は無視する	この解法においては、粘着力、間隙水圧および透水圧などを考慮する。
引用文献	Ranke, A., Ostermayer, H. 1968. 10 Beitrag zur Stabilitätsuntersuchung mehrfach Verankerter Baugrubenumschlie Bungen. (Die Bautechnik)	Zur Berechnung von Fangedämmen und verankerten Stützwänden. (Die Bautechnik 6/1967)	Swedish Tie-Back system for sheet pile wall (I.C.S.M.F.E. 1968, Budapest)	Zur Ermittlung der Kritischen tiefen Gleitfuge von mehrfach verankerten hohlen Baugrubenwänden (Die Bautechnik 6/1974)	アンカーされた土留めおよび擁壁 (土木技術 1970.12)

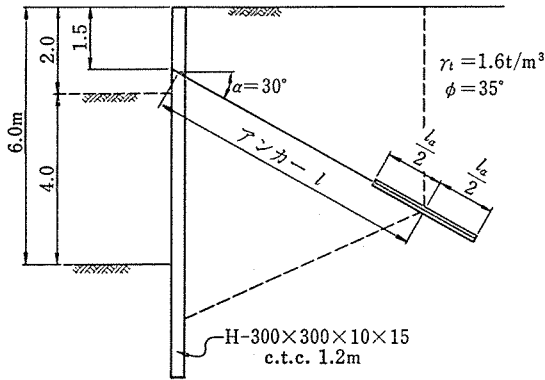


図-2 計算モデル

表-4 計算手法の統一

		E. Kranz	B. B. Broms	変更点
力の多角形				壁先端の鉛直反力Vおよび滑動体外の定着力Tを省略する
深いすべり面	形状	直線	直線	
	通過点	アンカー体中心から 原則的に土留め壁先端	アンカー体先端より2mから 限界根入れ深さ	アンカー体中心からに統一 限界根入れ深さに統一
土 圧		クーロンの主働土圧	ランキンの主働・受働土圧	クーロンの主働・受働土圧
安全率		$F = \frac{m\ddot{o}gl A_h}{\text{vorh } A_h} \geq 1.5$	$F = \frac{(P_p)_{\text{available}}}{(P_p)_{\text{required}}} \geq 1.5$	

E. Kranz の方法で用いる設計アンカー力の水平成分 $\text{vorh}A_h$ は、クーロン土圧を用いた 1/2 分割法、同じくクーロン土圧を用いた下方分担法および土圧計により実測された側圧を整理して得られた側圧を使用する簡便計算法の 3 通りの方法によって算定した。また、主働すべり面による方法については、アンカー水平間隔 (b) を 2.0, 2.5, 3.0 m とし計算した。

計算結果は図-3 のようになる。同図はアンカー長と安全率の関係を示したものであるが、E. Kranz の方法は直線的、B.B. Broms の方法は曲線的となり、主働すべり面による方法は安全率とは無関係であることがわかる。ただし、ここでいうアンカー長は、アンカー全長からアンカー体長の 1/2 を差し引いた長さである。

E. Kranz の方法によるとアンカー長は設計アンカー力 $\text{vorh}A_h$ の値によって大幅に異なり、設計アンカー力が大きいほど長くなる。また、ランキン土圧あるいはクーロン土圧より設計アンカー力を求める場合、下方分担法は最大値、1/2 分割法は最小値を与えるものと思われる。したがって E. Kranz の方法によるアンカー長は、実際には下方分担法によるものと 1/2 分割法によるもの間にあり、安全率 1.5 とするアンカー長は B.B.

