

## P I P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<sup>1)</sup> 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P I P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<sup>2)</sup>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、P I Pくいについてはいまひとつはつきりしていないようである。

そこで本論では、前報で問題となつたP I P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、最近行なつた総合実験<sup>3)</sup>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P I P

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) P I P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に比較してかなり小さく、1.0t/m<sup>2</sup>～2.0t/m<sup>2</sup>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P I P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こと、

などを明らかにし、P I P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  $q_u$  から求めた  $q_u/2$  に近似することを明らかにした。

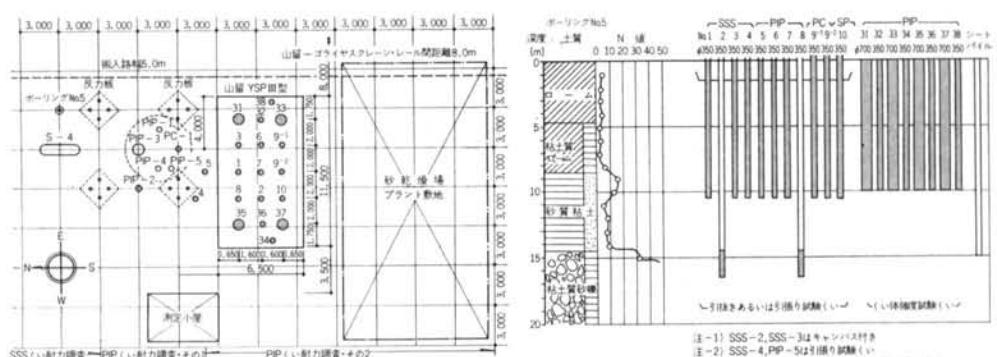


図-1 試験くいの配置

## § 2. 実験計画

総合実験の実験計画のうち、おもに本論に關係する部分について述べる。

### 2.1 実験の概要

実験の目的、項目、方法、試験くいなどは、表-1に示すとおりであり、各作業を工程順にみると次に述べるとおりである。

すなわち、図-1に示すように現位置に試験くいとし

て泥水を使った場所打ちコンクリートくい4本、P I P くい12本、P C くい2本、鋼管くい1本を施工し、施工記録（施工時間、コンクリートとプレパックド・モルタルの現場管理、打込み試験など）や、くい体硬化熱（P I P くい8本）などを測定した後、くい体を引抜き試験し（泥水を使った場所打ちコンクリートくい3本、P I P くい3本、P C くい2本、鋼管くい1本）、全試験くいを手掘りしながら地盤やくいの状況などを調査し、掘出した試験くいについて引張り試験（泥水を使った場所打ちコンクリートくい1本）やコアによるくい体強度試

実験目的	実験項目	実験方法	試験くいと実験項目との関連										実験結果の予測、備考
			1 3 SSS(くい)	5 4 PIP(くい)	7 6 鋼管(くい)	9 <sup>-1</sup> 9 <sup>-2</sup>	10 PIP(くい)	32 31	34 33	36 35	38 37	P I P くい	
1. P I P くいにおいてくい径の大小とくいの深度とモルタル硬化熱の発生状況とモルタルの強度の関係を知る。	1.くい体の硬化熱測定	1.各深度(G L=0.1m, 0.5, 1.0, 3.0, 5.0, 7.0, 9.0, 9.5, 9.9など)でプレパックドモルタルの温度測定をする。その期間はくい打設時から約1ヶ月間。	XXXX	XXXX	XXX			000000000					
1. P I P くいにおいてモルタルの配合(4種類)とモルタル硬化熱の発生状況とモルタルの強度の関係を知る。	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	1.プレパックドモルタルの材料(砂、セメント、フライアッシュ、混和剤)の検査。 2.打設時の管理と試験。 3.泥水管理。	XXXX	0000	XXX			000000000					
3. P I P くいの大径化に伴なう問題点(施工時間、施工精度、くい強度など)を知り、その改良方法を探索する。	3.コンクリートとプレパックドモルタルの強度試験(標準供試体、コアー)	1.標準供試体: 材令7日、28日、91日、1年、3年、引抜き試験あるいは引張り試験あるいはコアー圧縮試験時に行なう。 2.コアー: 各深度(G L=0.1m, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 5.0, 7.0, 8.0, 8.5, 9.0, 9.5, 9.9)でコアー(φ100, h200)を採取し、圧縮試験などをする。(材令91日、1年、3年)	○△△△	0000	△X			000000000					
4. SSS(くい)においてキャンバスの有無が引抜き抵抗に及ぼす影響を知る。	4.施工精度調査	1.くい表面形状: くい表面がザラザラかツルツルか土や石が重い込んでいるか否か、キャンバスの状態はどうか肉眼観察し、写真撮影。 2.くい径: 20mm毎にくい周(くい径=(くい周半径))を測定。 3.鉛直度、クラック発生状況: 内眼で観察する程度。	○○○○	0000	△△			000000000					
5.当地盤に施工されたSSS(くい)とP I P(くい)において引抜き抵抗と鉛直載荷時の周面摩擦抵抗(押抜き抵抗、実験済)を比較する。	5.地盤調査	1.状況: (くい周(おもにG L=3.0m, -6.0m, -9.0m)とくい先端周辺の地盤状況を肉眼観察し、写真撮影。 2.硬さ: 上記と同位置の地盤をコーンペネで調査。密度も適宜調査。 3.くい先端地盤フロックサンプル: 写生写真撮影。	○○○○	0000	○○			000000000					
6.当地盤に施工されたSSS(くい)とP I P(くい)において引抜き抵抗を比較する。	6.引抜き試験	1.くい体に満計(G L=1.0m, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0, 9.0, 10.0)と沈下ロッド(G L=4.0m, 8.0, 10.5, 14.5, 16.5)を埋設して繰返多サイクル引抜き試験をする。	○○○X	×○○○	○○○			XXXXXX					
7. P I P くいにおいて上アンカー引抜きと下アンカー引抜きの引抜き抵抗のちがいを知る。	7.引張り試験(くい体)	1.くい体引張試験をして「○—○」の関係を求める。	XXXX	○XXXX	XXX			XXXXXX					
8.打込み試験	1.くい打ち記録をとる。 2.打撃応力の測定。	XXXX	XXXX	○○○				XXXXXX					

表-1 実験の目的、項目、方法など

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、P I P くい体強度との関係を検討するため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。P I P 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 <sup>3</sup> )				性 質			
	清 水(kg)	赤 土(kg)	ペントナイト(kg)	CMC(kg)	分散剤(kg)	粘 性比	重脱水量(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
3	160	41.5	3.0	0.04	0.04	24.3	1.075	55
4	160	35	4.5	0.05	0.05	23.5	1.06	37.5
5	160	35	4.0	0.10	0.05	25.8	1.065	28.0

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 適合度 (kg/cm <sup>2</sup> )	試験 くい (kg/m <sup>3</sup> )	C (kg/m <sup>3</sup> )	S (kg/m <sup>3</sup> )	G (kg/m <sup>3</sup> )	細骨材 (%)	粗骨材 (%)	細骨材 率(%)	W (kg/m <sup>3</sup> )	W/C (%)	ラブ (cm) ヤング 率 (kg/cm <sup>2</sup> )	21.0
普通配合 生コンク リート	300	SSS-1										
		SSS-2	410	801	954	46.1	203	49.5				
		SSS-3										2.8~ 2.4 ×10 <sup>6</sup>
		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、P I P 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、P I P くい体から採取したコア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、くい体の形状が一様でないものが多い。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<sup>4)</sup>、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P I P 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 適合度 (kg/cm <sup>2</sup> )	試験 くい (kg/m <sup>3</sup> )	プレパックド・モルタル配合							練り上り量 (m <sup>3</sup> ) (注3)	理論比重 (t/m <sup>3</sup> )
			C (kg) セメント トフライ ッシュ	F (kg) 砂	S (kg) 水	W (kg) エイド	I·A (kg)	W/ C+F (%)			
上段はバッヂ当り 下段はm <sup>3</sup> 当り											
(A)	P I P —5 300 —6 —7 —8	120	30	96	69.0	1.31	46				
	—31 240 —32	120 注1) 640	40 注1) 213	128 683	80.0 427	1.40 7.50			0.187 50 1.00		
NOフラ イアツシ ュ(B)	240	—33 —34	120 注1) 703	0 0	153 896	72.0 422	1.05 6.10		0.171 60 1.00		
高炉セメント(C)	240	—35 —36	120 注2) 721	0	145 872	69.6 418	1.05 6.30		0.166 58 1.00		
P I P用 エイド(D)	240	—37 —38	120 注2) 645	40 215	124 667	80.0 430	0.70 3.80		0.186 50 1.00		

注1) 普通ボルトランドセメント

注2) 高炉B種

注3) イントルージョンエイドは除いた

注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		P I P		P C		S P		P I P			
	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、文書で表現。 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	
硬さ	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・コーンペネトロメーターの読み（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	-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	-30 -60 -90	-30 -60 -90	-30 -60 -90	-30 -60 -90	
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擾乱試料採取（300×300×300） (粒度分析、コンシステンシー、自然状態、一輪、剪断、三輪)	GL-30m 1ヵ所 GL-60m 1ヵ所 GL-80m 1ヵ所 GL-90m 1ヵ所										
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：測定リンクを使用。	-30 -60 -80 -90	-30 -60 -80 (一部)									
(くい周 ブロック サンプリ ング)	項目：くい先端地盤の形成状況。 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									

表-5 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P I P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-5、図-2、図-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

