

鹿島建設本社第2ビル工事で用いた 本設地盤アンカーの設計・施工

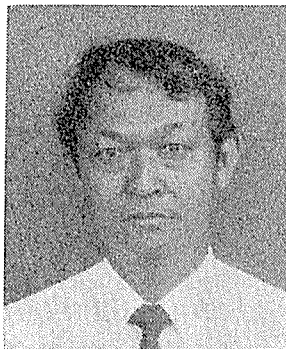
野 尻 明 美*
持 田 悟**

1. はじめに

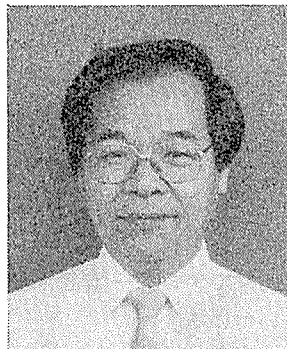
本建物は地上9階、地下1階、延面積約 29 500 m² の規模を持つインテリジェントビルであり、場所打ちコンクリート杭によって下部東京砂層に支持されている。当敷地の地下水位は地表面に近く、建物のロングスパンの中央部および平家建ての基礎スラブ中央に水圧による浮上りが生じるため、カジマ本設地盤アンカーを使用して基礎の浮上りを防止している。当ビルへ地盤アンカーを適用することについては、昭和 61 年 9 月に（財）日本建築センターの基礎評定、同年 11 月に建設大臣の認定を取得している。



写真—1 施工状況（全景）



* Akemi NOJIRI
鹿島建設(株)技術研究所
第二研究部専門部長



** Satoru MOCHIDA
鹿島建設(株)技術研究所
第二研究部主任研究員

当報告では、本建物へ採用した本設地盤アンカーの設計、施工例について報告する。

2. 建物概要

建物名称：鹿島建設本社第2ビル（KI ビル）
所在地：東京都港区赤坂 6-5-31
設計：鹿島建設（株）建築設計本部
MIDI 総合設計研究所
施工：鹿島建設（株）東京支店
ケミカルグラウト(株)(地盤アンカー関係)
構造：地下階 鉄筋コンクリート造
地上階 鉄骨鉄筋コンクリート造
基礎 場所打ちコンクリート杭

アンカー本数：12 本

アンカーの設計耐力：200 tf/m²（長期）

アンカー定着地盤：N 値 50 以上を示す下部東京砂層

アンカー体の位置：設計 GL -20.75～-26.85 m

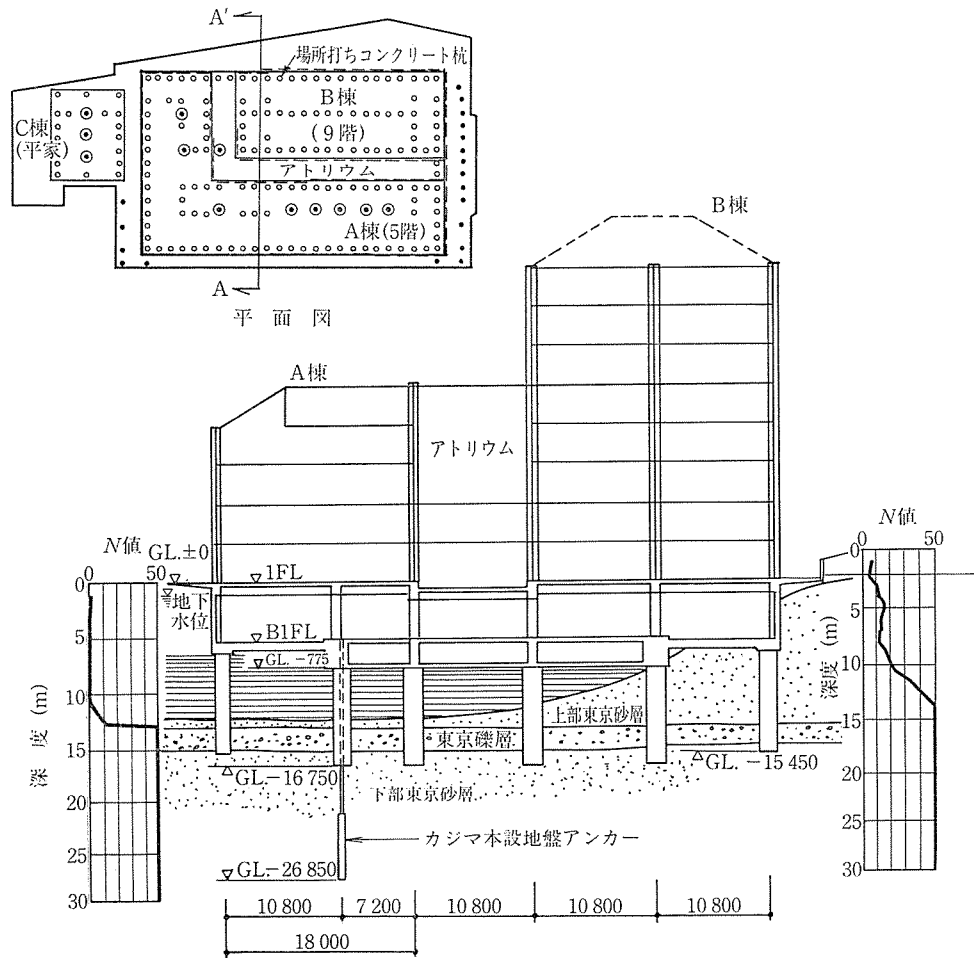
工期：昭和 61 年 12 月 15 日～平成元年 2 月 28 日

建物は図—1 に示すように 5 階建の A 棟と 9 階建の B 棟、および平家建の C 棟で構成されており、A 棟と B 棟の間には L 字形アトリウムが設けられている。A 棟は L 字形平面をしており、外周部は 3.6 m スパンの列柱ラーメン構造であるが、内部は 18 m スパンの単スパンラーメン構造となっている。ただし、地下階のみ 18 m のロングスパンを 10.8 m と 7.2 m に分割する位置に柱を設けている。C 棟は 18 m スパンのラーメン構造である。建物の床づけ深度が設計 GL -7.75 m に対し、地下水位は設計 GL -0.52 m であり、基礎スラブには約 7 tf/m² の水圧が作用するため、18 m スパンの中央部で固定荷重を超える部分 12 か所に本設地盤アンカーを設け、基礎の浮上りを防止している。