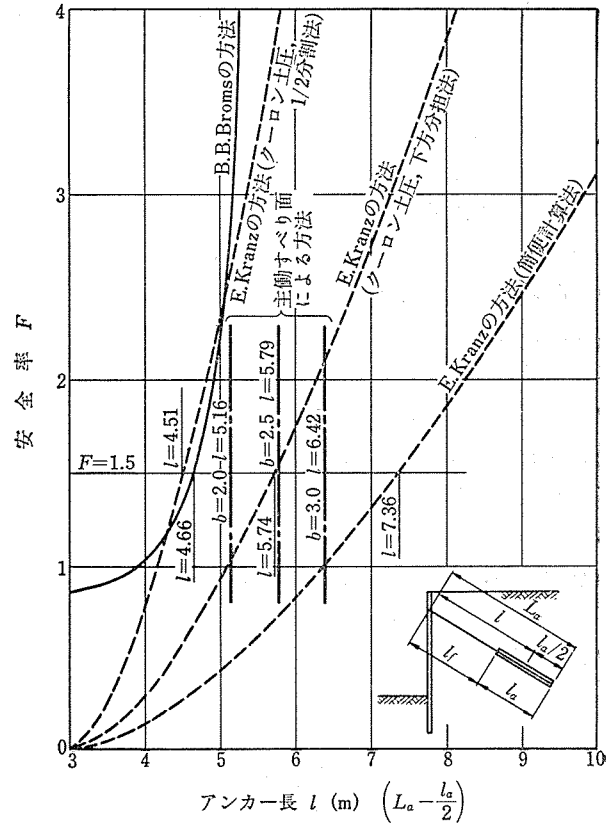


図-3 安定計算結果

Broms の方法に近いものとなる。なお、E. Kranz の方法は、滑動体中に主働すべり面が生じることを前提としているので、設計アンカー力はランキン土圧あるいはクーロン土圧の極限土圧から求めるべきで、みかけの側圧や実測値による側圧等から求めるのは妥当ではない。ここで E. Kranz の内的安定における検討方法の考え方を記すと、

- ① 背面地盤内の土塊 ABED の内部に主働すべり面 BC が発生した状態を想定する。

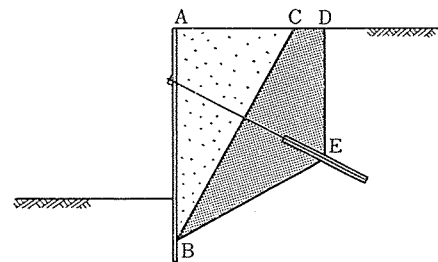


図-4 E. Kranz の方法による内的安定の検討

- ② 主働すべり面 BC 上の土塊 ABC は、すべり面 BC に沿ってすべり、土留め壁面 AB に主働土圧を作用させる。
- ③ 土留め壁は主働土圧をうけてアンカー支点到 P なる反力を発生する。

報 告

④ P_0 なる反力は、アンカーを通じてE点で地盤に伝達される。

⑤ このとき P_0 に対しては土塊 CBED で抵抗するものと考え、土塊 CBED が不安定となる限界の力 P_c との比をもって安全率 ($F=P_c/P_0$) とする。

このように内的安定問題は、背面地盤内に主働すべり面が発生することを前提条件としているので、土留め壁の変形を押さえ、背面地盤内に主働すべり面が生じないように有効プレストレスを規定してやれば内的安定条件は常に満足されていることになる。したがって内的安定の検討を省略してもよいと考える。

構造系全体の安定(外的安定)に対しては、次の事柄を考慮して基本的に B.B. Broms の方法によることとした。

- ① 安全率の採り方が作用力の抵抗力に対する比として与えられていること。
- ② 多段アンカー式土留め工に対する拡張が容易であること。
- ③ 計算が簡単であること。

2.3 要領における安定計算法

この要領では以上のことから B.B. Broms の方法によることとしたが、勿論、滑動体の転倒に対する安全性も満足していることは検証済みである。また、深いすべり面の位置に対しては B.B. Broms の方法では限界根入れ深さを通過するとしているが、それ以深においても深いすべり面が発生することも予想されるので B.B. Broms の方法を一部修正して使用することにした。修正した各項目とは

- a) 深いすべり面の位置の修正
- b) 多段アンカーの場合への拡張
- c) 上部に切ばりを用いる場合への拡張
- d) 下部に切ばりを用いる場合への拡張

である。すなわち、B.B. Broms の方法を拡張して H. Schmidt の考え方で修正した滑動体を想定し、これに作用する力のつり合いにより検討する。しかし、この計算は相当複雑となるので、これを省略する方向で検討してみた。

