

PTC 本設地盤アンカー工法

PTC Method : Permanent Ground Anchorage System

大 屋 準 三 (おおや じゅんぞう)

戸田建設(株) 建築工事技術部部長

(PTC 本設地盤アンカー共同開発グループ)

1. はじめに

地盤アンカーを暴風や地震による転倒の防止,あるいは地下水による浮き上がりの防止を目的として,建物の本設構造に使用するためには,特にアンカーの長期にわたる緊張力保持能力や厳しい防食性能が要求され,またそれらを保証する品質管理や施工管理技術,あるいは設計方法の確立が必要となってくる。以下に,筆者らが開発した PTC 本設地盤アンカーの構造と,その性能を確認するために行った種々の実験について概要を紹介する。

2. PTC アンカーの構造と種類

PTC アンカーの構造概要を図-1に示す。本アンカーは引張り材に導入された緊張力がそのまま定着体下端まで伝達され,定着体を介してグラウト,地盤に伝達される,いわゆる圧縮型アンカーである。

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¹⁾である。定着体はクロムモリブデン鋼鋼管の表面をリブ加工し,防錆のためにエポキシ樹脂塗装を施したものである。

構造物との定着には,ネジ式定着工法²⁾を採用しており,必要に応じて容易に再緊張を行える。

引張り材はスライドパイプによりグラウトと絶縁されており,鋼線に対しては被覆材とスライドパイプによって二重に防食されている。

本アンカーには,最大有効緊張力(有効緊張力の上限値)が 60tf から 160tf の範囲で 6 種類のタイプがある。なお,アンカー各部品の製作および組立ては,すべて工場において行われる。

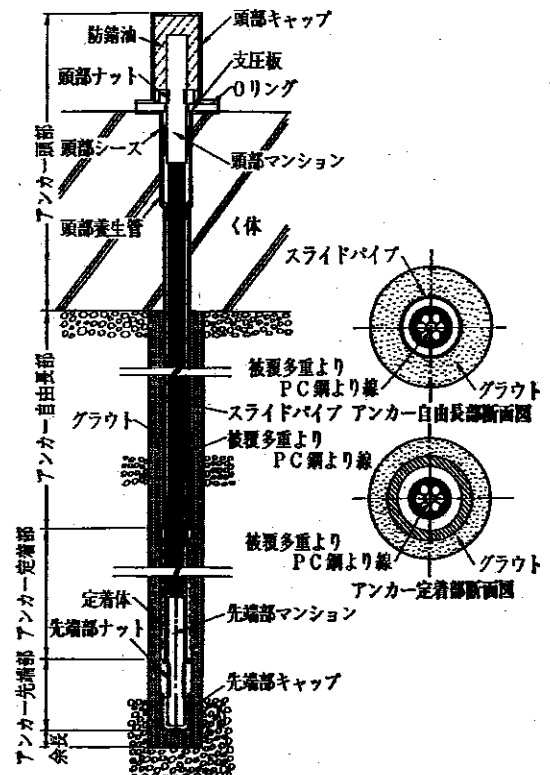


図-1 構造概要図

3. 原位置試験

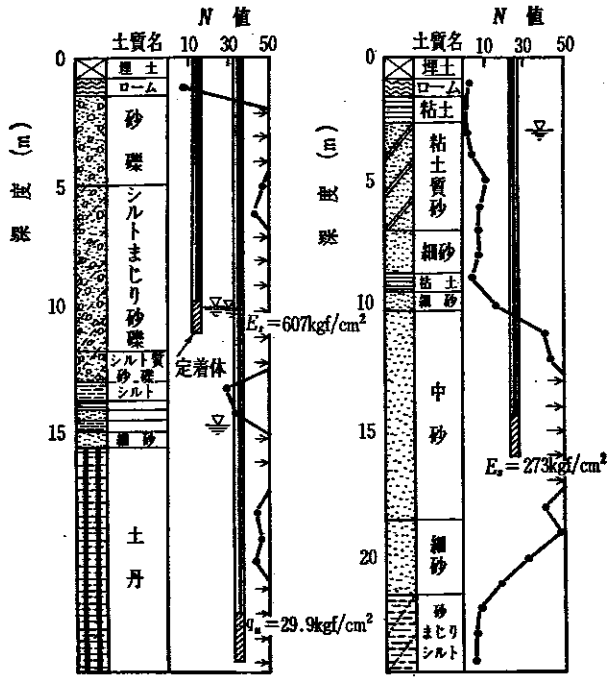
3.1 試験概要

原位置試験では20体のアンカーを打設し,施工性試験と力学試験(引抜き,引張り,繰返し引張り,長期安定性,アンカーを定着した基礎の引張り試験,および振動試験)を実施した。一部試験体については,掘出し調査も行った。