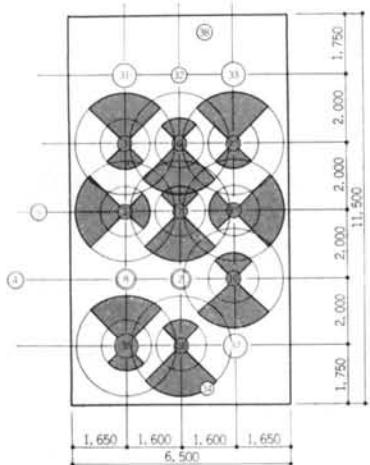
泥水を使った場所打ちコンクリートくいとP I Pくいと打込みくいの引抜き抵抗を知る目的で、図-1に示す合計9本の試験くいの引抜き試験をし、荷重、浮上量、くい体の軸方向歪度などを測定した。

載荷装置は、図-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P C鋼棒をくい頭でまとめて、さらにそれを2～4本のP C鋼棒で引張った。

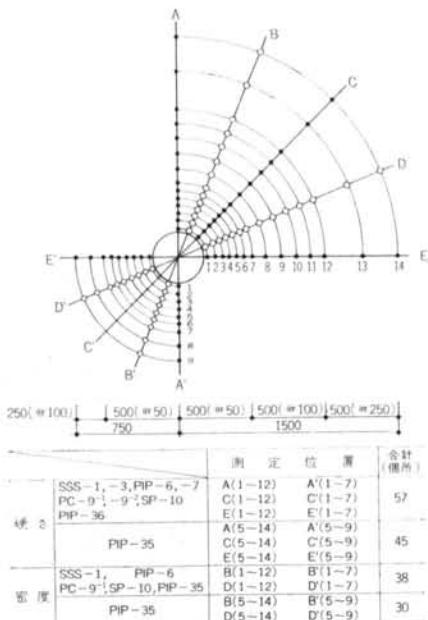
荷重をポンプの油圧計とロードセル（φ-90, φ-180の丸鋼）で測定し、くい頭浮上量を2個のダイヤル・ゲージ（1/100mm）で測定し、くい先端あるいはくい中間点（G L-4.0m, -8.0m, -14.5m）の浮上量を1個から3個のダイヤル・ゲージ（1/100mm）で測定した。くい体の歪度はくい体に埋設したモールド・ゲージ、あるいはワイヤー・ストレイン・ゲージ（鋼管くい）で測定した。

載荷は原則として緩速多サイクル方式とし、荷重階を



(注) ブロックサンプルは SSS-1, -3, PIP-6, -7の中心点

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)



(注-1) 密度測定用サンプラーは  $400 \times 4100$   
(注-2) 硬さ測定(相撲指の測定)のコーンベネの寸法は  $-3\text{mm} \phi -6\text{mm}$   
(真入3mm),  $-6\text{mm} \phi -6\text{mm}$ (真入6mm),  $-9\text{mm} \phi -6\text{mm}$   
(真入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

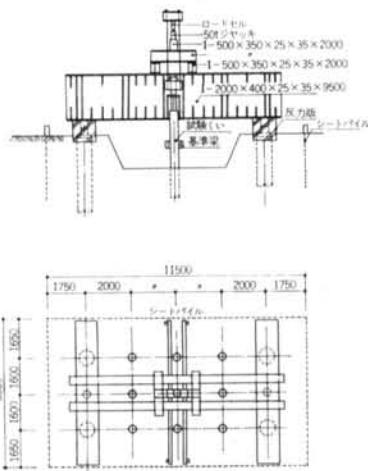


図-4 引抜き試験装置(P I P-7の場合)

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-3	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
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
	2 0 → 30 → [40] → 50 → 50 → 40 → 30 → 0
	3 0 → 30 → 60 → [70] → 80 → 80 → 70 → 60 → 30 → 0
	4 0 → 30 → 60 → 90 → [100] → 110 → 120 → 110 → 100 → 90 → 60 → 30 → 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-7	1 0 → [10] → 20 → 30 → 20 → 10 → 0
	2 0 → 30 → [40] → 50 → 50 → 40 → 30 → 0
	3 0 → 30 → 60 → [70] → 80 → 80 → 70 → 60 → 30 → 0
	4 0 → 30 → 60 → 90 → [100] → 110 → 120 → 110 → 100 → 90 → 60 → 30 → 0
	5 0 → (くい頭変位量50cm) → 0 適宜、荷重と変位量などを測定
PC-9 <sup>1</sup>	1 0 → [10] → 20 → 30 → 20 → 10 → 0
	2 0 → 30 → [40] → 50 → 50 → 40 → 30 → 0
	3 0 → 30 → 60 → [70] → 80 → 80 → 70 → 60 → 30 → 0
	4 0 → 30 → 60 → 90 → [100] → 110 → 120 → 110 → 100 → 90 → 60 → 30 → 0
	5 0 → (くい頭変位量50cm) → 0 適宜、荷重と変位量などを測定
PC-9 <sup>2</sup>	1 0 → [10] → 20 → 30 → 20 → 10 → 0
	2 0 → 30 → [40] → 50 → 50 → 40 → 30 → 0
	3 0 → 30 → 60 → [70] → 80 → 80 → 70 → 60 → 30 → 0
	4 0 → 30 → 60 → 90 → [100] → 110 → 120 → 110 → 100 → 90 → 60 → 30 → 0
	5 0 → (くい頭変位量50cm) → 0 適宜、荷重と変位量などを測定
SP-10	1 0 → [10] → 20 → 30 → 20 → 10 → 0
	2 0 → 30 → [40] → 50 → 50 → 40 → 30 → 0
	3 0 → 30 → 60 → [70] → 80 → 80 → 70 → 60 → 30 → 0
	4 0 → 30 → 60 → 90 → [100] → 110 → 120 → 110 → 100 → 90 → 60 → 30 → 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-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) 過女荷重(□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<sup>5)</sup>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 | $N=2\sim 7$  | GL-8.5m以浅     |
| 2) 段丘粘土    | 粘土  | $N=4\sim 16$ | -8.5m~-14.5m  |
| 3) 段丘砂礫    | 砂礫  | $N>50$       | -14.5m~-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。

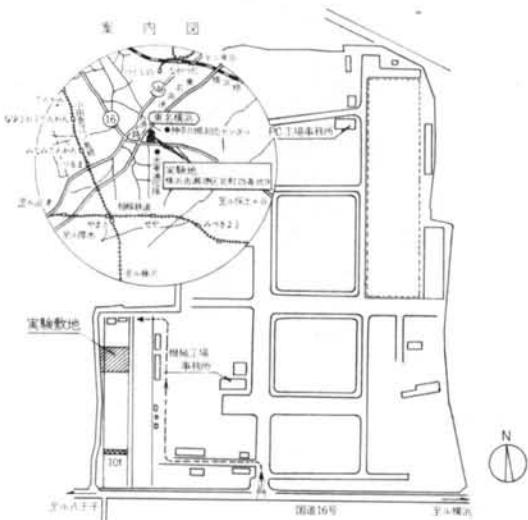


图-5 实验位置

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、P I P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  $\phi-350 \cdot l-10,500$  SSS-2 がキャンバス付（くい表面にキャンバス衣を巻いた）で  $\phi-350 \cdot l-16,500$ （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  $\phi-508 \cdot t-6.4$  のケーシングで孔壁の崩壊を防いた）SSS-3 がキャンバス付きで  $\phi-350 \cdot l-10,500$ 、SSS-4 は SSS-1 と同様である。

SSS-2とSSS-3のキャンバスは、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。

P I P 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、P I P-5, -6, -7 が  $\phi$ -350・ $l$ -10,500, P I P-8 が  $\phi$ -350・ $l$ -16,500（くいとしてプレパックド・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  $\phi$ -508・ $t$ -6.4 のケーシングで穴壁の崩壊を防いた）である。くい体の強度試験をするものとして、P I P-31, -33, -35, -37 が  $\phi$ -700・ $l$ -10,000 で、P I P-32, -34, -36, -38 が  $\phi$ -350

