

本設地盤アンカー（永久アンカー）の開発

Development of Permanent Ground Anchor

小林 康之* 宮崎 啓一**
Yasuyuki Kobayashi Keiichi Miyazaki

武内 義夫***
Yoshio Takeuchi

要 約

筆者らは、構造物の基礎に用いる本設地盤アンカー工法を開発してきた。鉛直本設地盤アンカーは、地下水の浮力による建物の浮き上がり防止、地震時・暴風時の転倒モーメントによる基礎の浮き上がり防止等を主な使用目的としている。アンカーをこのような目的で使用するためには、構造物の存置期間中の耐久性と信頼性の確保が要求される。

開発にあたっては、アンカーの仕様の検討をはじめとして、実大アンカーを用いた原位置試験、耐久性に関する試験や設計手法の検討等を行った。

原位置試験では、砂れき、シルト岩および砂の各層を定着地盤としたアンカーの施工性試験および各種載荷試験を実施し、本アンカーの施工管理方法を確立し、各種の力学特性を把握した。また、グラウトの耐薬品性試験、アンカー頭部の暴露試験により、アンカー各部の長期間にわたる耐久性の確認を行った。

これらの試験をふまえて、「本設地盤アンカー工法設計・施工指針」をまとめ、実用建物への適用を可能とした。

目 次

- §1. はじめに
- §2. アンカーの構造と種類
- §3. 原位置試験
- §4. アンカーの耐久性
- §5. アンカー設計上の基本事項
- §6. おわりに

謝辞

参考文献

§1. はじめに

従来、建築構造物におけるグラウンドアンカーは、主に仮設構造体として用いられてきた。しかし、近年のアンカーの耐久性ならびに信頼性の向上にともない、本体構造物の一部として用い得る本設（永久）アンカーの研究開発が進められるようになってきた。

本設地盤アンカーの用途は広範囲にわたっている。例えば、地震時や暴風時に基礎に大きな引抜き力が生じる高層建物の浮き上がり防止、塔状建物の転倒防止、水圧による建物の浮き上がり防止、傾斜地における偏土圧対策等に有効に用いることができる。

本報では、圧縮型本設地盤アンカー（鉛直）の開発と工法の確立に際して行った原位置試験および耐久性の検討等を中心に報告する。

*技術研究所先端技術研究課長

**技術研究所土木技術課係長

***技術研究所先端技術研究課係長

§ 2. アンカーの構造と種類

本アンカーは Fig.1 に示すように、アンカー頭部、中間部、定着部および先端部で構成されている。引張り材は高密度ポリエチレンで被覆された多重より PC 鋼より線で、両端にマンションが圧着されている。定着体は

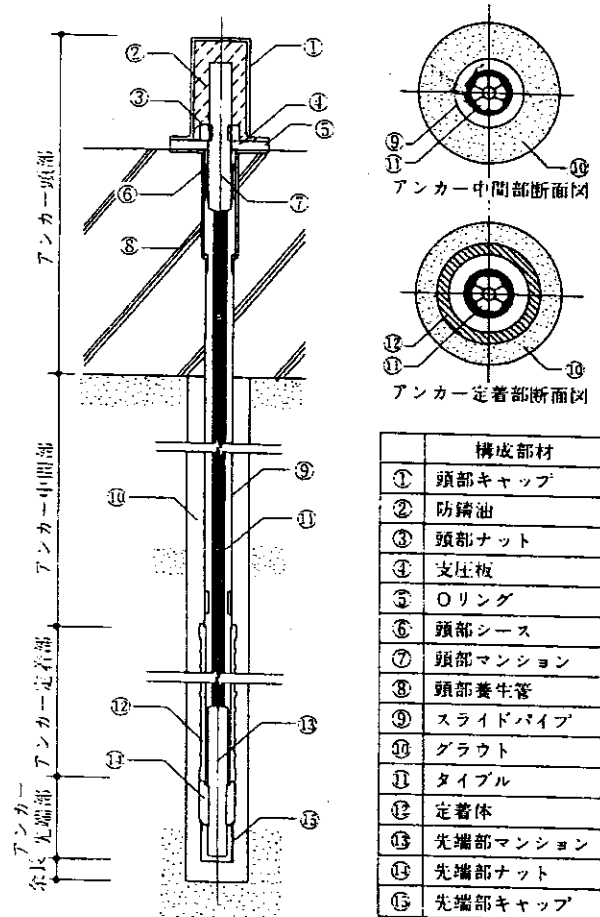


Fig.1 アンカーの構造

クロムモリブデン鋼鋼管で、表面にはリブ加工がしてあり、ナットで先端部マンションと結合されている。

このアンカーは、アンカー頭部で引張り材（被覆多重より PC 鋼より線：タイブル）に導入された緊張力が直接アンカー定着部下端に伝達され、圧縮力として定着体を介してグラウト、さらに地盤へと伝達されるいわゆる圧縮型アンカー²⁾である。このため、アンカー体のグラウトには通常の引張型アンカーのような引張りによる亀裂が発生せず、耐久性にも優れた機構になっている。

自由長部のスライドパイプは、アンカー中間部分でグラウトとタイブルとの間に摩擦が生じるのを防ぎ、さらにアンカー内部への地下水等の侵入を防ぐ役割を持ち、タイブルのポリエチレン被覆と組合わさって PC 鋼線に対して二重防食機能を果している。