まず、アンカー長について考えてみると、アンカー自由長は 4m 以上とするのが一般的であり、アンカー体長も 3~10m は必要であることから、アンカー傾角を考慮に入れても安定計算上のアンカー長は 5m を下回ることはないと思われる。したがって、滑動体の幅も 5m が下限値と考えられる。そこで、土質条件および掘削条件を変数として安全率 ($F=1.5$) を満足する滑動体の幅 (B) を算出し、これより外的安定計算が省略できる範囲 (安全率 ≥ 1.5) を探索し図表化した。ただし、地

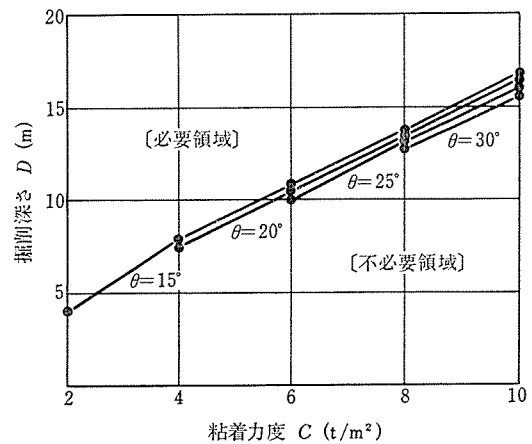


図-5 外的安定計算の必要領域(粘性土)

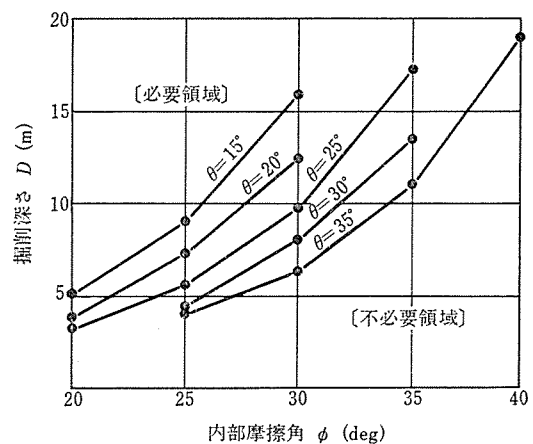


図-6 外的安定計算の必要領域(砂質土)

盤を単一層として取り扱える場合のみに限定されるが、アンカーを設計する時のアンカー長の決め方が非常に便利になったものと思う。

なお、外的安定計算が必要領域にある地盤条件の場合は、所定の安定計算により所要アンカー長を求める。

このようにアンカー長を決定する計算法としての安定計算であるが、アンカー体の定着層についても土質、層厚、強さ、地下水の有無、土被り深さ等を十分検討する必要がある。特に土被り深さが不足するとアンカー体に対する拘束圧が小さくなり、所要の周面摩擦力度が期待できなくなるので、土質のいかにかわらず地表面からの設置深度は 5.0m 以上とすると割り切った。

アンカーの水平間隔については、一般に親ぐい間隔または鋼矢板 2~3 枚分で決定しているが、切ばりの場合と異なり上段から下段まで同じ間隔とする必要もない。また、「グループ効果を考慮して最小間隔を定義すべきである」との考え方もあろうが、この要領では、土留め工に使用されるアンカーにおいてはグループ効果を考える場合、外的安定を検討する場合と同じように背面地盤内にすべり面が生じることを想定して最小の安全率を与え

るすべり面を求めるので、外的安定をチェックすればグループ効果については特に検討しなくてもよいものとした。しかし、一般的にはアンカーの打設角度を適当に上下左右に変化させることによって群アンカーとしての低減を防ぎ、その間隔はアンカー体径の10倍、かつ、1m以上あれば問題はないといわれている。

3. 設計・施工例

東北、上越新幹線の玄関口、上野地下駅は、深さ30m、幅48m、長さ840mの地下4階構造であるが、厚さ60cmの地下連続壁による開削逆巻工法によって昭和59年開通にむかって現在施工中である。このなかに5段にわたったアンカーが約2900本もある。加圧式周面摩擦型でVSL工法を用いているが、SW工法を用いた除去式アンカーもある。現場における施工順序ならびに管理の手順を示したのが図-7である。

