

PIPくいの支持力機構に関する研究 (その2)

—粘性土地盤と砂礫地盤における周面摩擦支持力の検討—

小 粥 庸 夫

大 内 雅 典

(土木技術部)

§ 1. 序論

前報では¹⁾ 5つの現場の鉛直載荷実験結果をもとに検討した結果、従来のようにピヤ基礎の場合に準じて求めたPIPくいの設計支持力は、載荷実験結果から求めた設計支持力を非常に下回り、その原因は周面摩擦支持力が全く認められないことによるところが大きいことなどを明らかにした。

その後、日本建築学会の建築基礎構造設計規準²⁾が改訂になり、場所打ちコンクリートくいの周面摩擦支持力(同規準では周面摩擦抵抗,あるいは周面摩擦抵抗力といっている)を明記するようになったが、PIPくいについてはいまひとつはっきりしていないようである。

そこで本論では、前報で問題となったPIPくいの周面摩擦支持力と地盤(本論では粘性土地盤と砂礫地盤をとりあげた)との関係を検討するため、最近行なった総合実験³⁾の一部の結果から、おもに、

- 1) くい周地盤の一軸圧縮強度
- 2) くいの施工(削孔や打込みなどをさす)と、くいの引抜きに伴うくい周地盤の土性変化
- 3) 泥水を使った場所打ちコンクリートくいの泥壁の壁厚と性質
- 4) 泥水を使った場所打ちコンクリートくいとPIP

くいと打込みくいの引抜き抵抗

などについて考察した。

その結果、

- 1) 関東ロームにおいて、ボーリング試料から求めた一軸圧縮強度はブロックサンプリング試料から求めた一軸圧縮強度の1/2~1/5になること、
- 2) PIPくいは、泥水を使った場所打ちコンクリートくいのように、くいの施工時にくい周地盤をゆるめることがないこと、
- 3) 泥水を使った場所打ちコンクリートくいの泥壁は通常の場合10~20mmの壁厚があり、その剪断抵抗力は周囲の自然地盤と比較してかなり小さく、1.0 t/m²~2.0 t/m²しかないこと、
- 4) 泥水を使った場所打ちコンクリートくいとPIPくいと打込みくいの引抜き抵抗力は、通常の場合それぞれ泥壁の剪断抵抗力、自然地盤の剪断抵抗力、打込みによって締固った地盤の剪断抵抗力によって決まること、

などを明らかにし、PIPくいの粘性土地盤における周面摩擦支持力度は、ブロックサンプリング試料による一軸圧縮強度 qu から求めた $qu/2$ に近似することを明らかにした。

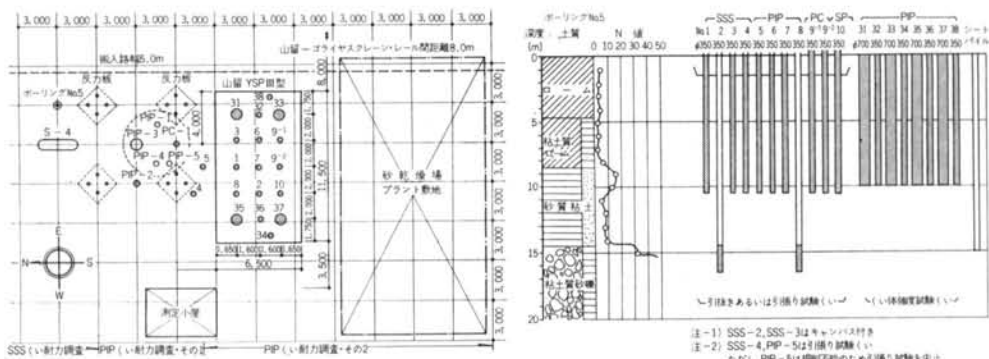


図-1 試験くいの配置

験などをした。

2.2 実験の項目と方法

実験の項目は、表—1 に示すように8つある。

2.2.1 くい体硬化熱測定

くい体硬化熱の測定は、PIPくい体強度との関係を検討するために行なったものである。詳細は次回に発表する。

2.2.2 コンクリートとプレパックド・モルタル打設時の現場管理

場所打ちくいの施工精度やくい体強度などは打設時の現場管理によって大きく左右されるので、それらの関係を厳密に把握するため材料の品質・計量・含水量、施工時間、泥水の性質などに特に注意しながら、おもにプレパックド・モルタルの材料の検査、打設時の管理と試験、泥水管理などをした。

泥水を使った場所打ちコンクリートくいは、表—2 に示す No.5 の配合の泥水と、表—3 に示す配合の生コンクリートを使って施工した。PIPくいは、表—4 に示す標準配合（A配合）のプレパックド・モルタルを使って施工した。

配合No.	配合（ミキサ容量 0.18 m ³ ）					性 質			
	清水 (kg)	赤土 (kg)	ベントナイト (kg)	CMC (kg)	分散剤 (kg)	粘性比 500/500砂	比重	水量 (cc)	泥壁厚 (mm)
1	160	30	3.0	0.04	0.04	22.7	1.06	—	—
2	160	41.5	1.4	0.058	0.058	24.2	1.07	43	4.0
3	160	41.5	3.0	0.04	0.04	24.3	1.075	55	5.5
4	160	35	4.5	0.05	0.05	23.5	1.06	37.5	3.0
5	160	35	4.0	0.10	0.05	25.8	1.065	28.0	2.0

注) 5種類の配合を事前試験した結果 No.5 の配合を使うことにした
表—2 泥水の配合

配 合	4 配合度 (kg/cm ²)	選 験 試 験 試 験 試 験 (kg/m ³)	C セメント (kg/m ³)	S 細骨材 (kg/m ³)	G 粗骨材 (kg/m ³)	細骨材率 (%)	W 水 (kg/m ³)	W/C (%)	スランピング率 (cm)
普通配合 生コン リート	300	SSS-1							21.0
		SSS-2	410	801	954	46.1	203	49.5	2.8~ 2.4 ×10 ⁶
		SSS-3							
		SSS-4							

表—3 コンクリートの配合

2.2.3 コンクリートとプレパックド・モルタルの強度試験

目標強度が出ていることを知るために標準供試体による圧縮および引張強度などの試験をし、PIPくい体の強度とその値の分布（くい体の深度に対しての、くい径に対しての、配合に対しての、材令に対しての）を知るために、PIPくい体から採取したコアーによる圧縮および引張強度などの試験をした。詳細は次回に発表する。

2.2.4 くい体の施工精度調査

場所打ちくいは既製くいに比較すると、くい体の形状が一樣でないものが多い。その形状を決める要因としては施工者の技量、現場の土質、施工時の状況などがあげられているが⁴⁾、ここでは引抜き抵抗力などを検討する場合の試験くいの形状を確認するなどの目的で、おもにくい表面形状、くい径、鉛直度などについて測定した。

なかでも、泥水を使った場所打ちコンクリートくいとPIPくいの引抜き抵抗力のちがいを究明するために、

配合の種類	4 配合度 (kg/cm ²)	選 験 試 験 試 験 (kg/m ³)	プレパックド・モルタル配合						破り土量 (m ³) (注3)
			C セメント (kg)	F フライアッシュ (kg)	S 砂 (kg)	W 水 (kg)	I・A エイド (kg)	W/C+F (%)	
標 準 (A)	300	PIP-5	120	30	96	69.0	1.31	46	上段はバッチ当り 下段は m ³ 当り
		PIP-6	注1)		吸水量 3.1%				
		PIP-7							
		PIP-8							
NOフライアッシュ (B)	240	PIP-31	120	40	128	80.0	1.40	50	0.187
		PIP-32	640	213	683	427	7.50		1.00
高 炉 セメント (C)	240	PIP-33	120	0	153	72.0	1.05	60	0.171
		PIP-34	703	0	896	422	6.10		1.00
PIP用エイド (D)	240	PIP-35	120	0	145	69.6	1.05	58	0.166
		PIP-36	721	0	872	418	6.30		1.00
PIP用エイド (D)	240	PIP-37	120	40	124	80.0	0.70	50	0.186
		PIP-38	645	215	667	430	3.80		1.00

- 注1) 普通ボルトランドセメント
2) 高炉B種
3) イントルージョンエイドは除いた
4) フロー 18±2 秒

表—4 プレパックド・モルタルの配合

	調査項目と方法	試験くいの名称と調査深度										
		SSS		PIP		PC		SP	PIP			
		1	3	6	7	9 ⁻¹	9 ⁻²	10	32	33	35	36
状況	項目：くい周とくい先端周辺の地盤状況 方法：肉眼で観察し、文章で表現、写真撮影。	(m) -30 -60 -90	(m) -30 -60 -90	(m) -30 -60 -90	(m) -30 -60 -90	(m) -30 -60 -90	(m) -30 -60 -90	(m) -30 -60 -90	(m) -30 -60 -90	(m) -30 -60 -90	(m) -30 -60 -90	(m) -30 -60 -90
	項目：くい周とくい先端周辺の地盤の硬さ(くいの打込み、引抜きなどによる地盤のしまり、ゆるみ具合)分布 方法：ポケット・コンペネトローターの読み(相対値)を記録	-30 -60 -90	-30 -60 -90	-30 -60 -90	-30 -60 -90	-30 -60 -90	-30 -60 -90	-30 -60 -90	-30 -60 -90			-30 -60 -90
密度	項目：くい周とくい先端周辺の地盤の密度分布。 方法：サンプラー(φ30×h100)により各点の単位体積重量を測定し、その分布を調査。	-30 -60 -90		-30 -60 -90		-30 -60 -90		-30 -60 -90			-30 -60 -90	-30 -60 -90
	項目：くい周とくい先端周辺の地盤の土質係数。 方法：ブロックサンプリングにより不攪乱試料採取(300×300×300)(粒度分析、コンステンシー)(自然状態、一軸、剪断、三軸)											
一般土質係数	項目：くい周とくい先端周辺の地盤の土質係数。 方法：ブロックサンプリングにより不攪乱試料採取(300×300×300)(粒度分析、コンステンシー)(自然状態、一軸、剪断、三軸)											
泥壁	項目：泥壁形成状況とくい表面粗滑状況、泥水浸透状況、泥壁中のコンクリート混合状況、くい周地盤上下方向変位。 方法：測定リングを使用。	-30 -60 -80 -90	-30 -60 -80 -90									
くい先端ブロックサンプリング	項目：くい先端地盤の成形状況。 方法：ブロックサンプリングして肉眼観察、写真撮影、密度調査。	-105 -105	-105 -105	-105 -105		-105 -105	-105 -105	-105 -105			-105 -105	-105 -105

表一五 くい周・くい先端地盤調査計画

泥水を使った場所打ちコンクリートくいの泥壁の性質と厚さ、泥水を使った場所打ちコンクリートくいとPIPくいの断面形状などを特に詳しく測定した。

2.2.5 くい周・くい先端地盤調査

くい周・くい先端地盤の自然状態を知ること、くい周・くい先端地盤がオーガー掘削などによって受ける影響を知ること、くい周・くい先端地盤がくいの打込みとくいの引抜きによって受ける影響を知ることなどの目的で表一五、図一2、図一3に示すように、くい周・くい先端地盤状況の手掘りによる観察、硬さと密度の測定、泥壁の調査、ブロックサンプルによる土質調査などを行なった。

2.2.6 引抜き試験

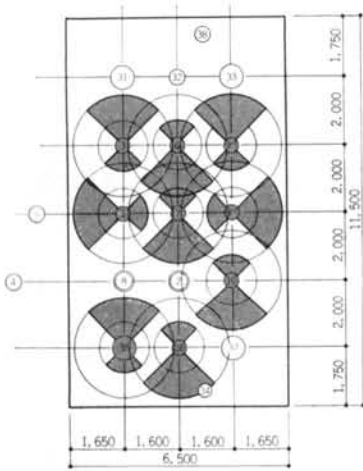
泥水を使った場所打ちコンクリートくいとPIPくいと打込みくいの引抜き抵抗を知る目的で、図一1に示す合計9本の試験くいの引抜き試験をし、荷重、浮上量、くい体の軸方向歪度などを測定した。