3. 地盤アンカーの設計

3.1 本設地盤アンカーの構造

当建物へはカジマ本設地盤アンカー（KCS アンカー）を採用した。この地盤アンカーは、構造物を地盤に固定させるために開発された本設用のアンカーであり、水圧



断面図 (A-A)

図—1 建物の構造

あるいは地震・強風による基礎の浮上りを防止する目的に使用されるものである。その形状は、定着部となるアンカー体が直径 $\phi 400$ mm に拡張されており、アンカー体周面の摩擦抵抗と拡張部上端の肩部の水平面における支圧抵抗の両者によって引抜き抵抗を発揮する支持機構となっている。そのために大きな引抜き抵抗力を発揮できる。また、肩部の支圧力は、アンカー体に圧縮応力を与えることになり、グラウトの亀裂を防止することにも役立つ。

アンカー各部は長期にわたって健全性を維持させるよう、図—2 に示すような防食構造となっている。アンカー頭部はアンカー力を上部構造へ伝える重要な部分であり、この部分の tendon および定着部は直接外気、湿気にふれやすく腐食する可能性が高い。そのため、アンカー頭部では、杭先端からガイド管および tendon に沿って伝わってくる水に対して PC 鋼より線のポリエチレンシースをアンカープレートの上方面まで立ち上げ、 tendon 1 本ごとに輪状の止水ゴムを嵌め込み、これをアンカーディスクとアンカープレートで圧縮することによりシースとアンカープレートが圧着されて止水性能を向上さ

せている。さらにその全体を止水キャップで覆い、その内部へグリースを 1 kgf/cm^2 で加圧注入、密閉して外部からの有害物質の侵入を防いでいる。

引張り部は tendon にアンボンド PC 鋼より線 $\phi 15.2$ mm を使用し、厚さ 1.25 mm の高密度ポリエチレンシースとグリースで二重に保護されており、その外周部はグラウトで保護されている。

アンカー体はアンカー定着長の途中から上部の tendon をアンボンドにし、この部分のグラウトを圧縮状態にするため、 tendon 付着長部の引張り応力が極力少なくなりアンカー体の引張り亀裂を防いでいる。アンカー体内部でグラウトとの付着を期待する部分は亜鉛メッキされた厚さ 0.6 mm の波形鋼製シースと水セメント比 40% のグラウトによって防食されている。また、先端には支圧板を置き、アンカー体上端部の肩部の支圧力との相乗効果でアンカー体を形成するグラウトの引張り亀裂を防いでいる。

3.2 地盤アンカーの設計

地盤アンカーを設計するにあたり、基本となる考え方は以下のものである。

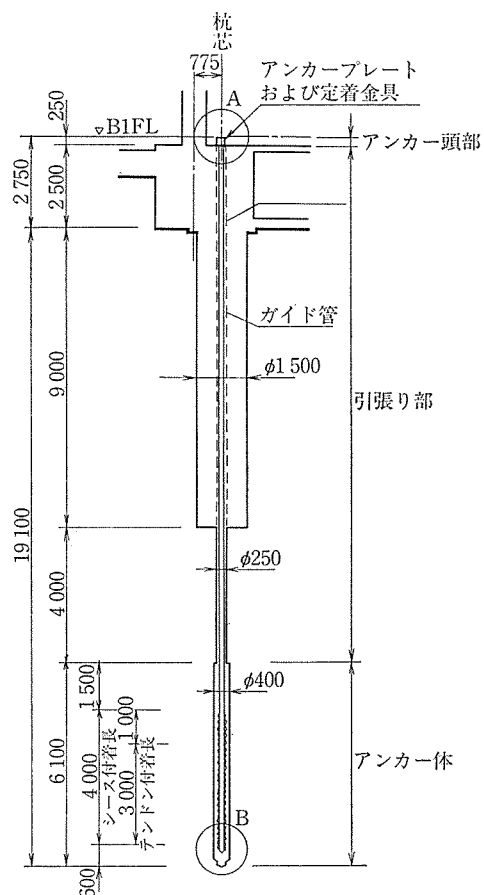


図-2 (a) 本設地盤アンカーの構造

- a) アンカーの耐力は tendon の引張り強さで決まるようにした。
- b) 地盤アンカーには予め浮上り力以上のプレストレスを加えておき、浮上り力が作用した場合でも変形が少なくなり、基礎固定に近い状態とした。
- c) アンカー定着地盤は安定した引抜き力を長期にわたって維持する必要があるので、洪積層である N 値 50 以上を示す下部東京砂層とした。その地盤物性は表-1 に示すとおりである。

表-1 下部東京砂層の工学的性質

採取深度 (m)		23.0	26	
N 値		50 以上		
物理特性	砂分 (%)	粗砂 (2~0.42 mm)	22.4	3.8
		細砂 (0.42~0.074 mm)	70.6	91.7
	シルト分 (%)		7.0	4.5
	粘土分 (%)		0	0
物理定数	均等係数	U_c	2.5	1.8
	土粒子の比重	G_s	2.73	2.73
	含水比	w_n (%)	23.4	23.7
	湿潤密度	P_t (g/cm ³)	1.97	1.99
強度定数	破壊せん断抵抗角	ϕ_d (度)	43.1	41.3
	残留せん断抵抗角	ϕ_{dr} (度)	38.2	35.2
	粘着力	C_d (kgf/cm ²)	0.16	0.25
	粘着力	C_{dr} (kgf/cm ²)	0	0
プレシオメータによる変形係数 (kgf/cm ²)		366	326	
PS 検層による伝播速度 (m/sec)		$V_p=1750, V_s=310$		

