

## 市街地における軟弱地盤の山留工事

### Landslide Protection Work of Soft Ground in Urban Area

竹内 宏\*  
Hiroshi Takeuchi

渡辺 修\*\*  
Osamu Watanabe

有坂 七郎\*\*\*  
Shichirō Arisaka

#### 要 約

N値<sup>①</sup>0のシルト層がGL-46mまで続く横浜の市街地において、敷地の有効利用と工事費低減を目的に地下掘削の山留でシートパイルを採用した。こうした地盤の山留では、シートパイルのタワミや引抜跡の処理の難しさから、周辺地盤の不同沈下が生じ易く、この付近では最近シートパイルでの施工例は無い。

本報告は、軟弱地盤において、GL-9mの掘削を行うにあたり計算で予想した変位よりも少なく、良好な結果が得られたシートパイル山留工法の施工概要を述べたものである。

#### 目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. 山留工法の比較検討
- § 4. シートパイル使用における問題点
- § 5. 作業手順および鋼矢板圧入
- § 6. 掘削および切梁架設工
- § 7. 鋼矢板引抜工

#### § 1. はじめに

横浜市関内のビジネス街に建つスカーフ会館は、当社の設計施工による建物である。当建物の受注にあたり、当初、できるだけ敷地いっぱいにて、地下部分の面積を最大限に確保すること、建設工事費の坪当たり単価は、提示した価格以内に押えることなどの条件を施主から要求されていた。

種々検討の結果、山留工事費が価格の面で大きなウエイトを占めるため、工法の選択が現場に課せられた重要課題となった。なお当敷地は、N値0のシルト層がGL-

46mまで続く軟弱地盤であるため、上記の条件を満足させた上で地下部分（GL-9m）の掘削を行うには、この付近では施工例の無いシートパイル工法を採用した。

以下にその施工概要を報告する。

#### § 2. 工事概要

工事名称：関内スカーフ会館新築工事

工事場所：横浜市中区住吉町1-2

敷地面積：548㎡

延床面積：5,440㎡

構造規模：SRC造、地下1階、地上9階、塔屋1階

設 計：西松建設建築設計部

施 工：西松建設横浜支店

#### § 3. 山留工法の比較検討

山留工事の施工計画において、具体的な山留工法として地中連続壁工法とシートパイル工法の2つを選び、それぞれの比較検討を行った。

(1)A通り側（既存建物に一番近接している面）について地下室の面積をどちらが広くとれるか検討した。それによるとFig.1, 2に示すように、シートパイルでは隣家配管より530mmの離れ、地中連続壁では773mmの離れとなる。

