

大口径PC杭の設計・施工について

遠 藤 智 房*

1. はじめに

国鉄では首都圏を取り巻く外環状線の一部となる武蔵野線が昭和48年4月1日より営業開始したことはご承知のことと思う(図-1)。

この路線は首都圏整備計画にもとづく東京湾岸一帯の工業地域の整備および内陸工業団地の造成等産業発展のための施策の一環とともに市街化の様相を呈している地域の旅客輸送を改善すべく、主要幹線に接続している。すなわち、南より南武線は府中本町駅、中央線は新設された西国分寺駅、京浜東北線は南浦和駅そして常磐線はこれも新設された新松戸駅でそれぞれ立体交差で連絡しており、将来は東海道線および総武線にも接続する計画である。この武蔵野線の吉川駅～三郷駅間約5.5kmに武蔵野操車場(貨車を各方面別に組換えて1単位列車に仕立てる機能を有する)が新設されるが、その中枢部ともいべき「コントロールセンター」(貨車の組換えをするためのすべての作業を自動化する電子機器類を設置

する建物)に大口径PCパイプを使用したので、以下その計画、設計および施工について述べる。

2. 武蔵野操車場の敷地について

ここ武蔵野操車場は敷地約103万 m^2 であり、首都圏内にこのような広大でかつ地理的、地質的または経済的に有利な土地を確保することはきわめて困難であり、昨今の土地高騰の現状を考えればなおさらである。敷地は埼玉県の東南端に位置し、地質調査の結果では大宮台地と下総台地にはさまれた古利根川(中川)に沿ってほぼ南北に発達している沖積平地であり、海拔2~3mのきわめて平坦な低湿地帯であり、河川の水位は潮位により影響をうけるほどである。

この低地は一般に中川低地と呼ばれ、洪積世末期に古利根川によって造られた深い谷(最深部はGL-40~50mに達する)を沖積世に入って海進によりそこに形成された軟弱な粘性土を主体とする沖積層が埋積して生じた埋設谷であり、現吉川町の東端より南下して東京湾に達している。

この付近の地質は大きくわけて四層に区分され、地表から上部沖積層、下部沖積層、上部洪積層、下部洪積層に分けられる。

(1) 上部沖積層 (GL-0~10 m)

地表より0~1.5mは腐植土で操車場全域に分布し、砂混りシルト、シルトと中砂の互層、中砂、シルト混り細砂となり各層には貝殻片が含まれている。N値は地表は0~2、砂層において5前後である。

(2) 下部沖積層 (GL-10 m~30 m)

シルトおよび粘土を主にした層であり、砂質シルト、シルト混り砂、砂質シルト、シルト質粘土の順に堆積して層の厚さは4m~6mであり各層とも腐植物、貝殻片および砂ブロックを含み、特に下部砂質シルト層には多量の貝殻片が含まれている。N値はシルト混り砂層で6、他の粘性土層では0~5程度でこの層の粘性土

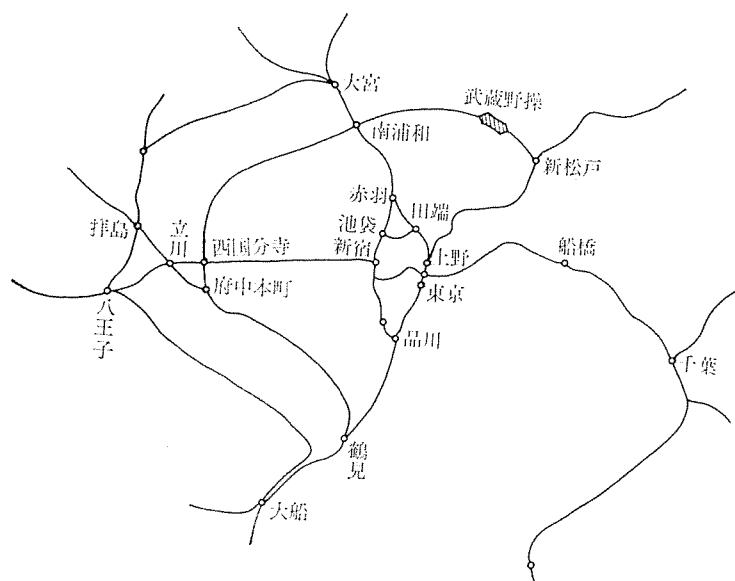


図-1 東京周辺線路略図

* 国鉄東京第三工事局建築第2課

層の圧縮量がもっとも多くネガティブフリクション発生の原因と考えられており、一般に圧密進行中の地層といわれている。

(3) 上部洪積層 (GL-30 m~40 m)

