

杭の打設管理と施工時の杭の移動及び浮上り

Control of Pile Driving and Lateral Movement and Heave Due to Pile Driving

古園 豊繁* Toyoshige Furusono 山形 享** Susumu Yamagata

藤井 利侑*** Toshiyuki Fujii

要 約

シンガポール地下鉄工事101工区において軟弱盤中に約14,000本の杭を打設したところ、杭の側方移動、浮上りが見られ、工期遅延の原因となった。

本論文は、この杭の側方移動、浮上りを計測した結果を報告したものである。

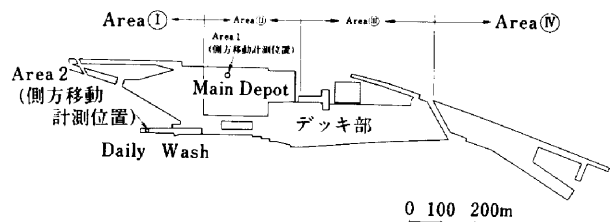
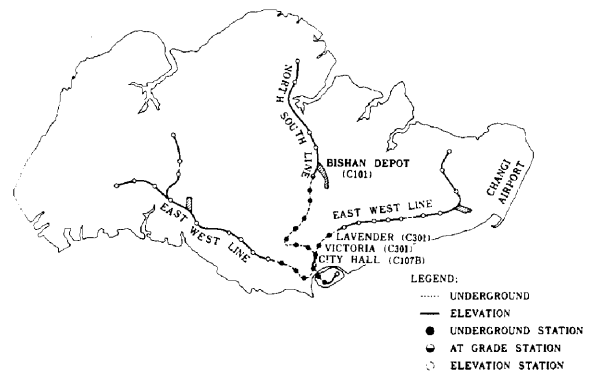
目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 地質概要
- § 3. 基礎杭の打設計画と実績
- § 4. 側方移動と浮上り
- § 5. 杭打設以外の原因による杭の側方移動
- § 6. Shock Testと Seismic Reflection Test
- § 7. まとめ

§ 1. はじめに

シンガポール地下鉄公社 (Singapore Mass Rapid Transit Corporation,以下MRTとする) は、1983年から地下鉄建設のための国際入札を実施し、当社はここに報告する101工区 (Bishan Depot) をはじめ、107B及び301工区を入手し、現在工事の最盛期にある。

本論文は、主に101工区における杭打工事の報告と、工事中に発生した諸問題に関するものである。101工区は、Fig.1に示すようにシンガポール島中央部のAng Mo Kio Bishan地区に、総面積約350,000m²の世界最大級の操車場を建設するものである。この操作場はFig.2に示すようにデッキ部約132,000m²と各種建屋約78,000



m²とからなる (Photo 1)。

建設地点の地盤が軟弱なため基礎はすべて杭基礎で、杭種はコンクリート杭とH鋼杭であり、杭長は平均23mで総本数は約14,000本である。

デッキ部の構造は2本の杭を場所打ちコンクリートのパイルキャップで結合し、その上にプレキャストコンク

*土木設計部設計課
**香港(支)MRT北(工)
***土木設計部設計課係長



Photo1 工区全景写真(1985年6月3日)

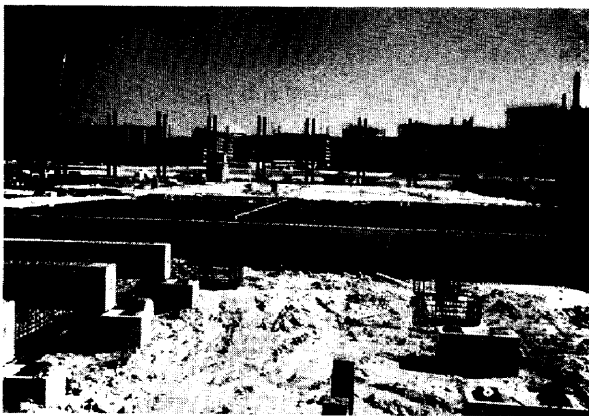


Photo2 デッキ部の構造

リートのビーム及びスラブがセットされたものである (Photo 2)。さらにプレキャストスラブ上に場所打ちスラブが構築される。

本工事の主要数量を Table 1 に示す。

§ 2. 地質概要

Fig. 3 に 101 工区の土質縦断図を、また Fig. 4 に代表的な土質柱状図を示す。

地表面から約 20m までは沖積粘性土層 (E, F, M 層) である。E 層は厚い部分では地表面から 8.0m まで分布する極めて軟弱なピート層である。

これらの下部は、風化花崗岩 (G 3) 及び洪積砂層 (O) からなり、O 層の深度は Fig. 3 のように起伏に富み深いところでは地表面から 20m 程度になる。

§ 3. 基礎杭の打設計画と実績

3-1 杭仕様

(1) コンクリート杭

使用されたプレキャストコンクリート杭は正方形断面で、その断面寸法は 275mm × 275mm と 320mm × 320mm の 2 種類、杭長は $l = 6\text{ m}$, 10 m , 12 m の 3 種類である。

杭は 2 ~ 3 本継杭で、その継手は製作時に杭の両端にあらかじめプレート ($t = 9\text{ mm}$) を取り付けておき、全周突合せ溶接で行う。

コンクリート杭の仕様を Fig. 5 に示す。

(2) H 鋼杭

H 鋼杭には、Table 1 に示した 3 種類のものを使用した。杭長は $l = 12\text{ m}$ の 1 種類である。

Table 1 主要工種数量

工種	示 様	数 量	備 考	
土 工	掘削土	185,000m ³		
	盛土	130,000m ³		
	残土運搬	55,000m ³		
基礎杭工 (平均長23m)	コンクリート杭	275mm×275mm	8,530本 (196,200m)	支持力 90t
		320mm×320mm	2,680本 (61,600m)	支持力120t
	H 鋼 杭	H-308×310×15.4×15.4	480本 (11,000m)	支持力 75t
		H-351×373×15.6×15.6	1,110本 (25,500m)	支持力110t
プレキャスト コンクリート工	RC BEAM	500B×1,000H×8,000L	6,940本	
	RC SLAB	1,200B×100H×4,000L	16,900枚	
	PC BEAM	l=18,000~22,000mm	870本	
場 所 打 ち コンクリート工	コンクリート		49,300m ³	
	鉄筋		7,300t	
建 築 上 屋	延床面積		約78,000m ²	
	鉄骨		約7,500t	



Fig.3 土質縦断面図

Table 2 ディーゼルハンマーの種類と杭種

杭 種	寸 法	使用したディゼルハンマー
コンクリート杭	275×275mm	K-25
	320×320mm	K-35
H 鋼 杭	H-308×310×15.4×15.4	K-25/35
	H-351×373×15.6×15.6	K-35
	H-356×376×17.9×17.9	K-35

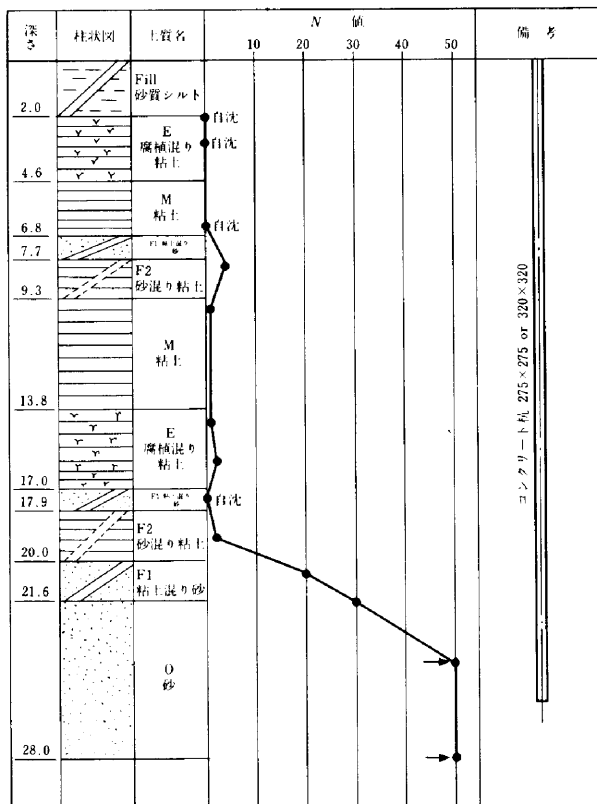


Fig.4 土質柱状図(Bor No.B38)