荷重装置は、図一4に示すように、くい体強度試験く

い(東側、西側に各4本ずつ、計8本)のくい頭にH鋼(H-300×300×10×15)を2段にのせコンクリートを打ち(寸法W900×H1,200×L6,300)反力版とし、両反力版間に東西に載荷梁(2H-2,000×400×25×32×9,500)を渡し、その載荷梁上部に油圧ジャッキ(50t、200t、300t)を設置し、試験くいくい頭の鉄筋あるいは試験くい先端から2重管を通して上がってきたPC鋼棒をくい頭でまとめて、さらにそれを2~4本のPC鋼棒で引張った。

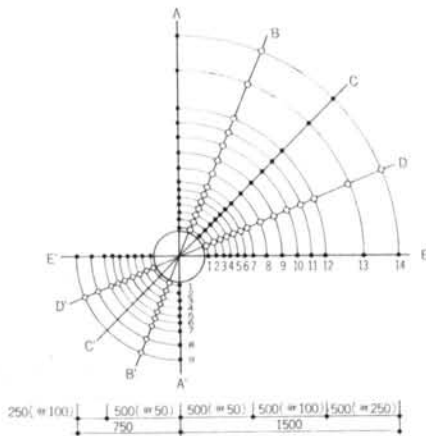
荷重をポンプの油圧計とロードセル(φ-90, φ-180の丸鋼)で測定し、くい頭浮上量を2個のダイヤル・ゲージ(1/100mm)で測定し、くい先端あるいはくい中間点(GL-4.0m, -8.0m, -14.5m)の浮上量を1個から3個のダイヤル・ゲージ(1/100mm)で測定した。くい体の歪度はくい体に埋設したモールド・ゲージ、あるいはワイヤー・ストレイン・ゲージ(鋼管くい)で測定した。

荷重は原則として緩速多サイクル方式とし、荷重階を



注) フロックサンプルは SSS-1, -3, PIP-6, -7 の中点

図-2 くい周・くい先端地盤調査計画(硬さ・密度の測定位置の概要)



	測定位置	合計(箇所)	
硬さ	SSS-1, -3, PIP-6, -7	A(1-12) A'(1-7)	
	PC-9 ¹ , -9 ² ; SP-10	C(1-12) C'(1-7)	
	PIP-36	E(1-12) E'(1-7)	
	PIP-35	A(5-9) A'(5-9)	
		C(5-9) C'(5-9)	
密度	SSS-1, PIP-6	B(1-12) B'(1-7)	
		D(1-12) D'(1-7)	
	PC-9 ¹ ; SP-10, PIP-35	B(5-9) B'(5-9)	
		PIP-35	D(5-14) D'(5-9)

注-1) 密度測定用サンブラーはφ80×A100
 注-2) 硬さ測定(相対弾性の測定)のコンパネの寸法は-3mφφ-6mm
 (貫入3mm), -6mφφ-6mm(貫入6mm), -9mφφ-6mm
 (貫入3mm)である

図-3 くい周・くい先端地盤調査計画(硬さ・密度の測定位置の詳細)

原則として表-6 に示すようにした。載荷にあたっては極限支持力を確認するために、くい頭の最終浮上量をくい径以上にするように努めた。

2.2.7 引張り試験

くい体の「応力度～歪度」の関係を知り、引抜き試験

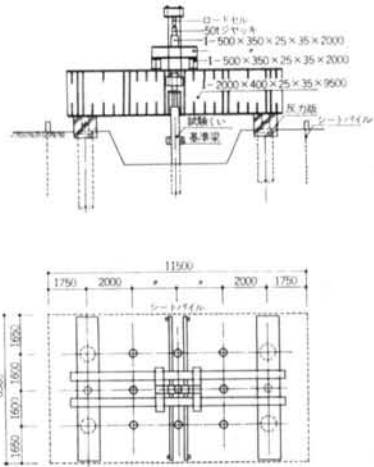


図-4 引抜き試験装置(PIP-7の場合)

試験くい	荷重階 (TON)
SSS-1	1 0 → 5 → 10 → 5 → 0
	2 0 → 10 → 15 → 20 → 15 → 10 → 0
	3 0 → 10 → 20 → 25 → 30 → 25 → 20 → 10 → 0
	4 0 → 10 → 20 → 30 → 35 → 40 → 35 → 30 → 20 → 10 → 0
	5 0 → (くい頭変位量50cm) → 0
適宜、荷重と変位量などを測定	
SSS-2	1 0 → 10 → 20 → 10 → 0
	2 0 → 20 → 30 → 40 → 30 → 20 → 0
	3 0 → 20 → 40 → 50 → 60 → 50 → 40 → 20 → 0
	4 0 → 40 → 60 → 70 → 80 → 70 → 60 → 40 → 0
	5 0 → (くい頭変位量50cm) → 0
適宜、荷重と変位量などを測定	
PIP-6	1 0 → 10 → 20 → 30 → 20 → 10 → 0
PIP-7	2 0 → 30 → 40 → 50 → 60 → 50 → 40 → 30 → 0
PC-9 ¹	3 0 → 30 → 60 → 70 → 80 → 90 → 80 → 70 → 60 → 30 → 0
PC-9 ²	4 0 → 30 → 60 → 90 → 100 → 110 → 120 → 110 → 100 → 90 → 60 → 30 → 0
SP-10	5 0 → (くい頭変位量50cm) → 0
適宜、荷重と変位量などを測定	
PIP-8	1 0 → 20 → 40 → 60 → 40 → 20 → 0
	2 0 → 60 → 80 → 100 → 120 → 100 → 80 → 60 → 0
	3 0 → 60 → 120 → 140 → 160 → 180 → 160 → 140 → 120 → 60 → 0
	4 0 → 60 → 120 → 180 → 200 → 220 → 240 → 220 → 200 → 180 → 120 → 60 → 0
	5 0 → (くい頭変位量50cm) → 0
適宜、荷重と変位量などを測定	

注-1) 処女荷重(□印)は原則として60分放置する。そして変位速度が10分間に1/100mm以下になった時増(除)荷する。ただし放置時間が180分になったら変位速度にかかわらず増(除)荷する。経験荷重は5分放置後増(除)荷する。0荷重は30分放置する。

注-2) 測定時刻: 変位 0, 1, 2, 3, 5, 10, 20, ……。
歪 0, 5, 10, 20, ……。

表-6 荷重階

の軸力の算定に役立てる目的で、泥水を使った場所打ちコンクリートくいの引張り試験をした。

2.2.8 打込み試験

打込みくいの引抜き抵抗力を検討する時の資料とする

目的で、くい打ち記録と打撃応力などの測定をした。

打撃応力の測定には、引抜き試験時にくい体の歪度を測定したゲージと同じものを使った。打撃応力についての詳細は次回に発表する。

2.3 実験の位置と地盤

2.3.1 位置

実験は図-5に示すように、清水建設相模機械工場内北西部(横浜市瀬谷区北町25番地敷地9)で行なった。

試験くいの配置などは、図-1に示すとおりである。

2.3.2 地盤

この位置の地盤は、かつて5本のボーリング調査⁵⁾が行なわれており、それによれば、当地は相模原台地とよばれる洪積台地にあり、表面は関東ローム層で、その下は段丘粘土、下部は粘土を含んだ砂礫層からなっている。このボーリング調査で明らかにされた土層構成も、図-6に示すように、この台地の一般的な層順と変りなく、およそ次のように区分することができる。

- 1) 関東ローム ローム N=2~7 GL-8.5m以浅
- 2) 段丘粘土 粘土 N=4~16 -8.5~-14.5m
- 3) 段丘砂礫 砂礫 N>50 -14.5~-34.0m
- 4) 相模野台地泥層 土丹 N>94 GL-34.0m以深

ボーリングによる土質常数は、図-7に示すとおりである。

2.4 試験くいとくい体埋設計器

試験くいは、図-1に示すように全部で19本である。

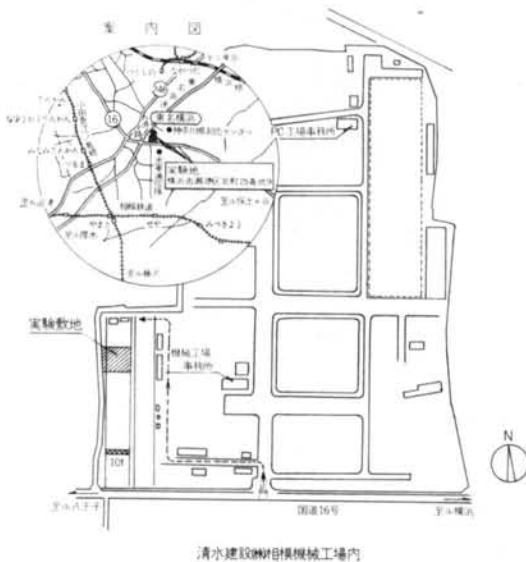


図-5 実験位置

その内訳は、泥水を使った場所打ちコンクリートくい4本、PIPくい12本、打込みくいとしてPCくい2本、鋼管くい1本である。

泥水を使った場所打ちコンクリートくいの名称と寸法は、図-1に示すようにSSS-1が ϕ -350・ l -10,500、SSS-2がキャンパス付(くい表面にキャンパス衣を巻いた)で ϕ -350・ l -16,500(くいとしてコンクリートを充てんした部分はGL-14.5~-16.5mの間で、GL-0.0~-14.0の間は ϕ -508・ t -6.4のケーシングで孔壁の崩壊を防いだ)SSS-3がキャンパス付きで ϕ -350・ l -10,500、SSS-4はSSS-1と同様である。

SSS-2とSSS-3のキャンパスは、地中連続壁継手部のコンクリート流出遮断布(ユニチカ#1,000)で、同工法開発に関連して取付けたものである。

PIPくいの名称と寸法は、図-1に示すように引抜き試験あるいは引張り試験をするものとして、PIP-5, -6, -7が ϕ -350・ l -10,500、PIP-8が ϕ -350・ l -16,500(くいとしてプレバクド・モルタルを充てんした部分はGL-14.5~-16.5mの間で、GL-0.0~-14.0mの間は ϕ -508・ t -6.4のケーシングで穴壁の崩壊を防いだ)である。くいの強度試験をするものとして、PIP-31, -33, -35, -37が ϕ -700・ l -10,000で、PIP-32, -34, -36, -38が ϕ -350



図-6 ボーリング調査結果(SSSくい耐力調査No. 5ボーリング)

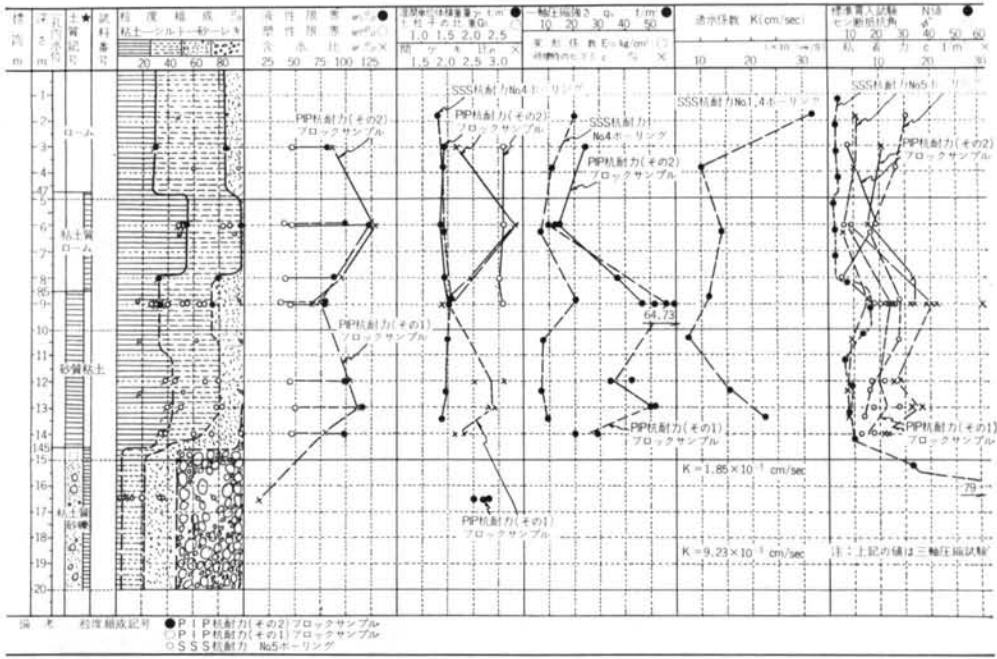


図-7 くい周・くい先端地盤調査結果(土性図)