砂, 粘土, 砂質シルトの順に堆積し下部砂層, 中間粘土層には腐植物が多く含まれているが, 特に粘土層は細砂ブロックを多く含んでいる。下部砂層は N 値 20 前後, 砂質シルト層, 粘土層の N 値は 5~10 である。

(4) 下部洪積層 (GL-40 m 以深)

この層は暗灰色または青灰色の砂層から成っており, N 値は 50 以上で, きわめて密な地層といえる。

以上, 地層の概略を示したがこのあたり一帯は近年急激な都市化, 工業化の進展に伴い地下水の過剰汲上げの結果から自然地盤沈下が広範囲にわたり, 県調査資料によると, 昭和 43 年 2 月~44 年 1 月にかけての 1 か年間

の沈下量を集計した結果, 戸田市の 16 cm を最高に川口市 8.2 cm, 浦和市 7.3 cm と記録され当操車場に近い北葛飾郡八潮町では 8.6 cm となっている。したがって, 昨今県南地域は地下水汲上げを規制されているのが実状である。

図-2 に地層縦断面図を示すが, このような軟弱地盤の敷地上に軌道および各種の構造物を設置するため敷地全般に約 380 万 m^3 , 高さ 1.0~7.0 m におよぶ盛土を行なとともに特に主要構造物を設ける箇所には地盤沈下による障害を少なくするためプレロード工法を実施し, 地盤圧密を促進させて残留沈下量の減少を図るなど地盤改良を施工した。

また工事の一環として軟弱地盤における地盤沈下とネガティブフリクションの関係を測定したがその一部を示す(ネガティブフリクション測定報告書・国鉄東京第三工務局)。

この測定は, 杭径 40 cm, 厚さ 12.7 mm, 根入深さ 47 m の鋼管杭を N 値約 50 の砂層に打込んで行なったもので, 杭頭にはまったく荷重しない状態で地表上の地盤沈下 65 cm に対して杭頭の沈下量 5.5 cm, 杭に生ずる最大荷重約 550 t, これによる応力度は 2 200 kg/cm^2 に達している(図-3)。