3.1 アンカー体のひずみ分布

ここではさまざまな試験が行われているが、アンカーの各位置における荷重とひずみの関係を示したのが図-9である。この図からは自由長部における圧縮現象に疑問はあろうが、定着長部の応力範囲から要領に示されているアンカー体長を10m以内とするということが十分立証されており、さらにアンカー体と土とのなじみによる摩擦損失量は約2.4tと報告されている。

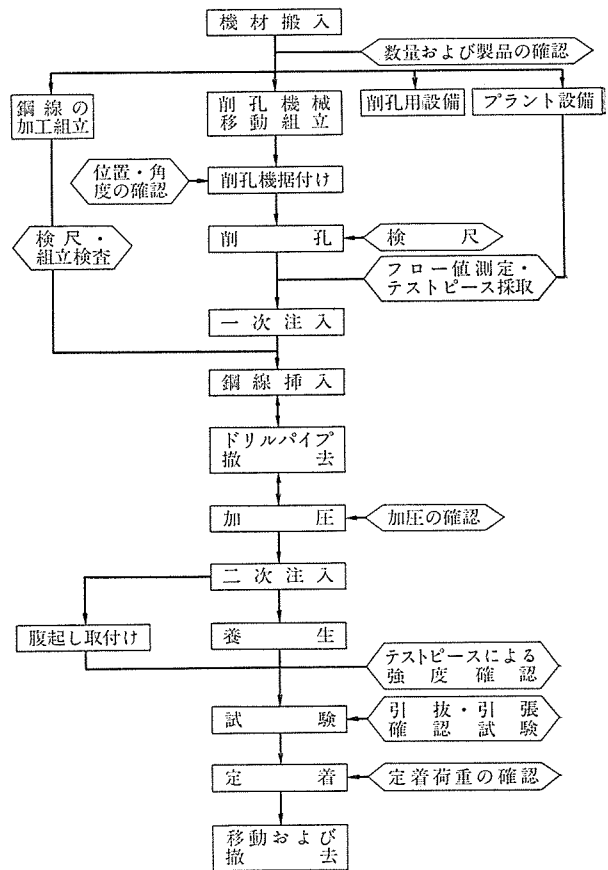


図-7 施工手順ならびに管理手順

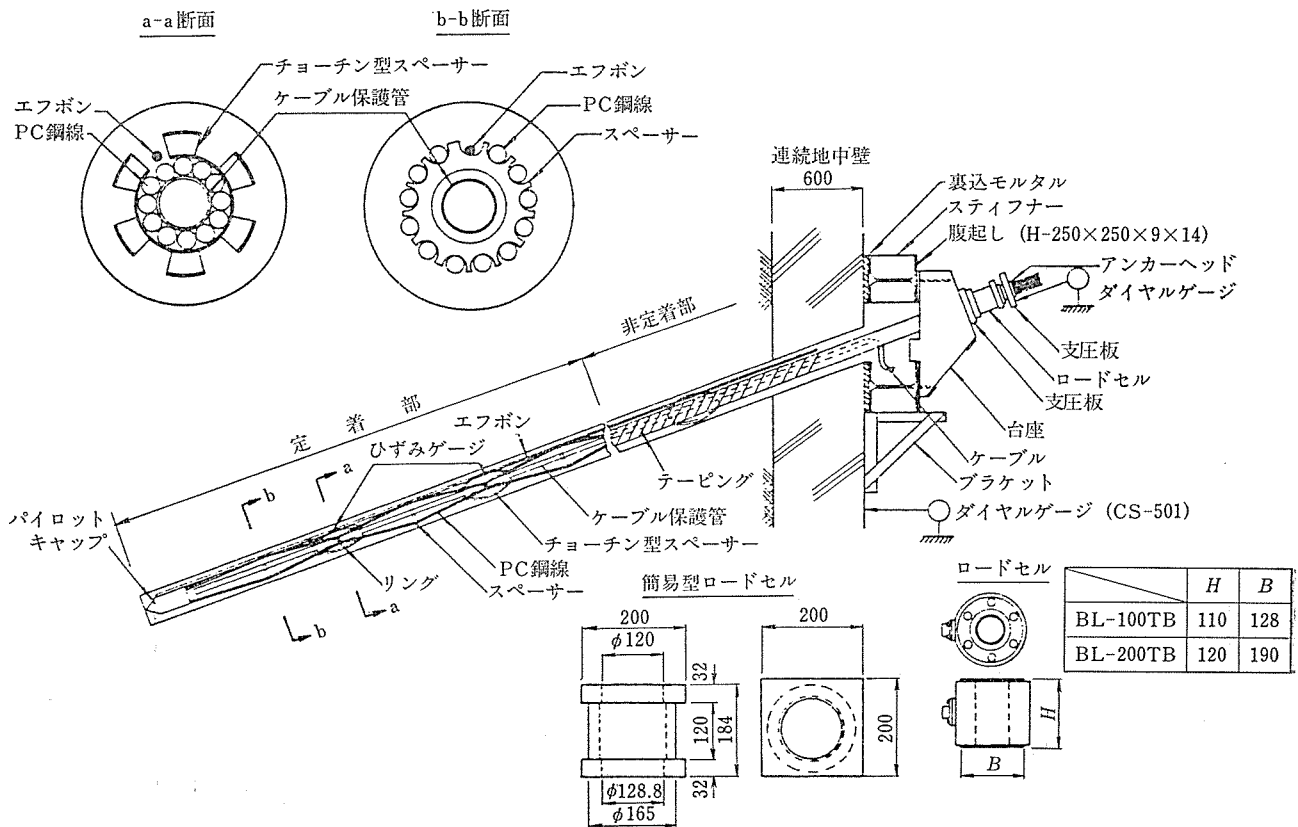


図-8 試験アンカー詳細図

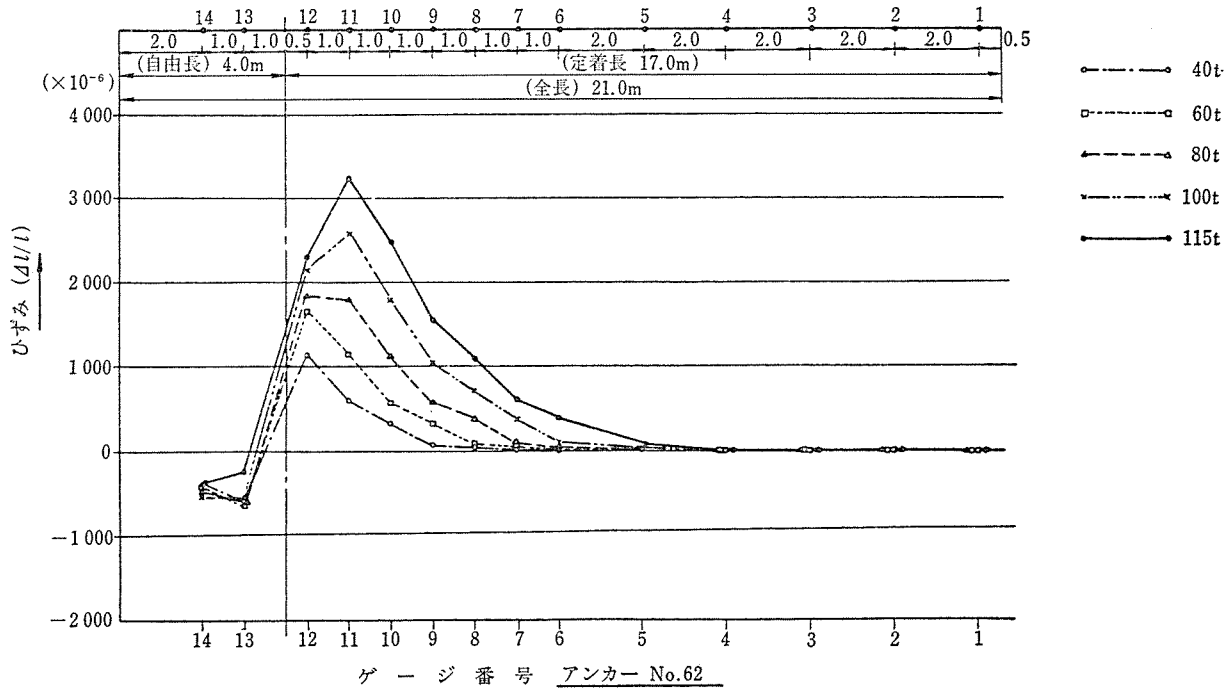