H鋼杭も2~3本継ぎでありその継ぎ手は、突合せ溶接でウェブには片側に添接板を溶接した。

3-2 打込み機械

(1) 計画

打込み機械は、クローラ三点式支持やぐらとディゼルパイルハンマーの組合せである。使用したディゼルパイルハンマーの種類と杭種をTable 2に示す。杭打工事の工程は9ヶ月であり、3.5本/日/台を想定し打込み機械は25台を予定した。

(2) 実績

杭打工程は9ヶ月の予定に対し実際には10ヶ月かかり最高35台の打込み機械を投入し、その実績は4本/日/台であった。

杭打が計画工期より長くなった原因は次のとおりである。

- ① 降雨による杭打足場の軟弱化
- ② 設計変更による杭打機の手待ちおよび杭本数の増加
- ③ 既打設杭の芯ずれ、鉛直精度、打設中の破壊など不良杭に対する増杭の打設

3-3 施工管理

(1) 杭の支持力

杭の支持力の確認方法として、鉛直載荷試験がMRTから義務づけられている。この鉛直載荷試験の仕様をTable 3に示す。また、実際に試験が行われた本数及び許容沈下量を満足しなかった本数をTable 4に示す。

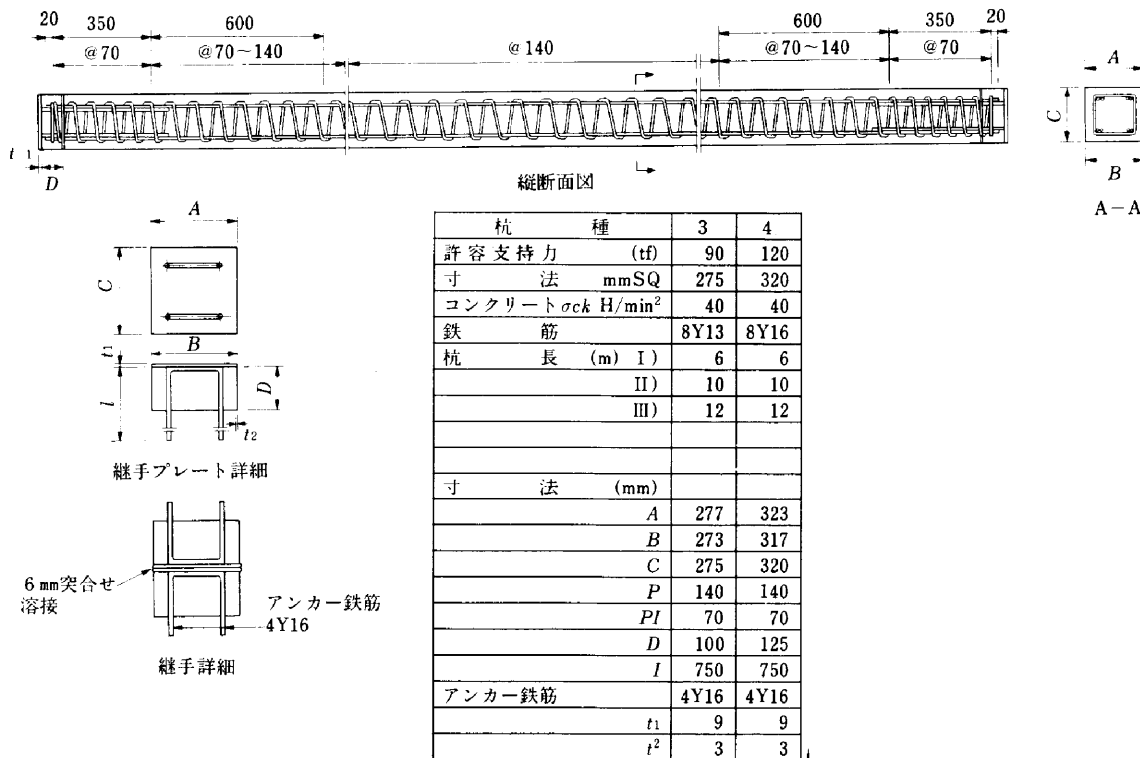


Fig.5 コンクリート杭仕様

Table 3 鉛直載荷試験仕様

	頻度	許容沈下量 (mm)		
		W	2W	3W
Working Load Test	300本に1本	-	25	-
Ultimate Load Test	各杭種ごとに1本	-	25	40

W : Working Load

Table 4 試験本数とその結果

	寸法	Working Load Test		Ultimate Load Test	
		試験数	許容沈下量をこえたもの	試験数	許容沈下量をこえたもの
RC杭	275×275mm	70	8 (11%)	8	5 (63%)
	320×320mm	17	1 (6%)	8	2 (25%)
H鋼杭	H-305×305×110kg/m	1	0 (0%)	4	0 (0%)
	H-356×368×132kg/m	4	1 (25%)	4	0 (0%)
	H-356×368×152kg/m	6	0 (0%)	4	0 (0%)

コンクリート杭の極限載荷試験で管理値を越えたものが多かったのは、約210tfの荷重が杭頭に均等に載荷せず杭頭部にクラックが発生したためであった。

この鉛直載荷試験は、大がかりなもので長時間かかるため、動的載荷試験を行い試験時間の短縮を計ろうとしたが、両者の相関関係が明確につかめなかった。

(2) 杭の打止め

杭の打止めを管理するため、次のヒーリー公式を使用した。

$$R_u = \frac{2 \times e_f \times W_H \times H}{S + K/2} \times \frac{W_H + e^2 \times W_P}{W_H + W_P}$$

ここで R_u : 極限支持力

e_f : ハンマー効率 (デイズェルパイルハンマーに対して $e_f = 0.7$)

H : ハンマーの落下高

e : 打撃効率

コンクリート杭に対して0.25, H鋼杭に対して0.40

W_H : ハンマー重量

W_P : 杭重量

S : 杭の貫入量

K : リバウンド量

Fig.6にヒーリー式による R_u と $S + K/2$ の関係に示す。これよりコンクリート杭 (275mm×275mm) について、許容支持力に対する極限支持力の安全率を $F_s = 2.0$ とすると、89%の杭が鉛直載荷試験を満足しており、 $F_s = 3.0$ とすると95%の杭が満足している。従って当初は $F_s = 3.0$ として杭の打止め管理を行ったが、杭体の破損が多く発生したため、MRTと協議の上、 $F_s = 2.0$ として管理した。

またFig.7にヒーリー式による許容支持力 R_{ad} ($F_s = 3.0$) と、鉛直載荷試験による許容支持力 R_{as} ($F_s = 2.0$) の関係を示す。これより R_{ad} と R_{as} は比較的よい一致を示していることがわかった。

(3) 打込み精度

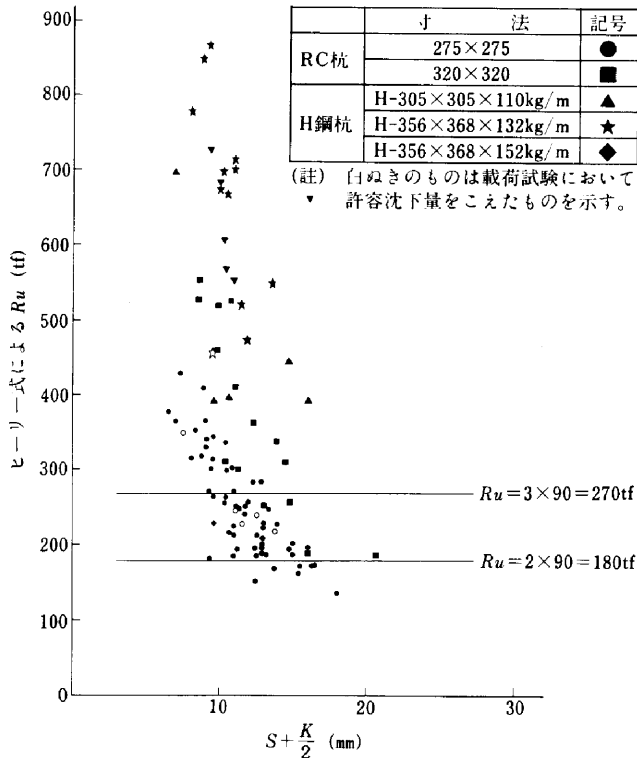


Fig.6 $Ru \sim (S + \frac{K}{2})$

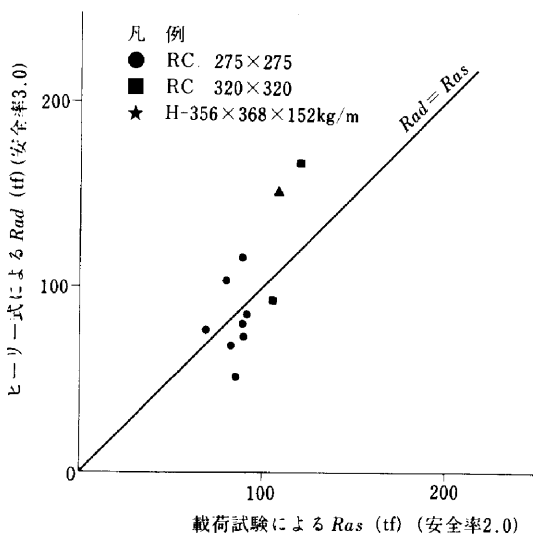


Fig.7 ヒーリー式による許容支持力と載荷試験による許容支持力

打込み精度についてのMRTの示方書は、Table 5のとおりである。この許容値を満足するため、トランシット及び下げふりを使用して十分な管理を行った。しかしTable 6に示すようにコンクリート杭で全本数の4.3%の杭が打設中に破損したり、許容施工精度を越え、そのため約700本の増杭を行った。この原因として以下のことが考えられる。