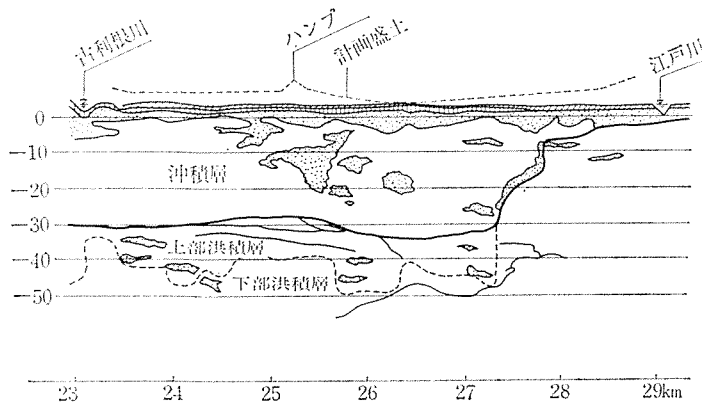


図-2 武蔵野操車場付近地質縦断面図

3. コントロールセンターの計画

前述のごとく操車場の機能を自動化するための電子計算機室, 電子機器室およびこれらの制御装

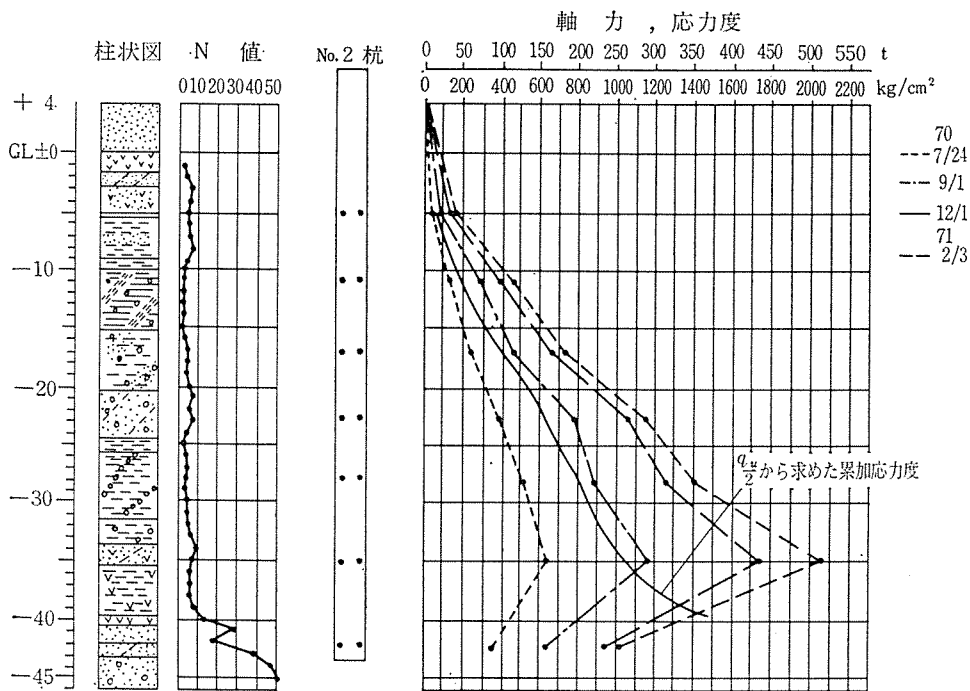


図-3 杭に生ずるネガティブフリクション

置室と運転本部を設置するコントロールセンターは操車場の中枢部であり機器の故障もさることながら、建物障害による自動化機器の使用不能という事故はその復旧の困難さと長期化を伴い貨物輸送のみを引き起こす恐れがあり、これは絶対に避けなければならない。

そこでこの建物計画の基本方針として

- 1) 建物を軽量化しかつじん性のある構造とする、
- 2) 建物平面をできる限り整形にし、かつ荷重の平均化を図る、
- 3) 機器配置と経済的な建物柱間隔、

などの検討を重ねながら、建物支持方法については

- 1) 下部洪積層（-40 m 以深）まで達する支持杭
- 2) 下部沖積（-30 m 付近）を支持層とする支持杭
- 3) 浮函工法
- 4) 摩擦杭
- 5) 薬液注入工法またはプレロード工法など地盤改良を行ない支持する方法

などが考えられるが、これらを大別すれば2つの方法になる。

1) 建物を低層（2階程度）軽量化して下部は浮函工法、摩擦杭、プレロード工法等により地盤沈下に建物を同調させる方法

2) 建物は中層（5～6階程度）とし下部は支持杭と

する方法

1) については地盤沈下の原因といわれている沖積層上に建物を載せることになり、地層の不連続性、地盤の流動現象、さらには周辺地区開発による影響を予測することの困難さなど不同沈下の発生する可能性が十分考えられる。

2) 建物規模については別にしても現在この種の軟弱地盤に対する一般的な考え方と思われるが、地質によるネガティブフリクションの問題、地盤沈下による建物相互関係および各種の配線、給排水管など付帯設備の支障問題はあるが、前記の1) に比べてこの場合はある程度工学的に検討することは可能であり、付帯設備についても補修を前提とすれば大きな障害とはならない。

したがって、建物の性格、規模、重要度を考慮して下部構造は2) の支持杭によることにした。

上部建物は規模、構造、機器配置の条件、本部指令室などの諸要求を充足するような計画を行ない最終的には鉄骨造5階建（桁方向 6 m×5、張間方向 8.5 m×2）建 516 m²、延 2 550 m² となった。