アンカーの定着地盤は,立川礫層,その下部に位置する上総層群土丹層,および成田砂層の3種類とした。試験場所の土質柱状図を図-2に示す。

3.2 施工性試験

本アンカーの施工手順を図-3に示す。

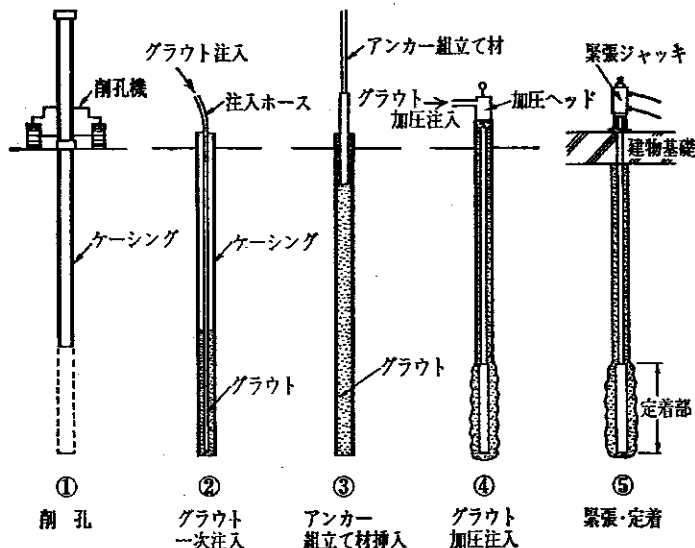


図—2 土質柱状図とアンカー定着位置

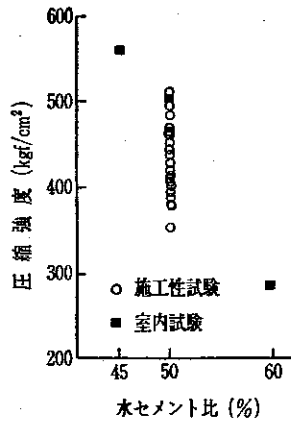
削孔は、ロータリーパーカッションドリル機を使用し、清水による二重管掘りとした。また、グラウトの加圧注入圧は 5 kgf/cm^2 とし、5分間保持した。

グラウトの材料は普通ポルトランドセメント、水および混和剤で、水セメント比は50%とした。施工性試験およびグラウトの物性を確認するために行った室内試験（水セメント比は45, 50, 60%）でのグラウトの圧縮強度とフロー値を図—4, 5に示す。

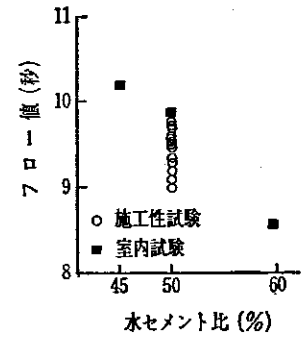
グラウトの一次注入は、注入時に孔口からあふれてくるグラウト（溢流グラウト）の比重を測定して注入グラウトの比重と比較し、同等となった時点で