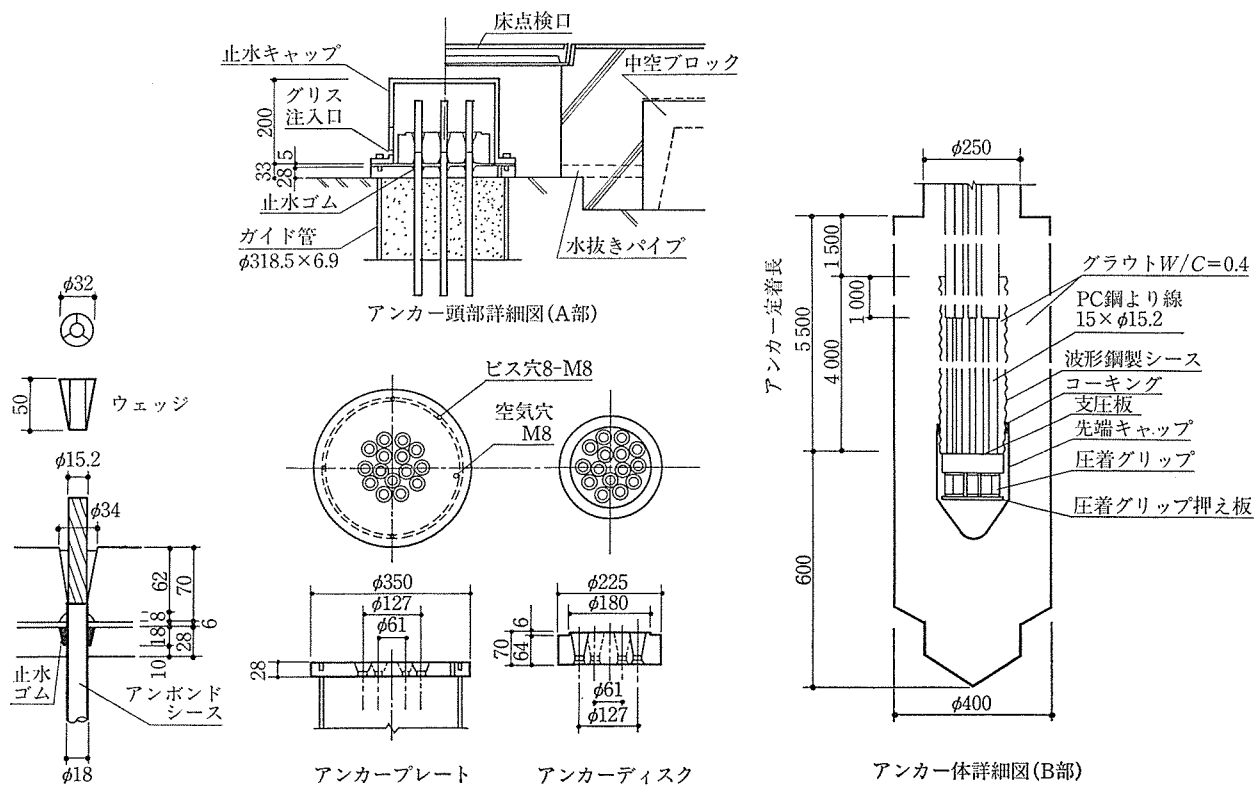


図-2 (b) アンカー各部の詳細

d) 地盤アンカーの設計に先立ち、現場サイトにおいて引抜き試験などの性能基本試験を行い、地盤に係わる耐力評価に用いる地盤定数、すなわち極限摩擦抵抗力度 τ_z および拡径部上端肩部の極限支圧抵抗力度 q を求めた。

試験に用いた地盤アンカーは図-3に示す形状とし、No. 2 は直径 $\phi 250$ mm、長さ 2 m のアンカー体であり、極限摩擦抵抗力度を、また No. 1 は長さ 1 m、直径 $\phi 400$ mm に拡径されたアンカー体であり、極限支圧抵抗力度を求めるものである。なお、引抜き力から各定数を評価する試験法であるため、アンカー体上端より上方のアンカー孔内は空洞とした。引抜き試験の結果を 図-4

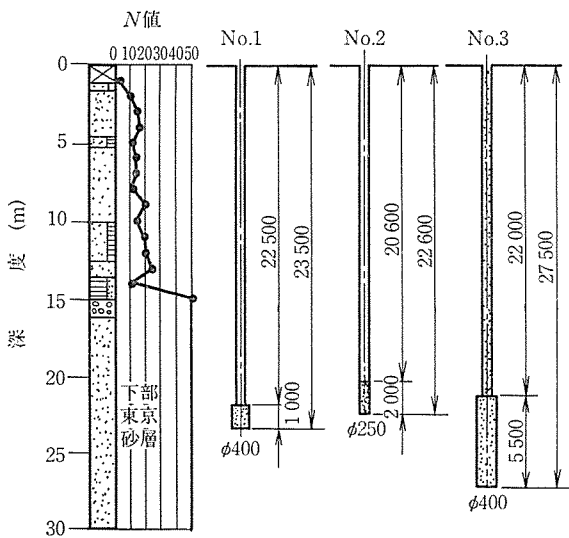


図-3 試験アンカーの形状

に示すが、No. 2 アンカーは引抜き荷重 108 tf でアンカー体にすべり破壊が生じた。この荷重からアンカー体の極限摩擦抵抗力度 τ_z として 68 tf/m² が得られた。これに対し、No. 1 アンカーは 220 tf で極限状態に達した。この荷重を P_{max} とし、次式から極限支圧抵抗力度 q を算出すると、1 770 tf/m² が得られた。