4. 杭の選定

軟弱地盤において杭の先端が地盤沈下する地層を貫通してその下の層で支持される場合、杭の周面に生ずるネ

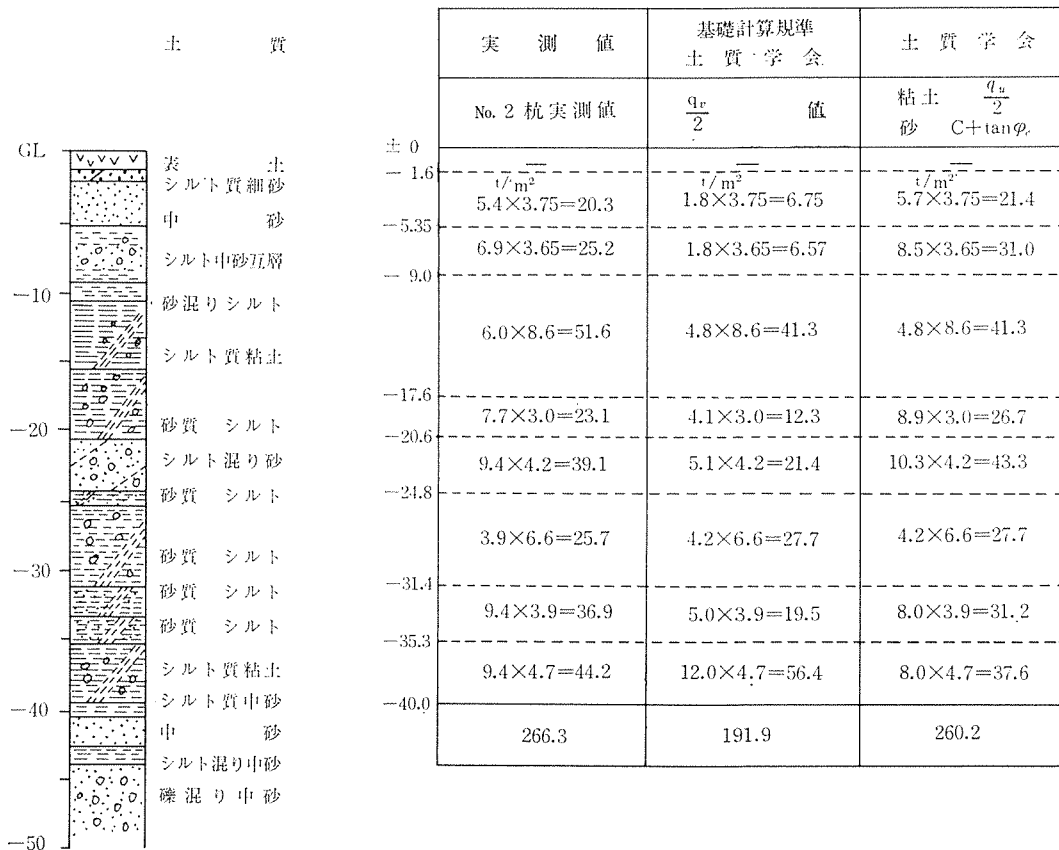


図-4 ネガティブフリクションの算定

表一 杭径によるネガティブフリクション

杭 径 (mm)	周 長 (m)	実 験 値 266.3 φ (t)	長期鉛直 荷重 (t)	R_L+N_F
500	1.57	418.1	260	678.1
600	1.88	500.6	"	760.6
700	2.2	585.9	"	845.9
800	2.15	668.4	"	928.4
812.8	2.55	679.1	"	939.1
900	2.83	753.6	"	1 013.6
914.4	2.87	764.3	"	1 024.3
1 000	3.14	836.2	"	1 096.2
1 016	3.19	849.5	"	1 109.5
1 100	3.45	918.7	"	1 178.7
1 117.6	3.51	934.7	"	1 194.7
1 200	3.77	1 004.0	"	1 264.0
1 219.2	3.83	1 020.0	"	1 280.0
1 300	4.08	1 086.5	"	1 346.5
1 371.6	4.31	1 147.8	"	1 407.8
1 400	4.40	1 171.7	"	1 431.7