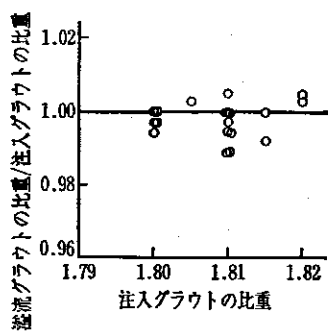
図—3 施工手順



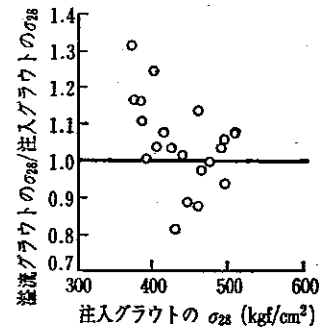
図—4 圧縮強度（標準養生，材齢28日）



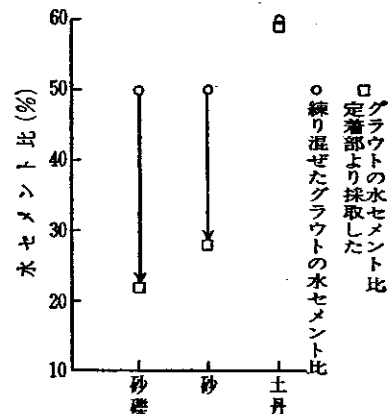
図—5 Pポートによるフロー値（練上り直後）



図—6 グラウトの比重



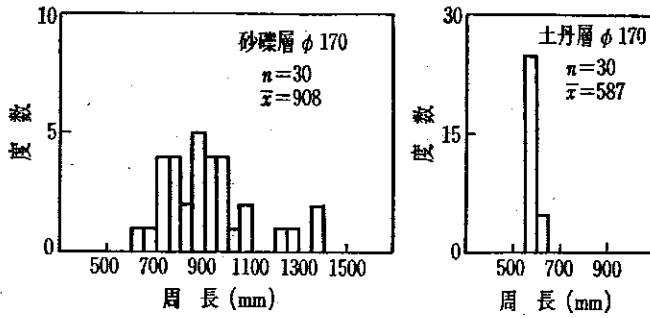
図—7 グラウトの圧縮強度（標準養生，材齢28日）



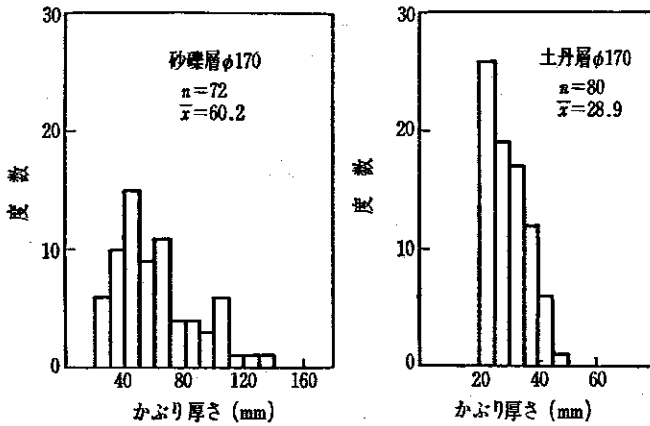
図—8 グラウトの水セメント比の変化

終了した（図—6）。試験では、注入グラウトと最終溢流グラウトの圧縮強度も比較したが、図—7に示すようにほぼ同じ値であり、溢流グラウトの比重管理で削孔水がグラウトに完全に置換されたことが確認できた。

また、加圧注入後、定着部のグラウトを採取して水セメント比を測定した。図—8に示すように砂礫層、砂層では水セメント比が減少しているが、



図—9 定着部の周長のヒストグラム



図—10 定着体のかぶり厚さのヒストグラム

土丹層では変化がない。砂礫層、砂層では定着部がともに地下水位以下ではあるがグラウトが脱水して濃いセメントミルクとなったことがわかる。

造成されたアンカー各部のできあがり状態を確認するため、3本の試験体を立坑を掘って、観察を行った。口絵写真—1, 2に砂礫層および土丹層のアン

ンカー定着部の表面形状を示す。砂礫層のアンカー定着部は、外側に礫とグラウトが混ざった凹凸が大きい部分と、内側の削孔径と同程度で色の濃いグラウトのみの部分とがある。土丹層のアンカー定着部は、全長にわたりほぼ円形であり、外周には土とグラウトが混ざった部分が2~3mm程度観察された。

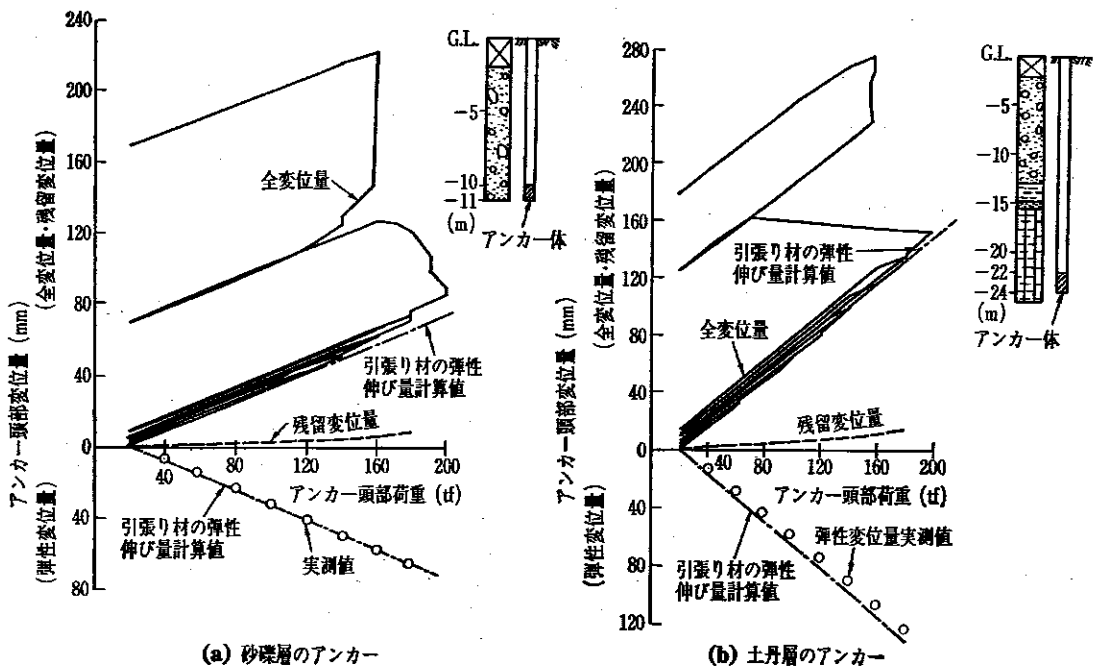
各試験体のアンカー定着部の周長および定着体のかぶり厚さのヒストグラムを、図—9, 10に示す。周長は立坑内で20cmごとに、また、かぶり厚さは1mごとの切断面で測定したものである。周長の平均値から求めたアンカー体径は、削孔径に対してそれぞれ砂礫層で1.6倍、土丹層で1.1倍となっている。なお、定着体のかぶり厚さは、砂礫層、土丹層ともに20mmを下回るものはなかった。