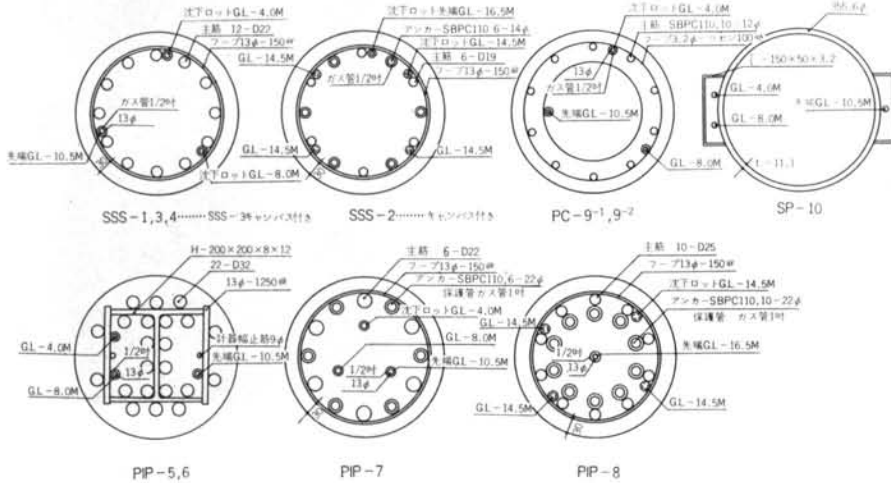


図-8 試験くい配筋横断面

l=10,000である。

打込みくいの名称と寸法は、図-1に示すようにPC-9-1, -9-2がφ-350・l=11,000(PCくいD種, 有効プレストレス120kg/cm², 東急コンクリート工業寒川工場製, コンクリート打昭和49年2月20日)で, SP-10がφ-355.6・t=11.1・l=11,000(NKK・STK・41・E・197401, シームレス鋼管)である。

なお, 泥水を使った場所打ちコンクリートくいとPIPくいの掘削にはくいの公称径と同寸法のオーガーを使った。

試験くと実験項目との関連は、表-1に示すとおりで、引抜き試験をするくいは極限荷重までひびわれが入らないように、泥水を使った場所打ちコンクリートくいとPIPくいでは、表-3, 4に示すように配合をσ₂₈=300kg/cm²とし、くい体には図-8に示すように、多量の鉄筋やH型鋼(SSS-1・3・4:12-D22, SSS-2:16-D19, PIP-5・6:22-D32とH-200×200×8×12, PIP-7:6-D22, PIP-8:10-D25)を挿入した。SSS-2, PIP-7, -8はくい先端をアンカーして、くい体には圧縮力が生じるようにして引抜

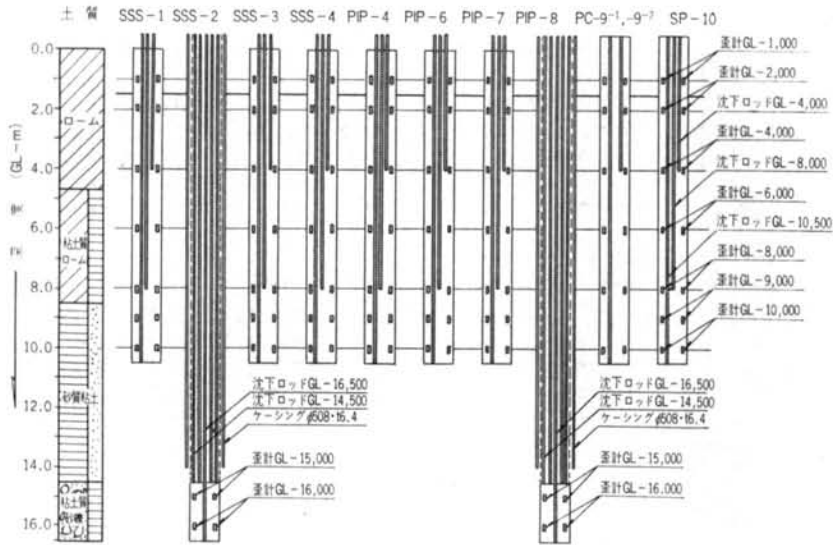


図-9 沈下ロッドと歪計の埋設位置

き試験をしたので、くい頭を引抜いた他の試験くいに比較して配筋量を少なくした。

PC-9-1, -9-2は図-8に示すように、主筋はSBP C 110, 10-φ12で、有効プレストレス量は特注で120 kg/cm²とした。PC-10は歪特性を考慮してシームレスとした。

くい体強度試験くいは原則として無筋とし（温度計挿入のため鉄筋φ13とφ9を1本ずつ挿入した）プレパケット・モルタルの配合を表-4に示すようにした。

試験くいの配置は、相互干渉を避けること、掘削の領域に入ることを考慮して図-1に示すようにした。

引抜き試験あるいは引張り試験をするくいには図-9に示すように、沈下ロッド（1/2インチのガス管にφ13の鉄筋を挿して2重管としたもの）と歪計（モールド・ゲージ、共和電業、TYPE KM-120-H2-11 L100、SP-10のみワイヤストレイン・ゲージ、同、KFC-5-C1-11）を埋設した。

2.5 工程

この実験の全実施工程は表-7に示すとおりである。昭和49年1月に実験準備が始まり、昭和49年9月に現場片付け整理が終るまでおよそ9カ月間かかった。

§ 3. 実験結果と考察

3.1 くい周・くい先端地盤

くい周・くい先端地盤の調査は表-7に示すように、引抜き試験終了後7月中旬から8月中旬にかけて図-1



写真-1 手掘りによるGL-4.0～6.0mの掘削状況

に示す山留シートパイルの内側を、写真-1に示すように深礎掘削の場合と同様にスコップやピックハンマーや昇降バケットなどを使って手掘りしながら行なった。

地盤状況は、図-6に示すボーリング結果や前回のブロックサンプリング結果⁹⁾とほぼ同様で、地層深度も大きな変化はみられなかった。GL-0.5m前後で黒褐色の表土から茶褐色の関東ロームに変わり、以後GL-8.5m前後から砂分が多くなり灰色の砂粘土質になりGL-14.5mで黄褐色の粘土質砂礫に変わった。

この関東ロームは上部（GL-0.5～4.7m）は比較的均質（硬さなどが）であったが、下部（GL-4.7～8.5m）は所々に土塊が混っており硬さが不均一な所

№	事項	数量	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
1	家 屋 計 画													
2	家 屋 準 備													
3	新 築													
4	山 屋 工 事													
5	測定小屋の設置													
6	記録しいの加工													
7	しいの打抜加工													
8	記録しいの製作													
9	しいの体積比較測定													
10	木 材 計 画													
11	削 削 材 計 画													
12	削 削 材 計 画													
13	削 削 材 計 画													
14	しいの初期調査													
15	しいの体積調査													
16	新 築 工 事 計 画													
17	理 論 的 計 画													
18	現場月付け整理													
19	デ ー タ 整 理													
20	報告書の作成													

表-7 工程

があった。力学的には比較的強度が高く、10m近くまで自立することがわかった。

砂質粘土は比較的硬く、特にGL-9.0m前後では人力によるスコップ掘削はほとんど不可能であった。この層にも硬さが不均一な所がみられ、粘土質ローム（GL-4.7~8.5m）と砂質粘土の境界にあたるGL-8.5m付近では、写真-2に示すように、地盤に水平方向の割目が入り、粘着力が低く、もろくなっている感じがした。

粘土質砂礫は、礫径が平均3cm前後であったが、中には径15cm程度のものもあった。（PIP-8を掘削するためにGL-11.0~16.5mを深礎掘削した）。

くい周面とくい周地盤との接触状況は、PIPくいと打込みくいについては写真-3、4に示すように肉眼で見える限りではかなり密着していた。くいの施工精度を測定するために、くい表面の土を取除く時にスコップや金ペラを使っても作業が容易に進まなかったくらいである。しかし、泥水を使った場所打ちコンクリートくいは、写真-5に示すようにくい周に泥壁がベタリ（10~20mm厚）ついているところが多く、他の試験くいはかなりちがっていた。

くい先端地盤の状況は、引抜き試験をしたくい（ただし、SSS-2、PIP-8は未確認のため除く）は、くい先端の型をとどめておらず、くい先端深度と推測される位置から10cm程度は硬さも低下していた。これに対して、引抜き試験をしないうい（くい体強度試験くい、PIP-31~38）は、写真-6に示すようにくい先端の型を非常に良く型成しておりスライムは全くみられなかった。これらのちがいは、引抜き試験時に地盤に吸引力が生じたためと考えられる。

土質常数は図-2に示すように、SSS-1、SSS-3、PIP-6、PIP-7で囲む中央点のGL-3.0m、GL-6.0m、GL-8.0、GL-9.0mでブロックサンプリングした試料から求め、その結果を図-7に示した。

図-7によれば、これらの値は前回のブロックサンプリングによる調査結果⁶⁾とよく近似することが分かる。含水比が高く、間隙比が高く、一軸圧縮強度が深さの増加に無関係であるなどという関東ロームの特異性を示している。

しかし、ブロックサンプリング試料から求めたこれらの土質常数の値は、ボーリング試料から求めた値と比較すると必ずしも近似しない。特に一軸圧縮強度や三軸圧縮強度などの力学特性は数倍もちがっていることがわかる。

3.1.1 ボーリング試料とブロックサンプリング試料による一軸圧縮強度のちがい

関東ロームにおける多数の測定結果によれば、一軸圧縮強度は、ボーリング試料による値がブロックサンプリング試料による値よりかなり小さ目にするのが認められている⁷⁾。本実験でも図-7に示すように、ボーリング試料による値がブロックサンプリング試料による値の1/2~1/5になっており、この傾向は深度が深く、砂分が多く、値が大きくなるに従って顕著になっている。これは火山灰質粘土のたい積環境の特殊性に起因しているものと想像されており⁷⁾、ボーリング孔を用いての通常のサンプリングによる試料が乱されやすいためであると考えられる。

このことは、例えばGL-9.0mの乾燥密度を求めるとボーリング試料の値が0.882となり、くい周地盤調査時に行なった密度試験より求めた値0.900より低めになっていること、また、図-10に示すように一軸圧縮試験における最大荷重時の歪が、ボーリング試料の場合が1.4%~6.0%、ブロックサンプリング試料の場合が1.0%~2.7%となり、前者が後者に比較してかなり大きくなっており、これらの歪のちがいは、砂分が多く、N値が大きくなるに従って顕著になっていることなどからも裏付けられる。

一軸圧縮強度は引抜き抵抗力を検討する場合、地盤の剪断抵抗力の評価に関係してくるが、本実験で行なった引抜き試験より求めた周面摩擦支持力は、ブロックサンプリング試料による値に近似する。

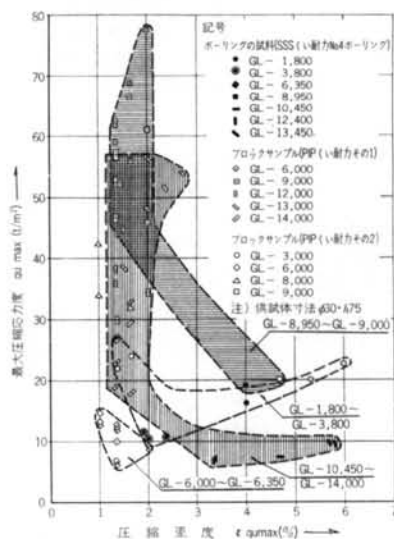
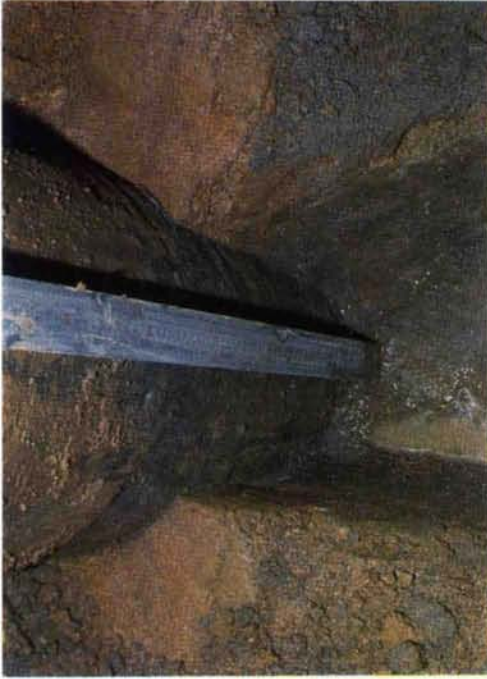