① 杭打地盤が軟弱であるため、杭打機の安定が保て

Table 5 許容打込み精度

	杭頭の芯ずれ誤差 (mm)	鉛直精度
単杭	50	2% ($\frac{1}{50}$)
群杭	杭群の図心のずれ 70	4% ($\frac{1}{25}$)

Table 6 破損杭および許容施工精度をこえた杭の本数

	全日本 (本)	増杭の原因				合計
		破損	鉛直精度	芯ずれ	その他	
コンクリート杭 275×275	8,530	158 (1.9%)	70 (0.8%)	148 (1.7%)	28 (0.3%)	404 (4.7%)
コンクリート杭 320×320	2,680	51 (1.9%)	2 (0.1%)	26 (1.0%)	0 (0%)	79 (2.9%)

ない。

- ② 隣接杭の打設による土の側方移動による影響 (§4で詳述)。
- ③ 打設された杭の周囲の掘削、盛土や重機の走行による土の側方移動による影響。

なお、Table 5の妥当性について検討したところ、杭の材料上この程度の精度では安全でないことが判明した。

即ち、杭の打設誤差によりFig.8のような状態となり杭材には曲げモーメントが発生する。

杭基礎にはFig.9に示す単杭基礎と、組杭基礎とがある。Fig.10に組杭の芯ずれのパターンを示すが、Case-1では杭頭フリー、Case-2では杭頭固定として、打設誤差により発生する曲げモーメントを求めたところ、示方書に規定された芯ずれ及び傾斜によって杭に生じる断面力とそれにより生じる応力度はTable 7のとおりとなる。

Table 7から示方書に示された施工精度では、杭は許容応力を越えることがわかった。これらの結果からコンクリート杭、H鋼杭とも示方書の条件に対して断面が不足していると考えられた。したがって、打設精度の管理を慎重に行い増杭により対処した。

3-4

(1) コンクリート杭

コンクリート杭は、Balken社の工場において十分な管理のもとに製作された。コンクリートの供試体は打設ごとに取りられ、28日圧縮強度が特性値40N/mm²を下まわらないことが確かめられた。

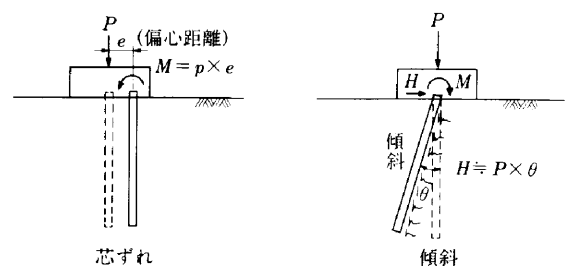


Fig.8 芯ずれおよび傾斜による断面力

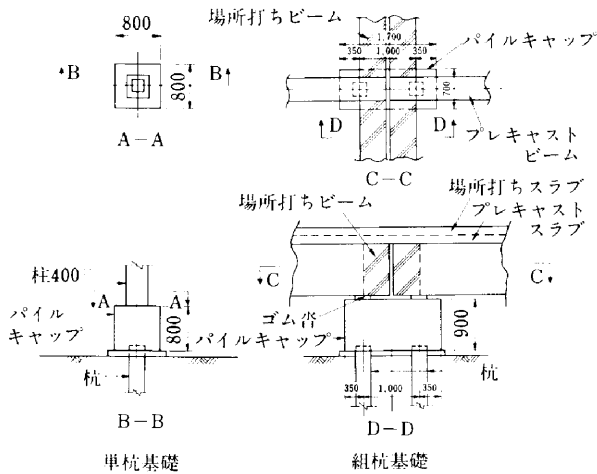


Fig.9 基礎構造

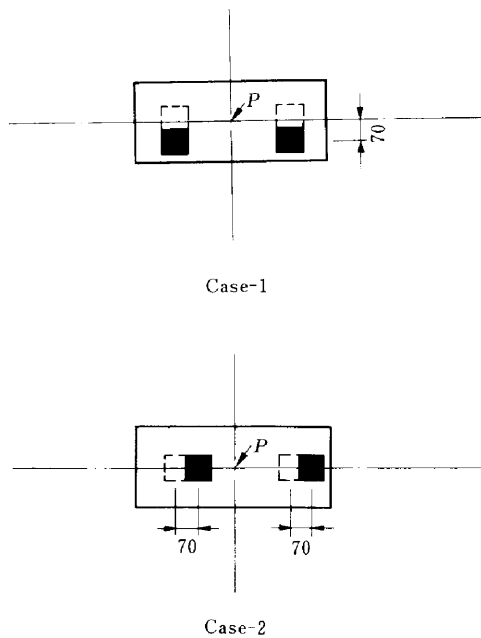


Fig.10 群杭の芯ずれパターン

- しかし以下に述べるような杭の欠陥も見られた。
- ① 杭頭部のプレート付近にコンクリートが詰まっていないものがあり、打込時に杭頭部が破損した。
 - ② 継手部のエンドプレートが水平でないため、杭の傾斜の原因となった。
 - ③ 製作後現場に仮置きされたが、直接現地盤に積まれたため、地盤の不等沈下により杭に、50mm~70mmの塑性的なそりが生じたため、杭打により損傷し増杭の必要が生じた (Photo 3参照)。

(2) H鋼杭

H鋼はシンガポールで製作されてないため、日本、西ドイツ、イギリスの3国から輸入した。このH鋼はウェブ高で最大10mm、フランジ幅で最大20mmの製作誤差があり、同一製作国のH鋼においても同様であった。

H鋼杭の継手仕様は全強溶接となっていたが、鉛直力のみ作用する杭に対して上記仕様は過大であり、協議の上、上記程度の誤差は問題なしと判断された。

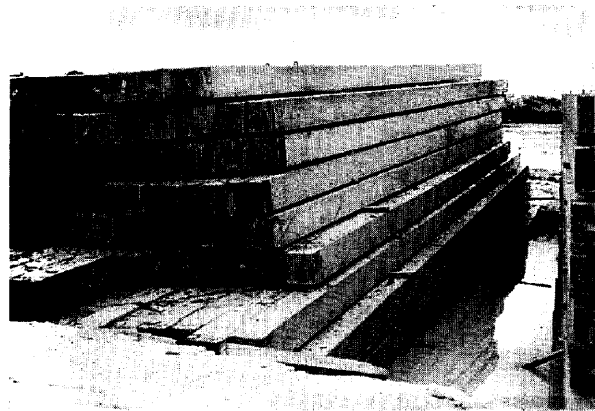


Photo3 コンクリート杭の仮置状況

Table 7 芯ずれ及び傾斜により生じる断面力と応力度

	杭種	断面力			応力度							
		N (t)	芯ずれによる M (tm)	傾斜による M (tm)	芯ずれ			傾斜				
					σ_c (kgf/cm ²)	σ_s (kgf/cm ²)	判定	σ_c (kgf/cm ²)	σ_s (kgf/cm ²)	判定		
単杭 (芯ずれ50mm傾斜2%)	コンクリート杭	275×275	90	4.5	1.8	200	2,480	×	139	1,880	×	
		320×320	120	6.0	2.7	176	2,280	×	130	1,810	×	
組杭 (同心の芯ずれ70mm傾斜1%)	Case-1 杭頭(フリー)	コンクリート杭	275×275	90	6.3	3.6	218	2,930	×	180	2,280	×
		320×320	120	8.4	5.4	210	2,630	×	168	2,200	×	
	H鋼杭	H-308×310×15.4×15.4	75	5.3	3.9	—	900	○	—	800	○	
		H-351×373×15.6×15.6	110	7.7	6.1	—	1,030	○	—	950	○	
		H-356×376×17.9×17.9	125	8.8	7.2	—	1,010	○	—	950	○	
	Case-2 杭頭(固定)	コンクリート杭	275×275	96	—	5.9	—	—	—	240	2,910	×
		320×320	128	—	8.9	—	—	—	220	2,800	×	
	H鋼杭	H-308×310×15.4×15.4	80	—	1.8	—	—	—	—	1,550	○	
		H-351×373×15.6×15.6	118	—	8.1	—	—	—	—	1,830	×	
		H-356×376×17.9×17.9	134	—	9.6	—	—	—	—	1,890	×	