3.3 力学試験

(1) 引抜き試験

砂礫・砂・土丹を定着層としたアンカーの引抜き試験を行い、地盤とアンカー体の摩擦抵抗を調査した。定着長は1~2mで、アンカー自由長部の周面摩擦の影響を取り除くため、施工時に自由長部のグラウトを水洗いし、セメントベントナイトに置換した。

アンカー頭部荷重と頭部変位の関係の例を図—11に示す。アンカーの極限状態は、加力中または荷重保持中に変位が急増する場合(砂礫層・砂層)と、荷重が急落しアンカー体が一挙に滑る場合(土丹層)



図—11 アンカー頭部荷重-変位量関係

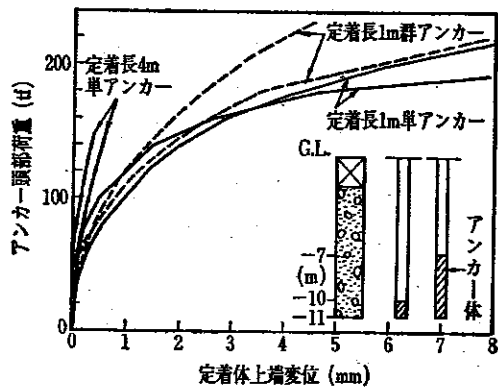


図-12 アンカー頭部荷重-定着体上端変位量関係

の2種類であった。アンカー頭部変位の弾性変位量は、引張り材の弾性伸び量の計算値とほぼ等しく、定着地盤の弾性変形の影響は非常に小さい。

図-12に砂礫層におけるアンカー頭部荷重と定着体上端変位量（アンカー体上端変位量）との関係を示す。同図から砂礫層では、変位量が2mm程度から急激に増大し、5mmでおおむね極限状態となることがわかる。砂層においても同様の傾向であった。また間隔1mの2本の群アンカーも単アンカーと同じ傾向を示し、群アンカーの影響による耐力の低下は見られなかった。さらに定着長が4mのアンカー（引張り試験）は、1mのアンカーに比べて変位量が非常に小さく、圧縮型アンカーの安定した性状を示すことがわかる。

アンカー体の実測径・定着体のひずみ度および変位量の測定結果から求めた極限周面摩擦力度を、既往のデータ²⁾⁻⁵⁾（主に斜めアンカー）などと併せて図-13に示した。砂層と土丹層では、今回の試験結果は既往のデータのおおむね上限値にあたる。土丹層では、試験結果は $q_u/2 (= 15 \text{ kgf/cm}^2)$ の値とほぼ対応する。また砂礫層の試験結果がかなり高めの値となっているが、今回の定着層が礫径の大きい堅固な地盤であったためと考えられる。

(2) 長期安定性試験

地盤アンカーの長期安定性に影響を及ぼす主な要因には、定着地盤のクリープ、PC鋼線のレラクゼーション、および基礎の沈下がある。4本の試験体（砂礫層3体、土丹層1体）について緊張定着後3か月間にわたり、緊張力・変位・ひずみ度などの経時変化を測定し、その性状を調査した。