アンカーと構造物との定着はネジ式定着工法であるため再緊張も容易に行えることも利点の一つである。

また、本アンカーは工場において製作・組立を行うため高品質を確保できることも大きな特徴である。

本アンカーは Table 1 に示したように、引張り材の強度によって 6 種類を設けた。

§ 3. 原位置試験

3-1 試験概要

砂れき、シルト岩および砂地盤で実大のアンカーを施工し、その施工性および力学特性等の試験を行った。

砂れき地盤（試験サイト A）およびシルト岩地盤（試験サイト B）での試験は東京都青梅市、砂地盤（試験サイト C）での試験は茨城県つくば市で行った。試験サイ

Table 1 アンカーの種類

アンカータイプ	F100TC	F130TC	F160TC	F200TC	F230TC	F270TC	
規格引張荷重 P_u (tf)	95.0	126.0	165.1	190.5	222.3	258.5	
規格降伏荷重 P_y (tf)	83.3	110.4	144.4	166.9	196.0	226.2	
許容緊張力	最大初期緊張力 mP_i (tf)	70.8	93.8	122.7	141.8	166.6	192.2
	最大定着時緊張力 mP_f (tf)	66.5	88.2	115.5	133.5	155.6	180.9
	最大有効緊張力 mP_e (tf)	59.8	79.3	103.9	119.9	140.0	162.8
多重より PC 鋼より線の構成	7 × φ11.1	7 × φ12.7	7 × φ15.2	19 × φ 9.5	19 × φ10.8	19 × φ11.1	
被覆多重より PC 鋼より線の断面図 (mm)	33.3 ● 43.3	38.1 ● 48.1	45.6 ● 61.6	47.5 ● 63.5	54.0 ● 67.0	55.5 ● 67.0	
	定着体 外径/内径 (mm)		φ87/φ66		φ121/φ92		
削孔 径 (mm)	φ135, φ170		φ170				

ト A および B は上部層が砂れきで下部層がシルト岩である同一の場所であり、武蔵野地西部で立川段丘の西縁に位置し、砂れき層は立川れき層、シルト岩は上総層である。試験サイト C は霞ヶ浦西方の稲敷台地の北縁部に位置し、定着砂層は成田砂層である。

試験サイトの土質を Fig.2 に示した。

原位置試験で行った試験項目を Table 2、試験に用いたアンカーの仕様を Table 3 に示した。

3-2 アンカーの施工性試験

(1) 試験方法

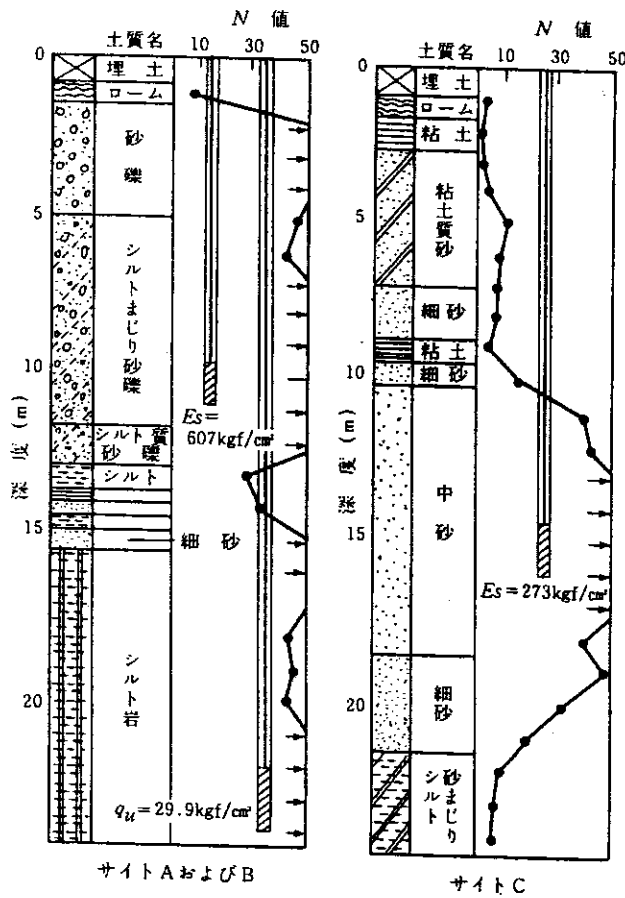


Fig.2 試験場所の土質

Table 2 原位置試験項目

試験項目	試験内容等	
施工性試験	削孔精度、アンカー体形状等	
アンカーの特性	引張試験	単純、繰り返し、群アンカー特性
	引抜き試験	極限引抜き力
	長期安定性試験	緊張力の経時変化
基礎の特性	振動特性試験	基礎の振動特性、常時微動測定
	リフトオフ試験	有効緊張力

Table 3 試験アンカー一覧

定着地盤	No	種類	削孔長 L_a (m)	定着長 L_s (m)	備考
砂れき層	A 1 *	F200TC	12.0	6.0	施工性試験
	A 2 *	F130TC			
	A 3	F270	11.0	1.0	引抜き試験
	A 3 *				
	A 4	F130			
	A 5	F200		4.0	引張、長期安定性試験 繰返し引張試験
	A 6				
	A 7	F270		1.0	群アンカー試験 (引抜き)
	A 8				
	A 9	F200		4.0	群アンカー試験 (引張、長期安定性) 基礎のリフトオフ試験
	A 10				
	A 11	F130		2.0	振動試験
A 12					
シルト岩層	B 1 *	F200TC		24.0	6.0
	B 2 *	F270	2.0		引抜き試験
	B 3	F130	1.0		
	B 4	F200	6.0		引張、長期安定性試験
砂層	C 1	F200TC	52.0	6.0	大深度施工性試験
	C 2	F270	16.0	1.5	引抜き試験
	C 3	F130		1.0	

注) *は掘出し観察を行った。
削孔径は F130TC は 135mm、F200TC および F270TC は 170mm である。
種類の欄の TC は タイプを示す。

本アンカーの標準的な施工方法を Fig.3 に示した。試験での削孔はロータリパーカッション方式で行った。

試験サイト A および B では、削孔精度、アンカー組立材の挿入性および施工能率等を調査した。また、アンカー一体の出来上り状態を観察するため、深礎工法によってアンカーを掘り出し、アンカー体の形状や周長、加力によるグラウトのクラック発生状況を観察した。その後、中間部および定着部を水平に切断し、断面の観察および定着体のグラウトの被り厚さ等を調べた。

試験サイト C では、削孔精度および施工能率等を調査した。また、削孔長 52m の大深度施工時におけるアンカー組立材挿入等の施工性も調べた。

なお、原位置試験アンカーに使用したグラウトの配合は Table 4 に示したものである。

Table 4 使用グラウトの配合

配合 (kg/m³)				範囲および管理値		
セメント C	水 W	混和材	W/C (%)	圧縮強度 σ_{ca} (kgf/cm²)	フロー値 (sec)	比重
1227	589	24.5	50	300以上	15以下	設計±0.04