図-6 ポーリング調査結果（SSSくい耐力調査 No. 5 ポーリング）

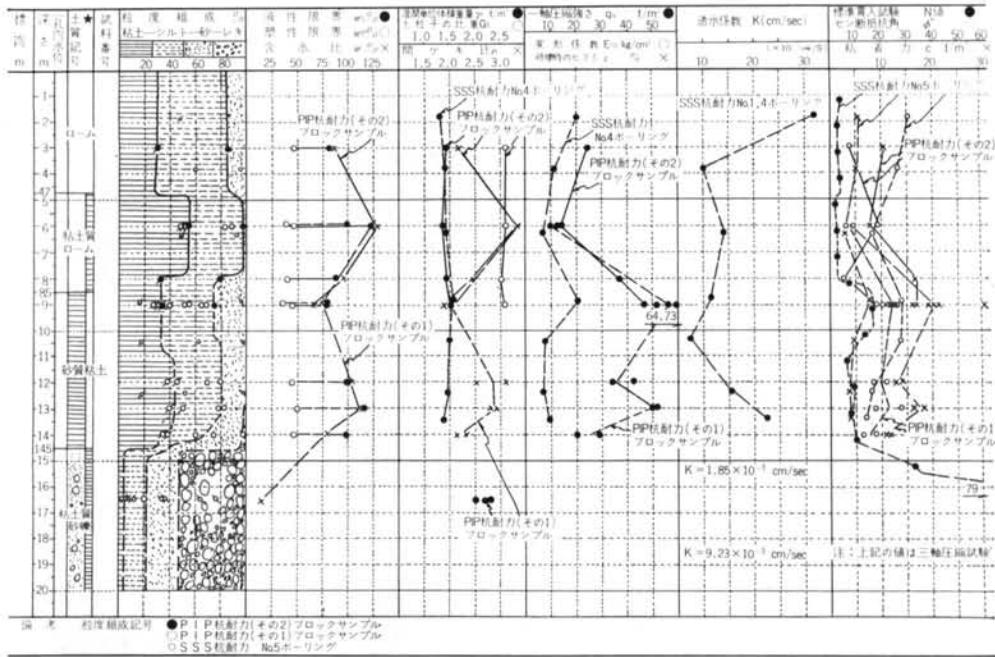


図-7 くい周・くい先端地盤調査結果（土性図）

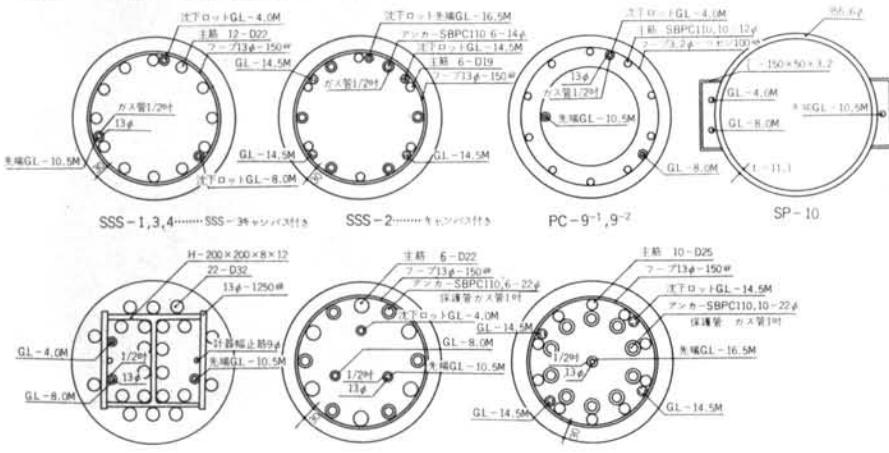


図-8 試験くい配筋横断面

$L=10,000$ 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 $\phi=350$ ・ $L=11,000$ (PCくいD種, 有効プレストレス $120\text{kg/cm}^2$ , 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 $\phi=355.6$ ・ $t=11.1$ ・ $L=11,000$ (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。

試験くい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 $\sigma_{28}=300\text{kg/cm}^2$ 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

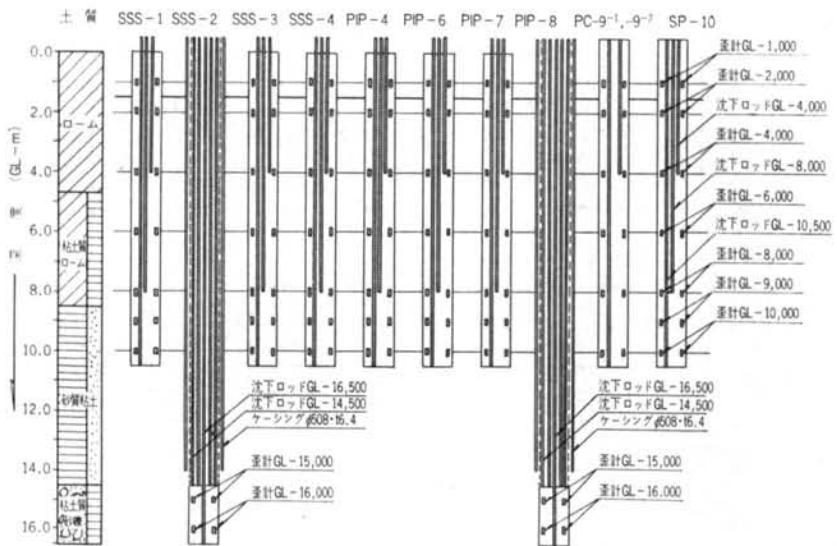


図-9 沈下ロッドと歪計の埋設位置

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<sup>-1</sup>, -9<sup>-2</sup>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/cm<sup>2</sup>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）プレパックド・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などを考慮して図-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に表-7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等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<sup>6)</sup>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変わりGL-14.5mで黄褐色の粘土質砂疊に変わった。

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)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

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あり、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、粒径が平均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を深堀掘削した)。

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ベ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に示すようにくい間に泥壁がベッタリ(10~20mm厚)ついているところが多く、他の試験くいと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くい(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形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<sup>6)</sup>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、一軸圧縮強さ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。

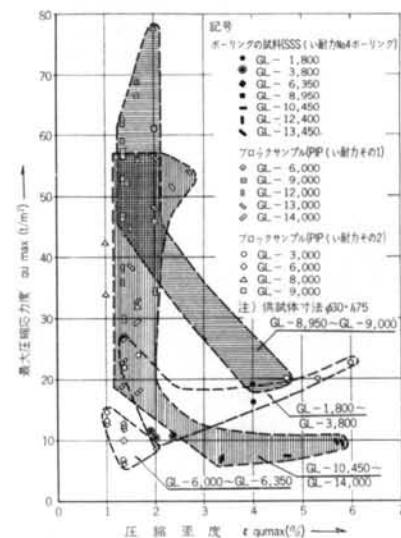
しかし、ブロックサンプリング試料から求めたこれらの土質常数の値は、ボーリング試料から求めた値と比較すると必ずしも近似しない。特に一軸圧縮強度や三軸圧縮強度などの力学特性は数倍もちがっていることがわかる。

### 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でることが認められている<sup>7,8)</sup>。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<sup>7)</sup>、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き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います。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關係してくるが、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。



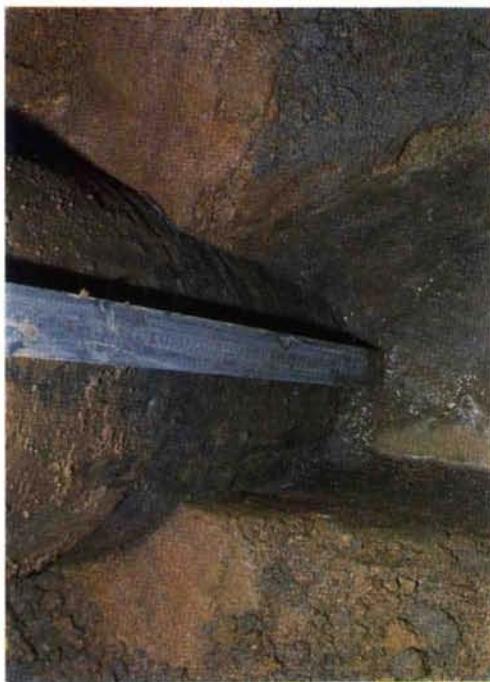


写真-3 PIP-7 の GL-8.4m 付近のくい周地盤状況

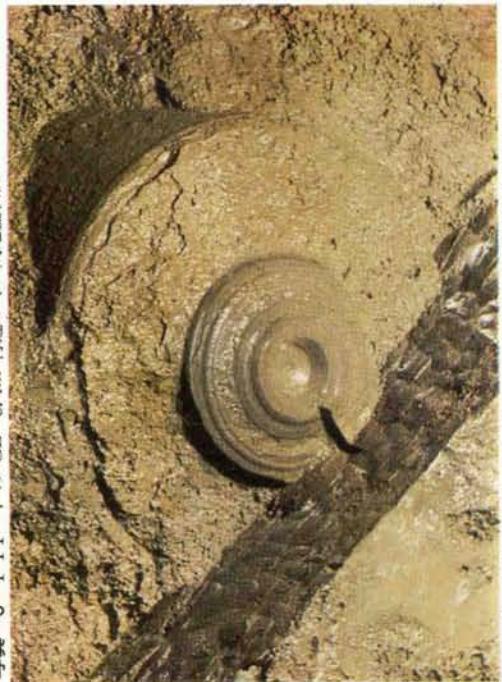


写真-6 地盤に形成された PIP くい先端部 (PIP-35) の跡 (中央の構は排水のため後からつけたものである)



写真-2 粘土質ロームと砂質粘土の境界付近の地盤状況

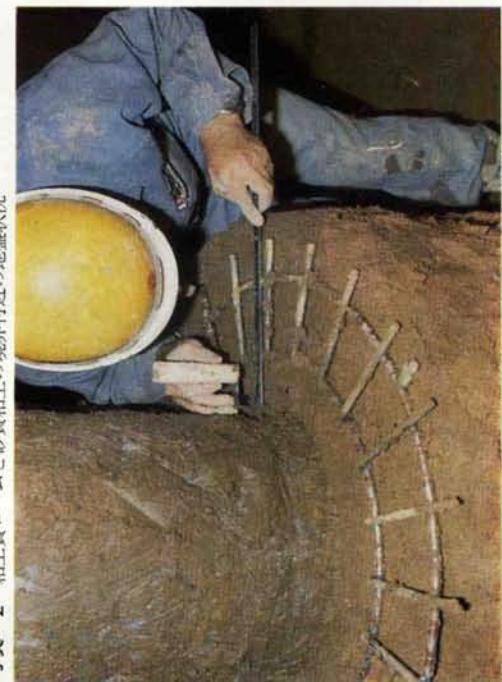


写真-5 SSS-1 の GL-6.0m 付近のくい径と泥壁厚の測定

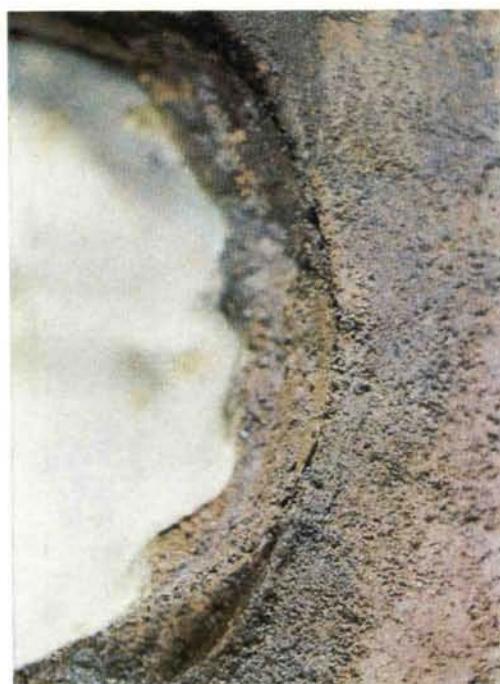


写真-12 引抜き試験終了後のくい頭と地盤の状況 (SSS-3)