(注) ①横方向地盤反力係数は、水平載荷試験から $k = 0.24 \text{ kgf/cm}^2$ とした。

(2)許容応力度
鉄筋 $\sigma_a = 1,790 \text{ kgf/cm}^2$
コンクリート $\sigma_a = 150 \text{ kgf/cm}^2$
鋼材 $\sigma_a = 1,580 \text{ kgf/cm}^2$

§ 4. 側方移動と浮上り

4-1 概要

既製杭を打設すると既に打設された周囲の杭が側方に移動したり、浮上ったりする。この現象は杭の貫入によって起こり、特に軟弱な沖積粘性土地盤において著しい。

しかしこれらの現象に対する実測例の報告は少なく、杭の側方移動や浮上りを定量的に推定することは極めて難しい。

本工事においては、これらの著しい現象が観察され工程計画に重大な遅延原因となった。そこで本工事での側

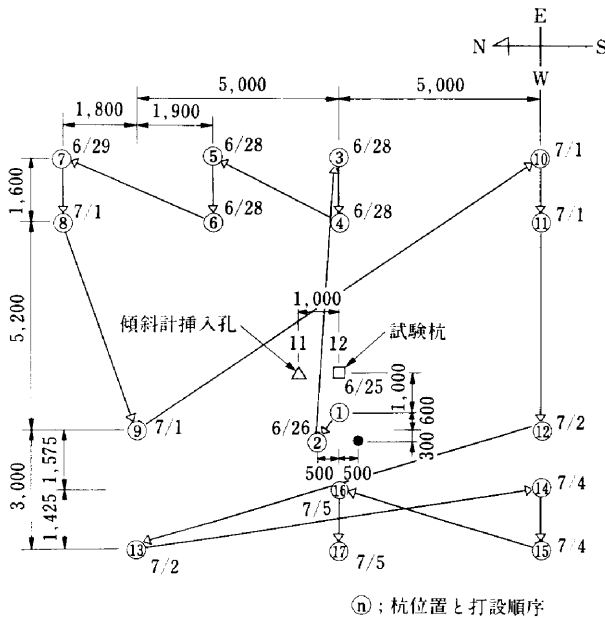


Fig.11 Area.1の杭伏せ及び計測位置

方移動、浮上りについて計測結果をとりまとめ報告する。

4-2

(1) 既往の研究

杭の側方移動に関して報告された実例は国内、外で約10例しかない。これらの実例により定性的に以下に述べることがわかっている。

- ① 杭の側方移動量は、非圧縮性の粘土層において顕著である。
- ② 杭の打設順序により側方移動量は非常に異なる。例えば、打設する杭の反対側に抵抗となる杭があるかどうかで移動量もかわる。また、片側に集中的に杭が打設される場合は移動量が累積される。¹⁾
- ③ 遠方より既設杭列へ近づく場合の側方移動量は、遠ざかる場合の約4倍となる。²⁾
- ④ 使用する杭の種類によって側方移動量の大きさが著しく異なる。 $\phi 318\text{mm}$ の鋼管杭を打設した場合の側方移動量に対して $\phi 300\text{mm}$ のコンクリート杭の場合は約10倍となっている。³⁾従って移動量を小さくするためには、コンクリート杭のような中実杭を避けてH鋼杭を使用するのが望ましい。
- ⑤ 杭の打設速度が速いほど杭の側方移動量も大きくなる。³⁾

(2) 計測

a) 計測方法

既設杭の側方移動を調べるための試験杭と地盤の変位を計る傾斜計挿入孔を工区内2ヶ所に設置し、その周囲の杭を順次打設しながらそれらの挙動を

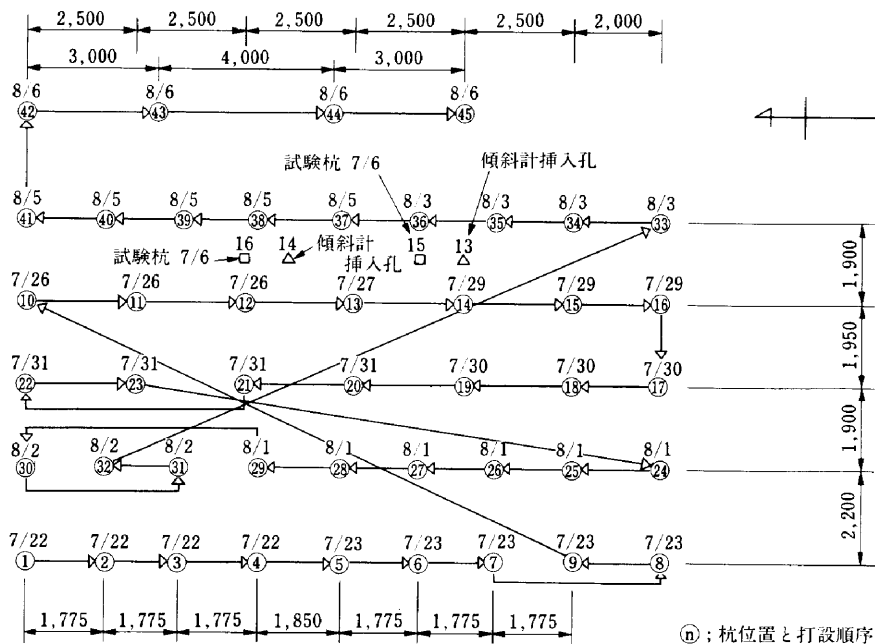


Fig.12 Area.2の杭伏せ及び計測位置

計測した。

Fig.11,12に試験地点の杭伏図と計測位置を示す。

また、Fig.13に試験杭と傾斜計挿入孔詳細を示す。

さらに、Fig.14に両地点の土質柱状図を示す。

b) 結果

地盤変位及び試験杭変位の深度方向分布の経日変化をArea1についてFig.15,16, Area2についてFig.17~19に示す。

また地盤の変位と杭の変位の最大値はTable 8

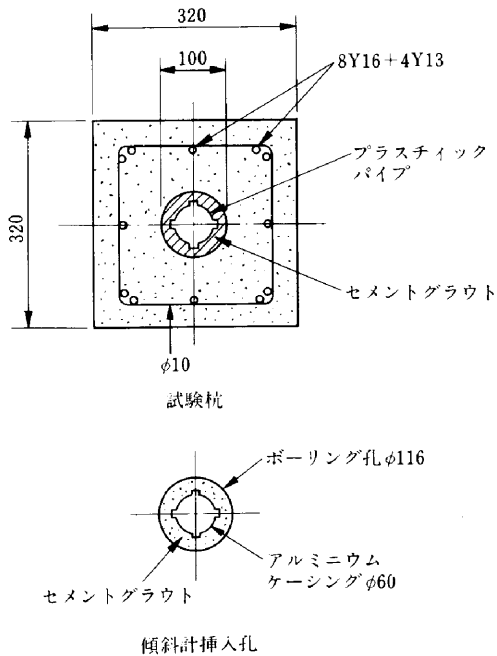


Fig.13 試験杭および傾斜計挿入孔詳細

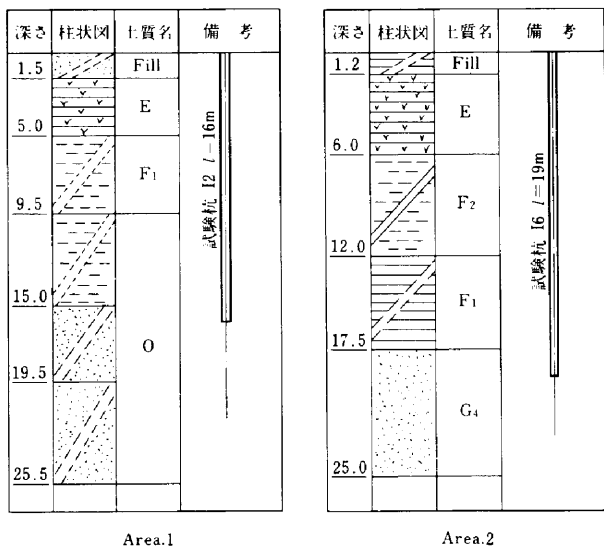


Fig.14 側方移動計測地点の土質柱状図

のとおりであった。

また、Fig.20に杭打設開始から完了までの地盤の水平変位と、杭の水平変位の相関を示す。

Fig.21にArea2での地表面と杭頭の累加変位の経日変化を示す。

ただし、Area2の試験I5は計測期間中に重機が接触したため除いた。以上のことから次のことがわかった。

- ① Table 8からArea2の最大地盤変位はArea1の2.8倍となっているが、最大杭変位はほぼ同程度である。軟弱層厚はArea1で9.5m, Area2で17.5mであり、軟弱層厚が厚い程地盤変位は大きい。しかし、杭変位は同程度であった。