注) 混和材は NL-4000 を使用した

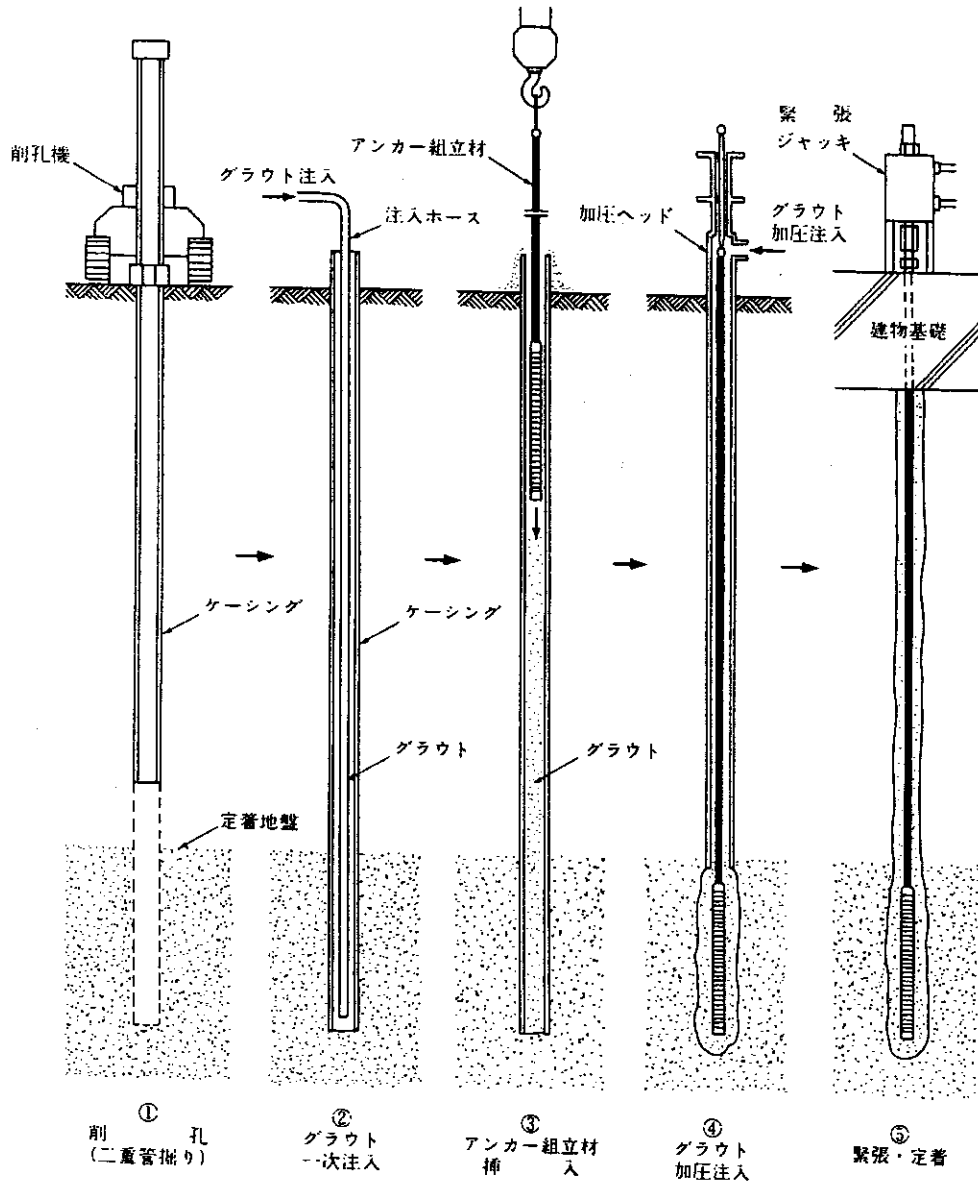


Fig.3 アンカーの施工方法

(2) 試験結果

a) 削孔精度

削孔後のケーシングの傾斜を挿入式傾斜計で測定した。削孔精度は地盤条件や削孔方法等によって影響を受けるが、Table 5 に示したように、概ね 1/150 程度の精度で削孔可能なことが確認できた。52m の大深度施工 (C 1) での結果が他と比較して高精度なのは、削孔機を据え付ける作業床をコンクリート盤としたことにより、削孔機の姿勢の安定性が向上したためと思われる。削孔機の姿勢の安定性は削孔精度の確保にとって重要な要因であることがわかる。

b) 周長および被り

アンカー体の出来上り状態は、定着層が砂れき層の場合とシルト岩層の場合とで大きく異なっていた。

サイト A の砂れき層に定着したアンカー (A 1) の定

着部は、Photo 1 に示したように、地盤へのグラウトの浸透のための外側にれきが付着し太く不規則な形状となった。定着体部分の周長は 70~100cm であり、平均では設計周長の 1.6 倍 (90.8cm) であった。

サイト B のシルト岩層に定着したアンカー (B 1) では、Photo 2 に示したように、定着部はほぼ均等な円柱形であった。周長もほとんど均一であり、設計周長の約 1.1 倍 (58.7cm) であった。

Table 5 削孔精度

	A 1	B 1	C 1
アンカー種類	F 200 TC		
削孔径 (mm)	φ170		
アンカー長	GL-12.5m	GL-24.5m	GL-52.0m
定着地盤	砂れき	シルト岩	砂
削孔精度	1/167	1/163	1/472

A 1 アンカーの断面は、定着体の周囲に色の濃い部分があり、その周囲にれきとグラウトが混ざった部分がある二層構造となっていた。前者の色の濃い部分はほぼ削孔径に等しくグラウトのみで形成されているが、後者はグラウトの自重およびグラウトの加圧によってグラウトが砂れきに浸透した部分と考えられる。一方、B 1 アンカーでは定着体は、その径は削孔径とほぼ等しく、ほとんどの部分が色の濃いグラウト部分であり、その最外部