表二 極限杭先端支持力

1) 基礎設計 規準	$R_U=1.3 CN_c$ $+0.3 Y_1 BN_r + Y_2 D_f N_q$	$A_p(27.36 d + 2.316)$
2) 同 上	$R_U=43 NA_p + \bar{N} A_s/6$	$2.150 A_p + 12.5 \phi$
3) 鋼杭設計 規準	$R_U=40 NA_p$ $+ \left(\frac{\bar{N}_s \cdot L_s}{5} + \frac{\bar{N}_c L_c}{2} \right) \phi$	$200 A_p + 39.0 \phi$
4) 建 基, 告 111 号	$R_U=1.3 CN_c$ $+0.3 r_1 BN_r + r_2 D_f N_q$	1 に準ず
5) 同 上	$R_U=40 NA_p$	$2 000 A_p$

杭 径	断面積 m ²	1) 式 t	5) 式 t	R_u t	R_L+N_F
500	0196	456	392	392	678
600	0283	659	566	566	760
700	0385	898	770	770	845
800	0505	1 173	1 006	1 006	928
812.8	0519	1 176	1 038	1 038	939
900	0636	1 488	1 272	1 272	1 013
914.4	0637	1 538	1 314	1 314	1 024
1 000	0785	1 839	1 570	1 570	1 096
1 016	0811	1 901	1 622	1 622	1 109
1 100	095	2 226	1 900	1 900	1 178
1 117.6	0981	2 302	1 962	1 962	1 194
1 200	113	2 653	2 260	2 260	1 264
1 219.2	117	2 749	2 340	2 340	1 280
1 300	133	3 119	2 660	2 660	1 346
1 371.6	148	3 483	2 960	2 960	1 407
1 400	154	3 626	3 080	3 080	1 431

ガティブフリクションの大きさが問題となるが、このネ

表三 極限杭断面支持力とネガティブフリクション

鋼管杭						
杭 径 (mm)	断面積 (cm ²)	R_e t (STK41)	R_u t (STK50)	R_L+N_F t		
711.2	294.2	706	941	854	肉厚	16.0 mm
812.8	337.3	809	1 079	939	腐食代	2.5
914.4	380.4	912	1 217	1 024	(外 2.0)	
1 117.6	466.6	1 119	1 493	1 194	(内 0.5)	
1 219.2	509.7	1 223	1 631	1 280	降伏点	
1 371.6	574.3	1 378	1 837	1 407	STK 41...2.4 t/cm ²	
1 524.0	586.0	1 533	1 875	1 535	STK 50...3.0 t/cm ²	
超高強度 P C 杭				圧 縮 強 度 700 kg/cm ² 長期許容圧縮応力度 160 "		
杭 径	断面積	① R_e	② 継手低減 15%	①-②	R_L+N_F t	許容耐力 t
600	1 442	894	134	760	760	237
700	1 884	1 168	175	993	845	310
800	2 384	1 478	221	1 257	928	393
1 000	3 317	2 056	308	1 748	1 096	547
P C 杭				圧 縮 強 度 500 kg/cm ² 長期許容圧縮応力度 105 "		
杭 径	断面積	① R_e	② 継手低減 15%	①-②	R_L+N_F t	許容耐力 t
700	2 039	856	128	728	845	214
800	2 564	1 076	161	915	928	269
1 000	3 782	1 588	238	1 350	1 096	397
1 200	4 948	2 078	311	1 767	1 264	519

ガティブフリクションは一般に次式で求められる。

$$R_{NF} = L_e \cdot \phi \cdot S_e$$

R_{NF} : ネガティブフリクション

L_e : ネガティブフリクションが作用する杭の有効長

ϕ : 杭の周長

S_e : 土の摩擦力

上式より先の実験値をはじめ二、三の式を用いてその値を比較検討すれば図-4 となり、実験値とかなりの差がある。このような大きなネガティブフリクションを受ける支持杭については通常上部構造からの荷重とネガティブフリクションを合成した荷重に対して杭先端支持力または杭断面支持力が安全であることが必要である。

$$R_L + R_{NF} \leq R_U \text{ or } R_e$$

R_L : 長期荷重

R_U : 極限杭先端支持力

R_e : 極限杭断面支持力

したがって、長期荷重と杭径によるネガティブフリクションの関係、極限杭先端支持力、極限杭断面支持力についてそれぞれ求めれば表-1~3 であり、これらの関係をグラフに示したものが図-5 で杭の使用範囲が明らか