各アンカーの測定結果を表-1に、緊張力減少量

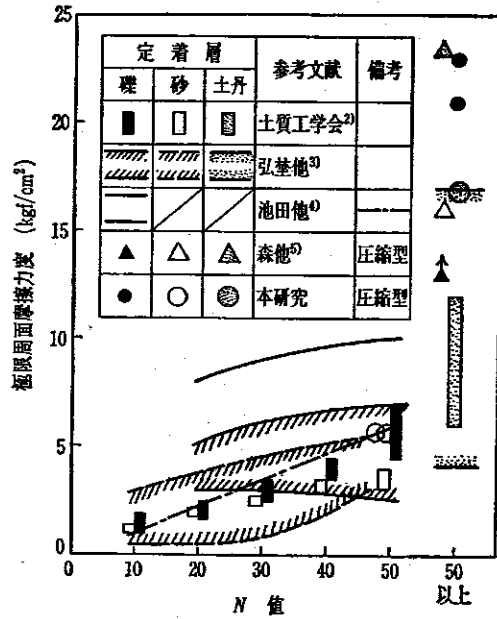


図-13 本研究において得られた極限周面摩擦力度と既往のデータとの比較

の経時変化を図-14に示す。測定開始後10日間の緊張力減少量は、アンカー長の違い、および長期安定性試験実施前の履歴荷重の影響により、各アンカーごとに多少異なっているが、それ以後は同じ傾向を示した。

測定結果より、各アンカーの65年後（通常のRC造建築物の計画耐用年数、JASS5）の緊張力減少量を推定すると（図-14）、その割合はいずれも10%以下であった。

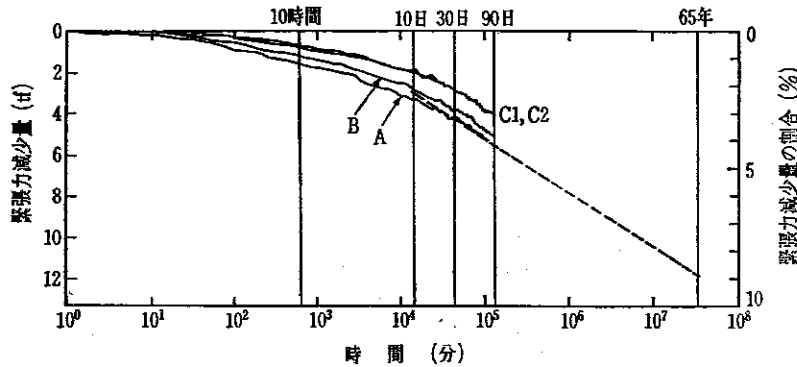
4. 室内試験

4.1 定着体とグラウトの付着試験

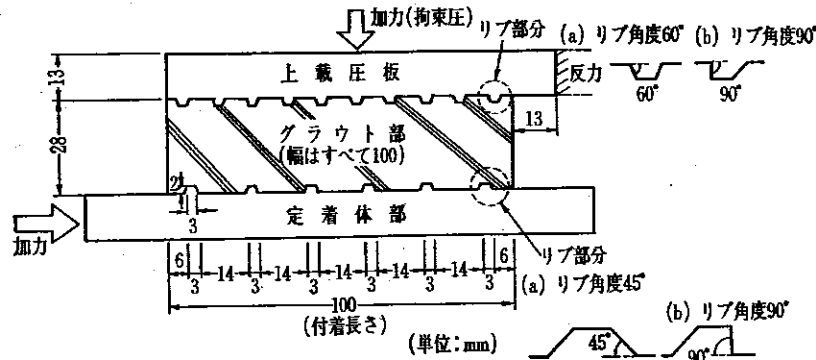
試験は図-15に示すような二次元モデルによる一面せん断型の試験体を用い、表-2に示すパラメー

表-1 測定結果

	単アンカー		群アンカー	
	A	B	C ₁	C ₂
定着地盤	砂 礫	土 丹	砂 礫	砂 礫
削孔長 (m)	11.0	24.0	11.0	11.0
定着長 (m)	4.0	6.0	4.0	4.0
引張り材の規格降伏荷重 (tf)	166.9	166.9	166.9	166.9
試験前の履歴荷重 (tf)	140.0	140.0	150.0	150.0
測定開始時の緊張力 (tf)	132.7	133.6	132.7	133.5
3か月経過時の緊張力 (tf)	127.1	128.3	128.5	129.3
3か月経過時の緊張力減少量の割合 (%)	4.2	4.0	3.2	3.1