に厚さが0～5mm程度のグラウトと土が混ざったと思われる薄い層が形成されていた。

定着体のグラウト被り厚さは Fig.4 に示したように、20mmを下回る箇所はなく、耐久性が期待できることが確認された。



Photo 1 A 1 アンカーの外観

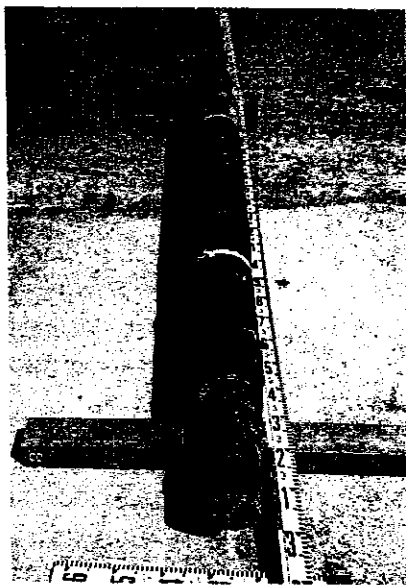


Photo 2 B 1 アンカーの外観

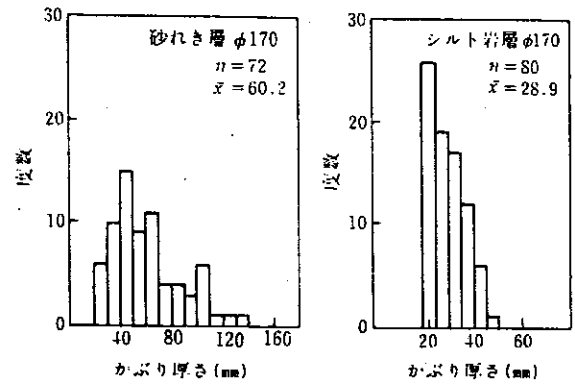


Fig.4 定着体グラウトの被り厚さ

3-3 アンカーの力学特性試験

(1) 試験方法

引抜き試験における載荷装置を Fig.5 に示した。引張試験や繰り返し試験等においても載荷装置はほぼ同様である。

引抜き試験での載荷は多サイクル方式とし、土質工学会の「アースアンカーの設計・施工基準」を参考に想定極限引抜き力までの荷重で5サイクルを設定し、引き抜けない場合には最大荷重 $0.9P_u$ まで載荷した。他の試験でも同様の考え方で載荷パターンを検討した⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾。

複数のアンカーが近接した群アンカーを想定した試験では2本のアンカー（アンカー間隔1m）に同時に同じ載荷パターンの荷重を作用させた。

また、地盤のクリープや鋼材のレラクセーション等によるアンカーの長期の安定性をみるため、単アンカーと群アンカーについて緊張定着後（定着緊張力は $0.8P_u$ 、約133tf（1304kN））約3ヵ月にわたり緊張力や変位等の変化を計測した。

(2) 試験結果

a) 引抜き・引張特性

引抜き試験では所定の最大荷重（ $0.9P_u$ ）内で全てのアンカーが引抜けたわけではないが、引抜けた試験体のアンカー頭部荷重とアンカー頭部変位量を Fig.6 に示した。試験は基本的に荷重制御方式であるので、引抜け始めると変位の急速な増加のために荷重を一定値に保つことが困難となり、変位の増加による荷重の減少がみられる。その後、除荷し再載荷すると、引抜けた荷重よりも

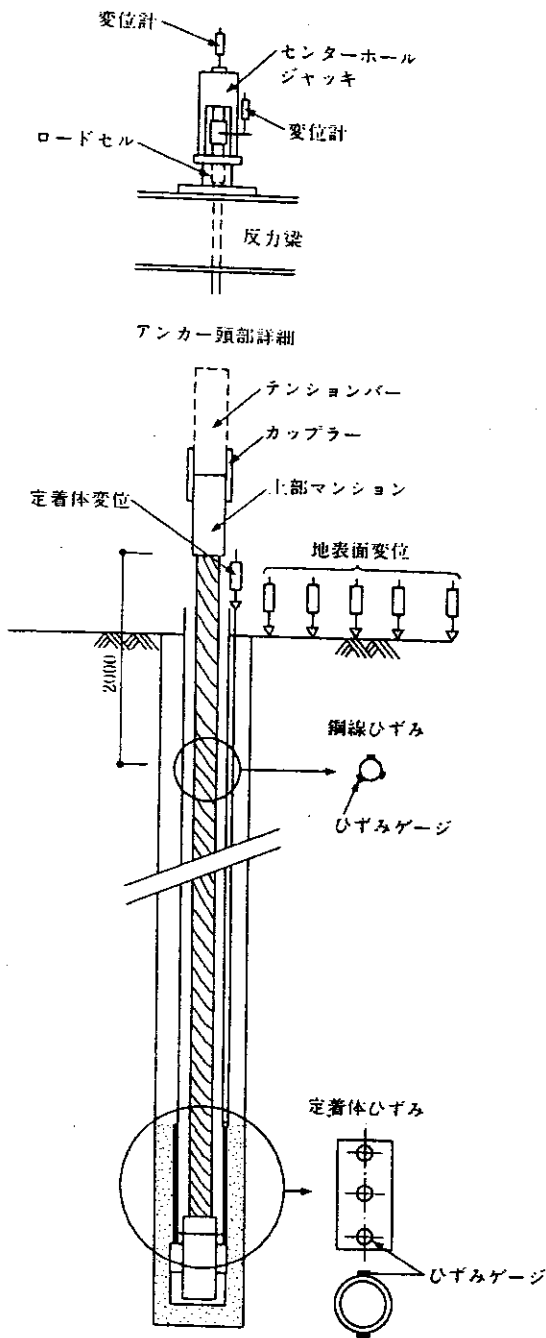


Fig.5 載荷装置

小さい荷重で変位が増加するのがみられている。

アンカー頭部で測定される変位量には鋼線の伸び量のようなアンカー体の引抜け程度とは無関係な量が含まれている。しかし、今回の試験では定着体上端の変位量をアンカーの引抜け量と考えて良いであろう。