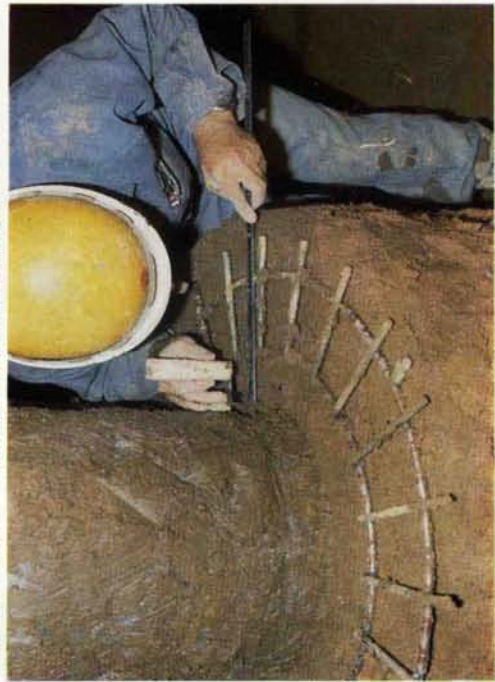
図-10 最大圧縮応力度 $q_{u \max}$ ~圧縮歪度 $\epsilon_{qu \max}$



写真—2 粘土質ロームと砂質粘土の境界付近の地盤状況



写真—3 PIP-7 の GL-8.4m 付近のくい周地盤状況



写真—5 SSS-1 の GL-6.0m 付近のくい径と泥壁厚の測定



写真—6 地盤に形成された PIP くい先端部 (PIP-35) の跡 (中央の溝は排水のため後からつけたものである)



写真-4 PC-9-1のGL-8.4m 付近のくい周地盤状況

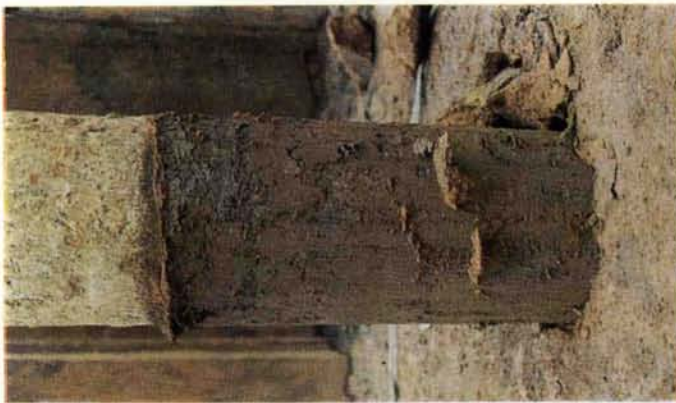


写真-11 引抜き試験終了後のくい頭と地盤の状況(SSS-1)



写真-12 引抜き試験終了後のくい頭と地盤の状況(SSS-3)



写真-13 引抜き試験終了後のくい頭と地盤の状況(PIP-7)

3.1.2 くい施工とくいの引抜きに伴うくい周地盤の土性変化

場所打ちくいの引抜き抵抗力は、掘削中の地盤のゆるみ、泥水使用の場合は泥壁による剪断抵抗力の低下などによって自然地盤の剪断抵抗力から求めた値を下回る傾向にある。これに対して打込みくいの引抜き抵抗力は、打込みによるくい周地盤の締固めなどによって自然地盤の剪断抵抗力から求めた値を上回る傾向にある。

くい周地盤のゆるみや、締固めの状態を検討するには、硬さと密度を調べるのが通常の方法である。そこで、表—5に示すように、深度およそ3.0mごとの、図—2, 3に示す位置でポケット・コーン・ペネトロメーター(Pocket penetrometer CL—700 SOIL TEST INC. CHICAGO, U.S.A)により硬さを調べ、表—5, 図—2, 3に示すようにほぼ同様な位置で、シリンダー(φ—30, h—100)により試料をサンプリングし、乾燥密度を調べた。そして硬さとくい心距離の関係、密度とくい心距離の関係を、おのおの図—11, 12, 13, 14に示した。

くい周地盤の硬さは、図—11, 12, 13に示すように、泥水を使った場所打ちコンクリートくいは、GL—3.0m, —6.0mにおいて、くい周面から5~30cm幅で低下したが、GL—9.0mではそのような傾向はなかった。PIPくいは、引抜き载荷をしたくいはGL—6.0mのみくい周面付近で低下するが、引抜き载荷をしないくいはどの深度ともくい周面付近の低下はなかった。打込みくいは、どの深度ともくい周面からおよそ35cm幅で低下した。

くい周地盤の密度は図—14に示すように、泥水を使った場所打ちコンクリートくいは、GL—3.0mのみ調査したが低下はなかった。PIPくいは、GL—3.0m, —6.0mのくい周面付近で低下がないが、GL—9.0mでは引抜き载荷をしないくいが低下がなかったのに対して、引抜き载荷あるいは押込み载荷⁶⁾したくいは若干の低下があった。打込みくいは、どの深度ともくい周面からおよそ35cm幅で著しい上昇があり、その上昇割合はGL—6.0m, —9.0mで特に顕著であった。

打込みくいは、その貫入体積に相当する量の地盤の間隙を食いながら貫入していく。図—14で打込みくいの密度上昇が著しいのもそのためである。くい周辺地盤のくい貫入に伴う圧縮量のくい断面積に対する割合 C.R. は式(1)で近似できる。

$$C.R. = \frac{1}{\pi d^2} \int_0^{2\pi} \int_d^{d_0} \frac{(\gamma_{at} - \gamma_{d_0})}{\gamma_{d_0}} \cdot r dr d\theta \quad \dots\dots(1)$$

d : くい半径

d_0 : 密度が変化する範囲(くい心からの距離)

γ_{at} : i 点における乾燥密度

γ_{d_0} : 自然地盤の乾燥密度

図—14によると、GL—3.0m, —6.0m, —9.0mにおける C.R. は式(1)を使い、密度の変化を2次曲線で仮定すると、おのおの式(2), 式(3), 式(4)で近似でき、

1) GL—3.0m

$$C.R. = \frac{1}{\pi \cdot 0.175^2} \int_0^{2\pi} \int_{0.175}^{0.500} \left\{ \frac{0.379(r-0.500)^2}{0.660} \right\} r dr d\theta \quad \dots\dots(2)$$

2) GL—6.0m

$$C.R. = \frac{1}{\pi \cdot 0.175^2} \int_0^{2\pi} \int_{0.175}^{0.500} \left\{ \frac{0.852(r-0.500)^2}{0.650} \right\} r dr d\theta \quad \dots\dots(3)$$

3) GL—9.0m

$$C.R. = \frac{1}{\pi \cdot 0.175^2} \int_0^{2\pi} \int_{0.175}^{0.500} \left\{ \frac{0.331(r-0.500)^2}{0.905} \right\} r dr d\theta \quad \dots\dots(4)$$

その結果は、おのおの11%, 25%, 7%となる。そしてこれらの値の残りの部分、すなわちくい貫入体積の80%余りに相当する量が、くい先端地盤付近の圧縮や地表面でのふくれ上がりなどでついやされる。

以上のことから、泥水を使った場所打ちコンクリートくいは、掘削孔の放置などによってくい周地盤の硬さが低下すること、PIPくいは、载荷をしないうちはくい周地盤の硬さや密度の低下はなく、くいの施工中に地盤をゆるめることがないこと、また、载荷をした場合は土質条件によってはくい周面から5~30cm幅の硬さや密度が若干低下する場合もあること、打込みくいは、くいの打込みによってくい周面からおよそ35cm幅(およそくい直径に相当する)の地盤が締固められることなどがわかった。

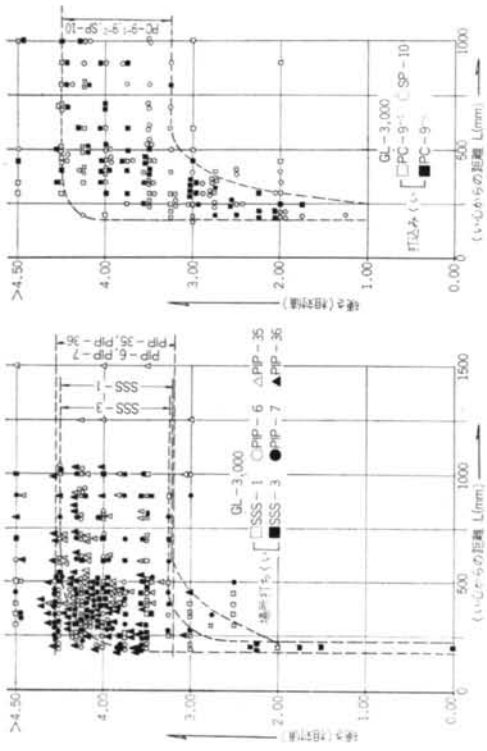


図-11 くい周地盤の硬さ(相対値)~くい心からの距離 L (SSS-1, 3, PIP-6, 7

PC-9-1, 9-3, SP-3, PIP-10, PIP-35, 36, GL-3, 0m)

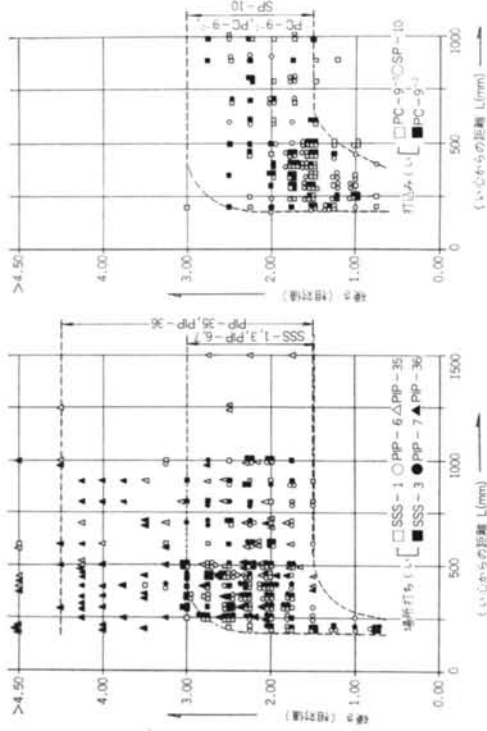


図-12 くい周地盤の硬さ(相対値)~くい心からの距離 L (SSS-1, 3, PIP-6, 7,

PC-9-1, 9-3, SP-3, PIP-10, PIP-35, 36, GL-6, 0m)

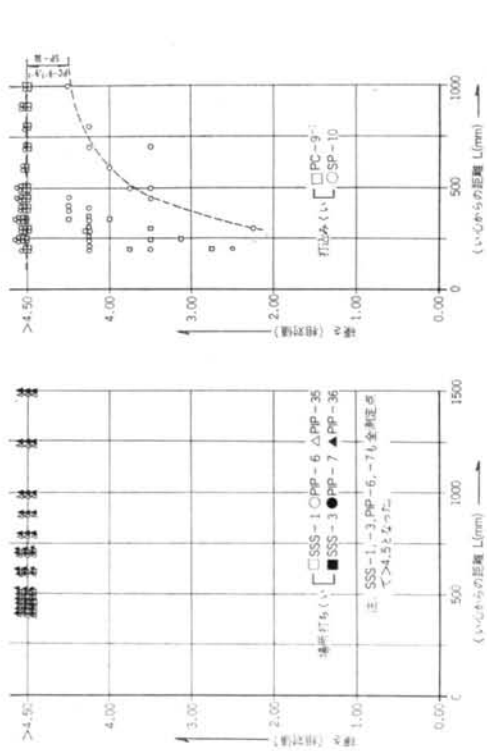


図-13 くい周地盤の硬さ(相対値)~くい心からの距離 L (SSS-1, 3, PIP-6, 7

PC-9-1, SP-3, PIP-10, PIP-35, 36, GL-9, 0m)