\*横浜(支)新横浜リハビリ(出)工事係長

\*\*横浜(支)新吉田町(作)工事係長

\*\*\*建築部計画課長

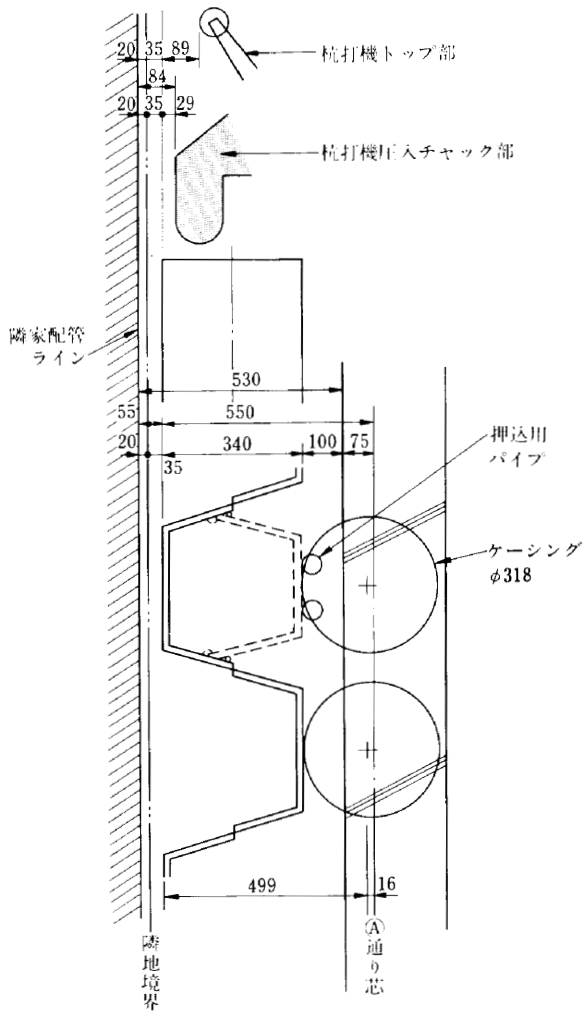


Fig.1 ①通り側シートパイル打設図

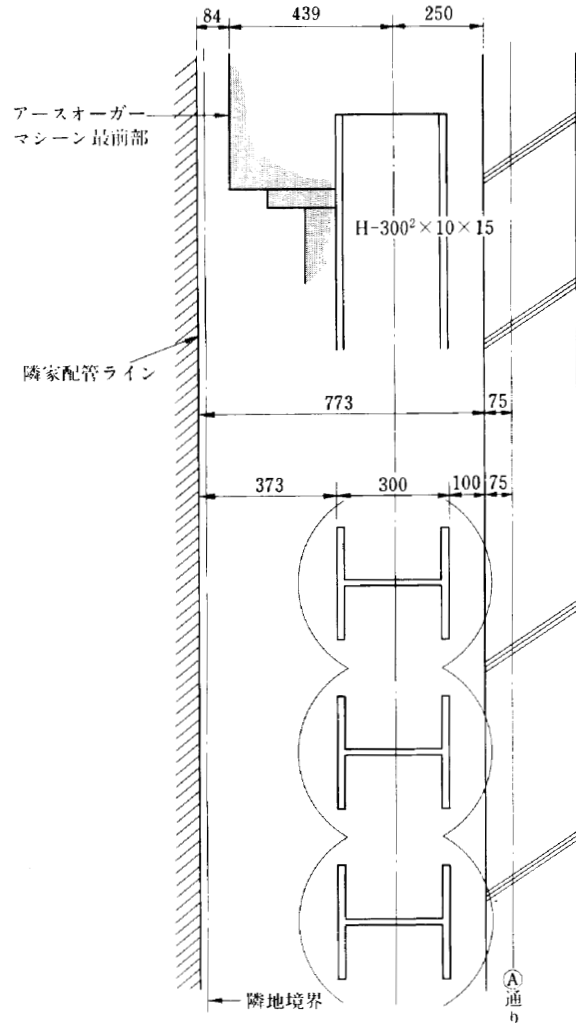


Fig.2 ①通り側連壁検討図

(2)5 通り側 (大通り面) について(1)と同様の検討をすると、Fig.3, 4に示すとおり、シートパイルでは道路境界から475mm、地中連続壁で500mmの離れとなる。以上(1)(2)より、地下室の面積を広く確保するためには、シートパイルを使用する方が有利であることが判明した。

#### § 4. シートパイル使用における問題点

(1)軟弱地盤 (Fig.5参照) にシートパイルを使用した例として、横浜市区内でのデータ (Fig.6参照) がある。これによると、シートパイルの一般工法では、シートパイルの変形が大きく、周辺地盤および地下埋設物の沈下が生じてしまう。

特にガス管については東京ガスより20mm以上の管の沈下は危険であるとの指摘を受けている。

(2)近接建物との間隔が狭いため、所定の位置に圧入が可能かどうか疑問がある。

#### § 5. 作業手順および鋼矢板圧入

(1)作業手順についてはFig.7に示す通り、アースドリル杭施工時の泥水およびベントナイト液の流出防止のため、シートパイル圧入を先行した。

(2)鋼矢板圧入は、無騒音無振動鋼矢板建込機 (シートパイラー) を使用した。また、シートパイルは、FSP5 L型 (19m) とSP4型 (16m) の併用とした。使用範囲はFig.8に示す。シートパイル圧入については、ケーシング (外径φ318.5) にシートパイルを添わせ、アースオーガーで削孔しながら押込装置により、無騒音無振動でシートパイルを押込み、ソイルセメントを注入し、削孔による空隙を埋める方法を採用した。(配合はTable 1参照)

(3)圧入時の問題点についての対策

周辺地盤および地下埋設物の沈下については計画当初から、圧入時、掘削時、および引抜時の沈下が心配された。そこで圧入期間中各測点で沈下量の計測を行ったが、ほとんど沈下は見られなかった。(Table 2参照)