Table 8 地盤と杭の最大変位

	最大地盤変位 (mm)	最大杭変位 (mm)
Area 1	41	40
Area 2	I3	115
	I4とI6	65

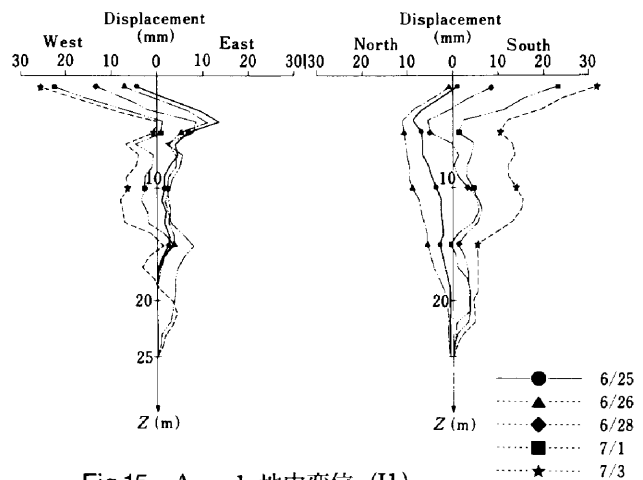


Fig.15 Area.1 地中変位 (I1)

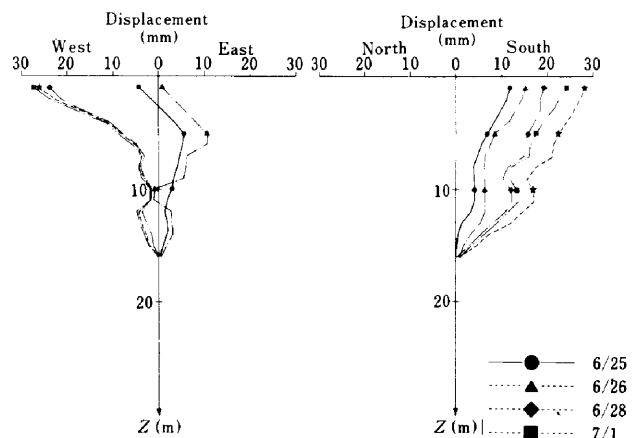


Fig.16 Area.1 杭変位 (I2)

② Fig.20から地表面と杭頭の変位の関係は、ほぼ1対1の対応がみられた。

③ Fig.21から傾斜計挿入孔I 3, I 4の累加変位は、試験杭I 5, I 6の打設(7月6日)によりそれぞれ23mm, 19mmとなったことがわかる。その後、周囲の杭の打設が開始されるまで

の約2週間にI 3, I 4の変位は継続しており、7月22日にはI 3で85mm, I 4で60mmとなった。また、試験杭I 6の累加変位も7月22日までに14mmとなった。

④ Area 2では7月22日から8月2日まで、試験杭及び傾斜計挿入孔の西側に杭が打設された。

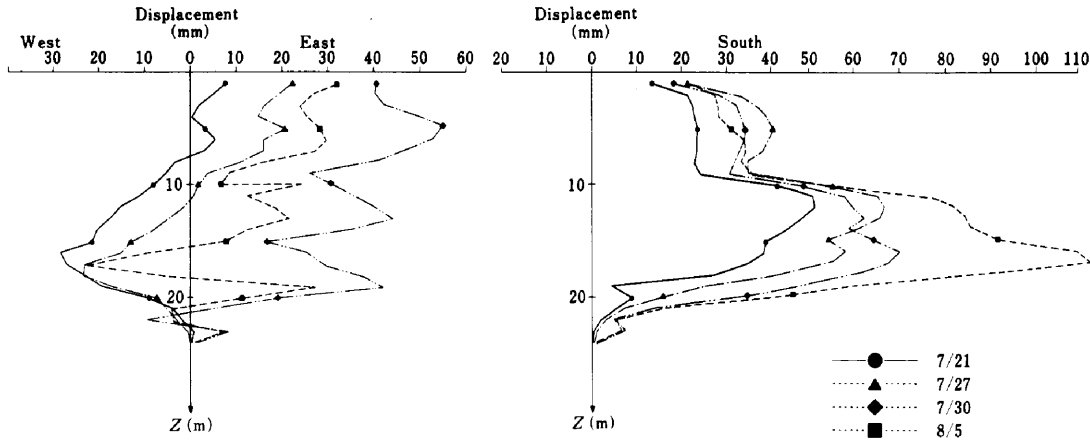


Fig.17 Area.2 地中変位 (I3)

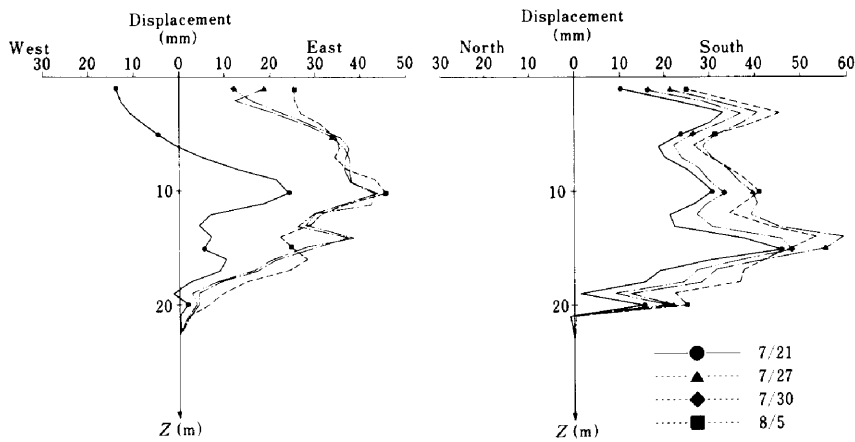


Fig.18 Area.2 地中変位 (I4)

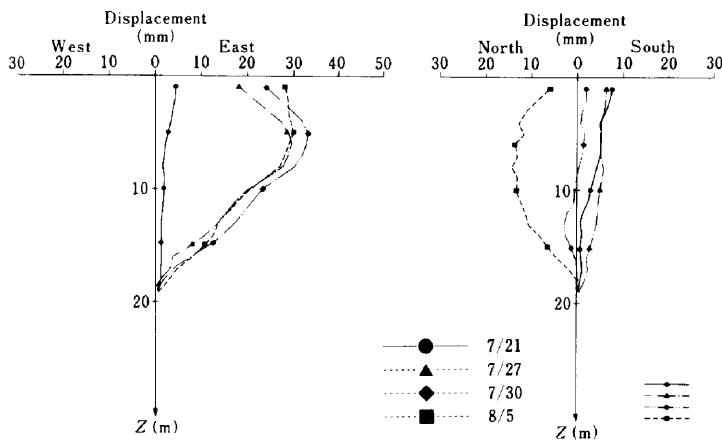


Fig.19 Area.2 杭変位 (I6)