図—14 緊張力減少量の経時変化



図—15 定着体とグラウトとの付着強度試験

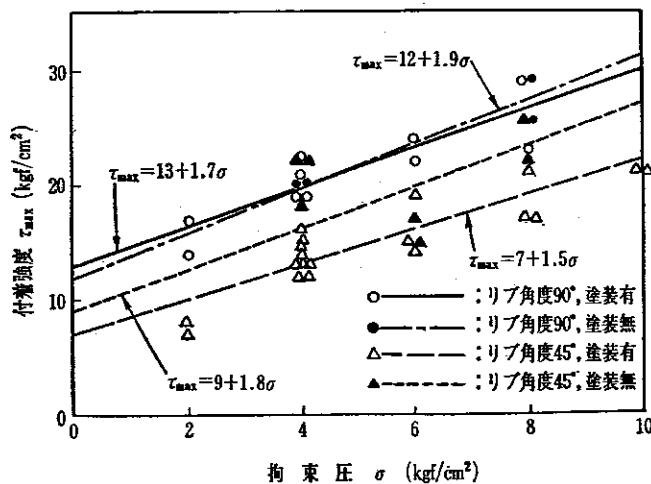
表—2 試験パラメーター

リブ角度	エポキシ塗装	付着長 (cm)	拘束圧 (kgf/cm ²)
45°, 90°	有, 無	10, 15, 20	2, 4, 6, 8, 10

ターで行った。

試験の方法は、まず上載圧板を介して試験体に所定の拘束圧を与え、その後、水平方向に載荷した。

加力は荷重制御とし、付着面の平均せん断応力度を 1 kgf/cm² ずつ増加させて、極限荷重まで単調載荷した。なお、各段階での荷重保持時間は 0.5 分と



図—16 拘束圧と付着強度の関係

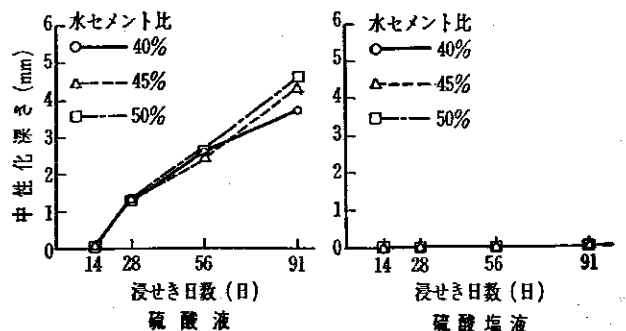
した。また、試験体に使用したグラウトの水セメント比は50%で、試験時の圧縮強度は400~500kgf/cm²であった。付着試験結果によって得られた拘束圧と付着強度の関係を図—16に示す。

リブ角度が45°でエポキシ塗装を施した試験体は、すべて、グラウトは破壊せずリブの山に乗り上がるような付着切れが起きたが、塗装をしない試験体には、リブ間のグラウトがせん断破壊しているものも見られた。これに対し、リブ角度が90°の試験体では、塗装の有無に関係なく、すべてグラウトがせん断破壊した。このような破壊形式の違いにより、塗装を施した場合、リブ角度90°の試験体は45°のものよりも付着強度が40~70%程度大きくなっているが、塗装のない場合には、リブ角度の違いによる付着強度の差はあまり見られなかった。

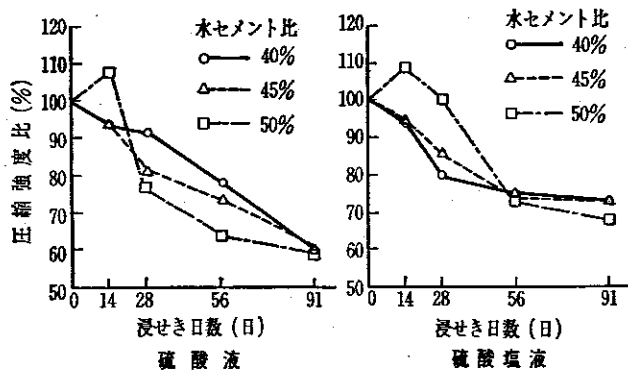
4.2 グラウトの耐薬品性試験

グラウトの腐食環境下における耐食性の資料を得るためにグラウトの耐薬品性試験を行った。試験は「コンクリートの溶液浸せきによる耐薬品性試験方法(案)」(JIS原案)⁶⁾に準じた。