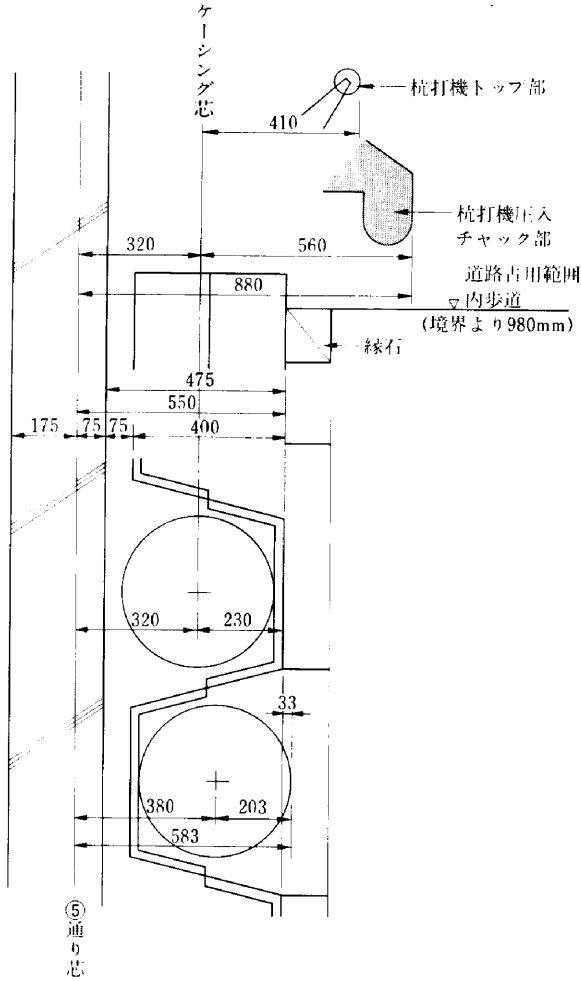


Fig.3 ⑤通り側シートパイル打設図

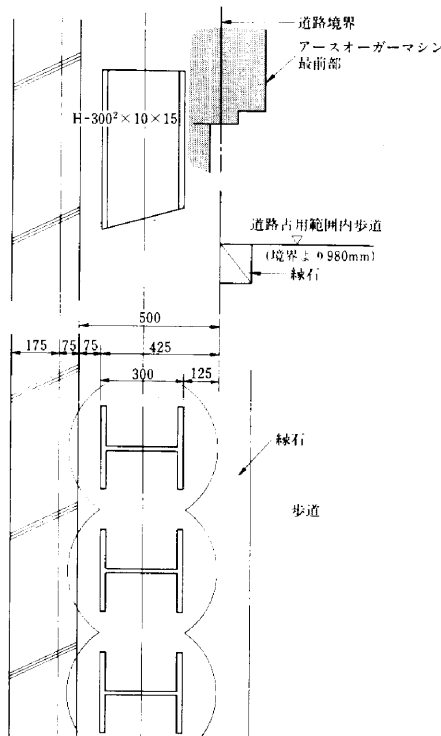


Fig.4 ⑤通り側連壁検計図

標高 16m-0.09m  
 調査年月日 58年11月  
 孔内水位 GL-1.95m  
 調査会社 東建地質調査株式会社

(無水観)

標尺 (m)	深 度 (m)	層 厚 (m)	柱 状 図	色 調 名	標準貫入試験					備 考	
					N 値	0	10	20	30		40
1				暗茶褐	3						
2				暗緑灰	4						
3				理 土	3						
4					6						
5	4.60	4.60		茶 褐	1						
6	5.35	0.15		腐 植 土	1						
7	6.70	1.35		暗 灰	1						
8					1						
9					1						
10				緑 灰	1						
11					1						
12					1						
13					0						
14					0						
15				暗 灰	0						
16					0						
17					1						
18					1						
19					0						
20				シルト	0						
21					0						
22					0						
23				暗 灰	1						
24					1						
25					0						
26					0						
27					1						
28					1						
29					1						
30					1						
31					1						
32					1						
33	2.60	25.90			2						
34					2						
35					3						
36				暗 灰	4						
37				砂質シルト	4						
38	38.85	6.25			6						
39	39.65	0.80		暗 灰	7						
40				暗 灰	5						
41					5						
42				蜀 灰	3						
43				シルト質粘土	3						
44	44.43	4.78		緑 灰	6						
45	44.68	0.25		砂 質	50						
46					50						
47				シルト岩 (土層)	50						
48				緑 灰	50						
49	49.65	4.99		暗青灰	50						
50	50.20	(0.55)		粗 砂	50						
51											
52											
53											
54											
55											

Fig.5 土質柱状図

次に敷地一杯に圧入する点については、Fig. 1 に示すように、手前側シートパイルについては裏面をオーガー削孔し圧入する。また、奥のシートパイルについては、シートパイルに履ピースを取付けて圧入することにより、隣接建物に設置してある配管からシートパイル外面まで55mmと近接して圧入することができ、当初の計画を満足した。(Photo 1参照)

(4) 施工中のトラブル発生および処置

(i) 圧入機の作業範囲は鉄板1.5m×6m、厚さ25mmを敷き並べて作業床としたが、建込時に荷重のかかる機械先端部が沈下して建入れが悪くなり、最悪の時は機械が転倒しかねない状態が生じた。そこで特に地盤が軟弱な部分には、地表から約1mの深さまで地盤改良を行い、これに対処した。