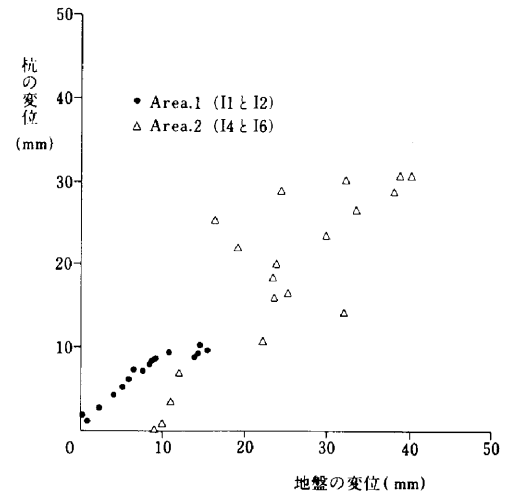


Fig.20 各深度における地盤と杭の変位

Fig.17~19から試験杭、挿入孔ともその東側に変位しつづけていることがわかる。そして8月5日に東側に杭が打設されると、試験杭、挿入孔とも変位は西側に転じていることがわかる。これらの結果から杭が片側に集中的に打設されると、側方移動は累加されることがわかった。

4-3 杭の浮上り

(1) 既往の研究

杭の側方移動に関する実例と同じく数例しか過去に報告されていない。それらの研究成果は次のとおりである。

- ① 杭打ちによる地盤と杭の浮上り量は、ある程度定量的に推定ができる。⁴⁾デッキ部の標準的な杭伏せ図はFig.22のとおりであり、それに基づき杭の浮上り量を推定すると以下のとおりである。

体積移動比：A

$$A = \frac{N \cdot A_p \cdot L}{a \cdot b \cdot L}$$

地盤の浮上り率：B

$$B = \frac{\Delta u}{L}$$

として、 $A = \alpha \cdot B$ なる関係が成立する。

ここでL：杭長 (23m)

N：杭本数 (2本)

A_p ：杭の断面積

a, b：杭間隔

Δu ：地盤の浮上り量

α ：均質地盤の仮定して2.0

275×275mmの杭の場合についてみると

$$A = \frac{2 \times 0.275^2 \times 23}{8 \times 4.5 \times 23} = 0.0042$$

$$B = \frac{A}{\alpha} = \frac{1}{2} \times 0.0042 = 0.0021$$

したがって $\Delta u = 0.0021 \times 23 = 0.048\text{m}$

よって5cm程度の地盤の浮上りが発生する可能性がある。

次に杭の浮上り量はJosephの考えにより計算する。Fig.23のように杭の相対変位が0となるa-a以下では、地盤の浮上りが起こらないと仮定すれば杭の浮上り量は、a-aより上の土の浮上り量に等しいとして計算できる。

$$(\text{杭の浮上り量}) = (\text{地盤の浮上り量}) \times \frac{L-d}{L}$$

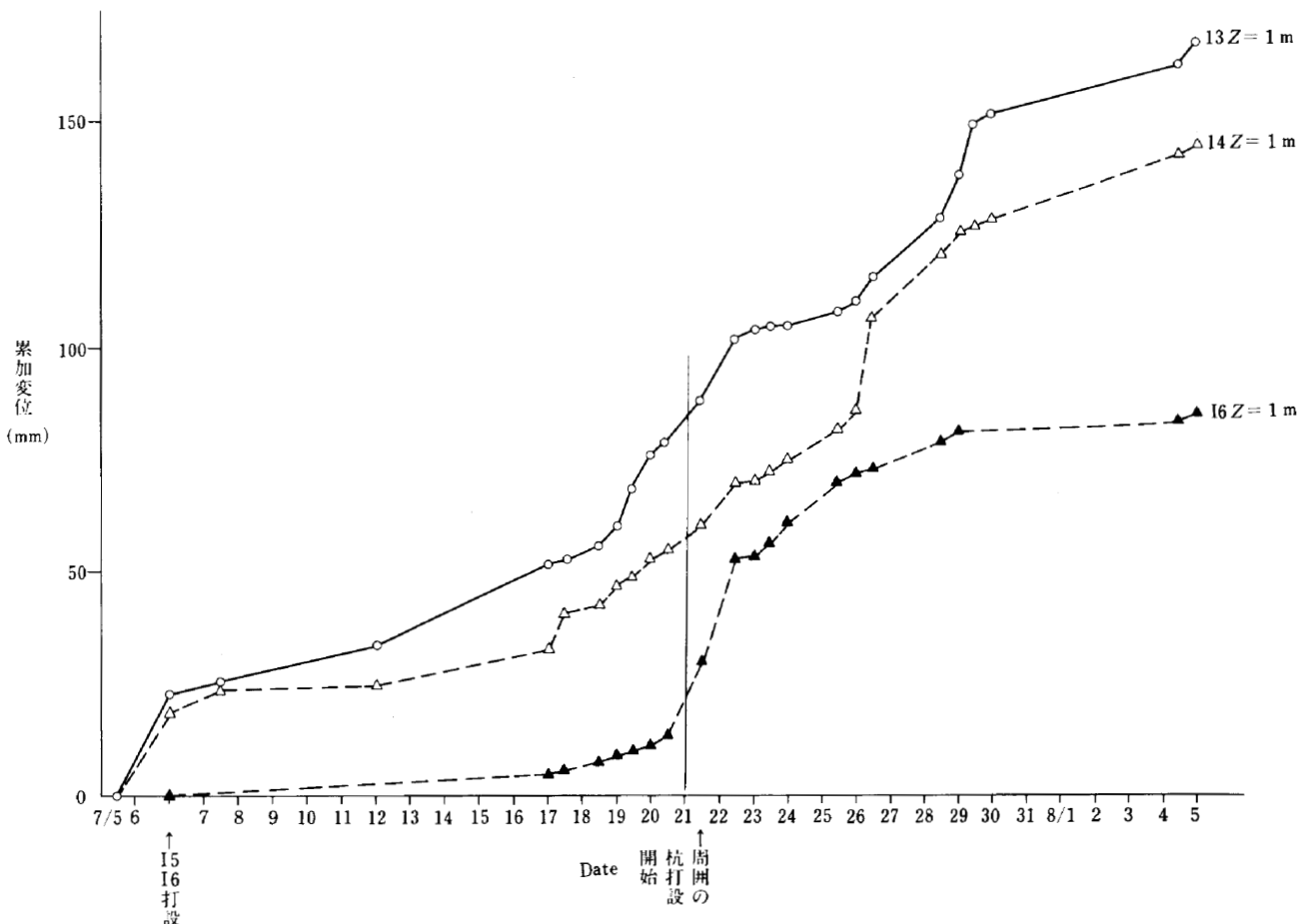


Fig.21 Area.2における地盤と杭の累加変位

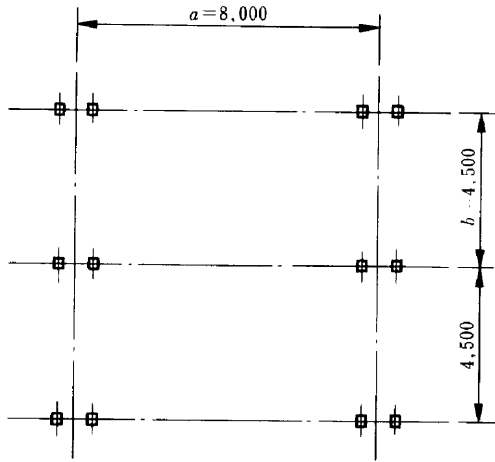


Fig.22 デッキ部標準杭伏せ図

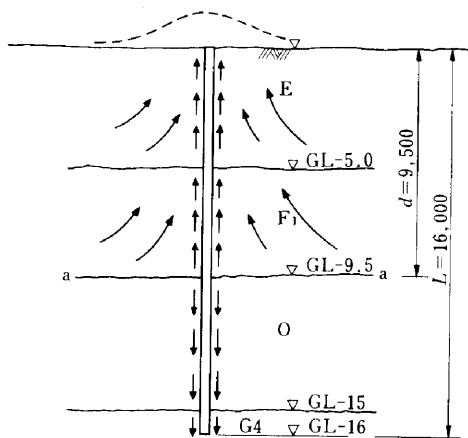


Fig.23 Area.1における杭に沿う力のつりあい

Area 1の上質条件を例にとれば、Fig.23に示すように $d = 9.5\text{m}$ となる。

$$\text{杭の浮上り量} = 50\text{mm} \times \frac{16 - 9.5}{16} = 20\text{mm}$$

従って20mmの杭の浮上りが生じることが予想される。

- ② 杭が支持地盤にある程度貫入されていれば、周囲の杭の打設による浮上り量は小さく支持力への影響はない。しかし摩擦杭の場合は、影響は大きいので注意が必要である。⁵⁾