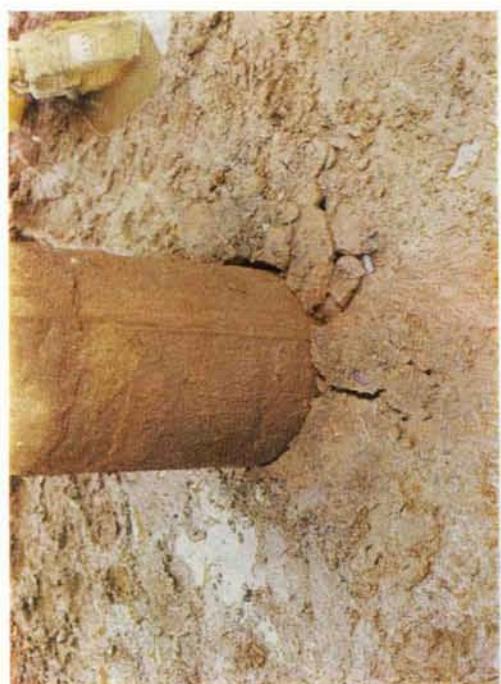


写真-13 引抜き試験終了後のくい頭と地盤の状況 (PIP-7)



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-4 PC-9-1 の GL-8.4m 付近のくい頭と地盤の状況

### 3.1.2 くいの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( $\phi=30$ ,  $h=100$ )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、引抜き載荷をしたくいはGL-6.0mのみくい周面付近で低下するが、引抜き載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では引抜き載荷をしないくいが低下がなかったのに対して、引抜き載荷あるいは押込み載荷<sup>⑥</sup>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CR.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)

$\gamma_{at}$  :  $i$ 点における乾燥密度

$\gamma_{d_0}$  : 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CR.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、載荷をしない場合はくい周地盤の硬さや密度の低下ではなく、くいの施工中に地盤をゆるめることがないこと、また、載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。

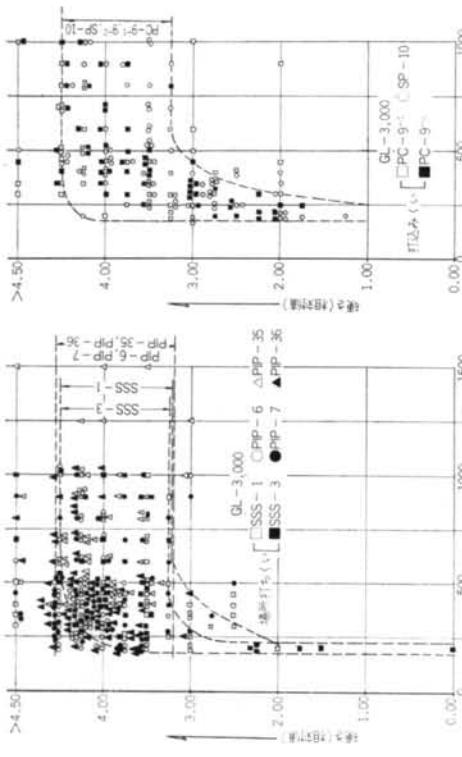
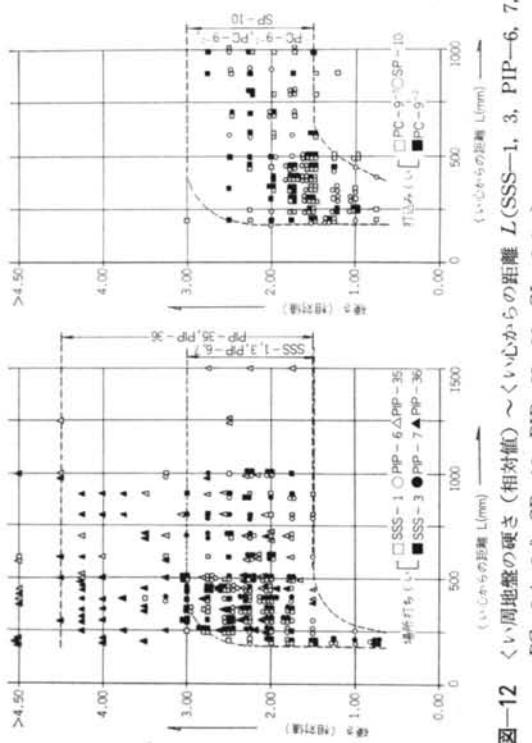


図-11 くい周地盤の硬さ(相対値)～くい心から $\delta$ の距離  $L$  (SSS-1, 3, PIP-6, 7  
PC-9<sup>-1</sup>, 9<sup>-2</sup>, SP-10, PIP-35, 36, GL-3.0m)



PC-9<sup>-1</sup>, 9<sup>-2</sup>, SP-10, PIP-35, 36, GL-6, 0m)

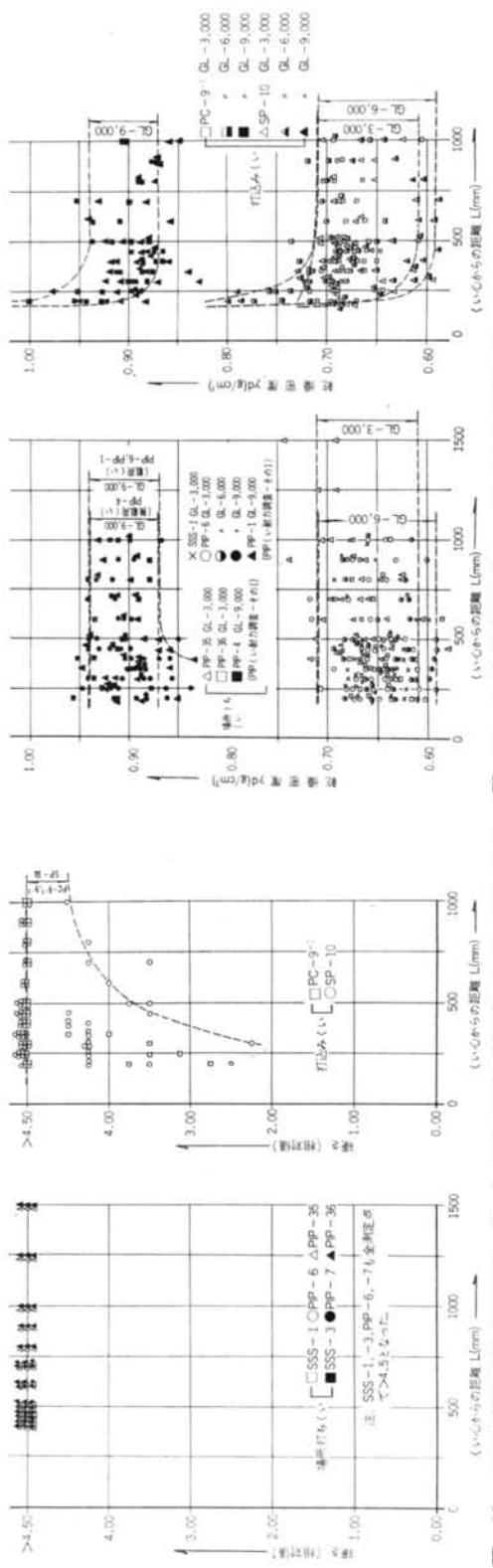


図-13 いい周地盤の硬さ(相対値)～いい心からの距離  $L$ (SSS-1, 3, PIP-6, 7  
PC- $g^{-1}$ , SP- $10$ , PIP- $35$ , GL- $9$  0m)  
図-14 いい周地盤の密度  $\gamma_d$ ～いい心からの距離  $L$

### 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の施工に手間だったものの、他のくいは順調に施工できた。鉄筋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 キャンバス付 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 エヤブロー 10:15~11:15 インチホース 1本 6.5kg/cm <sup>2</sup>
	SSS-3 キャンバス付 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に初めからやり直す。)
	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) 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) 55分 (モルタル脱水で鉄筋入らず。 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) (貪配合7バッチ) 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(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(い) 供試体寸法 $\phi 10 \times 20$	No.1,3 (4/20)	供試体試験日			5/18				6/18	
		強度 ( $kg/cm^2$ )			(263) 315 271 283				(273) 339 364 352	
SSS(い) 供試体寸法 $\phi 10 \times 20$	No. 2 (5/13)	ヤング率 ( $\times 10^5 kg/cm^2$ )			(2.06) 2.76 2.22 2.35				(2.46) 2.45 2.64 2.55	
		供試体試験日								
SSS(い) 供試体寸法 $\phi 10 \times 20$	No. 4 (4/20)	強度 ( $kg/cm^2$ )		5/20		6/10		8/12	6/27	
		ヤング率 ( $\times 10^5 kg/cm^2$ )		(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)
PIP(い) 供試体寸法 $\phi 5 \times 10$	No. 5 (5/3)	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)
PIP(い) 供試体寸法 $\phi 5 \times 10$	No. 6 (5/2)	ヤング率 ( $\times 10^5 kg/cm^2$ )				(2.15) 2.74 (2.55 2.48)				
		供試体試験日		5/9		5/31		8/2		
PIP(い) 供試体寸法 $\phi 5 \times 10$	No. 7 (5/8)	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 (4265)391	(44.0) 42.0 (39.6 41.9)	(370) 386 (381 379)
		ヤング率 ( $\times 10^5 kg/cm^2$ )				(1.29) 1.25 (1.30 1.28)				
PIP(い) 供試体寸法 $\phi 5 \times 10$	No. 8 (5/8)	供試体試験日		5/15		6/5		8/7	7/4	
		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)
PIP(い) 供試体寸法 $\phi 5 \times 10$	No. 8 (5/8)	ヤング率 ( $\times 10^5 kg/cm^2$ )				(1.41) 1.37 (1.35 1.38)				
		供試体試験日		5/15		6/5		8/7	6/25	
PIP(い) 供試体寸法 $\phi 5 \times 10$	No. 8 (5/8)	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)
		ヤング率 ( $\times 10^5 kg/cm^2$ )				(1.36) 1.34 (1.35 1.35)				