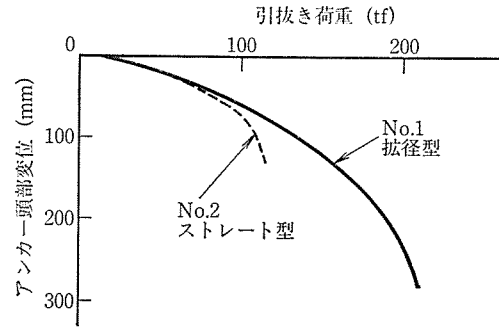


図-4 引抜き試験結果

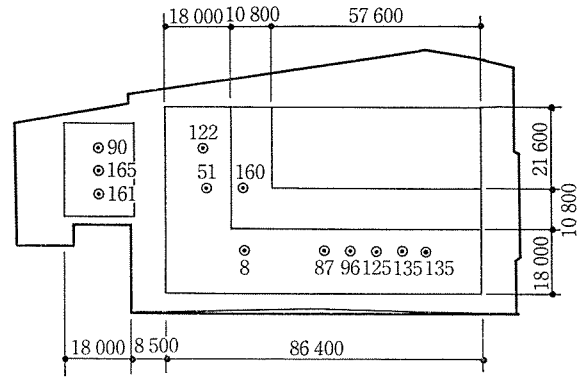
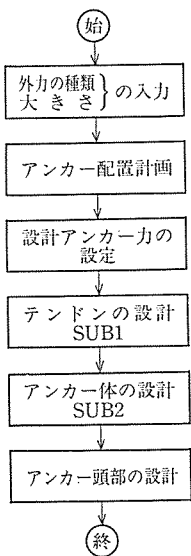
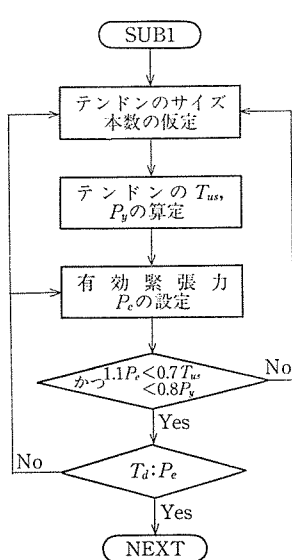


図-5 水圧による浮き上がり力 (単位: tf)

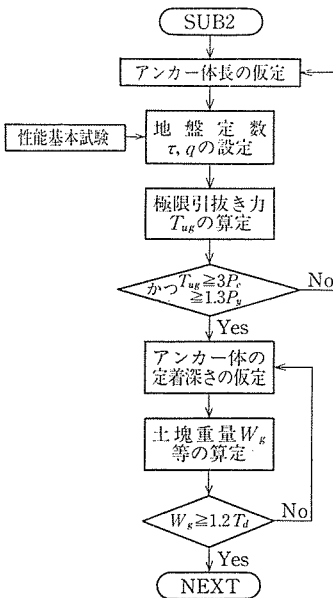
地盤アンカーの設計フローチャート



tendon の設計



アンカー体の設計



- T_{us} : tendon の引張り強さ
- P_y : tendon の降伏耐力
- P_e : 有効緊張力
- T_d : 設計アンカー力
- T_{us} : アンカー体の極限引抜き力
- τ : アンカー体の周面摩擦抵抗力
- q : アンカー体肩部の支圧抵抗力
- $T_{us} = \pi \cdot D \tau \cdot L_a + qA$
- アンカー体 支圧抵抗
- 周面の摩擦抵抗

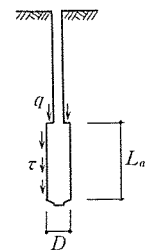


図-6 地盤アンカーの設計手順

$$q = (P_{\max} - \pi D L_a \tau_z) / A$$

ここで、 D : アンカー体の直径

L_a : アンカー体長

A : アンカー体肩の面積

以下に地盤アンカーの設計法を具体的に示す。

地下水による浮上がり力は図-5に示すごとくであり、その最大値165tfを設計アンカー力とした。設計の手順は図-6に示すとおりである。

使用するテンドンには表-2に示すPC鋼より線φ15.2mm (SWPR 7B)を15本用い、日本建築学会『プレストレストコンクリート設計施工基準・同解説』53条を準用して許容耐力を決定すると、プレストレス導入時の許容耐力は288tf、定着完了時の許容耐力は271tfとなる。

アンカー定着長を5.5mとした場合の極限引抜き抵抗 T_{ug} を次式で算定する。

$$T_{ug} = \pi D_{a1} \tau_z L_a + qA = 545.9 \text{ tf}$$

ここで、 D_{a1} : アンカー体径 (0.4 m)

L_a : アンカー定着長 (5.5 m)

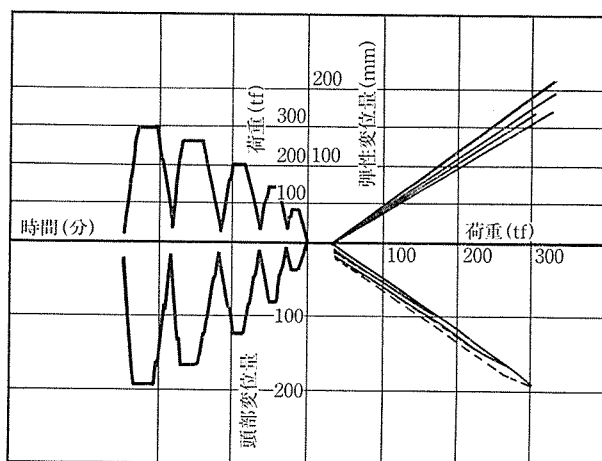
A : アンカー体の肩の部分の支圧面積
(0.076 m²)

q : 支圧抵抗力度でアンカー体の肩がうける土かぶり圧を考慮し、1000 tf/m² と

表-2 PC鋼より線の規格 (JIS G 3536-1984)