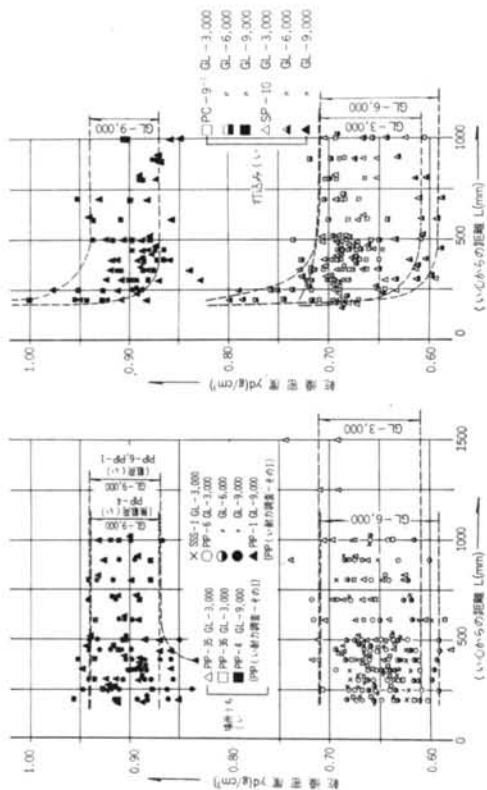


図-14 くい周地盤の密度 γ_r ~くい心からの距離 L

3.2 くい施工記録

表-7 に示すように4月上旬から5月上旬かけてくいの施工時にプレパックド・モルタルの材料の検査, 施工時間の測定と管理, 泥水管理, コンクリートとプレパックド・モルタルの強度試験, 打撃記録の測定などをした。

3.2.1 くい施工時の現場管理

泥水を使った場所打ちコンクリートくいとPIPくいの施工は表-8 に示すようにSSS-2, PIP-8の施工に手間どったものの, 他のくいは順調に施工できた。鉄筋天端高や歪計埋深度もほぼ計画通りにおさまった。

試験くい	オーガー掘削	コンクリート or モルタル練混ぜ	コンクリート or モルタル注入 (見かけの注入量)	鉄筋挿入	
SSSくい φ-350	SSS-1 ℓ-10500	4/15 曇 13:50 ~ 14:20 (14:06-9mまでの土取り) 30分 泥水注入 14:23 ~ 14:35	4/20 生コン練スタート 16:45	4/20 18:00 ~ 19:00 60分	4/20 14:00 ~ 14:30 30分
	SSS-2 キャンパス付 ℓ-16500	4/12 快晴 13:17 ~ 13:50 34分 外ケーシングセット 13:55 ~ 13:57	5/13 生コン練スタート 13:00 4/13 掘削(-14.2~16.5) 17:23 ~ 17:27 泥水注入(注-1) 17:32 ~ 17:57	5/13 14:00 ~ 14:40 40分	5/13 11:50 ~ 12:05 15分 エアブロー 10:15~11:15 インチホース 1本 6.5kg/cm ²
	SSS-3 キャンパス付 ℓ-10500	4/15 曇 15:11 ~ 15:37 26分 泥水注入 15:37 ~ 15:51	4/20 生コン練スタート 16:45	4/20 17:00 ~ 18:00 60分	4/20 13:00 ~ 13:30 30分
	SSS-4 ℓ-10500	4/15 曇 16:18 ~ 16:33 15分 泥水注入 16:34 ~ 16:46	4/20 生コン練スタート 14:30	4/20 15:00 ~ 16:30 90分	4/20 12:00 ~ 12:30 30分
PIPくい φ-350	PIP-5 ℓ-10500	5/3 快晴	13:25 ~ 13:55 14:13 ~ 14:27 (30+14)分 練混ぜ一時停止	14:00 ~ 14:29 29分 (10.5バッチ)	14:30 ~ 14:44 14分 (5/2に鉄筋挿入に失敗したため 5/3に初めからやり直したため)
	PIP-6 ℓ-10500	5/2 快晴 21.0°C	14:42 ~ 15:18 36分	15:23 ~ 15:34 11分 (10.5バッチ)	15:36 ~ 15:50 14分
	PIP-7 ℓ-10500	5/8 快晴 24.5°C 15:12 ~ 15:38 (15:23-9mまでの土取り) 26分	15:40 ~ 16:27 47分	16:30 ~ 16:40 10分 (10.5バッチ)	16:45 ~ 17:40 55分 (モルタル脱水和鉄筋入らず。 一度オーガーでもんで挿入する)
	PIP-8 ℓ-16500	4/12 14:10 ~ 14:58 (オーガー2度上げる) 48分 外ケーシング・セット 15:00 ~ 15:06	5/8 11:25 ~ 11:40 (注-2)	11:46 ~ 12:01 15分 (正規練 5バッチ 倉配合 7バッチ)	12:05 ~ 12:10 5分

注-1) 2), 内ケーシング挿入 (5/4)

表-8 くい施工記録 (SSS-1~PIP-8)

試験くい名称 (カッコ内供試体採取日)	試験項目	供試体材令と試験の種類											
		7日		28日		91日		載荷試験日					
		圧縮	引張	圧縮	引張	圧縮	引張	圧縮	引張				
SSSくい 供試体寸法 φ10×20	供試体試験日	/		5/18		/		6/18					
	強度 (kg/cm ²)			(263 315 271 283)				(273) 339 364 352					
	ヤング率(×10 ⁵ kg/cm ²)			(2.06 2.76 2.22 2.35)				(2.46) 2.45 2.64 2.55					
	供試体試験日	/		/		/		/					
	強度 (kg/cm ²)									/		/	
	ヤング率(×10 ⁵ kg/cm ²)									/		/	
No. 2 (5/13)	供試体試験日	5/20		6/10		8/12		6/27					
	強度 (kg/cm ²)	(172 177 181 176	(16.9 17.5 17.0 17.1	(302 296 297 298	(25.4 21.0 28.0 24.8	(360 374 505 413	(42.3 52.4 55.9 50.2	(296 336 301 311	(24.4 28.5 28.2 27.0				
	ヤング率(×10 ⁵ kg/cm ²)	/		(2.48 2.34 2.30 2.37	/		/		(2.53 2.65 2.58 2.59				
No. 4 (4/20)	供試体試験日	4/27		5/18		7/20(7/27)		(5/25)					
	強度 (kg/cm ²)	(201 209 183 198	(23.2 18.5 19.3 20.3	(291 330 326 316	(22.9 26.1 29.3 26.1	(374 393 388 385	(55.8 42.4 49.1	(326 322 277 308	/				
	ヤング率(×10 ⁵ kg/cm ²)	/		(2.15 2.74 2.55 2.48	/		/		/				
PIPくい 供試体寸法 φ5×10	供試体試験日	5/10		5/31		8/2		/					
	強度 (kg/cm ²)	(148 152 142 147	(14.0 17.5 16.0 15.8	(308 298 301 306	(26.8 27.3 22.7 25.6	(332 369 351	(63.6 68.4 66.0						
	ヤング率(×10 ⁵ kg/cm ²)	/		(1.31 1.32 1.25 1.29	/		/						
	供試体試験日	5/9		5/30		8/1		7/4					
	強度 (kg/cm ²)	(132 153 149 145	(15.5 16.0 (11.6)15.8	(310 306 279 298	(18.2 24.8 25.0 22.7	(413 368 (265)391	(44.0 42.0 39.6 41.9	(370 386 381 379	(33.2 25.5 20.3 26.3				
	ヤング率(×10 ⁵ kg/cm ²)	/		(1.29 1.25 1.30 1.28	/		/		(1.50 1.55 1.43 1.49	/			
No. 7 (5/8)	供試体試験日	5/15		6/5		8/7		7/1					
	強度 (kg/cm ²)	(162 138 153 151	(15.0 15.5 18.3 16.3	(281 296 281 286	(24.1 23.6 (19.1)23.9	(404 394 391 396	(69.6 47.8 45.4 54.3	(347 364 345 352	(23.2 33.6 28.8 28.8				
	ヤング率(×10 ⁵ kg/cm ²)	/		(1.41 1.37 1.35 1.38	/		/		(1.51 1.50 1.47 1.49	/			
No. 8 (5/8)	供試体試験日	5/15		6/5		8/7		6/25					
	強度 (kg/cm ²)	(150 152 163 155	(12.5 13.2 13.2 13.0	(281 291 270 281	(23.4 (19.1) (17.8)23.4	(372 458 457 429	(52.3 47.0 42.5 47.3	(310 359 339 336	(22.0 (16.6) (17.6)22.0				
	ヤング率(×10 ⁵ kg/cm ²)	/		(1.36 1.34 1.35 1.35	/		/		(1.61 /	/			

注-1) ヤング率算出方法は、最大強度時の1/3の点と原点を結ぶ方法をとった。

注-2) 強度試験値の()内の値は、試験時に不適当な事があったため、平均値に含めない。

表-9 標準供試体試験結果(SSS-1~PIP-8)

泥水は、表—2 に示すように、粘性 25.8 sec, 比重 1.065, 脱水量 28.0cc, 泥壁厚 2.0mm を管理目標としたが、貯泥槽の泥水はもち論のこと、掘削孔中の泥水もエア・ブロー後は管理目標に近いものとなった。

3.2.2 コンクリートとプレパックド・モルタルの強度
 コンクリートとプレパックド・モルタルの標準供試体強度は、表—9 に示すように 28 日材令で配合強度を若干低下するものもあったが、引抜き試験時には 5~20% 上回った。

3.2.3 打込みくいの打撃記録

PC くい 2 本と鋼管 1 本を、D—22 型ハンマーで打込んだ。打込み状況は図—15 に示すように、3 本ともほぼ同様であり、打撃回数は N 値の傾向と近似する。

しかし、鋼管くいは PC くいと比較してハンマー落下高も低く GL—9.0~—10.0m ではリバウンドが多く、

打撃回数も著しく多くなっている。ただ最終貫入状況は 3 本ともほとんど変わらない。

比較的硬い砂質粘土にくい先端がきた場合、打撃回数が PC—9⁻¹, PC—9⁻², SP—10 の順で増えているのは（リバウンド量もこの順で増えている）、くい打設順序（この順序で打込んだ）とも関係し、土の締り、間隙水圧の上昇による影響があるものと考えられる。

打撃応力は、鋼管くいで最大およそ 1,300kg/cm² となった。

3.3 くい体施工精度

表—7 に示すように 7 月中旬から 8 月中旬にかけて、くい周・くい先端地盤の調査と並行してくいの鉛直度、くいの径の大きさ、くいの表面形状、泥水を使った場所打ちコンクリートくいの泥壁の壁厚と性質などの測定をした。