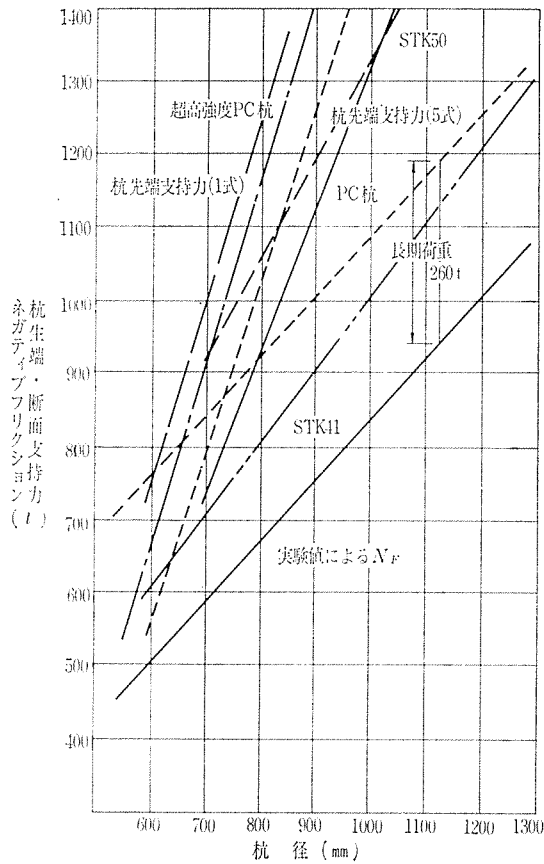


図-5

である。

また建築基礎構造設計規準にもあるように細長比や継手による支持力の低減を決めているが、建設省の通達にも杭体の強度、許容応力度および細長比や継手に対する低減率の取扱いについて定められている。

以上はいずれもRC杭、PC杭、鋼管杭、超高強度PC杭など既製の杭についておもに検討したが、その他場所打コンクリート杭、ピア基礎、群杭(捨杭を打ってネガティブフリクションを負担させ主杭に上部荷重を分担させる)などについても試算を行なったが、いずれも一長一短がある。すなわち場所打ちコンクリート杭、ピア基礎は材料強度から大口径となるか、本数が多くなるか、また工期の点にも影響する、群杭では捨杭の分だけ割高となる。

施工上から検討すれば -40 m 以深の支持層に打込む打設機械、中間下部沖積層(N=30程度)を打抜くことは可能か、1柱1本の大口径杭の場合杭の破損または打込み不良などが生じたときの対策など問題はあがるが、上部建物と基礎形式および地盤と杭などの関係から工場生産で信頼のおける超高強度PC杭φ800の大口径杭を採用することにした。



写真-1 工事予定地

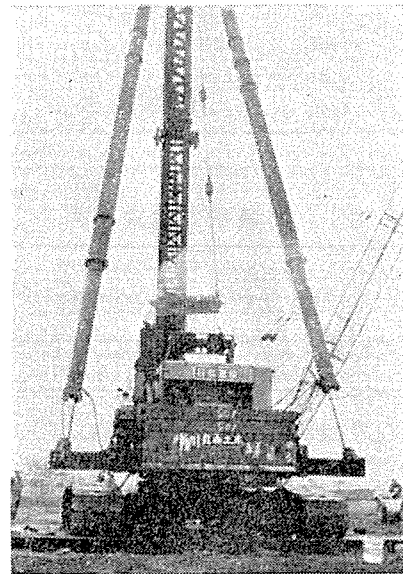


写真-2 杭打機 (D-512型)