砂れき層における引張試験および引抜き試験の結果を定着体上端の変位量とアンカー頭部荷重についてまとめたものが、Fig.7である。この結果から、定着長 (L_a) が1 mのものと4 mのものに分けられ、定着長の長さがアンカーの挙動に非常に影響することがわかる。本

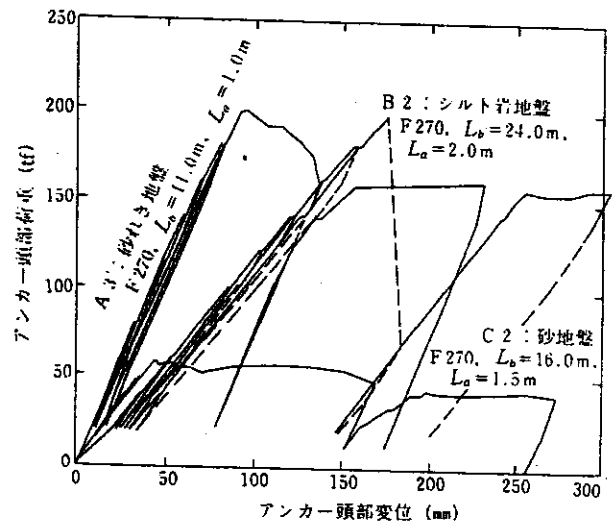


Fig.6 引抜き試験結果

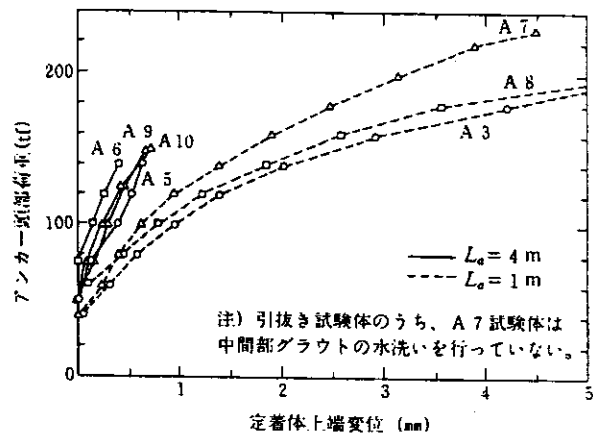


Fig.7 アンカー頭部荷重と定着体変位量

アンカーの場合にも有効な定着長には他のアンカーと同様に限界があると推定されるが、同一地盤では定着長の短いものは変位が大きく、試験時に引抜けなかったアンカーでも実際にはアンカー体にかかなりの引抜き変位が生じていることがわかる。

仮設構造体として一般に広く用いられている通常のグラウト形式のアンカーでは、グラウトの定着頭部で最大値を示すような引張力が作用するのが普通である。しかし、今回のアンカーは Fig.8 のように定着体底部からグラウトに圧縮力が作用するようなタイプであり、掘り出し試験体の観察結果でもグラウトには引張による亀裂はみられなかった。

アンカーを引抜くことにより生じる地盤内の破壊面の形状と位置については、従来、種々の提案等がなされている(例えば文献3))。今回の引抜き試験では、アンカーの引抜きに伴う周辺地盤内部の変位を知るために、アンカー周辺の地表面および地盤内部に変位計を設置した。

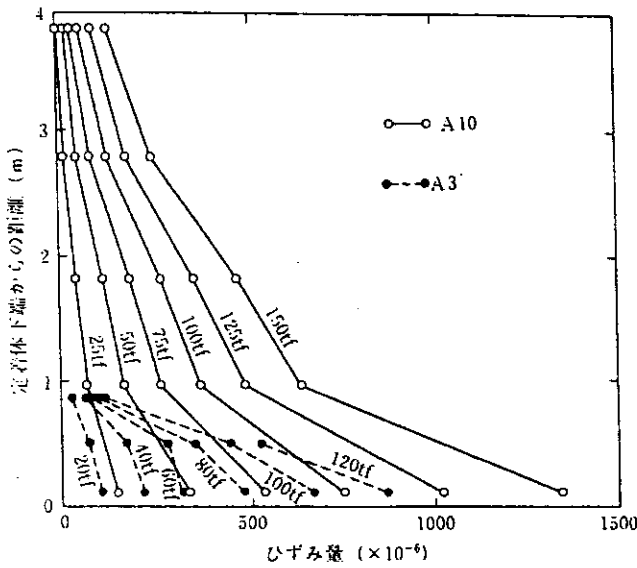


Fig.8 定着体のひずみ分布

これによると、引抜けたアンカーでは (Fig.9 (a)) 引抜きに伴う周辺地盤の変位がアンカー表面の近傍に集中しており、アンカー表面から50cm程度離れた位置ではほとんど変位がみられない。

林ら⁵⁾による砂地盤での平面ひずみ模型アンカーの引き抜き実験では、アンカー表面の近傍にせん断層が観察されている。また、地盤内部のひずみを解析した結果から密で正規圧密または過圧密な砂地盤では、引抜き初期にはくさび状のひずみ集中領域がみられるが、この領域は引抜き量の増加とともに成長することはなく、最終的にはアンカー表面にひずみが集中するのがみられている。今回の結果でも引抜けたアンカーでは、アンカー表面近傍にひずみの集中領域が生じたようである。また、引抜けなかったアンカーも地盤条件等が引抜けたものと同じであるから、最終的にアンカー表面にひずみが集中するようになると想定してよいと思われる。

b) アンカー緊張力の経時変化

繰り返し引張り試験では50回の繰り返しに対して、定着体上端では約0.16mmのわずかな変位増加しか見られず変形状は安定していた。

一方、長期安定性試験でのアンカーの緊張力は Fig. 10 に示したように、定着時点から徐々に減少している。定着後の緊張力の減少 (Δp) の原因は、鋼線のリラクセーション ($\Delta P1$)、基礎地盤のクリープ ($\Delta P2$) および定着地盤のクリープ ($\Delta P3$) が考えられるが、今回の試験では、定着体上端の変位が小さく $\Delta P3=0$ と考えて良いであろう。また、地盤を弾性的と仮定して、アンカーのバネ定数を K_a 、フーチングの沈下量増分を $\Delta \delta$ とし、 $\Delta P2=K_a \cdot \Delta \delta$ とすると、実測結果から ΔP に対し