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、掘削孔中の泥水もニア・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

P C 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、钢管くいはPCくいに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、

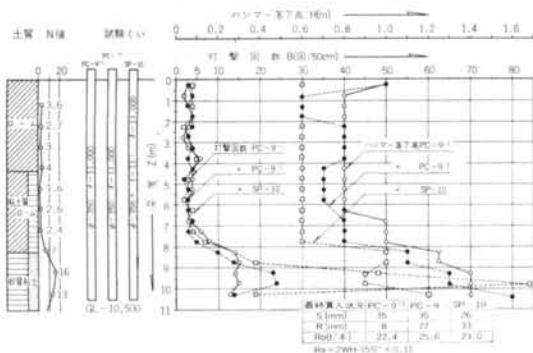


図-15 打撃記録 (PC-9<sup>-1</sup>, 9<sup>-2</sup>, SP-10)

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<sup>-1</sup>, PC-9<sup>-2</sup>, 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、钢管くいで最大およそ $1,300\text{kg/cm}^2$ となつた。

### 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 P I P くいのくい周を20cmごとに実測し、その値を $\pi$ 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、

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

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

$$\text{変動係数 } s = \frac{6}{m}$$

を求めて表-10に示した。

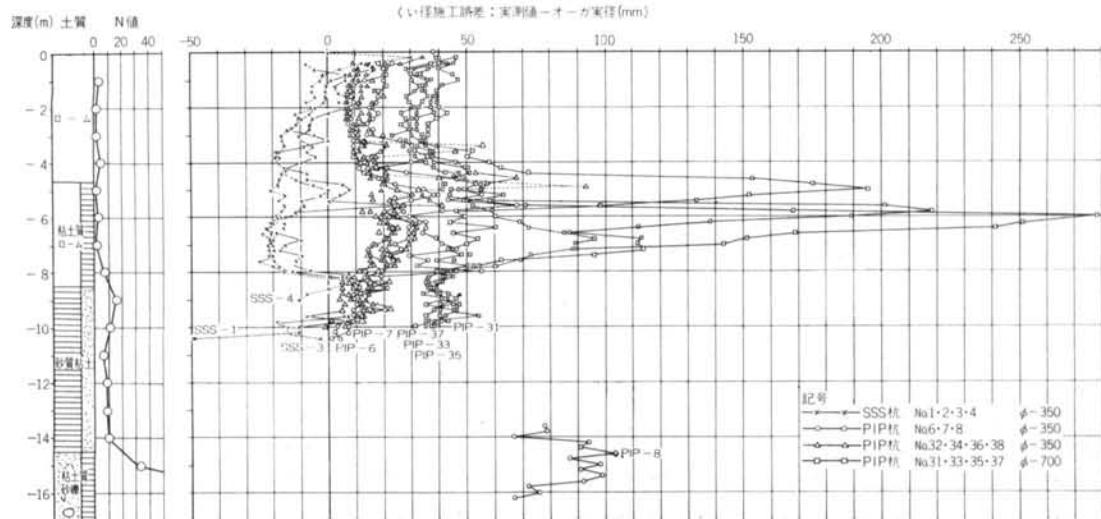


図-16 くい径調査結果(くい径:SSS—1, 2, 3, 4, PIP—6, 7, 8, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38)

項目 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
P I P-5	掘削不能								
P I P-6	361	4.1	1.1	376	5.2	1.4	358	5.1	1.4
P I P-7	373	8.1	2.2	388	14.7	3.8	358	2.9	0.8
P I P-8						注)	434	11.5	2.6
P I P-31	749	24.4	3.3	772	48.7	6.3	739	3.7	0.5
P I P-33	737	5.5	0.7	766	24.6	3.2	741	3.2	0.4
P I P-35	734	6.9	0.9	803	77.9	9.7	740	4.3	0.6
P I P-37	734	5.8	0.8	787	55.9	7.1	741	6.6	0.9
P I P-32	362	5.4	1.5	373	7.9	2.1	360	2.0	0.5
P I P-34	371	11.1	3.0	374	16.9	4.5	359	6.2	1.7
P I P-36	365	14.9	4.1	375	13.0	3.5	362	4.9	1.3
P I P-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~の粘土混り砂礫層

表-10 くい径調査結果 ( $m, \sigma, s$  の関係, 土層ごと)

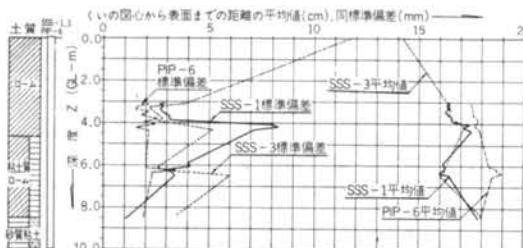


図-17 くい径調査結果(くい径, 同標準偏差: SSS-1, 3, PIP-6)

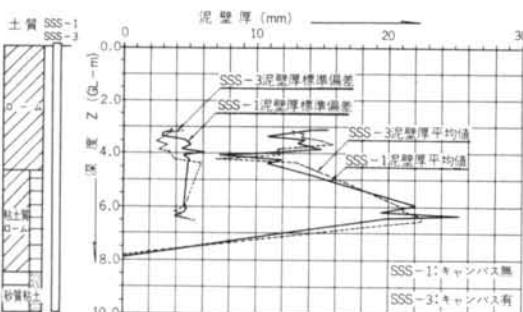


図-18 泥壁厚調査結果 (SSS-1, 3)

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 $\phi=350$ を10mmほど下回っているのに対して、引抜き試験をした

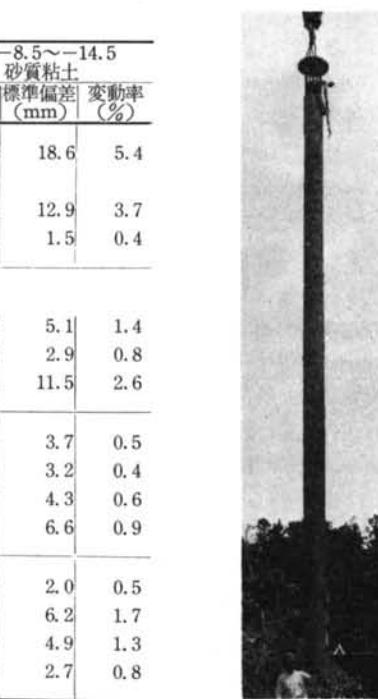


写真-7 挖出した P I P くい (PIP-6)

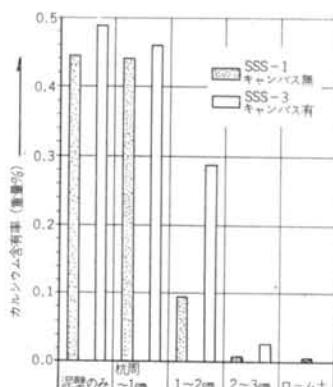


図-19 泥壁の性質調査結果(泥壁のカルシウム含有率: SSS-1, 3)

PIP くいは、すべての深度で公称径 $\phi=350$ を10~40mm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 くいのくい体は、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面の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面の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。

S S S-1, -3, P I P-6 の各測定深度（ここでは G L-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 P I P-6 ( $d \approx 17.5 \sim 18.5\text{cm}$ ), S S S-1 と S S S-3 (ともに  $d \approx 16.0 \sim 18.0\text{cm}$ ) となっており、P I P くいの方が泥水を使った場所打ちコンクリートくいより常に 0.5～2.5 cm 大きくなっている。 $d$ の値はキャンバ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 S S S-1 ( $\sigma \approx 1.0 \sim 8.5\text{mm}$ ), S S S-3 ( $\sigma \approx 2.0 \sim 6.0\text{mm}$ ), P I P-6 ( $\sigma \approx 1.5 \sim 2.5\text{mm}$ ) となっており、この順にくい表面が粗いということができる。

### 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、キャンバスのないくい S S S-1 もキャンバスのあるくい S S S-3 もほぼ同じで、およそ 1.0～2.5 cm であり、G L-3.0m から -6.0 m へゆくに従い厚くなる。しかし、G L-6.0m 付近から深くなるにつれて薄くなり、S S S-1 は G L-7.86 m で、S S S-3 は G L-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、キャンバスのあるくい S S S-3 とキャンバスのないくい S S S-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。キャンバ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 ( $\text{Ca}^{++}$ ) 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 G L-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バ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、2～3 cm 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。キャンバスの有無による差はあま

り明瞭ではないが、キャンバ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、キャンバ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。

キャンバスのある場合は、キャンバ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バスによって拘束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、分析の結果でで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。

キャンバスのない場合は、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、キャンバ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、キャンバスのない場合は、泥壁の粘りに欠け変形しにくく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 P I P 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 (S S S-1, -2, -3), P I P くい 3 本 (-6, -7, -8), 打込みくい 3 本 (P C-9<sup>-1</sup>, -9<sup>-2</sup>, S P-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 削削し、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、

	最大荷重	$P_{max}=35.0\text{ton}$	浮上量	$S=46.0\text{mm}$
-2	"	$P_{max}=18.0$	"	$S=100$
-3	"	$P_{max}=17.0$	"	$S=700$
P I P-6	"	$P_{max}=109$	"	$S=40.0$
-7	"	$P_{max}=106$	"	$S=12.8$
-8	"	$P_{max}=280$	"	$S=46.1$
P C-9 <sup>-1</sup>	"	$P_{max}=115$	"	$S=13.0$
-9 <sup>-2</sup>	"	$P_{max}=108$	"	$S=3.66$
S P-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