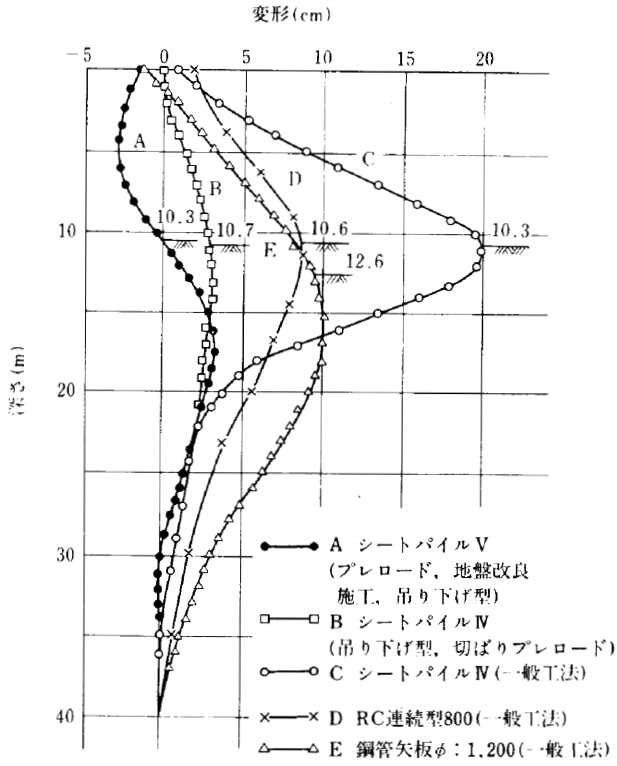


Fig.6 根切り時の山留壁の挙動(横浜市閩内)

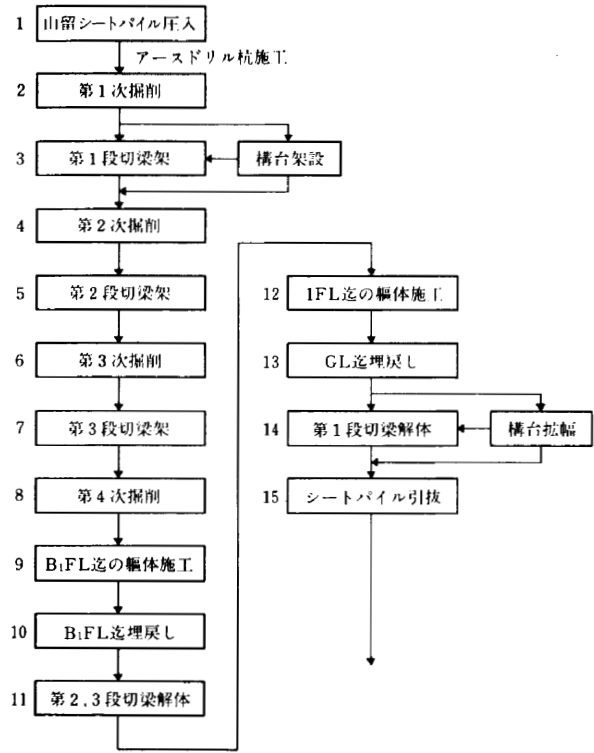


Fig.7 地下工事作業手順

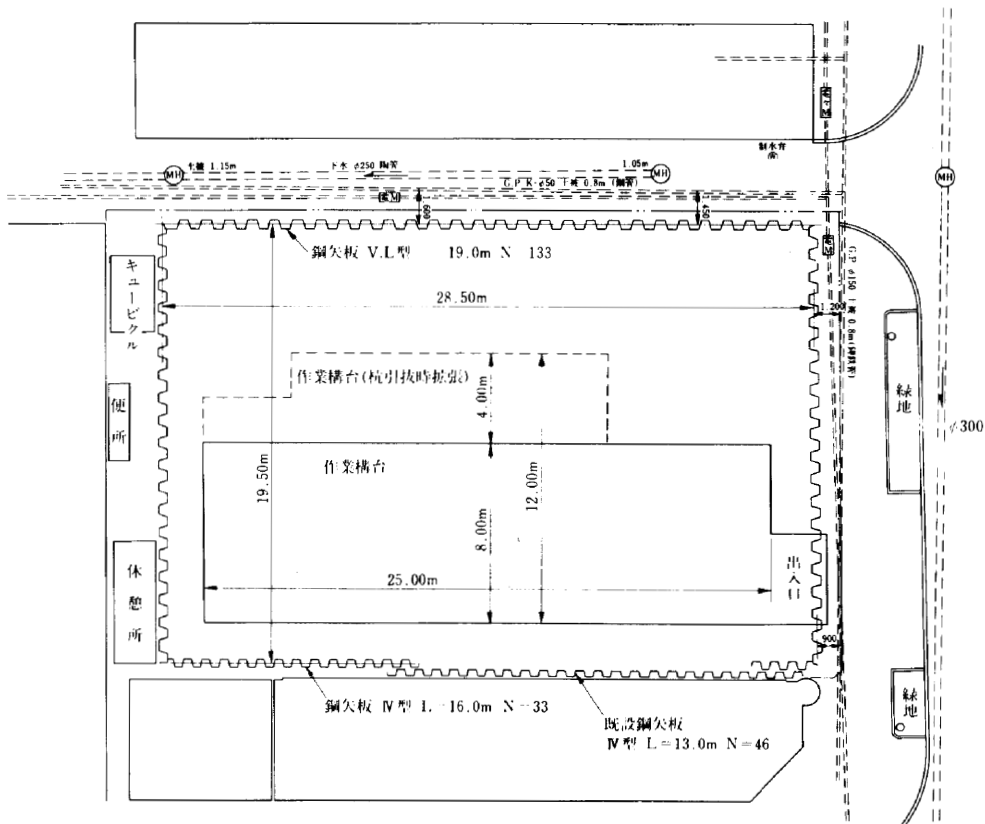


Fig.8 シートパイル設置図

Table 1 ソイルセメント配合表(矢板圧入時)  $1m^3$ 当り

セメント	フライアッシュ	ペントナイト	イントルジョシエイド	水
120kg	640kg	100kg	2.5kg	700ℓ

1本の杭の使用量 0.5 $m^3$

Table 2 地盤沈下量測定結果

(単位: mm)