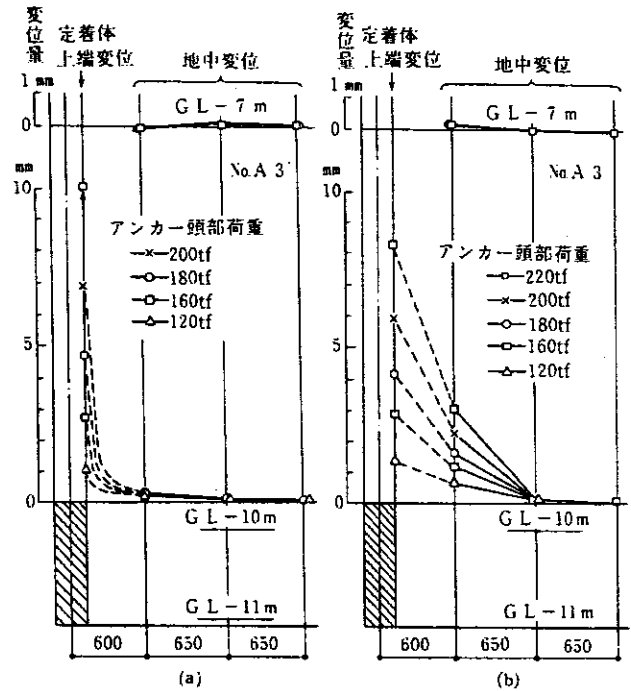


Fig.9 周辺地盤の変位

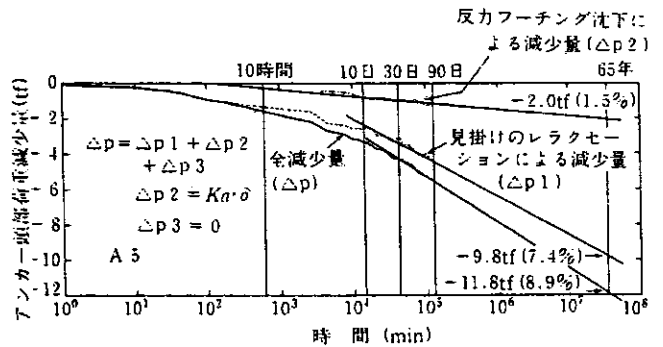


Fig.10 緊張力の経時減少量

$\Delta P2$ は砂れき層で20~30%、シルト岩層で7%程度であり、緊張力減少の約70%以上が鋼線のリラクセーションに起因するものと考えられる。なお、試験アンカーの65年後の緊張力減少は定着時緊張力に対して約8.2~9.0%と想定される。

今回の試験結果では緊張力減少の大部分が鋼線のリラクセーションによって生じたが、引張材に低リラクセーション材を使用する場合は、この部分の割合はもっと減少すると思われる。

3-4 アンカーされた基礎の特性試験

アンカーされた基礎の特性試験としては、アンカーのナットおよび基礎自体のリフトオフ試験 (引抜き試験) と基礎の振動試験を行った。リフトオフ試験では導入緊張力が明確に確認でき、基礎全体に対する緊張程度を個々のアンカーの特性から推定すること等についての知見を得たが、ここでは、アンカーされた基礎の振動特性

について述べる。

(1) 試験方法

基礎の振動試験では、周辺地盤が基礎側面を拘束しないようにのり面形状で基礎側面周囲に空間を設けた。実験は起振機をフーチング上面中央部にセットし、起振機の偏心モーメントを一定値 (52.43kgf・cm (514.2N・cm)) とし、アンカーの緊張力を変えておこなった。

(2) 試験結果

剛体基礎の水平加振ではスウェイとロッキングの連成振動が生じる (今回の測定結果には若干のねじれ振動も含まれているようである)。測定結果から各成分値を計算した共振曲線を Fig.11 に示した。共振周波数は無緊張の状態からアンカーの緊張力が大きくなるとともに高い方へ移行し、振幅は小さくなっている。一方、減衰定数