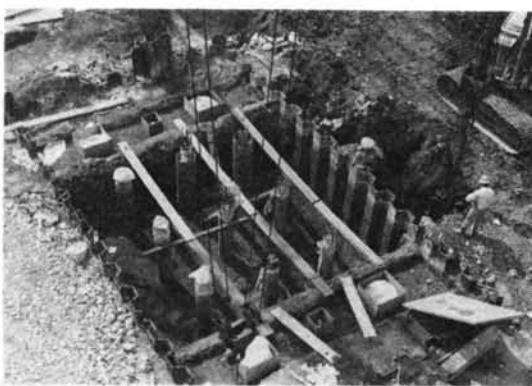


写真-8 引抜き試験準備のためのくい頭部掘削

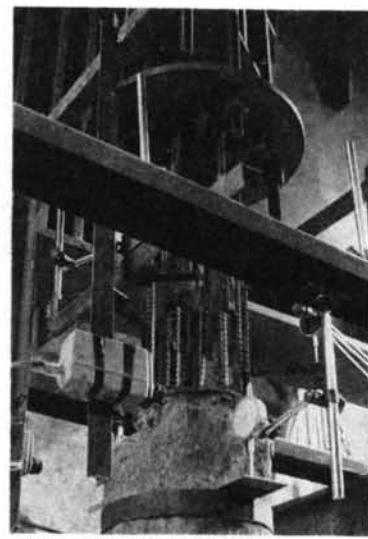


写真-10 引抜き試験の変位測定装置 (SSS-1)

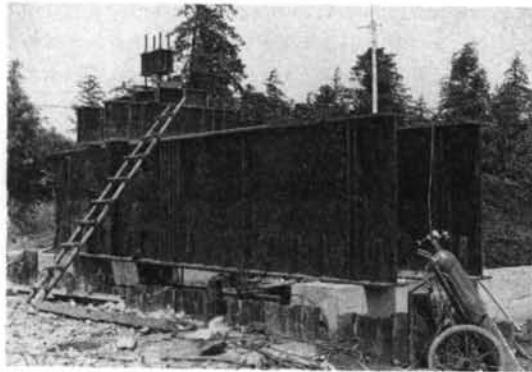


写真-9 引抜き載荷装置

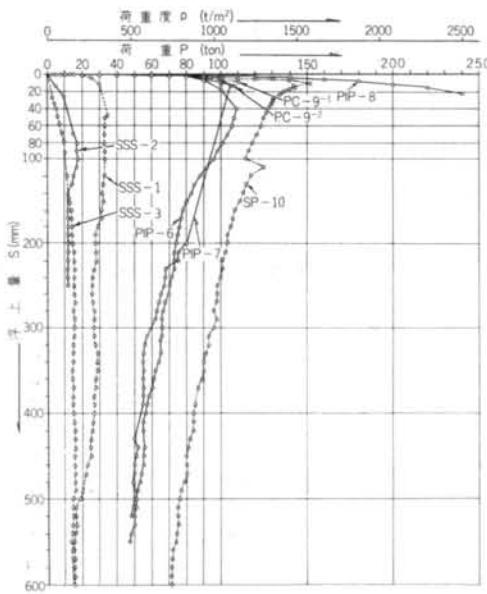


図-20 引抜き試験結果 ( $P \sim S$ : 全引抜き試験くい)



写真-14 引抜き試験終了後のくい頭の状況 (SP-10)

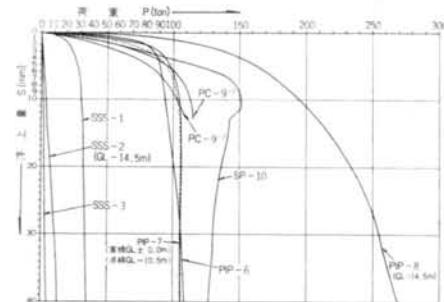


図-21 引抜き試験結果 ( $P \sim S$ : SSS-1, 2, 3, PIP-6, 7, 8, PC-9<sup>-1</sup>, 9<sup>-2</sup>, SP-10)

荷重が小さく、P I P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。P Cくいはくい頭のP C鋼線が破断してしまったため、おのの115tonと108tonまでしか載荷できなかつたが、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、P I Pくい、打込みくいの順に強くなつたのであるが、なかでも泥水を使った場所打ちくいとP I Pくいの差が大きいこと、P I P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、キャンバス付きのくいはキャンバ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。

P I P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。P I P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、

S S S-1 降伏荷重  $P_y=20\text{ton}$

-2	"	不明
-3	"	$P_y=8$
P I P-6	"	$P_y=85$
-7	"	$P_y=85$
-8	"	$P_y=140$
P C-9 <sup>-1</sup>	"	$P_y=85$
-9 <sup>-2</sup>	"	$P_y=85$
S P-10	"	$P_y=85$
S P-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<sup>2)</sup>、

項目	① 削孔または既製くい製作日	② モルタル打または既製くい打込み	③ 引抜き試験日	④ 材令	⑤ 掘削陸上げ日
試験くい					
S S S-1	49. 4.15	49. 4.20	49. 6.20~21	61日	49. 7.28
S S S-2	49. 4.12	49. 5.13	49. 6.26	44日	49. 8. 1
S S S-3	49. 4.15	49. 4.20	49. 6.18~19	59日	49. 7.28
P I P-6	49. 5. 3	49. 5. 3	49. 7. 4~ 5	62日	49. 7.30
P I P-7	49. 5. 8	49. 5. 8	49. 7. 1~ 2	54日	49. 7.30
P I P-8	49. 4.12	49. 5. 8	49. 6.24~25	47日	49. 8. 9
P C-9 <sup>-1</sup>	49. 2.20	49. 4. 6	49. 6.10~11	65日	49. 7.30
P C-9 <sup>-2</sup>	49. 2.20	49. 4. 6	49. 6.12~13	67日	49. 7.30
P S-10	49. 1	49. 4. 6	49. 6.14~15	69日	49. 7.30