3.3.1 くいの径の大きさ

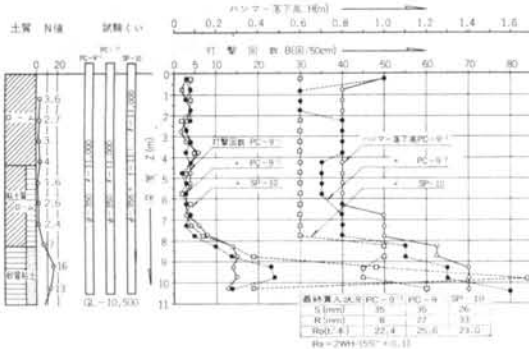
泥水を使った場所打ちコンクリートくいと PIP くいのかい周を 20cm ごとに実測し、その値を π で割ってくい径とした。その結果を図—16 に示した。また、これらの値から土質別に、

$$\text{平均値 } m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

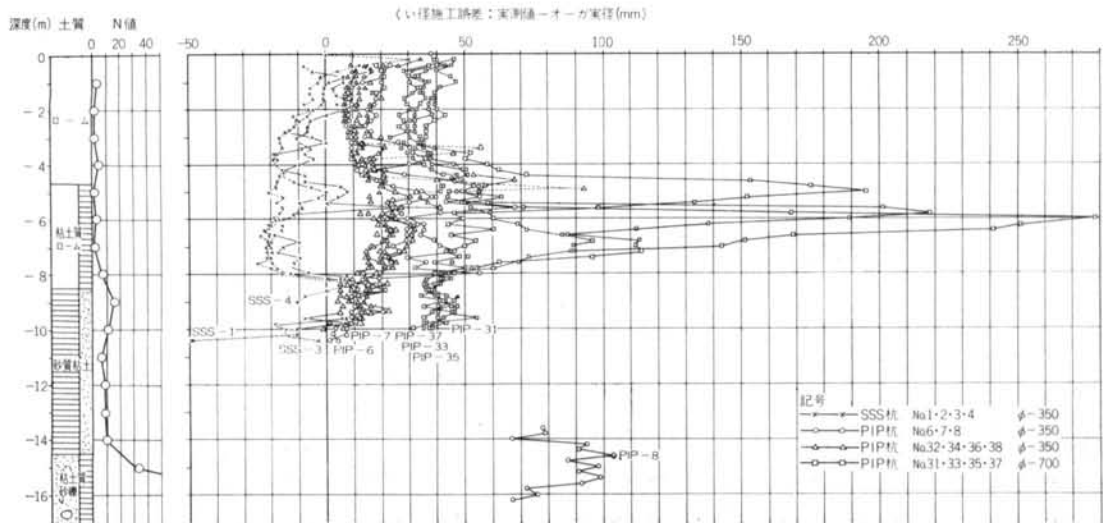
$$\text{標準偏差 } \sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - m)^2}$$

$$\text{変動係数 } s = \frac{\sigma}{m}$$

を求めて表—10 に示した。



図—15 打撃記録 (PC—9⁻¹, 9⁻², SP—10)



図—16 くい径調査結果 (くい径: SSS—1, 2, 3, 4, PIP—6, 7, 8, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38)

試験くい	GL-0.0~-4.7 ローム			GL-4.7~-8.5 粘土質ローム			GL-8.5~-14.5 砂質粘土		
	平均値 (mm)	標準偏差 (mm)	変動率 (%)	平均値 (mm)	標準偏差 (mm)	変動率 (%)	平均値 (mm)	標準偏差 (mm)	変動率 (%)
SSS-1	348	8.4	2.4	346	15.6	4.5	347	18.6	5.4
SSS-2									
SSS-3	342	7.1	2.1	339	11.7	3.4	351	12.9	3.7
SSS-4	342	11.1	3.3	335	8.7	2.6	341	1.5	0.4
PIP-5	掘削不能								
PIP-6	361	4.1	1.1	376	5.2	1.4	358	5.1	1.4
PIP-7	373	8.1	2.2	388	14.7	3.8	358	2.9	0.8
PIP-8							注) 434	11.5	2.6
PIP-31	749	24.4	3.3	772	48.7	6.3	739	3.7	0.5
PIP-33	737	5.5	0.7	766	24.6	3.2	741	3.2	0.4
PIP-35	734	6.9	0.9	803	77.9	9.7	740	4.3	0.6
PIP-37	734	5.8	0.8	787	55.9	7.1	741	6.6	0.9
PIP-32	362	5.4	1.5	373	7.9	2.1	360	2.0	0.5
PIP-34	371	11.1	3.0	374	16.9	4.5	359	6.2	1.7
PIP-36	365	14.9	4.1	375	13.0	3.5	362	4.9	1.3
PIP-38	362	2.7	0.7	366	4.9	1.4	356	2.7	0.8

注) SSS-2 と PIP-8 は GL-14.5 までの粘土混り砂礫層

表-10 くい径調査結果 (m, σ_s の関係, 土層ごと)

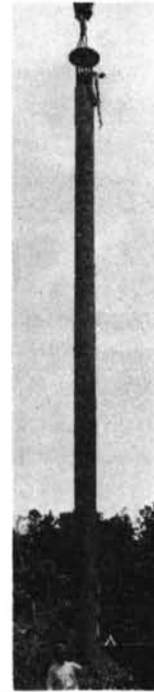


写真-7 掘出した PIP くい (PIP-6)

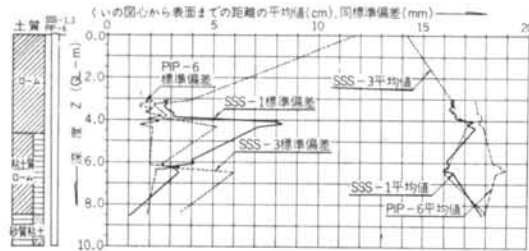


図-17 くい径調査結果 (くい径, 同標準偏差: SSS-1, 3, PIP-6)

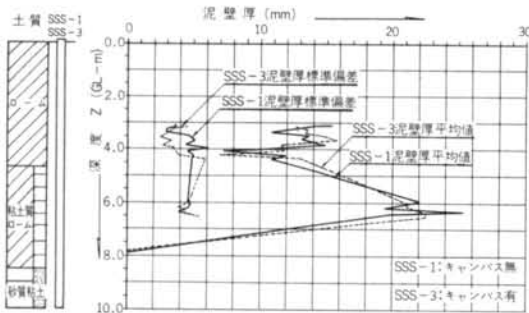


図-18 泥壁厚調査結果 (SSS-1, 3)

図-16, 表-10によれば泥水を使った場所打ちコンクリートくいは、ほとんどすべての深度で公称径 ϕ -350 を 10mm ほど下回っているのに対して、引抜き試験をした

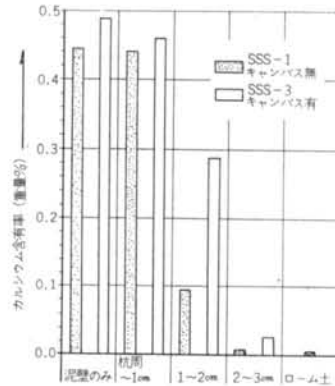


図-19 泥壁の性質調査結果 (泥壁のカルシウム含有率: SSS-1, 3)

PIP くいは、すべての深度で公称径 ϕ -350 を 10~40 mm ほど上回っており、変動率は 0.8~3.8% と泥水を使った場所打ちくいに比較して小さい。PIP くいのくいは、写真-7 に示すように良い型状をしている。

3.3.2 くい表面粗滑状況

泥水を使った場所打ちコンクリートくいと PIP くいのくい表面粗滑状況は写真-5 に示すように、72 等分したリングを使ってくい周囲の 72 等分点の位置を測定した結果から (測定深度 1mm), くいの図心あるいは泥壁外

面で囲まれる面の図心を算出して、図心位置からくい周囲の72等分点までの距離 d （くい半径とも考えられる）の分布をもって表わした。

SSS-1, -3, PIP-6の各測定深度（ここではGL-3.085m~8.400mに限っている）における d の平均値と標準偏差は図-17に示すとおりである。

d の値は図-17に示すように、大きい順にPIP-6 ($d \approx 17.5 \sim 18.5$ cm), SSS-1とSSS-3（ともに $d \approx 16.0 \sim 18.0$ cm）となっており、PIP-6の方が泥水を使った場所打ちコンクリートより常に0.5~2.5cm大きくなっている。 d の値はキャンパスの有無による差は認められない。

d の分布は図-17に示すように、標準偏差をもって表わせば、その大きい順にSSS-1 ($\sigma \approx 1.0 \sim 8.5$ mm), SSS-3 ($\sigma \approx 2.0 \sim 6.0$ mm), PIP-6 ($\sigma \approx 1.5 \sim 2.5$ mm)となっており、この順ににくい表面が粗いといえることができる。

3.3.3 泥壁の壁厚と性質

泥水を使った場所打ちコンクリートくいの泥壁厚を、前項とほぼ同様にして求めて図-18に示した。

泥壁厚は図-18に示すように、キャンパスのないくいSSS-1もキャンパスのあるくいSSS-3もほぼ同じで、およそ1.0~2.5cmであり、GL-3.0mから-6.0mへゆくに従い厚くなる。しかし、GL-6.0m付近から深くなるにつれて薄くなり、SSS-1はGL-7.86mで、SSS-3はGL-7.80mで壁厚がゼロになる。なお、泥壁の測定深度は地盤を基準にして考えているので、引抜き試験をする前の位置の最終引抜き量だけずれていることになる。

泥壁の性質を、化学分析と液性限界により比較検討した。これは、引抜き試験の結果、キャンパスのあるくいSSS-3とキャンパスのないくいSSS-1の間には差のあることが判明し、その原因の1つに両者の泥壁の粘着抗抵の強さの差が指摘されたからである。キャンパスの有無による泥壁の強さは、1つの仮定として、打設コンクリート中に含まれるカルシウムイオン(Ca^{++})などの金属イオンが混入して、泥水が凝集する場合と同じ反応で結合力が強化されることが考えられる。

採取した泥壁試験試料はGL-3.0m付近のもので、化学分析結果のうちカルシウム含有量についてキャンパスの有無およびくい周からの離れについて比較すると、図-19に示すように泥壁のみの場合は含有率が高く、2~3cm離れると自然地盤である関東ロームの含有量とほとんど変りがない。キャンパスの有無による差はあま

り明瞭ではないが、キャンパスのある場合の方がカルシウム分が広範囲に浸透している。

液性限界は明瞭な差はないが、キャンパスのあるものの方が大きく、ないものの方が小さいという傾向がみられる。

キャンパスのある場合は、キャンパスの内側に打設されたコンクリートのブリージング水のみがキャンパスによって沔過され外側に浸出する。ブリージング水には多量のカルシウムイオンが含まれているため、分析の結果でてきたカルシウム含有量はブリージング水の浸透によるものと考えられる。

キャンパスのない場合は、ブリージング水の浸透はみられず泥壁とモルタルが直接接してしまうため、保水性がやや悪くなるものと考えられる。

両者の泥壁を比較すると、キャンパスのある場合の方が泥壁として粘りがあり変形しやすく、キャンパスのない場合は、泥壁の粘りに欠け変形しにくい性質があると考えられる。

3.4 泥水を使った場所打ちコンクリートくいとPIP-くいと打込みくいの引抜き抵抗

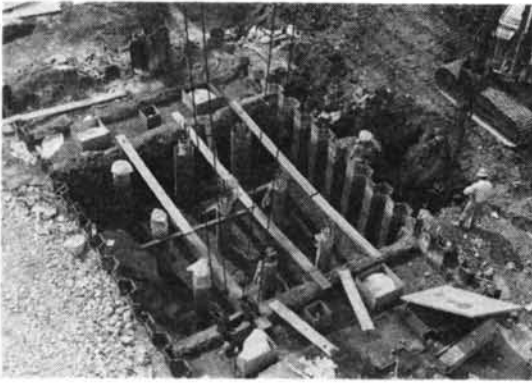
表-7に示すように6月中旬から7月初旬にかけて、泥水を使った場所打ちコンクリートくい3本(SSS-1, -2, -3), PIP-くい3本(-6, -7, -8), 打込みくい3本(PC-9⁻¹, -9⁻², SP-10), 合計9本の引抜き試験をした。

引抜き試験は写真-8に示すように、現地盤を1.5m掘削し、写真-9, 10や2.2.6に述べたような方法で行なった。試験終了後のくい頭部の引抜き状況は写真-11, 12, 13, 14に示すとおりである。試験くいの打設後の材令は表-11に示すように、44日~69日である。