図-9 ひずみ分布図

3.2 周面摩擦力度

ストレインゲージによる測定から周面摩擦力度と変位との関係をプロットしたのが図-10である。これより、 $\tau=3.55 \text{ kg/cm}^2$ でほぼ一定となることがわかり、要領で与えられた設計上の周面摩擦力度 $\tau=2.7 \text{ kg/cm}^2$ は 1.3 の安全率を有していることがわかる。要領で与える周面摩擦力度はアースアンカー協会が統計的にまとめたもの

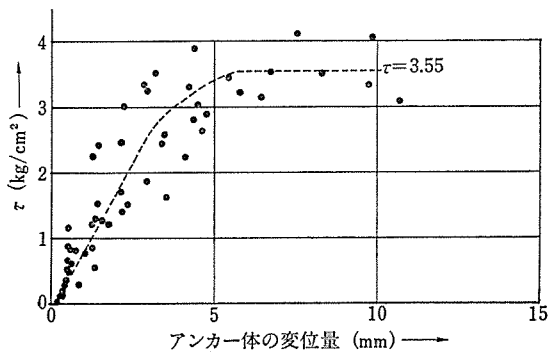


図-10 周面摩擦力度と変位量

を使用しているが、当現場の測定値がこれを上回っているのは、施工および地盤の状態が良かったということであろう。なお、アンカーを周面摩擦力度と変位の関係から地盤バネによって拘束されているとする解析モデルを考え（図-11 参照）、これに諸数値を代入して実測値と比較しているが、その結果 図-12 のケースが一番良く合うとしている。このケースは自由長部のせん断地盤バネを取り去った場合であるが、このようにアンカーを地盤バネで置き換えることができるということは一つのシーズ（技術の種子）として評価できよう。

3.3 その他

アースアンカー式土留め工と切ばり式土留め工の相違点は、アンカーのバネ係数が切ばりの圧縮バネ係数に比較して著しく小さいことにある。したがって、土留め支保工としてアンカーを使用する際には初期緊張力を与えることによって土留め壁の変形を押しさえ、背面側の側圧が主働側圧とならないような有効緊張力を導入しなければならない。この初期緊張力は、引張鋼材のリラクセー