呼び名	公称断面積 (mm ²)	降伏荷重 (kg)*	引張り荷重 (kg)	伸び (%)	レラクセーション値 (%)	記号
7本より15.2mm	138.7	22600以上	26600以上	3.5以上	3.0以下	SWPR 7B

* 0.2% 永久伸びに対する荷重



アンカー頭部変位量-荷重-時間の関係

した

安全率を3とすると、長期引抜き抵抗力は182tfとなり、設計アンカー力165tfを上回る。

つぎに引抜き力に抵抗する土塊重量から所要のアンカー長を検討する。地盤アンカーは杭先端下方に設けるため、アンカー体の肩の深度は杭先端より下方へ4m離し、アンカーピッチを7.2mとすると、土塊の水中重量は図-7に示す範囲の土塊から632tfと算定され、設計アンカー力165tfを上回る。

上記仕様で造成した地盤アンカー(図-3のNo.3)に対して行った多サイクル引張り試験の結果は、図-8に示すように300tf 載荷でも安定した変位特性を示し

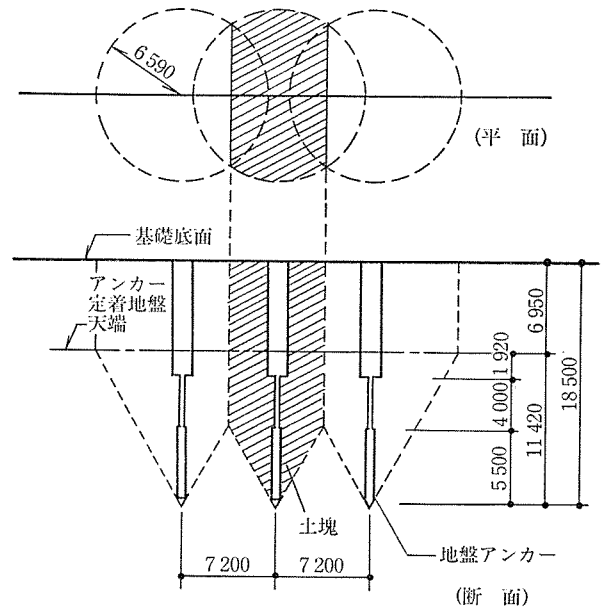


図-7 引抜き力に抵抗する土塊重量の範囲

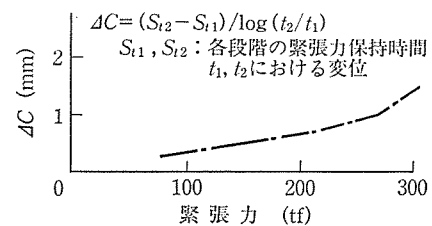
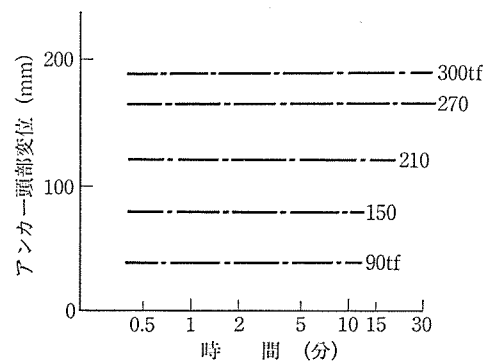
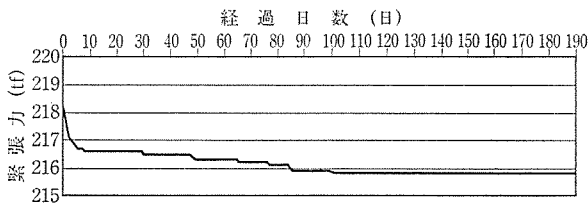


図-8

た。また、長期引張り試験の結果は 図—9 に示すように、230 tf で引張った後にウェッジ定着し、計算どおり 218 tf となり、その後約9か月間の導入緊張力損失量は 2 tf とわずかであり、十分設計アンカー力を維持することを確認した。

導入緊張力が構造躯体へ及ぼす影響については、杭の支持力およびアンカー頭部定着部の支圧強度を 検討した。杭の支持力については、施工時および完成後の安全性を 検討した結果、いずれも許容支持力以内に収まっている。また、アンカー頭部定着部については、アンカーディスクに加わる力をアンカープレートを通じてグラウトへ伝達させるものとして検討した。グラウトの許容支圧応力度 333 kgf/cm² に対して PC 鋼線による断面欠損を考慮した支圧応力度は 316 kgf/cm² となり、グラウトだけで負担することができる。

なお、アンカー頭部の定着位置は、基礎梁天端または基礎スラブ天端とし、維持管理のための点検を可能とするようにした。



図—9 下部東京砂層における長期引張り試験結果 (No. 3 アンカー)