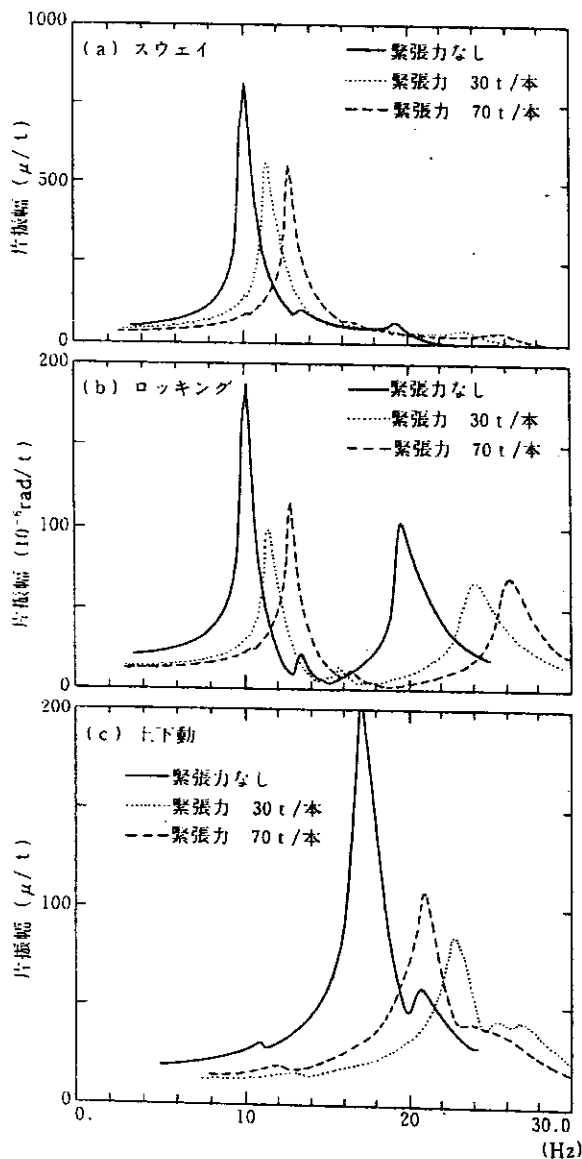


Fig.11 共振曲線

はいずれの成分でもほぼ3~5%であり、緊張力の影響は明瞭には認められなかった。

§4. アンカーの耐久性

4-1 グラウトの耐薬品性試験

腐食環境下 (特に酸性土壌) におけるグラウトの耐食性の資料を得るために、JIS 原案「コンクリートの溶液浸せきによる耐薬品性試験方法 (案)」に準じた耐食試験を実施して、浸せき溶液の酸性度がグラウトにおよぼす影響について調査した。

(1) 試験方法

セメントは普通ポルトランドセメントを使用し、水セメント比は45%、混和剤は高性能減水剤 (NL4000、使用量はセメント重量の2%) を用いた。コンシステンシーはPロートによる流下時間で、練り上がり直後で10秒、90分後で11秒程度であった。なお、単位セメント量は1300kg/m³である。

試験液は硫酸溶液 (pH 5, pH 3および pH0.5) と比較用としての上水道水の4種類を用い、浸せき時間は最長91日とした。

試験は、外観検査、浸食度、曲げ強度、圧縮強度および中性化深さについて行った。

(2) 試験結果

Fig.12 に重量変化率を示す。重量変化率は、各材令日に試験液から供試体を取り出し、脆弱な部分を水中で黄

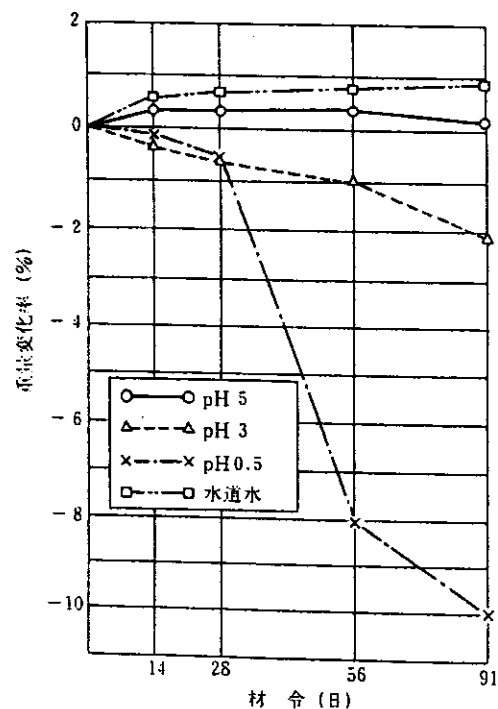


Fig.12 試験液浸せきグラウトの重量変化率

銅製ワイヤーブラシにより取り除いた後の重量の初期値に対する低下率として示した。Fig.13に各材令での水道水浸せき供試体の強度を基準とした圧縮強度比を示した。

これらの試験結果から、pH 5溶液ではグラウトの劣化はほとんど認められないが、pH 3以下の溶液では明らかに劣化が進行することがわかる。一般にはpH 5程度以上の条件の場所が多く、pH 3はかなり過酷な条件であると思われる。

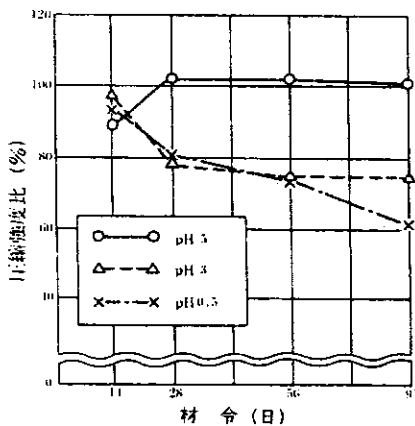


Fig.13 試験液浸せきグラウトの圧縮強度比

4-2 暴露試験

アンカー構成部材およびアンカー頭部の耐久性を調査するために、暴露試験を実施した。暴露場所は千葉港内の岸壁近傍の海水飛沫地帯とした。

(1) 試験方法

暴露試験体は、アンカー頭部と自由長部とからなる構造とし、頭部の一方を露出させ、他方をコンクリートによる埋込み型とした。なお、実際の使用状態を考慮して、引張材には $0.54P_s = 60tf (588kN)$ の緊張力を導入した。暴露期間は6ヵ月、15ヵ月および24ヵ月とし、試験体数は各々1体、3体および4体の合計8体とした。試験体の暴露状況をPhoto 3に示した。

行った試験は、各材令での外観検査、試験体解体後の構成部材の腐食状況調査および構成部材（防錆油、Oリング、ゴムパッキン、スライドパイプおよび引張材）の機械的性質の調査等である。

(2) 試験結果

また試験は継続中であるが、調査を終えた15ヵ月経過後までの試験結果について以下に示した。

解体前の外観検査および解体後の目視検査では、露出型アンカー頭部の外気に接している部分は一面に発錆していたが、その他の部分にはほとんど錆は認められな

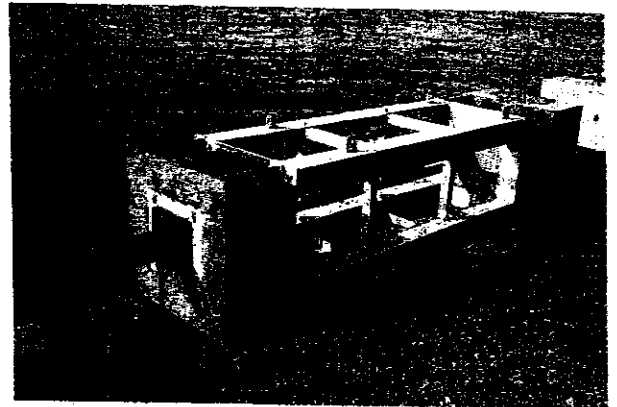


Photo 3 試験体の暴露状況

った。また、Fig.14および15にスライドパイプおよび引張材の機械的性質の経時変化の一例を示したように、各構造部材の機械的性質も初期値とほとんど差異は見られず、暴露による性状の劣化はほとんど生じていないことが確認できた。