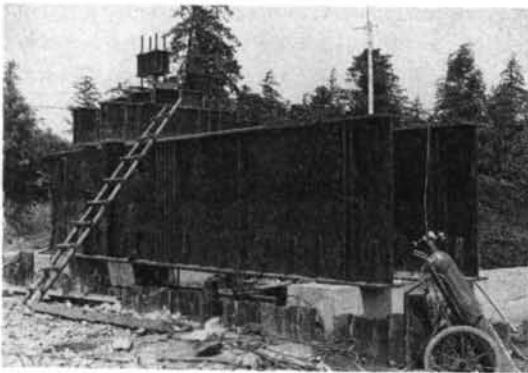
引抜き試験では2.2.6でも述べたように、くい頭の最終引抜き量をくい径以上にまでするように努めた。各くいの「荷重~浮上量」の関係は図-20, 21に示すとおりであり、最大荷重とその時のくい頭浮上量は、表-12に示すように、

SSS-1	最大荷重	$P_{max} = 35.0$ ton	浮上量	$S = 46.0$ mm
-2	"	$P_{max} = 18.0$	"	$S = 100$
-3	"	$P_{max} = 17.0$	"	$S = 700$
PIP-6	"	$P_{max} = 109$	"	$S = 40.0$
-7	"	$P_{max} = 106$	"	$S = 12.8$
-8	"	$P_{max} = 280$	"	$S = 46.1$
PC-9 ⁻¹	"	$P_{max} = 115$	"	$S = 13.0$
-9 ⁻²	"	$P_{max} = 108$	"	$S = 3.66$
SP-10	"	$P_{max} = 152$	"	$S = 11.0$

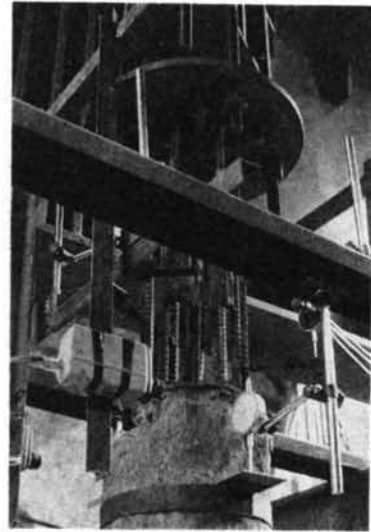
となり、泥水を使った場所打ちコンクリートくいの最大



写真一八 引抜き試験準備のためのくい頭部掘削



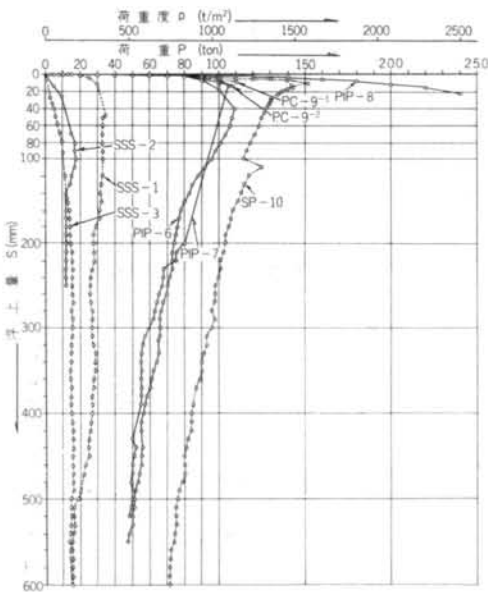
写真一九 引抜き載荷装置



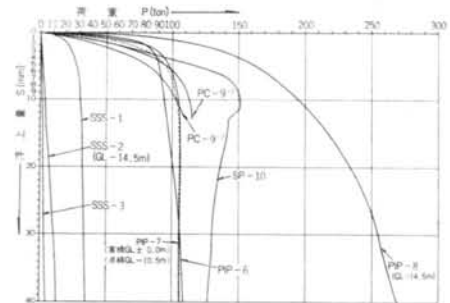
写真一〇 引抜き試験の変位測定装置(SSS-1)



写真一四 引抜き試験終了後のくい頭の状況(SP-10)



図一〇 引抜き試験結果 (P~S: 全引抜き試験くい)



図一四 引抜き試験結果 (P~S: SSS-1, 2, 3, PIP-6, 7, 8, PC-9-1, 9-2, SP-10)

荷重が小さく、PIPくいの最大荷重がその3倍以上もあり、打込みくいの最大荷重はさらに大きいことがわかる。PCくいはくいの頭のPC鋼線が破断してしまったため、おのおの115tonと108tonまでしか載荷できなかったが、そのようなことがなければ最大荷重は130ton程度位になったと推定される。

一般にいわれているように、引抜き強さが泥水を使った場所打ちコンクリートくい、PIPくい、打込みくいの順に強くなったのであるが、なかでも泥水を使った場所打ちくいとPIPくいの差が大きいこと、PIPくい

が打込みくいの強さに接近していることが注目される。また、泥水を使った場所打ちコンクリートくいのうち、キャンパス付きのくいはキャンパスがないくいに比較して最大荷重が1/3程度に低下してしまうこともわかる。

PIPくいと打込みくいの最大荷重時の浮上量は、図-20、21に示すようにおよそ5~40mmとなり、打込みくいが5mm前後で最大荷重に達して以後急に荷重が低下するのに対して、泥水を使った場所打ちコンクリートくいは40mmあるいはそれ以上で最大荷重に達し、その後も浮上量が300~400mmになるまで最大荷重を保持する。PIPくいはその中間で、むしろ打込みくいに近い傾向を示す。

各くいの降伏荷重は表-12に示すように、

SSS-1	降伏荷重	$P_y=20\text{ton}$
-2	"	不明
-3	"	$P_y=8$
PIP-6	"	$P_y=85$
-7	"	$P_y=85$
-8	"	$P_y=140$
PC-9 ⁻¹	"	$P_y=85$
-9 ⁻²	"	$P_y=85$
SP-10	"	$P_y=85$
SP-10	"	$P_y=90$

となる。

各くいの許容引抜き抵抗力は、安全率を極限荷重に対して3、かつ降伏荷重に対して2と考えれば²⁾、

項目	①	②	③	④	⑤
試験くい	削孔または既製くいの製作日	モルタル打または既製くいの打込み	引抜き試験日	材令③-②	掘削陸上げ日
SSS-1	49. 4. 15	49. 4. 20	49. 6. 20~21	61日	49. 7. 28
SSS-2	49. 4. 12	49. 5. 13	49. 6. 26	44日	49. 8. 1
SSS-3	49. 4. 15	49. 4. 20	49. 6. 18~19	59日	49. 7. 28
PIP-6	49. 5. 3	49. 5. 3	49. 7. 4~5	62日	49. 7. 30
PIP-7	49. 5. 8	49. 5. 8	49. 7. 1~2	54日	49. 7. 30
PIP-8	49. 4. 12	49. 5. 8	49. 6. 24~25	47日	49. 8. 9
PC-9 ⁻¹	49. 2. 20	49. 4. 6	49. 6. 10~11	65日	49. 7. 30
PC-9 ⁻²	49. 2. 20	49. 4. 6	49. 6. 12~13	67日	49. 7. 30
PS-10	49. 1	49. 4. 6	49. 6. 14~15	69日	49. 7. 30

表-11 くい材令

項目	荷重P(ton)と浮上量S(mm)の関係						降伏荷重P _y (ton)					周面摩擦支持力f _{max} (t/m ²)							
	第1サイクル	第2サイクル	第3サイクル	第4サイクル	最大P時	最大S時	P~S	logP~S	logP~logS	logT~S	ΔS/logP	決定	-20~40	-40~60	-60~80	-80~90	-90~100	100~115	115~105
試験くい	P	P	P	P	P	S	P _y	P _y	P _y	P _y	P _y	P _y	f _{max}	f _{max}	f _{max}	f _{max}	f _{max}	f _{max}	f _{max}
	S(い)挿	S(い)挿	S(い)挿	S(い)挿	S(い)挿	S(い)挿	S(い)挿	S(い)挿	S(い)挿	S(い)挿	S(い)挿	S(い)挿	δ(mm)	δ	δ	δ	δ	δ	δ
場所打ち試験コンクリートくい	SSS-1	5	10	15	20	35	15	—	25	20	20	17	20	1.5	0.8	1.1	23.3	10.2	3.5
	無キャンパス	0.20 0.12	0.48 0.26	0.88 0.50	1.55 1.02	46.75	700	—	3.52	1.55	1.55	—	—	140.0	110.0	80.0	120.0	80.0	—
有キャンパス	SSS-2	10	15	—	—	18	12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	有キャンパス 下アンカー	6.4 26.25 27.05 6.4 26.25 27.05	68	—	—	100	250	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
有キャンパス	SSS-3	5	10	12	—	17	17	—	—	7.5	8	8.2	8	1.7	0.9	2.0	8.1	5.2	1.7
	有キャンパス	40.40 36.25	91.89 87.06	144.78 138.90	—	700	700	—	—	—	—	—	—	144.0	190.0	190.0	160.0	119.0	—
PIPくい	PIP-6	30	60	90	100	109	47	85	85	77	80	83	85	5.9	4.8	5.5	26.1	27.6	11.0
	PIP-6	0.48 0.02	1.33 0.46	5.84 4.10	18.64 15.86	40	550	—	—	—	—	—	—	40.0	110.0	0.9	17.0	140.0	—
PIPくい	PIP-7	30	60	90	100	106	48	90	80	90	90	85	85	9.2	7.9	5.7	15.9	24.2	10.7
	PIP-7	0.24 0.54	0.87 1.51	2.87 3.98	6.14 7.06	12.76 14.00	500	2.87	1.93	2.87	—	—	—	2.9	115.0	100.0	13.5	13.8	—
PIPくい	PIP-8	60	120	140	180	280	280	—	12.0	140	140	122	140	—	—	—	—	—	—
	PIP-8	0.84 0.25 0.25 0.25	1.84 2.15	2.84 3.24	7.30 7.53	46.00	46.00	—	—	—	2.84	2.84	—	—	—	—	—	—	—
PCくい	PC-9 ⁻¹	30	60	90	110	115	115	—	—	88	90	80	85	4.7	5.3	5.5	20.8	—	—
	PC-9 ⁻¹	0.61 0.26	2.11 0.83	4.12 1.42	7.32 2.50	13	13	—	—	—	—	—	—	1.8	5.4	4.7	4.1	—	—
PCくい	PC-9 ⁻²	30	60	90	108	108	108	—	85	85	80	73	85	3.0	3.3	7.7	22.2	—	—
	PC-9 ⁻²	0.80 0.40	3.06 1.23	6.41 2.51	11.15 3.66	11.15 3.66	—	—	—	—	—	—	—	0.3	6.4	5.6	5.0	—	—
鋼管くい	SP-10	30	60	90	120	152	67	—	—	80	100	—	90	7.1	5.0	13.2	24.0	—	—
	SP-10	0.85 0.09	2.04 0.36	3.41 0.77	5.32 1.69	11	700	—	—	—	—	—	—	4.7	5.9	3.3	41.0	—	—

表-12 引抜き試験結果(全引抜き試験くいのP~S, P_y, f_{max})

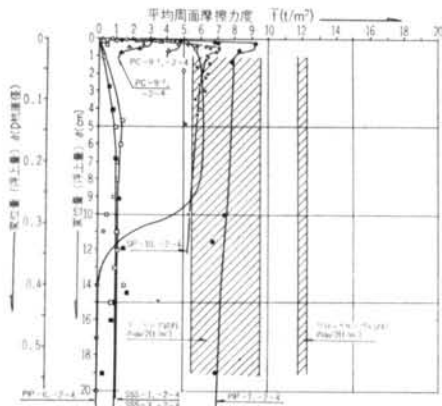


図-22 平均周面摩擦力度 \bar{f} ~変位量 (浮上量) σ (SSS-1, 3, PIP-6, 7, PC-9⁻¹, 9⁻², SP-10. GL-2.0~4.0m)

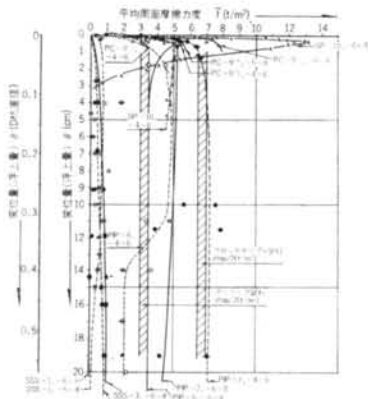


図-23 平均周面摩擦力度 \bar{f} ~変位量 (浮上量) σ (SSS-1, 3, PIP-6, 7, PC-9⁻¹, 9⁻², SP-10. GL-4.0~6.0m, -6.0~8.0m)