4. 地盤アンカーの施工

当アンカーの施工手順を 図—10 に示す。また、施工管理のフローチャートを 図—11 に示す。施工に用いた主要な機械器具は 表—3 に示すとおりである。

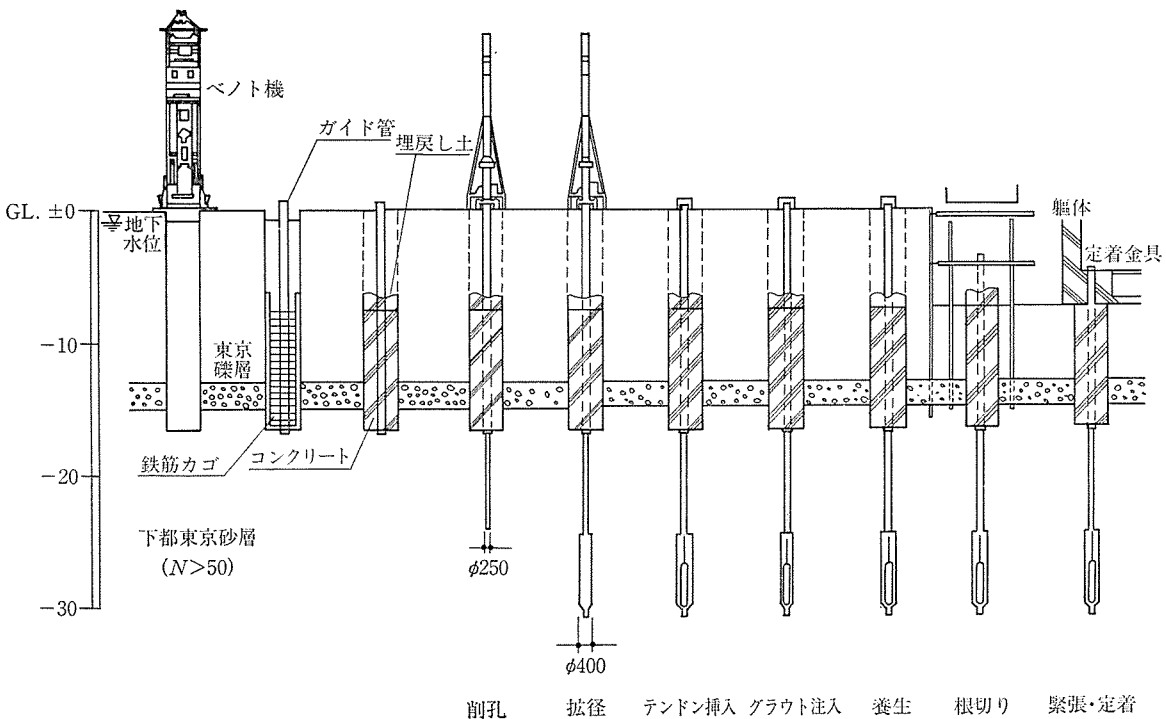
施工の概要を以下に順を追って示す。

① ガイド管の設置

当アンカーは場所打ちコンクリート杭を貫通して造成するため、コンクリート打設後にアンカー孔を施工する

表—3 アンカー施工に用いる主要機械器具一覧表

機械器具名称	規 格	数量	用 途	電 気 容 量 (kVA)
削 孔 機	油圧ロータリー式	1台	削 孔	33
ウイングビット	拡径機構付き (φ250→400)	1台	拡 径	
送水ポンプ	200 l/min	1台	送 水	20
サンドポンプ	φ4 インチ φ3 インチ φ2 インチ	3台	送 水	22
コンプレッサー	5 m ³	1台	エアリフト	
泥水タンク	20 m ³	2槽	削 孔 水	
清水タンク	10 m ³	1槽	洗浄, 練混ぜ水	
スライムセンサー	超音波型	1台	検 尺	
水 量 計	700 l 用	2台	練混ぜ水の計量	11
グラウトミキサー	0.65m ³ ×横2槽	2台	グラウト材の混練	12
グラウトポンプ	190 l/min	1台	グラウト材の注入	
グラウト管	φ1.1/4 インチ	1組	グラウト材の注入	
クレーン	25 t 級	1機	機材の揚重	
発 電 機	200 V, 125 kVA	1台	電力設備	
緊張ジャッキ	max 430 t	1台	緊張・定着	
電動ポンプ	max 480 kg/cm ²	1台	緊張・定着	22



図—10 本設地盤アンカーの施工手順

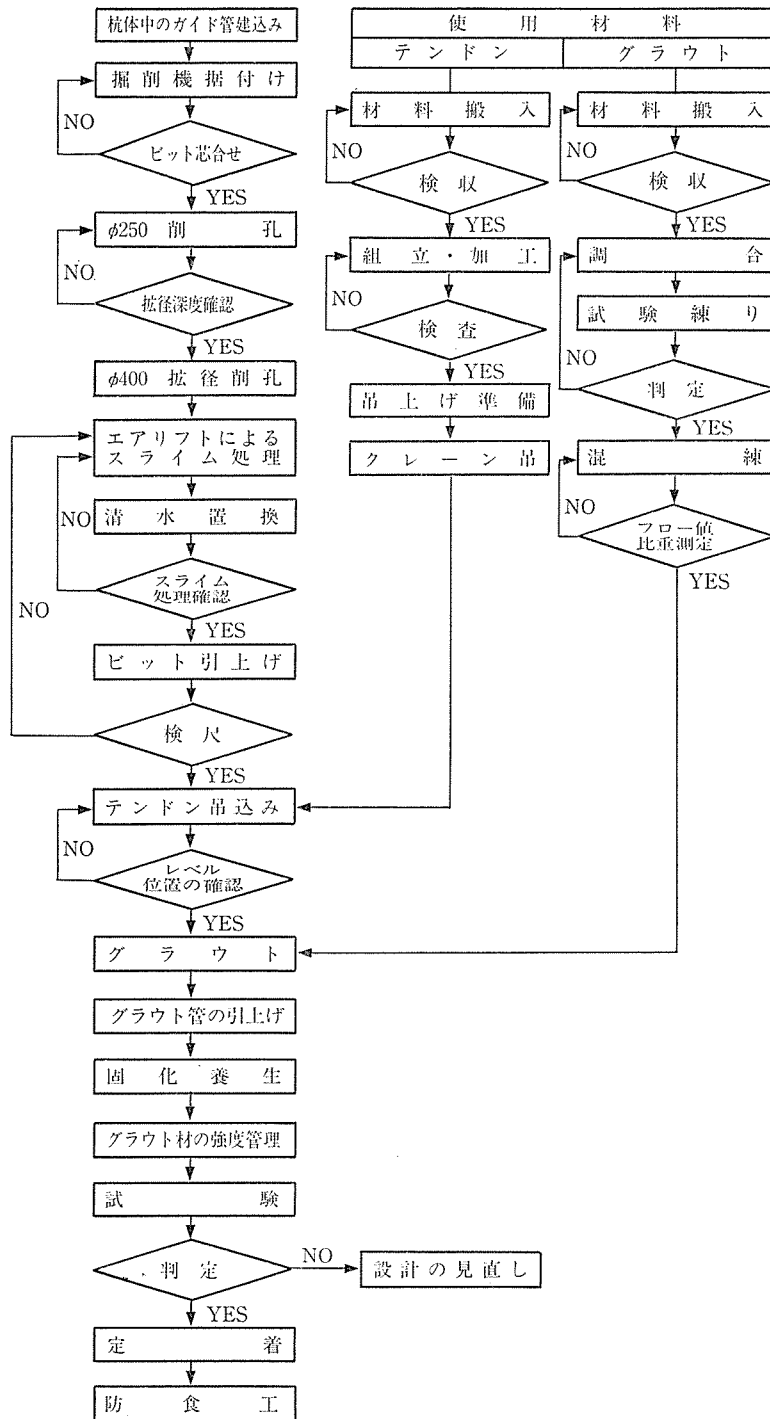
ことは工期・コストともに割高となるので、杭施工時に鋼管を挿入しておき、地盤アンカー施工時の削孔ビット用のガイド管とした。ガイド管は削孔ビット径が 250 mm であるので、300 mm の鋼管とした。ガイド管は杭芯に設置されるため、写真—2 に示す方法で杭の鉄筋籠にガイド管を取り付けて挿入した。なお、コンクリートの打設には 2 本のトレミー管を使用した。