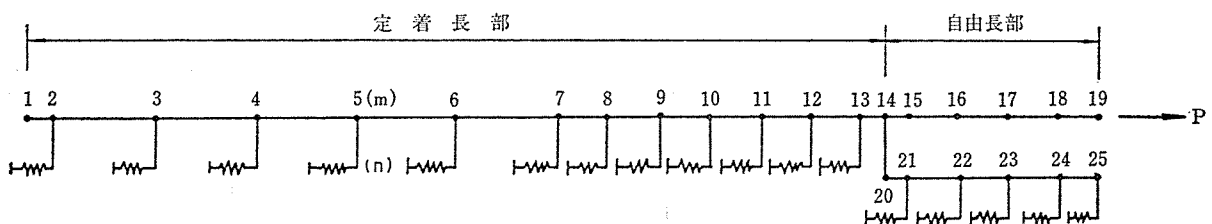


図-11 解析モデル

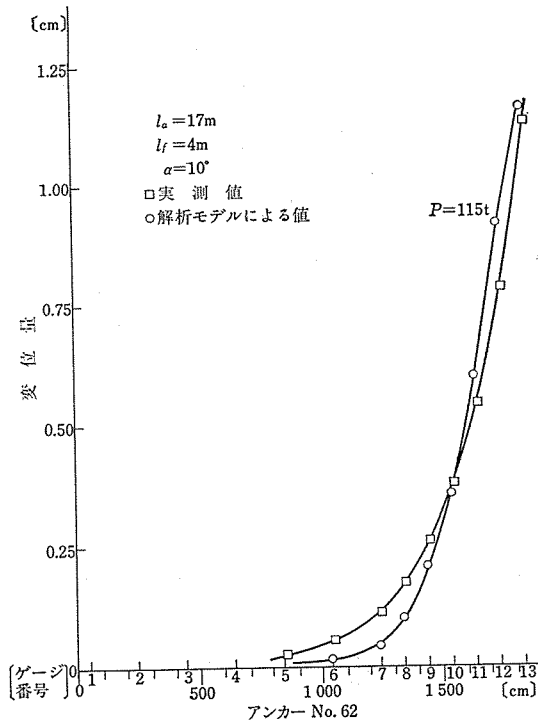


図-12

ション、定着時のセット量、アンカー体および地盤の変形等によって緊張力が減少しても有効緊張力以上が定着されている値を設定しなければならないこととなる。この設定が難しく、各アンカー業者がその現場において職人的感覚で決めている例が多くみられるが、各種試験結果から総合的判断で決める必要がある。しかし、それとても施工条件によって各々異なるので今後の資料の蓄積と研究に待つところである。ちなみに初期緊張力を求める式を次に示す。

$$P_i \geq \frac{P_e \geq \lambda \cdot P_0}{1 - (\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4 + \mu_5)}$$

ここに、

P_i : 初期緊張力

μ_1 : 定着時のセットによるプレストレスの減少率

μ_2 : 土留め壁と背面地盤とのなじみによるプレストレスの減少率

μ_3 : 引張鋼材のレラクセーションによるプレストレスの減少率

μ_4 : アンカー体のクリープによるプレストレスの減少率

μ_5 : アンカー定着地盤のクリープによるプレストレスの減少率

P_e : 有効緊張力

P_0 : 設計アンカー力

λ : 有効プレストレス導入率

この式の中の μ を決定づけるような試験を行ったうえ

で、現場での初期緊張力を決定し管理することが望まれる。

そのほか鋼材の腐食対策として種々の方法があるが、現場における実績を踏まえ別の機会に発表したい。

4. あとがき

東京第一工事局においては上野地下駅のほかにも多くの現場でアースアンカーを採用しているが、成田新幹線成田空港駅もその一現場である。ここは深さ約 20 m、

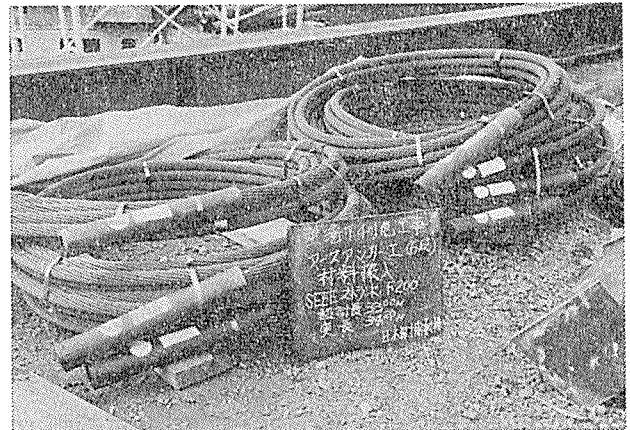


写真-1 アンカー引張材 (SEE 工法)