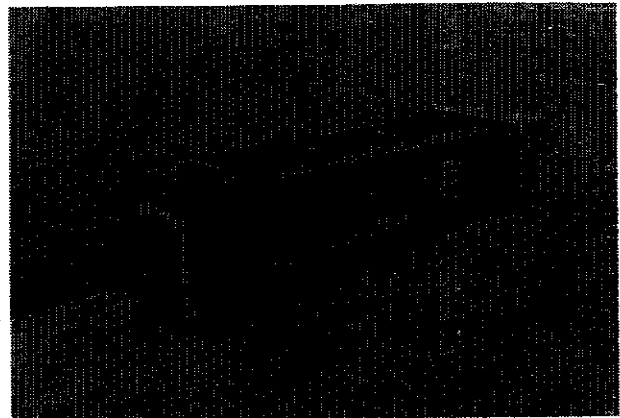
図—17, 18は普通ポルトランドセメントを使用し、水セメント比を40, 45, 50%と変えた3種類のグラウトを、硫酸液(硫酸5%溶液, pH=0.5), 硫酸塩液(硫酸マグネシウム+硫酸ナトリウム10%溶液, pH=6.7)に浸せきした場合の中性化深さ、および圧縮強度比(各材齢における標準養生試験体の圧縮強度を100としたときの比率)を示したものである。



図—17 耐薬品性試験結果(中性化深さ)



図一18 耐薬品性試験結果 (圧縮強度比)



写真一1 暴露試験体

5. 暴露試験

本アンカーの耐久性を調査するため、苛酷な自然条件である海水飛沫地帯での暴露試験を実施した。

FIP グラウンドアンカー分科会によるグラウンドアンカーの破損事例の調査⁷⁾によると、破損箇所はアンカー自由長部より上部、特にアンカー頭部に多く発生している。そこで、暴露試験体は自由長部と頭部とからなる構造とし、頭部の一方を露出型、他方をコンクリートによる埋込み型とした (写真一1)。なお、実際に使用される状態に近くするため、引張り材には 60tf (0.54 T_{ys} , T_{ys} : 引張り材の規格降伏荷重) の緊張力を導入した。試験期間は 2 年間で、現在 15 か月経過時の調査まで終了している。

調査方法は、まず試験体の外観検査を行い、次に緊張力を解除し試験体を解体して、構成部材の腐食の有無を調べ最後に各部材の機械的性質を調査した。

試験体の外観検査では、露出型側のアンカー頭部の外気に接した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発錆は認められなかった。また、各構成部材の機械的性質も初期値とほとんど差異はなく、暴露前と変化していないことがわかった。

6. おわりに

PTC 本設地盤アンカーの施工性や引抜き抵抗、長期特性あるいは耐久性などを確認する目的で実施した一連の実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

際的设计, 施工を通してデータの収集・充実に努め, 指針の見直しを図っていきたい。なお, 当工法の開発に関する調査研究は, 財団法人日本建築センターの研究委員会 (委員長: 日本大学 榎並昭教授) の指導のもとに行われた。最後に, 当工法の開発メンバーを以下に記す。

- 総合建設請負業者 (9 社): 安藤建設^株・^株鴻池組・住友建設^株・^株銭高組・東海興業^株・戸田建設^株・西松建設^株・フジタ工業^株・三井建設^株
- メーカー (1 社): 新構造技術^株
- アンカー専業者 (3 社): 構造工事^株・日特建設^株・日本基礎技術^株

参考文献

- 1) 土木学会編: SEEE 工法設計施工指針 (案), コンクリート・ライブラリー第 36 号, 1974.
- 2) 土質工学会編: アース・アンカー工法, 1976.
- 3) 弘基ほか: アンカーの引抜き抵抗と地盤の周面摩擦強度, 第 40 回土木学会年次学術講演会, Vol. 3, pp. 319~320, 1986.
- 4) 池田ほか: グラウンドアンカーの荷重-引抜き量関係の予測, 第 23 回土質工学研究発表会, pp. 1659~1660, 1988.
- 5) 森ほか: 圧縮型永久地盤アンカーに関する研究 (その 2), 日本建築学会大会, pp. 1063~1064, 1987.
- 6) 日本コンクリート工学協会: コンクリートの溶液浸せきによる耐薬品性試験方法 (案), コンクリート工学, Vol. 23, No. 3, 1985.
- 7) FIP State of the art report: Corrosion and corrosion protection of prestressed ground anchorages, 1986.

(原稿受理 1990.1.31)