表-11 くい材合

項目	荷重P(ton)と浮上量S(mm)の関係						隆伏荷重 $P_v(\text{ton})$						周面摩擦支持力度 $f_{\max}(t/m^2)$						
	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>	P <sub>v</sub>	P <sub>v</sub>	P <sub>v</sub>	P <sub>v</sub>	P <sub>v</sub>	P <sub>v</sub>	f <sub>max</sub>	f <sub>max</sub>	f <sub>max</sub>	f <sub>max</sub>	f <sub>max</sub>	f <sub>max</sub>	
試験くい	S(いい緒) S(いい先端)	S(いい緒) S(いい先端)	S(いい緒) S(いい先端)	S(いい緒) S(いい先端)	S(いい緒) S(いい先端)	S(いい緒) S(いい先端)													
場所打ち 既筋コア 下アンカー	SSS-1 5 0.20 0.12	SSS-2 15 14,800 26,25 27,05 35,300	SSS-3 10 91,89 40,40 36,25	SSS-4 100 250	SSS-5 17 17	SSS-6 17 17	SSS-7 25 1.55 3.52	SSS-8 20 1.55 1.55	SSS-9 20 1.55 1.55	SSS-10 17 1.55 1.55	SSS-11 20 1.55 1.55	SSS-12 140.0 110.0 80.0 80.0	SSS-13 1.5 0.8 1.1 23.3 10.2 3.5	SSS-14 SSS-15 SSS-16 SSS-17 SSS-18 SSS-19 SSS-20 SSS-21 SSS-22 SSS-23 SSS-24 SSS-25 SSS-26 SSS-27 SSS-28 SSS-29 SSS-30 SSS-31 SSS-32 SSS-33 SSS-34 SSS-35 SSS-36 SSS-37 SSS-38 SSS-39 SSS-40 SSS-41 SSS-42 SSS-43 SSS-44 SSS-45 SSS-46 SSS-47 SSS-48 SSS-49 SSS-50 SSS-51 SSS-52 SSS-53 SSS-54 SSS-55 SSS-56 SSS-57 SSS-58 SSS-59 SSS-60 SSS-61 SSS-62 SSS-63 SSS-64 SSS-65 SSS-66 SSS-67 SSS-68 SSS-69 SSS-70 SSS-71 SSS-72 SSS-73 SSS-74 SSS-75 SSS-76 SSS-77 SSS-78 SSS-79 SSS-80 SSS-81 SSS-82 SSS-83 SSS-84 SSS-85 SSS-86 SSS-87 SSS-88 SSS-89 SSS-90 SSS-91 SSS-92 SSS-93 SSS-94 SSS-95 SSS-96 SSS-97 SSS-98 SSS-99 SSS-100 SSS-101 SSS-102 SSS-103 SSS-104 SSS-105 SSS-106 SSS-107 SSS-108 SSS-109 SSS-110 SSS-111 SSS-112 SSS-113 SSS-114 SSS-115 SSS-116 SSS-117 SSS-118 SSS-119 SSS-120 SSS-121 SSS-122 SSS-123 SSS-124 SSS-125 SSS-126 SSS-127 SSS-128 SSS-129 SSS-130 SSS-131 SSS-132 SSS-133 SSS-134 SSS-135 SSS-136 SSS-137 SSS-138 SSS-139 SSS-140 SSS-141 SSS-142 SSS-143 SSS-144 SSS-145 SSS-146 SSS-147 SSS-148 SSS-149 SSS-150 SSS-151 SSS-152 SSS-153 SSS-154 SSS-155 SSS-156 SSS-157 SSS-158 SSS-159 SSS-160 SSS-161 SSS-162 SSS-163 SSS-164 SSS-165 SSS-166 SSS-167 SSS-168 SSS-169 SSS-170 SSS-171 SSS-172 SSS-173 SSS-174 SSS-175 SSS-176 SSS-177 SSS-178 SSS-179 SSS-180 SSS-181 SSS-182 SSS-183 SSS-184 SSS-185 SSS-186 SSS-187 SSS-188 SSS-189 SSS-190 SSS-191 SSS-192 SSS-193 SSS-194 SSS-195 SSS-196 SSS-197 SSS-198 SSS-199 SSS-200 SSS-201 SSS-202 SSS-203 SSS-204 SSS-205 SSS-206 SSS-207 SSS-208 SSS-209 SSS-210 SSS-211 SSS-212 SSS-213 SSS-214 SSS-215 SSS-216 SSS-217 SSS-218 SSS-219 SSS-220 SSS-221 SSS-222 SSS-223 SSS-224 SSS-225 SSS-226 SSS-227 SSS-228 SSS-229 SSS-230 SSS-231 SSS-232 SSS-233 SSS-234 SSS-235 SSS-236 SSS-237 SSS-238 SSS-239 SSS-240 SSS-241 SSS-242 SSS-243 SSS-244 SSS-245 SSS-246 SSS-247 SSS-248 SSS-249 SSS-250 SSS-251 SSS-252 SSS-253 SSS-254 SSS-255 SSS-256 SSS-257 SSS-258 SSS-259 SSS-260 SSS-261 SSS-262 SSS-263 SSS-264 SSS-265 SSS-266 SSS-267 SSS-268 SSS-269 SSS-270 SSS-271 SSS-272 SSS-273 SSS-274 SSS-275 SSS-276 SSS-277 SSS-278 SSS-279 SSS-280 SSS-281 SSS-282 SSS-283 SSS-284 SSS-285 SSS-286 SSS-287 SSS-288 SSS-289 SSS-290 SSS-291 SSS-292 SSS-293 SSS-294 SSS-295 SSS-296 SSS-297 SSS-298 SSS-299 SSS-300 SSS-301 SSS-302 SSS-303 SSS-304 SSS-305 SSS-306 SSS-307 SSS-308 SSS-309 SSS-310 SSS-311 SSS-312 SSS-313 SSS-314 SSS-315 SSS-316 SSS-317 SSS-318 SSS-319 SSS-320 SSS-321 SSS-322 SSS-323 SSS-324 SSS-325 SSS-326 SSS-327 SSS-328 SSS-329 SSS-330 SSS-331 SSS-332 SSS-333 SSS-334 SSS-335 SSS-336 SSS-337 SSS-338 SSS-339 SSS-340 SSS-341 SSS-342 SSS-343 SSS-344 SSS-345 SSS-346 SSS-347 SSS-348 SSS-349 SSS-350 SSS-351 SSS-352 SSS-353 SSS-354 SSS-355 SSS-356 SSS-357 SSS-358 SSS-359 SSS-360 SSS-361 SSS-362 SSS-363 SSS-364 SSS-365 SSS-366 SSS-367 SSS-368 SSS-369 SSS-370 SSS-371 SSS-372 SSS-373 SSS-374 SSS-375 SSS-376 SSS-377 SSS-378 SSS-379 SSS-380 SSS-381 SSS-382 SSS-383 SSS-384 SSS-385 SSS-386 SSS-387 SSS-388 SSS-389 SSS-390 SSS-391 SSS-392 SSS-393 SSS-394 SSS-395 SSS-396 SSS-397 SSS-398 SSS-399 SSS-400 SSS-401 SSS-402 SSS-403 SSS-404 SSS-405 SSS-406 SSS-407 SSS-408 SSS-409 SSS-410 SSS-411 SSS-412 SSS-413 SSS-414 SSS-415 SSS-416 SSS-417 SSS-418 SSS-419 SSS-420 SSS-421 SSS-422 SSS-423 SSS-424 SSS-425 SSS-426 SSS-427 SSS-428 SSS-429 SSS-430 SSS-431 SSS-432 SSS-433 SSS-434 SSS-435 SSS-436 SSS-437 SSS-438 SSS-439 SSS-440 SSS-441 SSS-442 SSS-443 SSS-444 SSS-445 SSS-446 SSS-447 SSS-448 SSS-449 SSS-450 SSS-451 SSS-452 SSS-453 SSS-454 SSS-455 SSS-456 SSS-457 SSS-458 SSS-459 SSS-460 SSS-461 SSS-462 SSS-463 SSS-464 SSS-465 SSS-466 SSS-467 SSS-468 SSS-469 SSS-470 SSS-471 SSS-472 SSS-473 SSS-474 SSS-475 SSS-476 SSS-477 SSS-478 SSS-479 SSS-480 SSS-481 SSS-482 SSS-483 SSS-484 SSS-485 SSS-486 SSS-487 SSS-488 SSS-489 SSS-490 SSS-491 SSS-492 SSS-493 SSS-494 SSS-495 SSS-496 SSS-497 SSS-498 SSS-499 SSS-500 SSS-501 SSS-502 SSS-503 SSS-504 SSS-505 SSS-506 SSS-507 SSS-508 SSS-509 SSS-510 SSS-511 SSS-512 SSS-513 SSS-514 SSS-515 SSS-516 SSS-517 SSS-518 SSS-519 SSS-520 SSS-521 SSS-522 SSS-523 SSS-524 SSS-525 SSS-526 SSS-527 SSS-528 SSS-529 SSS-530 SSS-531 SSS-532 SSS-533 SSS-534 SSS-535 SSS-536 SSS-537 SSS-538 SSS-539 SSS-540 SSS-541 SSS-542 SSS-543 SSS-544 SSS-545 SSS-546 SSS-547 SSS-548 SSS-549 SSS-550 SSS-551 SSS-552 SSS-553 SSS-554 SSS-555 SSS-556 SSS-557 SSS-558 SSS-559 SSS-560 SSS-561 SSS-562 SSS-563 SSS-564 SSS-565 SSS-566 SSS-567 SSS-568 SSS-569 SSS-570 SSS-571 SSS-572 SSS-573 SSS-574 SSS-575 SSS-576 SSS-577 SSS-578 SSS-579 SSS-580 SSS-581 SSS-582 SSS-583 SSS-584 SSS-585 SSS-586 SSS-587 SSS-588 SSS-589 SSS-590 SSS-591 SSS-592 SSS-593 SSS-594 SSS-595 SSS-596 SSS-597 SSS-598 SSS-599 SSS-600 SSS-601 SSS-602 SSS-603 SSS-604 SSS-605 SSS-606 SSS-607 SSS-608 SSS-609 SSS-610 SSS-611 SSS-612 SSS-613 SSS-614 SSS-615 SSS-616 SSS-617 SSS-618 SSS-619 SSS-620 SSS-621 SSS-622 SSS-623 SSS-624 SSS-625 SSS-626 SSS-627 SSS-628 SSS-629 SSS-630 SSS-631 SSS-632 SSS-633 SSS-634 SSS-635 SSS-636 SSS-637 SSS-638 SSS-639 SSS-640 SSS-641 SSS-642 SSS-643 SSS-644 SSS-645 SSS-646 SSS-647 SSS-648 SSS-649 SSS-650 SSS-651 SSS-652 SSS-653 SSS-654 SSS-655 SSS-656 SSS-657 SSS-658 SSS-659 SSS-660 SSS-661 SSS-662 SSS-663 SSS-664 SSS-665 SSS-666 SSS-667 SSS-668 SSS-669 SSS-670 SSS-671 SSS-672 SSS-673 SSS-674 SSS-675 SSS-676 SSS-677 SSS-678 SSS-679 SSS-680 SSS-681 SSS-682 SSS-683 SSS-684 SSS-685 SSS-686 SSS-687 SSS-688 SSS-689 SSS-690 SSS-691 SSS-692 SSS-693 SSS-694 SSS-695 SSS-696 SSS-697 SSS-698 SSS-699 SSS-700 SSS-701 SSS-702 SSS-703 SSS-704 SSS-705 SSS-706 SSS-707 SSS-708 SSS-709 SSS-710 SSS-711 SSS-712 SSS-713 SSS-714 SSS-715 SSS-716 SSS-717 SSS-718 SSS-719 SSS-720 SSS-721 SSS-722 SSS-723 SSS-724 SSS-725 SSS-726 SSS-727 SSS-728 SSS-729 SSS-730 SSS-731 SSS-732 SSS-733 SSS-734 SSS-735 SSS-736 SSS-737 SSS-738 SSS-739 SSS-740 SSS-741 SSS-742 SSS-743 SSS-744 SSS-745 SSS-746 SSS-747 SSS-748 SSS-749 SSS-750 SSS-751 SSS-752 SSS-753 SSS-754 SSS-755 SSS-756 SSS-757 SSS-758 SSS-759 SSS-760 SSS-761 SSS-762 SSS-763 SSS-764 SSS-765 SSS-766 SSS-767 SSS-768 SSS-769 SSS-770 SSS-771 SSS-772 SSS-773 SSS-774 SSS-775 SSS-776 SSS-777 SSS-778 SSS-779 SSS-780 SSS-781 SSS-782 SSS-783 SSS-784 SSS-785 SSS-786 SSS-787 SSS-788 SSS-789 SSS-790 SSS-791 SSS-792 SSS-793 SSS-794 SSS-795 SSS-796 SSS-797 SSS-798 SSS-799 SSS-800 SSS-801 SSS-802 SSS-803 SSS-804 SSS-805 SSS-806 SSS-807 SSS-808 SSS-809 SSS-810 SSS-811 SSS-812 SSS-813 SSS-814 SSS-815 SSS-816 SSS-817 SSS-818 SSS-819 SSS-820 SSS-821 SSS-822 SSS-823 SSS-824 SSS-825 SSS-826 SSS-827 SSS-828 SSS-829 SSS-830 SSS-831 SSS-832 SSS-833 SSS-834 SSS-835 SSS-836 SSS-837 SSS-838 SSS-839 SSS-840 SSS-841 SSS-842 SSS-843 SSS-844 SSS-845 SSS-846 SSS-847 SSS-848 SSS-849 SSS-850 SSS-851 SSS-852 SSS-853 SSS-854 SSS-855 SSS-856 SSS-857 SSS-858 SSS-859 SSS-860 SSS-861 SSS-862 SSS-863 SSS-864 SSS-865 SSS-866 SSS-867 SSS-868 SSS-869 SSS-870 SSS-871 SSS-872 SSS-873 SSS-874 SSS-875 SSS-876 SSS-877 SSS-878 SSS-879 SSS-880 SSS-881 SSS-882 SSS-883 SSS-884 SSS-885 SSS-886 SSS-887 SSS-888 SSS-889 SSS-890 SSS-891 SSS-892 SSS-893 SSS-894 SSS-895 SSS-896 SSS-897 SSS-898 SSS-899 SSS-900 SSS-901 SSS-902 SSS-903 SSS-904 SSS-905 SSS-906 SSS-907 SSS-908 SSS-909 SSS-910 SSS-911 SSS-912 SSS-913 SSS-914 SSS-915 SSS-916 SSS-917 SSS-918 SSS-919 SSS-920 SSS-921 SSS-922 SSS-923 SSS-924 SSS-925 SSS-926 SSS-927 SSS-928 SSS-929 SSS-930 SSS-931 SSS-932 SSS-933 SSS-934 SSS-935 SSS-936 SSS-937 SSS-938 SSS-939 SSS-940 SSS-941 SSS-942 SSS-943 SSS-944 SSS-945 SSS-946 SSS-947 SSS-948 SSS-949 SSS-950 SSS-951 SSS-952 SSS-953 SSS-954 SSS-955 SSS-956 SSS-957 SSS-958 SSS-959 SSS-960 SSS-961 SSS-962 SSS-963 SSS-964 SSS-965 SSS-966 SSS-967 SSS-968 SSS-969 SSS-970 SSS-971 SSS-972 SSS-973 SSS-974 SSS-975 SSS-976 SSS-977 SSS-978 SSS-979 SSS-980 SSS-981 SSS-982 SSS-983 SSS-984 SSS-985 SSS-986 SSS-987 SSS-988 SSS-989 SSS-990 SSS-991 SSS-992 SSS-993 SSS-994 SSS-995 SSS-996 SSS-997 SSS-998 SSS-999 SSS-1000 SSS-1001 SSS-1002 SSS-1003 SSS-1004 SSS-1005 SSS-1006 SSS-1007 SSS-1008 SSS-1009 SSS-1010 SSS-1011 SSS-1012 SSS-1013 SSS-1014 SSS-1015 SSS-1016 SSS-1017 SSS-1018 SSS-1019 SSS-1020 SSS-1021 SSS-1022 SSS-1023 SSS-1024 SSS-1025 SSS-1026 SSS-1027 SSS-1028 SSS-1029 SSS-1030 SSS-1031 SSS-1032 SSS-1033 SSS-1034 SSS-1035 SSS-1036 SSS-1037 SSS-1038 SSS-1039 SSS-1040 SSS-1041 SSS-1042 SSS-1043 SSS-1044 SSS-1045 SSS-1046 SSS-1047 SSS-1048 SSS-1049 SSS-1050 SSS-1051 SSS-1052 SSS-1053 SSS-1054 SSS-1055 SSS-1056 SSS-1057 SSS-1058 SSS-1059 SSS-1060 SSS-1061 SSS-1062 SSS-1063 SSS-1064 SSS-1065 SSS-1066 SSS-1067 SSS-1068 SSS-1069 SSS-1070 SSS-1071 SSS-1072 SSS-1073 SSS-1074 SS					