各測点での沈下量	引抜機矢板からの距離											
	1m		2m		4m		5m以上		1m		2m	
	掘削完了時	埋戻し完了時	掘削完了時	埋戻し完了時	掘削完了時	埋戻し完了時	掘削完了時	埋戻し完了時	掘削完了時	埋戻し完了時	掘削完了時	埋戻し完了時
3	5	25	0	0	3	0	0	3	0	0	0	2
2	3	23	0	2	9	1	1	6	0	0	0	0
2	2	18	0	1	6	1	1	5	0	0	0	0
1	3	13	0	0	3	0	0	1	0	0	0	1
0	2	9	1	1	8	0	0	2	0	0	0	0
0	1	9	0	1	6	2	2	9	0	0	0	0
1	3	10	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
2	5	21	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
5	8	16							0	0	0	0
4	5	15							0	0	0	0
1	1	15							0	0	0	0
5	5	20							0	0	0	0
0	3	10							0	0	0	0
0	1	4							0	0	1	1
0	1	4							0	0	1	1
3	5	20							0	0	0	0

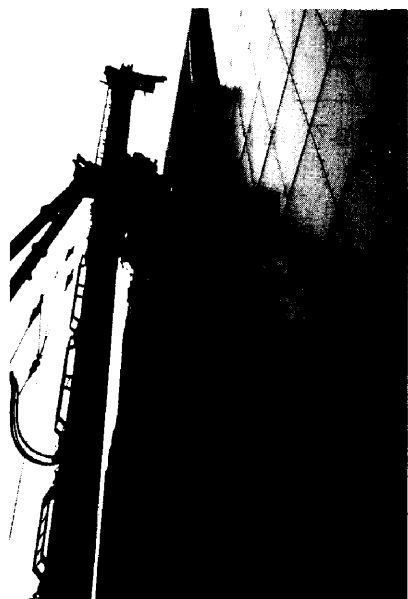


Photo 1 近隣建物一杯に施工されたシートパイル圧入作業

(ii)敷地南側ビルの建設に使用した古いシートパイルが、当敷地内に越境して残っていることが施工の途中で判明した(Photo 2参照)。シートパイルを引抜かなければ所定の位置に圧入ができず、建物の面積が小さくなってしまおうという問題が生じた。そこで南側ビルを施工した建設会社の記録を調べると同時に、超音波探査器によりシートパイルの長さを調査した結果、13mであることが分かった。次に引抜くことを検討したが、シートパイルが建物に接触しており、建物を損傷させる恐れがあるため、引抜きを断念した。そこで既存シートパイルを使用する方針で山留の計算を再度行った結果、Fig.9

のような建物との関係から、既存シートパイルは使用できることがわかった。また、近接建物の周囲に埋戻してある山砂が、掘削中流入してこないように、既存シートパイルと新設シートパイルを約2mラップさせ、GL-6.5mまでの透水層部分に、薬液注入を行った。



Photo 2 地中障害物除去の際に出現した既存シートパイル

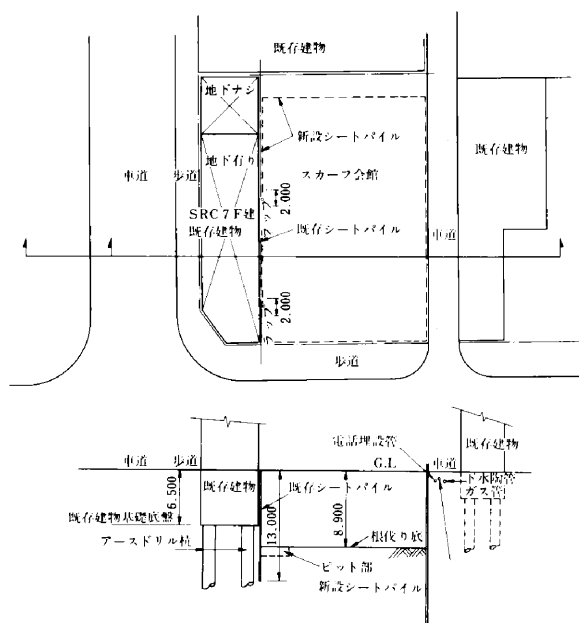


Fig.9 隣接建物と既存シートパイル位置

### § 6. 掘削および切梁架設工

掘削工は四次に、切梁架設工は三次に分けて施工した。(Fig.10, Fig.11参照)山留鋼矢板には傾斜計(4ヶ所)