グラウンドアンカー

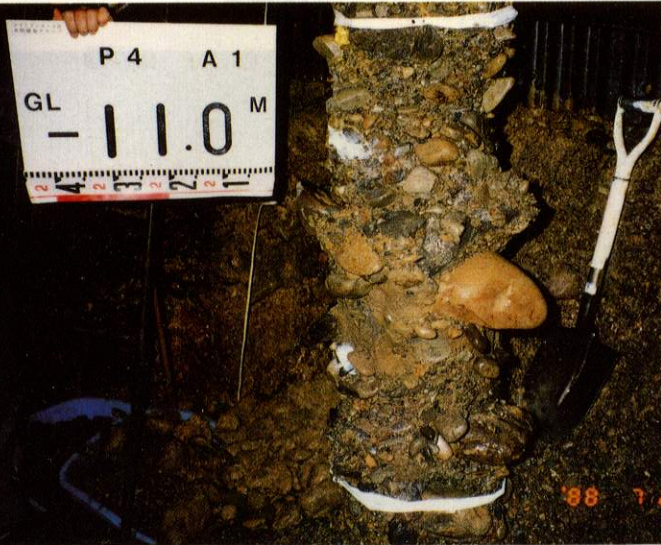


写真-1 砂礫層でのアンカー定着部の表面形状

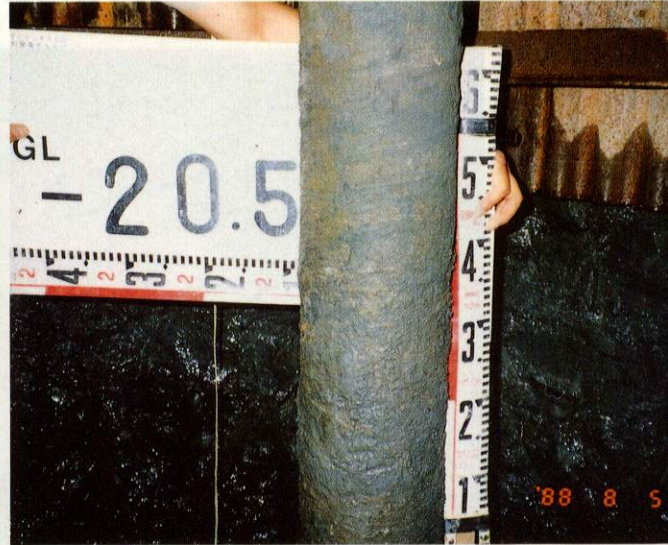


写真-2 土丹層でのアンカー定着部の表面形状

PTC本設地盤アンカー工法
(本文11ページ参照)

砂地盤内の剛な鉛直アンカー
の引抜き抵抗メカニズム
(本文33~34ページ参照)

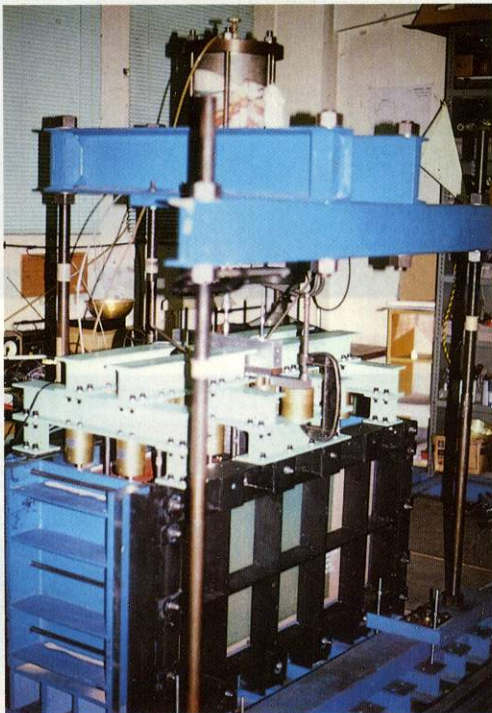


写真-3
平面ひずみアンカー
引抜き実験装置

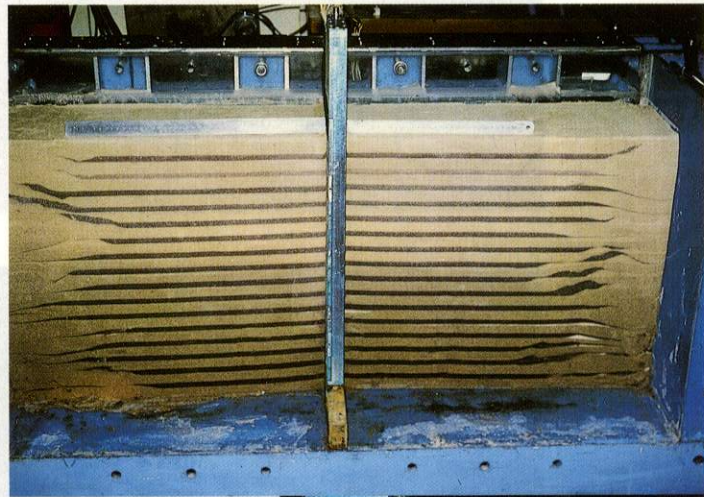


写真-4
平面ひずみ模型の中央
断面を切り出した所



写真-5
アンカー表面に見
られたせん断層

原位置引抜き試験で観察されたロックアンカーの破壊モード
(本文30ページ参照)