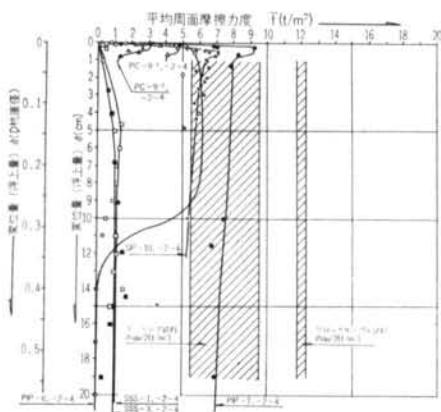


図-22 平均周面摩擦力  $\bar{f}$ ～変位量 ( $\sigma$ ) (浮上量)  $\sigma$  (SSS-1, 3, PIP-6, 7, PC-9<sup>1</sup>, 9<sup>2</sup>, SP-10, GL-2.0～4.0m)

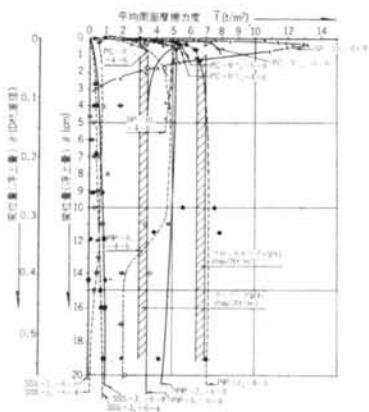


図-23 平均周面摩擦力  $\bar{f}$ ～変位量 ( $\sigma$ ) (浮上量)  $\sigma$  (SSS-1, 3, PIP-6, 7, PC-9<sup>1</sup>, 9<sup>2</sup>, SP-10, GL-4.0～6.0m, -6.0～8.0m)

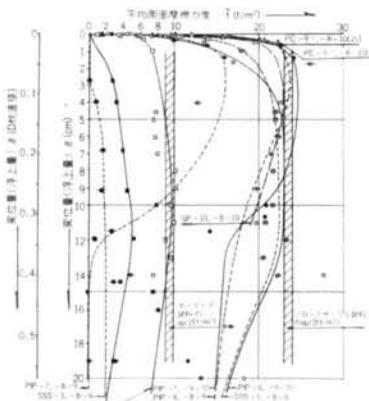


図-24 平均周面摩擦力  $\bar{f}$ ～変位量 ( $\sigma$ ) (浮上量)  $\sigma$  (SSS-1, 3, PIP-6, 7, PC-9<sup>1</sup>, 9<sup>2</sup>, SP-10, GL-8.0～9.0m, -9.0～10.0m)

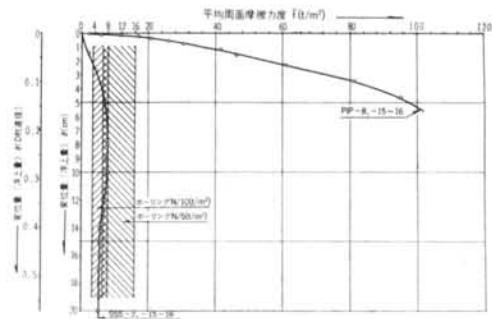


図-25 平均周面摩擦力  $\bar{f}$ ～変位量 ( $\sigma$ ) (SSS-2, PIP-8, GL-15.0～16.0m)

SSS-1	許容引抜き抵抗力 $R_a=10.0\text{ton}$
-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 <sup>1</sup>	" $R_a=38.3$
-9 <sup>2</sup>	" $R_a=36.0$
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を求め「周面摩擦力～変位量」の関係を図-22, 23, 24, 25に示し、「最大周面摩擦力」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。

各くいの土層別の大周面摩擦力は、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/m<sup>2</sup>となり、ボーリング試料の  $q_u/2$  とブロックサンプリング試料の  $q_u/2$  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/m<sup>2</sup>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/m<sup>2</sup>となり、ブロックサンプリング試料の  $q_u/2$  の値に近似する。なかでも、打込みくいである鋼管くいがおよそ13.0t/m<sup>2</sup>とブロックサンプリング試料の  $q_u/2$  の値を上回り、泥水を使った場所打ちコンクリートくいがおよそ0.5～1.0t/m<sup>2</sup>となり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/m<sup>2</sup>となり、ブロックサンプリング試料の  $q_u/2$  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もキャンバスのない SSS-1はおよそ $10.0\sim23.0t/m^2$ にもなり、キャンバスのあるSSS-3でもおよそ $2.0\sim5.0t/m^2$ 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 $97t/m^2$ 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 $8.0t/m^2$ 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 $N/6 t/m^2$ ほどであるが、PIPくいでは建築学会の規準<sup>2)</sup>などで決められている $N/5\sim N/10 t/m^2$ の値をはるかに上回っており、仮にN値で表わすなら $1.5 Nt/m^2$ ほどになる。

### 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、キャンバスなしのくいで $3.5 t/m^2$ 、キャンバス付きくいで $1.7 t/m^2$ 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、キャンバスなしのくいの周面摩擦支持力度がGL-8.0m以浅では $1.5 t/m^2$ 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 $23.3t/m^2$ 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、キャンバスの有無に関係なく、周面摩擦支持力度はおよそ $1.0\sim2.0t/m^2$ 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 $10.7\sim11.0t/m^2$ である。各土層別の周面摩擦支持力は $4.8\sim27.6t/m^2$ になり、粘性土ではブロックサンプリング試料の $q_u/2$ 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 $q_u/2$ 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 $q_u/2$ 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、 $10.9\sim13.5t/m^2$ 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 $q_u/2$ に近似し、粘土混り砂礫土では $N/5 t/m^2$ をはるかに上回ることがわかった。

通常の地盤調査では、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と考えて、ボーリング試験の結果から、

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

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

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 $1/2\sim1/5$ とかなり小さ目である。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 $10\sim25mm$ 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) PIPくいは、オーガー掘削終了と同時にプレパックド・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探ることができる。許容周面摩擦支持力度は、安全率が3の場合、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 35cm 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、PIP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<sup>③④</sup>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<sup>③</sup>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、実働してくださった方々の名（敬称略）をしてし謝意を表します。

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<sup>③</sup>の実施メンバーは、小瀬庸夫、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) 小瀬庸夫：“PIP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) PIPくい耐力30470プロジェクト・チーム：“PIP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) 小瀬庸夫、加藤昌次：“PIP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）—PIP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) PIPくい耐力30470プロジェクト・チーム：“PIP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イ一10）” 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