写真-2 SEE 工法における引張試験

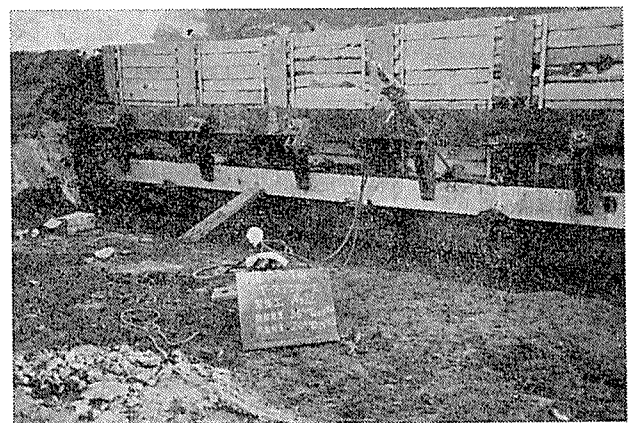


写真-3 SEE 工法における定着荷重の確認

幅 49 m, 長さ 600 m の地下 2 階構造であるが, 成田空港一期工事完了と共に施工が完了している。ここでは加圧式周面摩擦型を SEEE 工法で施工している。なお, 京成成田空港駅でも同様にアンカーを使用した開削工法で施工されている。このように仮設用としてのアンカーの需要は急速にのびているが, 永久構造物に使用されるようになればさらに発展をみるであろう。それには主材料としての鋼材についての検討が望まれる。以上, 国鉄における現状として東京第一工事局を例にとり, 設計における基本的事項をまとめた要領の披瀝と試験例の一端

について記述した次第である。

参 考 文 献

- 1) 土質工学会編：アースアンカー工法（昭和 51 年 9 月）
- 2) 国鉄東京第一工事局：「仮設構造物設計要領」（案） 2. アースアンカー式土留め工（昭和 55 年 2 月）
- 3) 柳田, 渡部ほか：アースアンカー式土留め工の安定に対する考察, 第 16 回土質工学研究発表会講演集（昭和 56 年 5 月）
- 4) 国鉄東京第一工事局技術管理課：掘削土留め工の設計に関する検討報告書 1 編 仮土留め工（昭和 56 年 4 月）
- 5) 国鉄東京第一工事局：東工（通巻第 133 号）（昭和 56 年 12 月）

◀刊行物案内▶

PC による構造物の補強と PC 構造物の設計・施工

本書は第 9 回 PC 技術講習会のためのテキストとして編纂したもので, その内容はプレストレスによるコンクリート構造物の補強または補剛, さらに補修について土木, 建築構造物双方の実例を挙げて説明されている。その他, 最近, 長大化スパンに伴い最も多く採用されているカンチレバー工法による PC 橋の設計・施工について, 国内はもちろん, 諸外国の実例を示し, 片持架設される橋梁形式の PC 桁橋, PC 斜張橋, コンクリートアーチ橋, PC トラス橋について, 幅広く詳細な施工要領が示されている。また巻頭には 1980 年 9 月ルーマニア国ブカレストにおいて行われた FIP シンポジウムの報告として, 世界におけるプレストレストコンクリート概念について詳述されている。

内容は大きく 3 項目に分かれているが, 非常に中味の濃い, PC 技術者にとっては必携の図書としてお勧めいたします。ご希望の方は代金を添えてプレストレストコンクリート技術協会宛お申し込みください。

体 裁：A 4 判 131 頁

定 価：3,500 円 送 料：450 円

内 容：(A) プレストレストコンクリート概念の世界の現況, FIP パーシャルプレストレッシングに関するシンポジウム（ブカレスト）総括報告, パーシャルプレストレッシングの利点と定義, 設計法および設計諸規準, 実験的研究, 適用例。(B)-1 建築構造物の補修と補強, まえがき, 床スラブのひびわれ, たわみ障害と補修, プレストレスによる曲げ耐荷能力の増大, せん断ひびわれの補修, 地震被害を受けた建築構造物の補修, 結言。(B)-2 PC による構造物の補強の実例（道路橋編）, 概論, コンクリート構造物に発生する欠陥, ひびわれに関する調査, 補修工法, プレストレスによる補修, プレストレスによる補強例。(B)-3 PC 鉄道橋の補修・補強, 補修・補強の概念, 構造物の検査, PC 鉄道橋の補修・補強の研究の概要, 補修事例。(C) カンチレバー工法による PC 橋の設計・施工について, 概要, 現場打ち工法, プレキャストブロック工法, 斜張橋, アーチ橋, PC トラス橋, 設計, 安全性, 断面力, 上げ越し計算, 施工。