を取り付け、掘削状況、切梁状況の変化に応じて測定した。測定値はパーソナルコンピュータに入力し、変位図を求めた。また、1段梁および2段梁には土圧計を取付け、測定を行った。

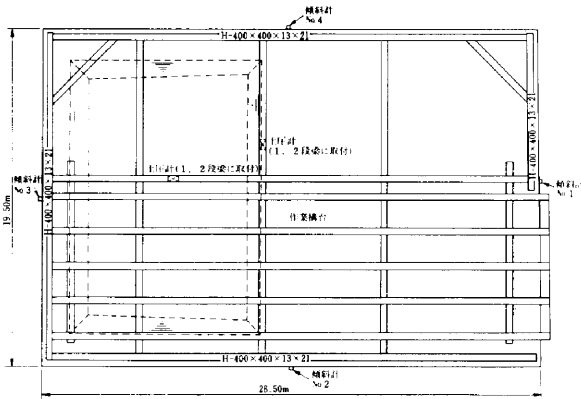


Fig.10 傾斜計、土圧計取付位置

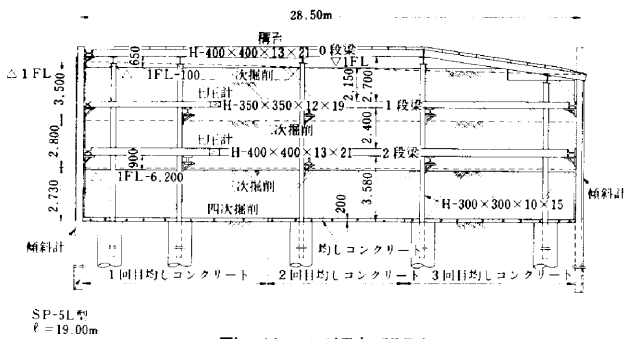


Fig.11 切梁架設図

(1)一次掘削

一次掘削は0.7m<sup>3</sup>積バックホーにて行った。鋼矢板の変位は、掘削前を初期値として測定を行ったが、変位は認められなかった。

(2)0段梁および作業構台架設

0段梁および作業構台架設完了まで、鋼矢板の変位は認められなかった。

(3)二次掘削

二次掘削は地下に0.3m<sup>3</sup>積バックホーを、構台上には0.7m<sup>3</sup>積バックホーを設置した。掘削完了時での鋼矢板の変位をFig.12に示す。(傾斜計は4ヶ所設置してあるが、代表的なNo.4の結果について以後記す)

(4)1段梁架設工

1段梁にはFig.10, Fig.11に示すように土圧計を取付け、設計土圧の70%のプレロードをかけ、毎日測定した。設計土圧は、長辺方向87tf/本、短辺方向142tf/本であり、プレロードは長辺方向87tf/本×0.7≒60tf/本、短辺方向142tf/本×0.7≒100tf/本とした。土圧計の測定

結果をFig.13に示す。また、この時の鋼矢板の変位(プレロード前,プレロード後として表わした。)をFig.14に示す。

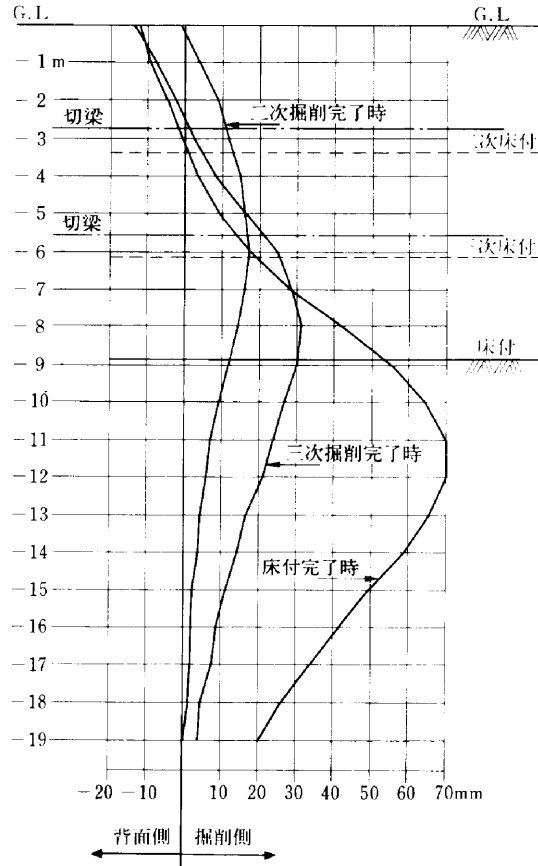


Fig.12 掘削に伴う鋼矢板の変位(No.4)

(5)三次掘削

三次掘削は地下に0.3m<sup>3</sup>積バックホーを、構台上には0.6m<sup>3</sup>積クラムシェルを設置した。掘削完了時での鋼矢板の変位をFig.12に示す。