(2) 計測

a) 計測方法

レベルを使用して杭頭の高さを測定した。

なお計測はコンクリート杭についてFig.2に示す様にAreaⅡ, Ⅲ, H鋼杭についてはArea①で行われた。

b) 結果

Fig.24にコンクリート杭打設による杭の浮上り量と打設距離の関係を示す。またFig.25にH鋼杭の場合のそれを

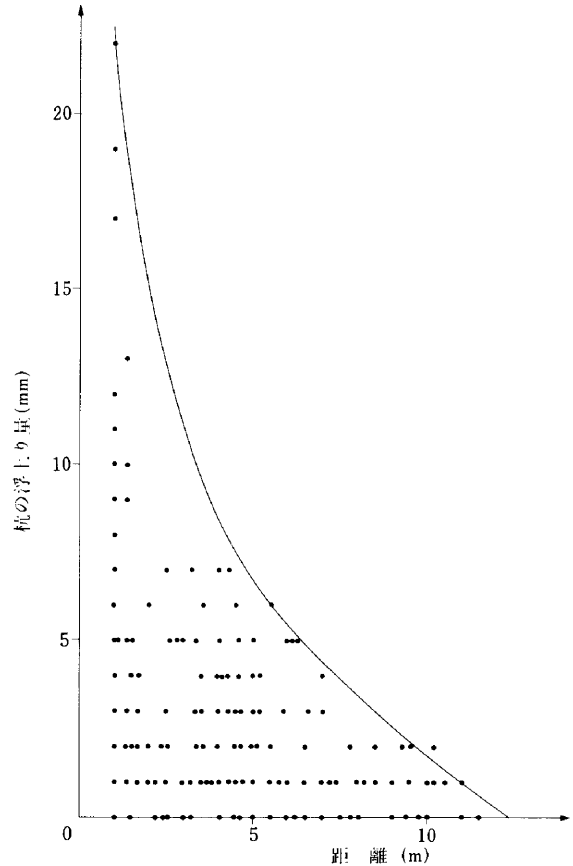


Fig.24 コンクリート杭打設による杭の浮上り量を打設距離の関係

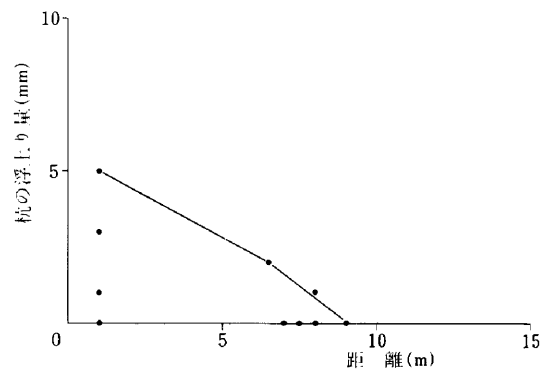


Fig.25 H鋼杭打設による杭の浮上り量と打設距離の関係

示す。これから以下のことがわかった。

- ① 計測された杭の最大浮上り量は以下ようになった。

コンクリート杭…22mm

H 鋼 杭…5mm

これより杭の浮上り量は、杭体の貫入による排除土量が多いほど大きくなっていることがわかる。コンクリート杭の断面積はH鋼杭の約4倍となっており、杭の浮上り量もその倍率と同じであった。

- ② コンクリート杭の浮上り量は、参考文献4)による計算値20mmとよく一致している。
- ③ 杭の浮上り量は距離が離れるに従って小さくなっており、その影響半径はコンクリート杭、H鋼杭とも約12mであった。

§ 5. 杭打設以外の原因による杭の側方移動

5-1 概要

杭の打設による影響以外の原因による杭の側方移動も観測された。その原因は以下のものである。

- ① 杭近傍の掘削によるもの
 - ② 盛土によるもの
 - ③ 重機の走行によるもの
- 以下に各現象について報告する。

5-2 掘削によるもの

杭近傍の掘削による側方移動の1つに、下水管布設のための掘削による影響があった。既に打設済の杭間に下水管設置のため、深さ2mの掘削を行ったところ杭が最大50cmも側方に移動した。Fig.26に略図を示す。原因は掘削底面地盤のヒービングによるものである。

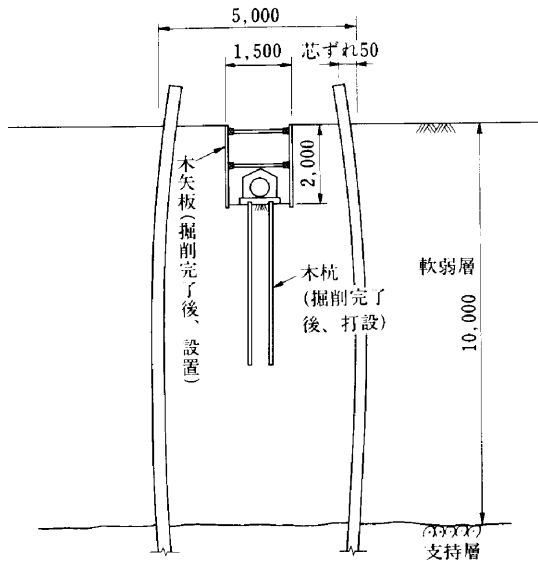


Fig.26 下水管布設のための掘削による側方移動

このため掘削に先立って木矢板をモンケンで打設し、また、向い合う杭に切梁を設置した。その後、杭の大きな側方移動はみられなかった。

5-3 盛土によるもの

打設済の杭群の近傍に高さ1.5mの盛土を行ったところ、杭群が全体的に盛土と反対側に30cm移動した。軟弱地盤の上に盛土を行った場合、側方移動を起こす

か否かは幾つかの判定方法があり、この盛土による側方移動について、Table 9に示す3つの方法で検討した。

3つの方法とも側方移動を起こす可能性があるという結果となり、この様な工事では、あらかじめ十分な注意が必要である事を痛感した。

Table 9 側方移動の判定

提案者	判定式	判定基準値	計算値	判定
高速道路調査会 基礎構造研究委 員会(道路公団)	$F = \frac{C}{rH} \times \frac{1}{D}$ ($\times 10^{-2} m^{-1}$)	$F \geq 4$ $F < 4$	○ ×	1.1 ×
カリノフスキー	限界載荷重 $q_{cr} = 2Cu$	$q_{cr} \leq rH$ $q_{cr} < rH$	○ ×	$q_{cr} = 10$ $< rH = 30$
鉄	$F = \frac{6Cu}{rH+q}$	$F \geq 1.5 \sim 2$ $F < 1.5 \sim 2$	○ ×	1.0 ×

(註) ○は起る可能性なし
×は起る可能性あり

検討条件 軟弱層厚 15m
軟弱層のCu 0.5tf/m²
盛土厚 1.5m
盛土のr 2.0tf/m³

5-4 重機の走行によるもの

杭の打設間隔が狭く、また地盤が軟弱なため重機の走行により近傍の杭に約30mmの側方移動がみられた。軟弱地盤の杭打では、杭打設順序を考えて十分な注意を払う事が必要である。

§ 6. Shock Test と Seismic Reflection Test

打設された杭の有効性を調べるため簡易な動的試験が実施された。§5で述べた原因により、杭に許容値を越える側方移動が生じた場合、この試験により杭の変状をチェックしたのでここにその概要を報告する。

6-1 Shock Test

この試験はPhoto 4に示すように、1kgのハンマーにより杭頭を打撃して生じる振動を、杭頭に取付けた計器



Photo4 Shock Test

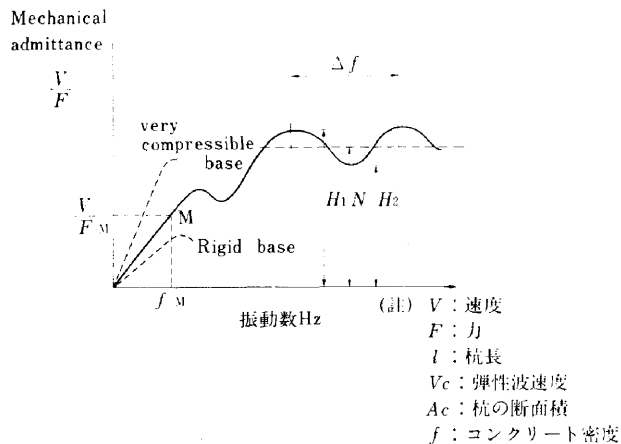


Fig. 27 $\frac{V}{F}$ ~ 振動数関係図

により振動数, 速度, 力を測定し, その結果からFig.27を得る。この図から次のような諸元がわかる。

- ① 杭頭での鉛直バネ値: $E = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_m \cdot V}{F_m}$
- ② 杭の長さ: $l = \frac{V_c \cdot F_m}{2 \cdot \Delta f}$
- ③ 杭の断面積: $A_c = \frac{1}{N \cdot \rho \cdot V_c}$