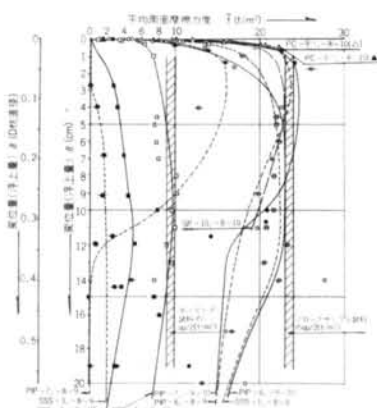


図-24 平均周面摩擦力度 \bar{f} ~変位量 (浮上量) σ (SSS-1, 3, PIP-6, 7, PC-9⁻¹, 9⁻², SP-10. GL-8.0~9.0m, -9.0~10.0m)

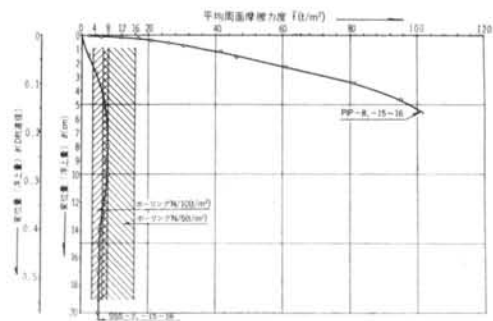


図-25 平均周面摩擦力度 \bar{f} ~変位量 (浮上量) σ (SSS-2, PIP-8. GL-15.0~16.0m)

SSS-1	許容引抜き抵抗力	$R_a=10.0$ ton
-2	"	$R_a=6.0$
-3	"	$R_a=4.0$
PIP-6	"	$R_a=36.3$
-7	"	$R_a=35.3$
-8	"	$R_a=70.0$
PC-9 ⁻¹	"	$R_a=38.3$
-9 ⁻²	"	$R_a=36.0$
SP-10	"	$R_a=45.0$

となる。

くい体に埋設した歪計から各深度における軸力を計算し、各軸力差をくい周面で割って、土層別の周面摩擦力度を求め「周面摩擦力度~変位量」の関係を図-22, 23, 24, 25に示し、「最大周面摩擦力度」を表-12に示した。これらの値を求めるにあたっては、くい径は図-16に示す実測値を使い、くい体の弾性係数は実物くいの引張り試験結果や、くい体コアの圧縮試験結果から求めた値を使って正確を期した。

各くいの土層別の最大周面摩擦力度は、GL-0.0~4.7mのローム層においてPIPくいと打込みはおよそ5.5~9.5t/m²となり、ボーリング試料の $qu/2$ とブロックサンプリング試料の $qu/2$ の中間の値となる。しかし、泥水を使った場所打ちコンクリートくいはおよそ1.0~1.5t/m² となりかなり低い。

GL-4.7~8.5mの粘土質ロームにおいて、PIPくいと打込みくいはおよそ5.0~13.0t/m² となり、ブロックサンプリング試料の $qu/2$ の値に近似する。なかでも、打込みくいである鋼管くいはおよそ13.0t/m² とブロックサンプリング試料の $qu/2$ の値を上回り、泥水を使った場所打ちコンクリートくいはおよそ0.5~1.0t/m² とかなり低いことが注目される。

GL-8.5~14.5mの砂質粘土層において、PIPくいと打込みくいは、およそ16.0~24.0t/m² となり、ブロックサンプリング試料の $qu/2$ の値に近似する。泥水

を使った場所打ちコンクリートくいのキャンパスのない SSS—1はおよそ10.0~23.0t/m² にもなり、キャンパスのあるSSS—3でもおよそ2.0~5.0t/m² に達する。泥水を使った場所打ちコンクリートくいの泥壁は、3.3.3で述べたように、GL—7.8m以深では先端部の一部を除いてほとんどないことが確認されており、そのためこのように上昇しているものと考えられる。

GL—14.5m以深の粘土混り砂礫層では、PIPくいは97t/m²となり、泥水を使った場所打ちコンクリートくいでもおよそ8.0t/m²となっている。この値は泥水を使った場所打ちコンクリートくいではおよそN/6 t/m²ほどであるが、PIPくいでは建築学会の規準²⁾などで決められているN/5~N/10 t/m²の値をはるかに上回っており、仮にN値で表わすなら1.5Nt/m²ほどにもなる。

3.5 泥水を使った場所打ちコンクリートくいの周面摩擦支持力とそれを決める要因

泥水を使った場所打ちコンクリートくいの周面摩擦支持力度は表—12に示すようにくい全長で平均して、キャンパスなしのくいで3.5t/m²、キャンパス付きくいで1.7t/m²である。

各土層別の周面摩擦支持力はくいの状態、特に泥壁の有無によって大きく左右され、キャンパスなしのくいの周面摩擦支持力度がGL—8.0m以浅では1.5 t/m²以下であるのに対して、泥壁がほとんどないGL—8.0~9.0mの間では23.3t/m²にもなる。

写真—11、12に示すように、くい頭部の引抜き状況やくい周地盤の調査結果などによると、くい周の剪断面は泥壁の間にあり、くいの周面摩擦支持力を決める要因はおもに泥壁である。

そのため、もし泥壁が完全に形成されていれば、キャンパスの有無に関係なく、周面摩擦支持力度はおよそ1.0~2.0t/m²にしかならない。

3.6 PIPくいの周面摩擦支持力とそれを決める要因

PIPくいの周面摩擦支持力度は、表—12に示すようにくい全長で平均して10.7~11.0t/m²である。各土層別の周面摩擦支持力は4.8~27.6t/m²になり、粘性土ではブロックサンプリング試料の $qu/2$ に近似する。

そして、本実験では周面摩擦支持力度は深度の浅い場合はボーリング試料の $qu/2$ に近くなり、深度の深い場合はブロックサンプリング試料の $qu/2$ に近くなる傾向があった。

したがって、周面摩擦支持力を決める要因は、おもにくい周の自然地盤の剪断強さである。

3.7 打込みくいの周面摩擦支持力とそれを決める要因

打込みくいの周面摩擦支持力度は表—12に示すようにくい全長で平均して、10.9~13.5t/m²である。

各土層別の周面摩擦支持力は、くいの打込みによるくい周地盤の密度の上昇によって地盤の剪断強さが上昇するため、その上昇した地盤の剪断強さによって決まり、その値は試験くいのなかで最大になり、PIPくいに比較しておよそ2割増程度になった。

3.8 PIPくいの許容周面摩擦支持力

PIPくいの周面摩擦支持力は、くい周の自然地盤の剪断強さによって決まり、粘性土ではブロックサンプリング試料の $qu/2$ に近似し、粘土混り砂礫土ではN/5 t/m²をはるかに上回ることがわかった。

通常的地盤調査では、ボーリング試料による試験が多く、ブロックサンプリング試料による試験はまれであり前者の値は後者の値を下回るのが普通である。

このようなことを考えると、PIPくいの許容周面摩擦支持力は安全率を3と考えると、ボーリング試験の結果から、

$$\text{粘性土の場合} \cdots \frac{1}{3} \cdot \frac{qu}{2}$$

$$\text{砂礫土の場合} \cdots \frac{1}{3} \cdot \frac{N}{5} \text{ t/m}^2$$

とすれば、十分安全側となる。この程度の周面摩擦支持力度では変位も5mm以下である。

§ 4. 結論

以上の検討の結果、およそ次のようなことを明らかにした。

- (1) 関東ロームの一軸圧縮強度は、ボーリング試料による値が、ブロックサンプリング試料による値の1/2~1/5とかなり小さ目にする。この傾向は深度が深く、砂分が多く、N値が大きくなるに従って顕著になっている。この原因は、ボーリング孔を使った通常のサンプリングによる試料が乱されやすいためであると考えられる。
- (2) くいの径の大きさは、泥水を使った場所打ちコンクリートくいがほぼすべての深度で公称径よりおよそ10mmほど下回っているのに対し、PIPくいはすべての深度で公称径よりおよそ10~40mmほど上回っており、くいの径の変動率もPIPくいの方が小さい。
- (3) 泥水を使った場所打ちコンクリートくいの泥壁厚は通常の場合10~25mmである。しかし、深度(土質)によっては泥壁がほとんどないところもある。

(4) 泥水を使った場所打ちコンクリートくいは、掘削終了とコンクリート打設開始の間に放置時間があるので、くいの施工時にくい周地盤をゆるめる傾向にあり、泥水を使うのでくい周に泥壁ができやすい。

そのため、周面摩擦支持力は通常の場合ゆるんだ地盤あるいは泥壁の剪断強さによって決まり、その値はくい周の状況によってかなりばらつく。そして、もし完全に泥壁が形成されていれば、周面摩擦支持力度はおよそ $1.0 \sim 2.0 \text{ t/m}^2$ にしかならず変位もかなり大きくなる。

(5) P I P くいは、オーガー掘削終了と同時にプレパケット・モルタルを注入するので、くいの施工時にくい周地盤をゆるめることがなく、泥水を使わないので泥壁やスライムもない。

そのため、周面摩擦支持力として、ほぼ自然地盤の剪断強さを採ることができる。許容周面摩擦支持力度は、安全率が3の場合は、ボーリング試験結果を使って粘性土で $1/3 \cdot q_u/2$ 、砂礫土で $1/3 \cdot N/5 \text{ t/m}^2$ とすれば十分安全側になり、変位も通常の場合 5 mm 以内におさまる。

(6) 打込みくいは、くいの打込みによってくい周地盤を締固める。締固める範囲は地盤の状態やくいの施工法によって異なるが、本実験の場合くい周面からおよそ 35 cm 幅であった。

そのため、周面摩擦支持力は締固められた地盤の剪断

強さによって決まり、その値はくいの場合に比較しておよそ2割増ほどになる。

§ 5. あとがき

本報によって、P I P くいの周面摩擦支持力について知ることができた。今後は、総合実験³⁾の結果などから、先端支持力、くい体強度、沈下量の算定などについて検討する予定である。

未筆ながら、総合実験³⁾の実施に際してご指導とご協力をいただいた、機械部、技術開発本部、土木技術部、研究所の方々にお礼申し上げるとともに、実働して下さった方々の名(敬称略)をしるし謝意を表します。

土木技術部：渡辺俊雄(現土木部)、河井徹、伝田篤、黒崎富士美、石塚裕二

研究所：岡田武二、山城幸治、奥村忠彦、今井実、長沢保紀、小島啓治、中谷孝志、中野幹生(以上施工研) 中山信雄、金子広之(以上材料研)、大塚義之、福田新次郎(以上土質研)

なお、総合実験³⁾の実施メンバーは、小粥庸夫、作田尚志(以上土質研)、大内雅典、田口弘(以上土木技術部)の4人である。

<参考文献>

- 1) 小粥庸夫：“P I P くいの支持力機構に関する研究(その1)―従来の設計支持力についての検討―”清水建設研究所報 Vol. 20, 1973. 4
- 2) 日本建築学会：“建築基礎構造設計規準・同解説(第1版)”丸善, 昭和49年
- 3) P I P くいの耐力30470プロジェクト・チーム：“P I P 杭耐力調査報告書・その2”清水建設株式会社, 昭和50年3月, 未公表
- 4) 小粥庸夫, 加藤昌次：“P I P 柱列くいとコンクリートによる合成壁工法の研究(その3)―P I P 柱列くいの施工精度―”清水建設研究所報 Vol. 18, 1971. 10
- 5) “清水建設(株)相模機械工場内SSS載荷試験に伴う地盤調査”昭和47年8月
- 6) P I P くいの耐力30470プロジェクト・チーム：“P I P 杭耐力調査報告書・その1”清水建設株式会社, 昭和49年1月
- 7) 土質工学会編：“日本の特殊土(土質基礎工学ライブラリー10)”土質工学会, 昭和49年
- 8) 高速道路調査会編：“関東ロームの土工―その土質と設計・施工―”共立出版, 1973