(6)2段梁架設工

2段梁にはFig.10, Fig.11に示すように土圧計を取付け、設計土圧の70%のプレロードをかけ毎日測定した。設計土圧は、長辺方向195tf/本、短辺方向320tf/本であり、プレロードは長辺方向195tf/本×0.7≒130tf/本、短辺方向320tf/本×0.7≒210tf/本とした。土圧計の計測結果をFig.13に示す。また、この時の鋼矢板の変位をFig.14に示す。

(7)四次掘削 (床付)

四次掘削は、三次掘削と同様に地下に0.3m<sup>3</sup>積バックホーを設置し、構台上には0.6m<sup>3</sup>積クラムシェルを設置した。掘削は、シートパイルのタワミを最小限に押えるため平面的に3分割し、まず最初の1/3を掘削する。床付

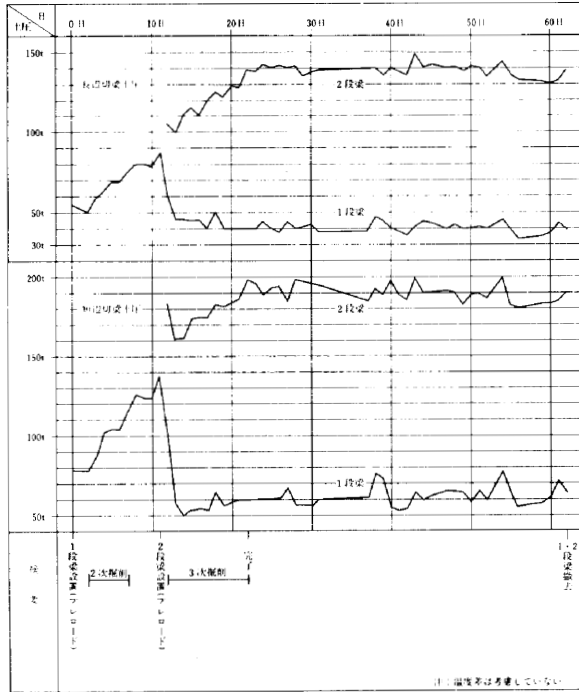


Fig.13 土圧測定結果

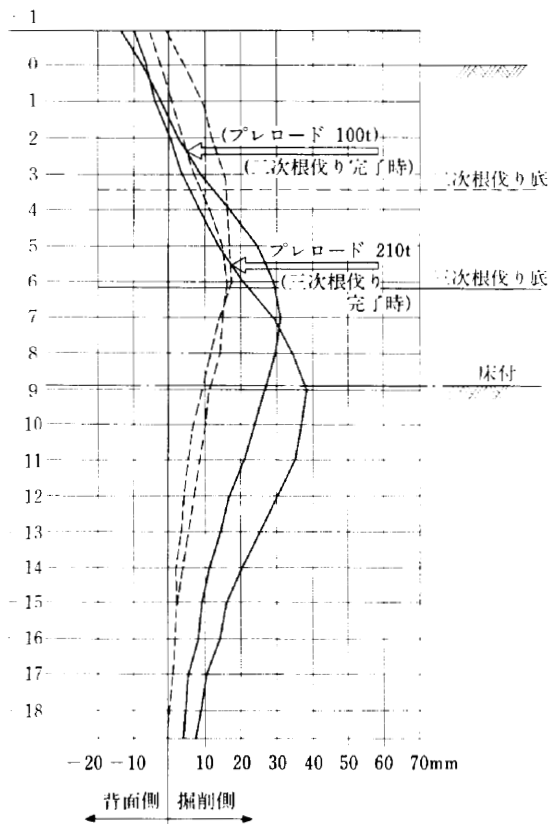


Fig.14 プレロードに伴う鋼矢板の変位 (No. 4)

が終了した日に捨コン (厚さ約250mm) を打設し、シートパイルの支圧盤とした後に、次の1/3区画の掘削をし、前区画と同じサイクルで作業をする。これを全工区の捨コ

ン打設まで繰返す。

なお、掘削完了時における鋼矢板の変位をFig.12に示す。

(8)切梁解体工

(i) 1, 2段梁解体工

構造物が1FL-6.2m (Fig.9参照) まで完成した後、1段梁、2段梁を解体した。また、この時の鋼矢板の変位 (切梁解体前、切梁解体後として表わした) をFig.15に示す。