ここに $N = H_1 \times H_2$

④ 杭の完全性

Fig.28に, 実際の杭について計測された結果を示す。これにより $E = 17 \text{ t/mm}$, $l = 14.4 \text{ m}$, $D = 0.33 \text{ m}$ ($V_c = 4500 \text{ m/s}$ として) であることがわかった。

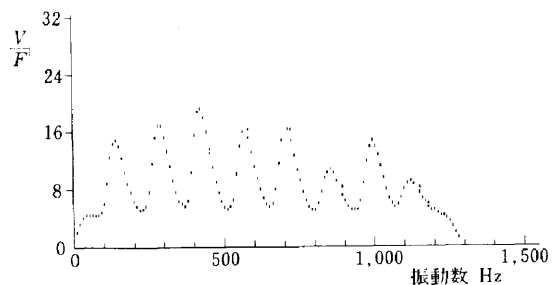


Fig.28 Shock Test結果

6-2 Seismic Reflection test

この試験はShock Testと同様に, 1kgのハンマーの打撃によって生じる縦波が杭底面で反射してくる時間を測定し, 伝播速度と時間の関係をオシロスコープに描く。この波形から, クラックの有無や継手の完全性を定性的に調べることができる。

本工事においてみられた波形の4つのパターンをPhoto.5に示す。

変状のあった杭について, MRTの指示により255本の

コンクリート杭についてこの試験が行われた。この結果, Table 10に示すように, 杭の変状を定性的に把握でき, 破損, クラック, 不連続継手が確認された杭については増杭を行った。

Table 10 Seismic Reflection Test 結果

	完全な杭	破損杭	クラックのある杭	継手の溶接が完全でない杭	計
本数(本)	171	5	71	8	255
(%)	(67%)	(2%)	(28%)	(3%)	(100%)

§7. まとめ

本工事における上述の計測及び検討結果を要約すると次のとおりである。

側方移動について

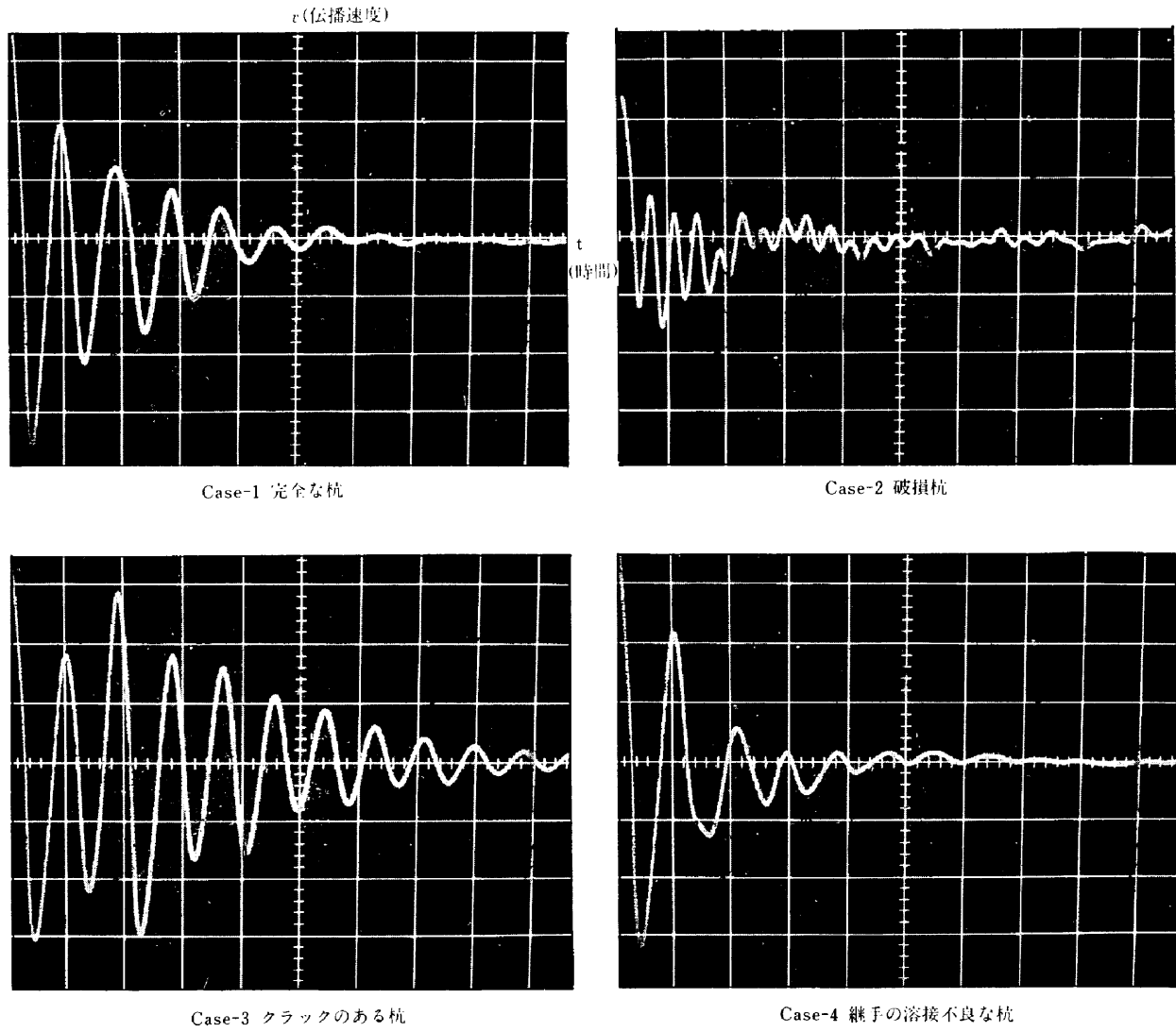
- ① 杭打設により最大地盤変位115mm, 最大杭変位40mmが生じた。
- ② 軟弱層厚が厚い程, 地盤の変位は大きい。
- ③ 地表面と杭頭の変位は, ほぼ1対1の対応がある。
- ④ 側方移動は, 杭打設が完了した後も約2週間継続して起こる。
- ⑤ 杭の側方移動量は, 打設順序に影響される。試験杭の片側に杭が集团的に打設されると, 側方移動量は累加される。
- ⑥ H鋼杭は, 側方移動に関する計測は行われなかったが, 芯ずれが問題となった杭は1本もなかったことから, 側方移動量は小さいことがわかる。
- ⑦ 杭打設以外の原因においても杭の側方移動がみられた。

浮上りについて

- ① コンクリート杭で22mm, H鋼杭で5mmの浮上りが生じた。
- ② 浮上り量は杭体の貫入による排除土量が多くなる程, 大きくなる。
- ③ 地盤及び杭の浮上り量は, 参考文献4)による方法でおおよその推定が可能である。
- ④ 浮上りは, 打設位置までの距離が大きくなる程小さくなり, その影響半径は約12mであった。

今後軟弱地盤の杭打作業には以上のことを踏まえ, 杭種, 打設順序などの慎重な検討が必要であろう。

本工事は約9ヶ月の短い期間に約14,000本もの杭を軟弱地盤中に打設せねばならず, 杭の側方移動による増杭, 剛性の小さいコンクリート杭, 現地杭打業者の低い打設管理能力などにより, 工期内に杭を打設することに苦労した。しかし最終的に工期内に杭打工事も終了し,



(註) 横軸は時間、縦軸は速度を示す。

Photo5 Seismic Reflection Testによる波形パターン

現在は建屋の鉄骨工事が行われており、シンガポール地下鉄の最大操車場の完成も近い

参考文献

- 1) 高幣喜文, 寺田邦雄: 杭の打設による既設杭への影響について, 第17回土質工学研究発表会
- 2) 上田為敏 他: PCグイ打設影響による側方変位について, 第11回土質工学研究発表会
- 3) 藤田圭一: 基礎工の施工に伴う地盤変位, 基礎工 1979年2月
- 4) D.Joseph Hagerty and Ralph B.Peck: Heave and lateral movements due to pile driving, ASCE SM11, November 1971
- 5) Demetrious C.Koutsoflas: H-pile heave: a field test, ASCE GT Division, August 1982