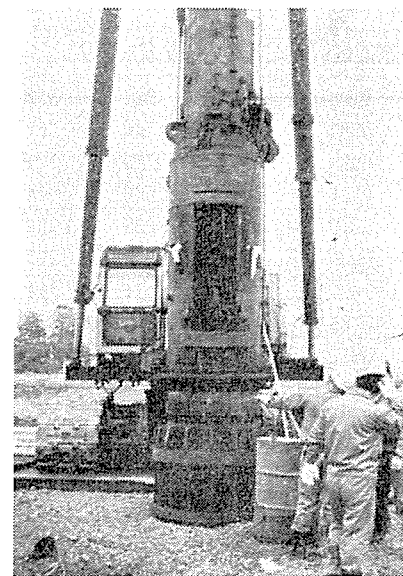


写真-3 ハンマー (M-70型ディーゼルパイルハンマー)

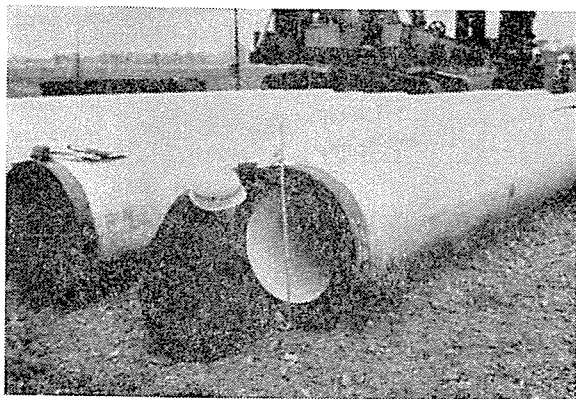


写真-4 現場に搬入された超高強度パイプ

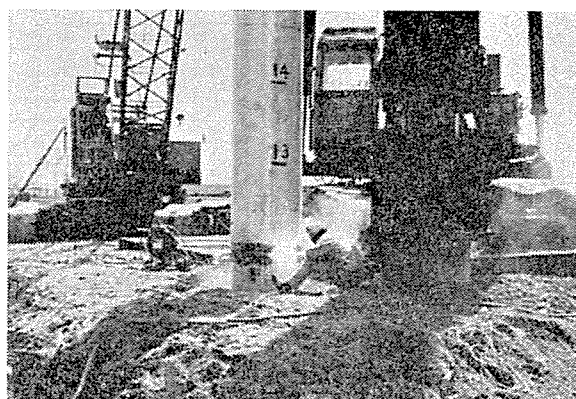


写真-6 施 工 中 (溶接)



写真-5 杭 先 端

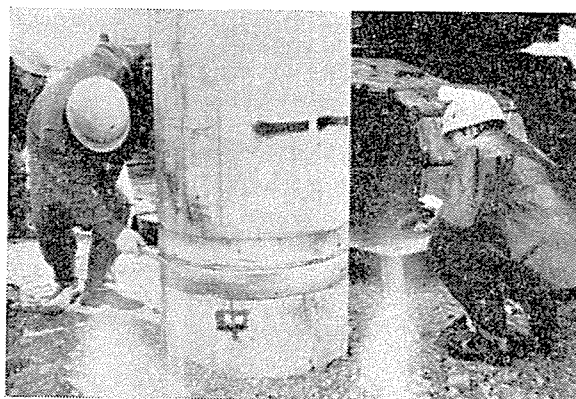


写真-7 施 工 中

実 施 工 程 表

項 目	4 月			5 月		
	1	2	3	1	2	3
槽搬入組立	■					
杭 搬 入		■	■	■	■	
試 験 杭 打		■				
本 杭 打			■	■	■	
槽解体搬出						■

5. 施 工

実施に際しては先に報告されている地質調査では位置的に地層の著しい変化を示している地点でもあり、再度現地のボーリングを行ない地層を確認して杭長、継手位置を決定した。

1) 杭

杭 径 (mm)	杭 長 (m)	組 合 せ	数 量	記
800	47.0	12+12+12+11 (I) (I) (I) (II)	セット 18	日本 コンクリート 工業(株)製

2) 使用機械

やぐら D-512 SN 型杭打機
ハンマー

M-70 型 ディーゼルパイルハンマー
である。

さて現地はこのような大型機(総重量約 100 t)に対して敷地はいうにおよばず搬入径路についても多少の路盤強化工事を行ない杭打設に至ったが、とくに杭建込みは慎重を期し、偏打による杭頭破損を防止するとともに硬い中間層(N=30, 層厚約 20 m)の打ち抜きを容易にする。これは超高強度 PC 杭のコンクリートが高強度であるため耐衝撃性がすぐれ、より適性なハンマーの使用およびより多くの打撃回数に耐えられる特性を生かすことになり従来の RC 杭, PC 杭等と相違するところ