② 地盤アンカーの削孔

削孔は正循環の水流により φ250 mm で所定の深度ま

で進め、その後油圧により拡径ビットを 400 mm に拡げて拡径削孔した(写真—3, 4 参照)。削孔による揚泥の効率化をはかるとともに孔壁の崩壊を防止する意味でベントナイト泥水を用いた。なお、表—4 に削孔機の性能を示す。

スライム除去はエアリフト方式による逆循環の水流により行い、同時に孔内に清水を送り込むことで孔内洗浄を行った。その後、削孔長を超音波を利用したスライムセンサ(写真—5)を使用して所要の深さが確保されてい



図—11 施工手順のフローチャート

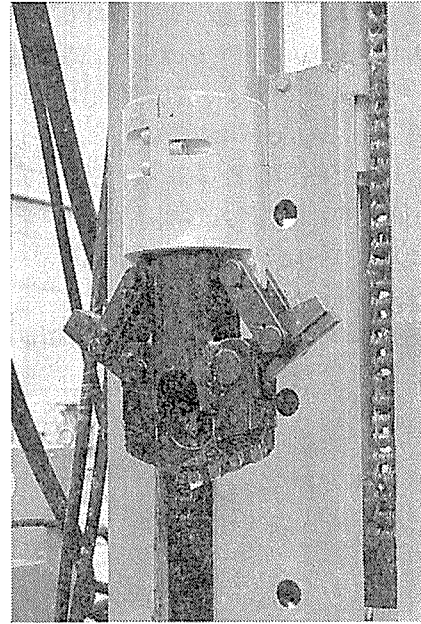
ることを検知した。スライムの判定例を 図—12 に示すが、泥水の比重が高くなるに伴い超音波透過率を表す電圧が低下していき、急激に低下する位置がスライムの天端と判定される。

③ テンドンの挿入

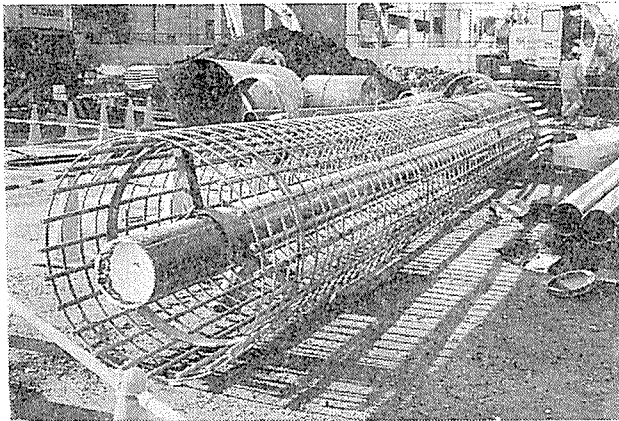
15本の部分アンボンド PC 鋼より線で組み立てられたテンドンをレッカーで吊りあげ、グラウトとの付着を期待する部分の周囲に波形鋼製シースを差し込み、先端キャップを取り付けたあとに波形鋼製シース内にグラウトを先行注入しておいた。そのあとで所定の深度までテンドンを静かに挿入した（写真—6, 7 参照）。

④ グラウトの注入

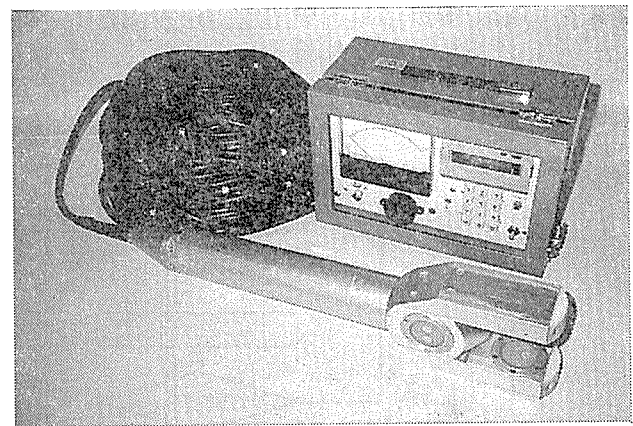
テンドンを所定の深度で固定支持し、先端キャップの下方からグラウトを連続に圧送注入した。この作業ではグラウトが水平に吐出する注入パイプを用いて孔底に沈積するスライムの巻きこみを防止した。グラウトの天端