文献⁶⁾等によるとグラウンドアンカーの破損箇所は、アンカー頭部に多いと言われており、今後、24ヵ月経過後の試験結果をも加えてディテールの改良資料としたいと考えている。

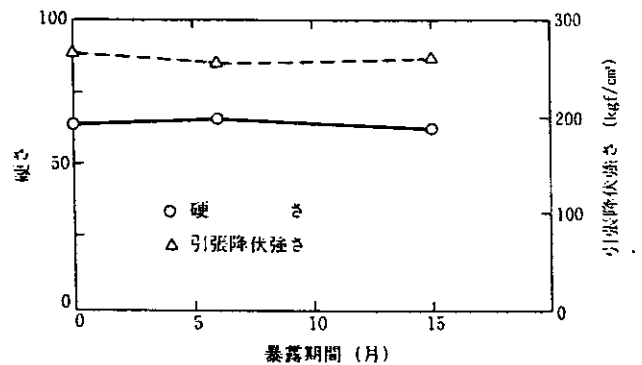


Fig.14 スライドパイプの機械的性質の経時変化

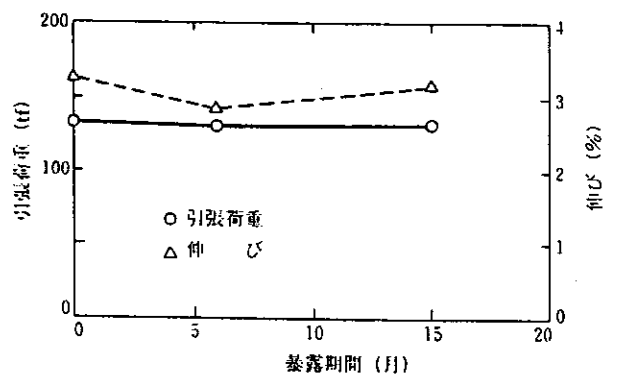


Fig.15 引張材の機械的性質の経時変化

§ 5. アンカー設計上の基本事項

本アンカーは上部構造の変形を小さくするため、アンカーには必ずプレストレスを導入するようにしており、設計アンカー力は、原則として導入したプレストレスによる有効緊張力以下となるようにしている。

また、アンカーの破壊モードは、a) 引張り材が破断する場合、b) グラウトと地盤との摩擦が極限に達する場合、c) 定着体とグラウトとの付着が極限に達する場合、および d) アンカーを含む地盤にすべり面が生じてブロック破壊する場合等が考えられる。力学的には、a) の破壊モードが最も明確であるため、設計では本アンカーの破壊は引張り材の破断によって生じるようにすることを原則としている。アンカー定着部の極限引抜き力 (T_{ug}) はグラウトと地盤との極限摩擦抵抗力と定着体とグラウトとの極限付着抵抗力などによって算定されるが、さらに上記の破壊モードを生じさせるため次式を満足するように決める必要がある。

$$T_{ug} \geq 3 P_e \quad \text{かつ} \quad 1.5 T_d \quad \text{かつ} \quad 1.3 P_y$$

P_e : 有効緊張力

T_d : (短期) 設計アンカー力

P_y : 引張り材の規格降伏荷重

設計手順の詳細については、参考文献 8) を参照していただきたい。

§ 6. おわりに

鉛直本設地盤アンカーの施工性、力学特性および耐久性等を確認する目的で実施した一連の試験について報告した。これらの結果を反映させて設計・施工指針をまとめたが、今後も実際の設計、施工を通じてデータの収集充実に努めたいと考えている。現在の設計・施工指針では、本アンカーの本設建物への適用は鉛直アンカーに限定しているが、斜めアンカーとしての本設利用についても研究開発を進めており、近い将来に斜めアンカーの設計・施工指針をまとめる予定である。

なお、この一連の研究は当社を含めて、安藤建設㈱、(株)鴻池組、住友建設㈱、(株)銭高組、東海興業㈱、戸田建設㈱、(株)フジタ、三井建設㈱、新構造技術㈱、構造工事㈱、日特建設㈱および日本基礎技術㈱との共同研究として行ったものである。

謝辞

本研究の実施にあたり、御指導を頂いた財団法人日本建築センター PTC 本設地盤アンカー研究委員会（委員長日大榎並教授）の諸先生に深甚な感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 土質工学会：アースアンカー工法，pp. 231～236，昭和51年。
- 2) 土質工学会：グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説，平成2年。
- 3) F.H.Kulhawy：Uplift Behavior of Shallow Soil Anchors, Uplift Behavior of Anchor Foundations in Soil (ed. by S.P.Clemence), pp. 1～25, ASCE, 1985.
- 4) H.Ostermayer et al.：Research on Ground Anchors in non-cohesive Soils, Groung Anchors, 9th Int. conf. on Soil Mech. and Found. Engrg., 1977.
- 5) 林鍾鉄 他：砂地盤内の剛な鉛直アンカーの引き抜き抵抗メカニズム，土と基礎，Vol.38, No.5, pp.33～38, 1990.
- 6) FIP：Corrosion and corrosion protection of prestressed ground anchorage, State of art report, 1986.
- 7) 土質工学会：土質工学における化学の基礎と応用，pp.27～28，昭和53年。
- 8) 西松建設：PTC 本設地盤アンカー工法設計・施工指針，平成2年。
- 9) 大屋準三：PTC アンカー工法，土と基礎，Vol.38, No.5, pp.9～14, 1990.
- 10) 有山峰夫 他：圧縮型本設地盤アンカー工法に関する研究(その1～その3)，第25回土質工学研究発表会，pp.1541～1548, 1990.
- 11) 小林康之 他：圧縮型本設地盤アンカー工法に関する研究(その4～その8)，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1655～1664, 1990.