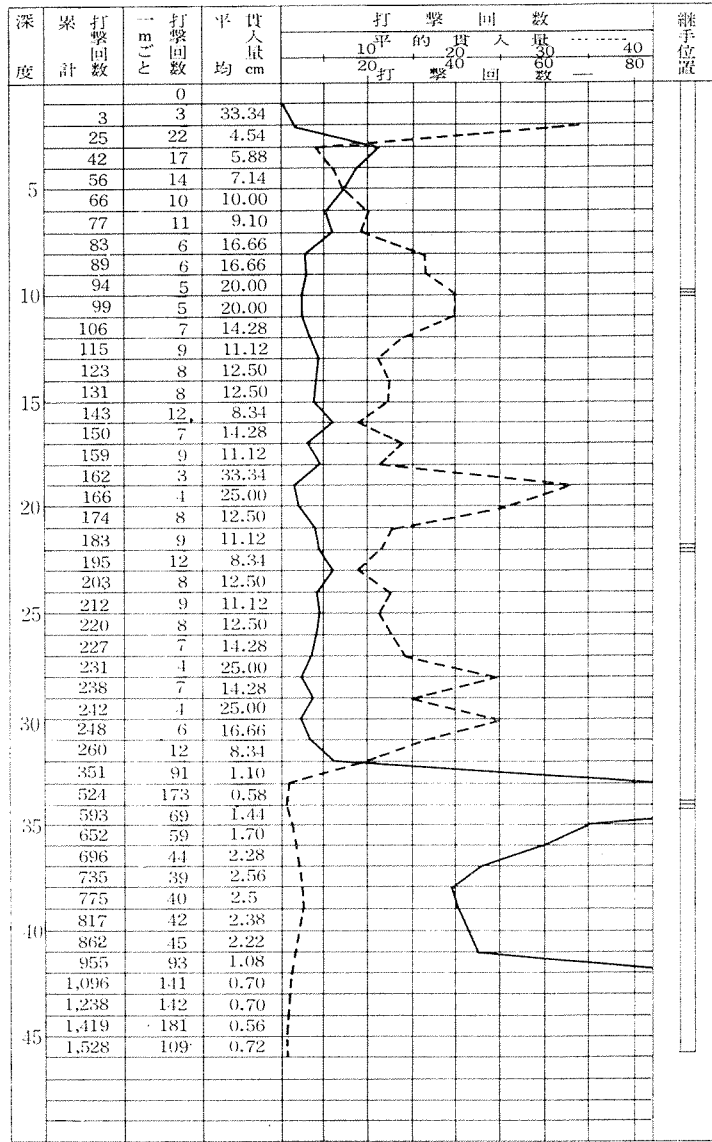


図-6 C-6 杭打撃記録表

である。図-6 は実施した杭打撃記録表であるが、累計打撃回数 1528 回におよんでいるが、中には 1907 回におよんでいるものもある。1 セットの建込みより打設完了の所要時間は平均約 390 分であり、そのうち継手溶接に要した時間は 3 か所延べ 72 分であった。

さいわい全数 18 セットを無事所定位置にセットすることができたが、これは立地条件のよさがあったからで、杭 1 本約 7.5 t、長さ 12 m の運搬はほとんど深夜であり、またいま多くの問題を起している騒音に対しても敷地周囲は民家もまばらであるなど、工事環境がよかつ

た点も見逃せない事実である。これが市街地ならば別な工法を採用せざるを得なかったであろう。しかし打撃中の振動はひどく付近農業用水路のコンクリート溝や民家の壁、タイルなどのきれつ、はく離、土間コンクリートの破損など、被害はないか、苦情はないか、など心配の毎日であったが、関係者の細心の注意により、無事終了することができた。以上軟弱地盤における大口径 PC パイルの設計と施工についての報告を終る。

1973.6.20・受付