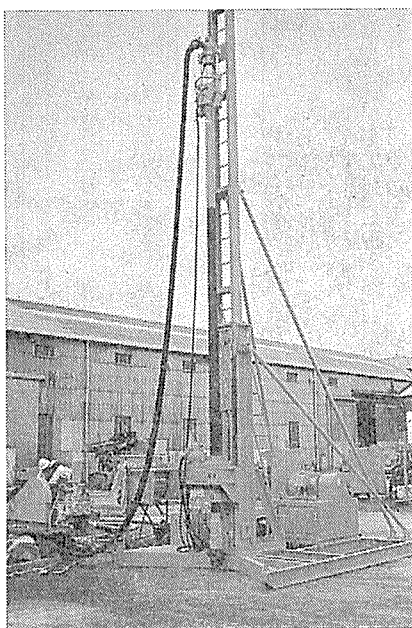
写真—4 拡張ビット



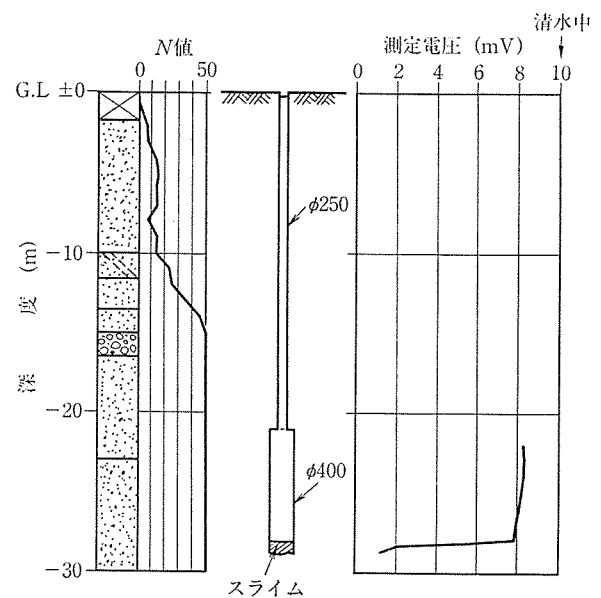
写真—2 鉄筋カゴに取り付けたガイド管



写真—5 スライムセンサー



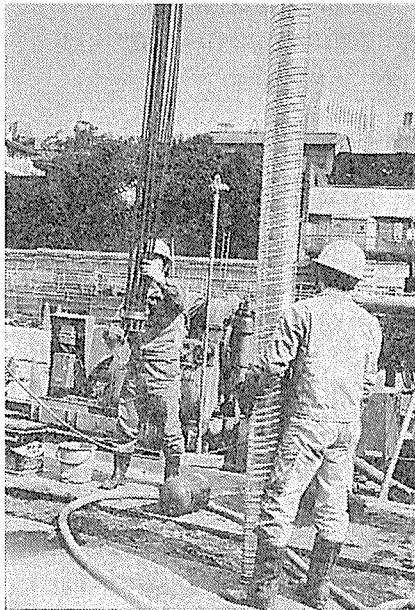
写真—3 削孔機



図—12 スライムの判定例

表—4 削孔機の性能

形 式	オイルモータードライブ方式
回 転 ト ル ク	0~30 r.p.m.
フィードストローク	700 mm
寸 法	W3×L4×H10 m
重 量	4 t
削 孔 方 法	ロータリー方式
削 孔 ビ ッ ト	ウイングビット
削 孔 ロ ッ ド	二重管ロッド
排 土 方 法	正逆循環方式
拡 径 翼	φ250~φ400
削 孔 能 力	50 m



写真—6 テンドン挿入

は、アンカー頭部のアンカープレートを設置する深度付近とした。グラウトの調合は表—5に示すものとした。

⑤ アンカー頭部の組立て

根切りが完了し、捨てコンクリート打設完了後、ガイド管をアンカープレート設置レベルで切断して、その内部にノンブリージングのグラウトを注入した。その上にアンカープレートを溶接にて取り付けた。

⑥ 緊張・定着

建家荷重が約80%に達したときに排水を止めるために浮力が作用することになるので、この時期に緊張・定着を実施した。定着を行う前に、地盤アンカーの品質を確認するために全アンカーに対して引張り試験を行い、緊張力とテンドン伸び量の関係が正常であることを確認した。定着の手順として、有効緊張力200tfの110%の緊張力220tfで引張り、ウェッジを用いて定着した。導入された緊張力に関しては、3か所で長期計測を目的に荷重計により計測しており、定着完了した時点での導入緊張力は210tf前後である(写真—8参照)。

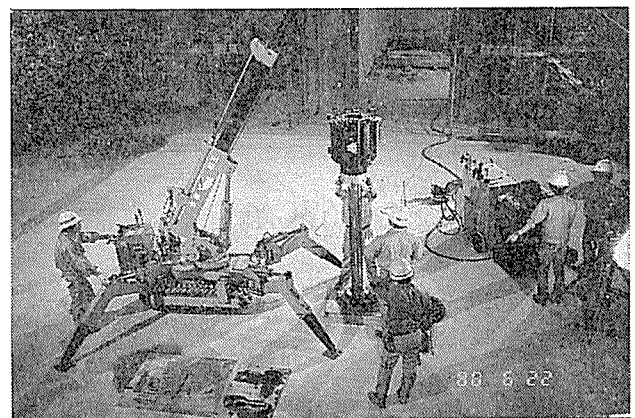
表—5 グラウトの調合

水セメント比	水	セメント	高性能減水剤
40%	564 l	1 411 kg	4.2 kg

セメント：普通ポルトランドセメント
高性能減水剤：セルフロー R155



写真—7 シース内へのグラウト注入



写真—8 緊張・定着

5. おわりに

当建物における本設地盤アンカーは、我が国ではじめて建設大臣の認定を得て設計施工されたものである。地盤アンカーを採用することにより基礎の規模が縮小され、経済的に建物を建設することができた。当建物は本年2月に完成したが、長期的な品質を保証するために継続して緊張力等の観測を実施していく予定である。

なお、本建物の設計・施工に当たり、ご協力していただいた関係者各位に心から感謝の意を表す。

【1989年4月4日受付】