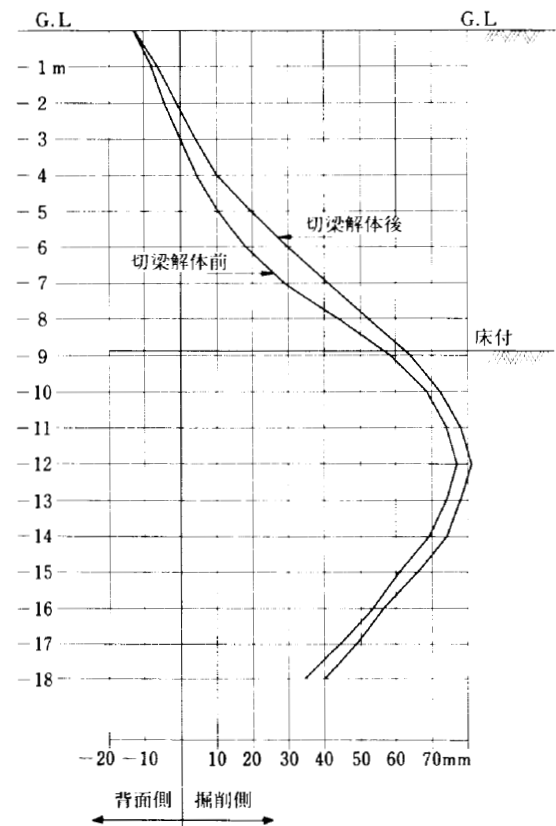


Fig.15 切梁撤去による鋼矢板の変位 (No. 4)

(ii) 0段梁解体工

構造物が1FL-0.1m (Fig.9参照) まで完成した後、0段梁を解体した。この時の鋼矢板の変位は認められなかった。

(iii) 切梁解体の結果

上記の鋼矢板の変位 (実測値) と計画時での鋼矢板の変位 (計算値) とをグラフで比較してみると (床付完了時) Fig.16のようになる。

§ 7. 鋼矢板引抜工

鋼矢板の引抜では、前述のとおり計画時点で最も大きな沈下が予想された。特に引抜跡の穴および土の緩みの

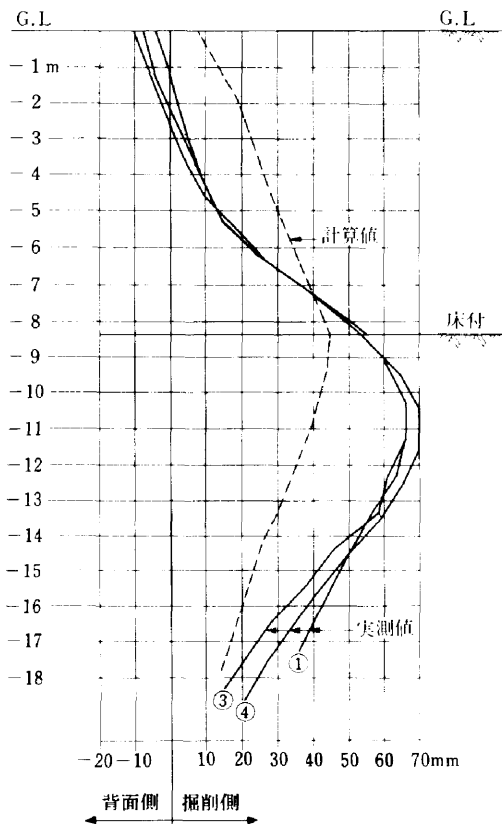


Fig.16 鋼矢板変位の計算値および実測値

処置が重要なポイントとなった。これに対処するため次のような工法を行った。鋼矢板引抜には、40tf吊クローラークレーン（ブーム長さ16m）に無振動無騒音杭抜機（アポロン）を装着したものを使用した。また、鋼矢板引抜孔への注入ロッド打込みは、40tf吊クローラークレーン（ブーム長さ25m）に20psパイプロを装着したものを使用した。使用機械をTable 3に記す。

Table 3 鋼矢板引抜機械の仕様

機 械 名	型 式	用 途
クローラークレーン	D308-85M	40t吊16mブーム(アポロン取付用)
アポロン	NV-101A	最大引抜力 243tf
クローラークレーン	D308-85M	40t吊25mブーム(注入及び引抜用)
モルタルプラント	PM2-15型	攪拌容量 1,000ℓ
モルタルポンプ	PM2-15型	吐出圧 14kgf/cm <sup>2</sup>
注入ロッド	製作	外径φ150, 内径φ45, ℓ=18.9m
コンプレッサー	30ps	
パイプロ	20ps	

7-1 施工順序

(1)鋼矢板引抜工

A鋼矢板を杭抜機にて腰切りを行い、補助クレーンにて引抜く。(ソイルセメント注入を、鋼矢板引抜と同時に行わなかったのは、初めの1枚のみである) 引抜の際、

杭抜機の反力は隣りの鋼矢板、または躯体壁より取った。

(2)注入ロッド打込工

補助クレーンにパイプロ (20ps) を取付け、A鋼矢板引抜孔に注入ロッドを打込む。(この時のパイプロ使用は2~3秒/回、2~3回行った)

(3)鋼矢板引抜および注入工

B鋼矢板を杭抜機にて腰切りをすると同時に、A鋼矢板引抜孔に打込んだ注入ロッドから、ソイルセメントを注入する。腰切り後、補助クレーンにて引抜きを行うが、この間もソイルセメントの注入を行い、地表よりあふれ出たのを確認して注入完了とした。この時のモルタルポンプ圧は、4~7kgf/cm<sup>2</sup>であり、注入量は1枚当たり0.9m<sup>3</sup>であった。また、配合をTable 4に記す。

Table 4 ソイルセメント配合表(矢板引抜時)

1m <sup>3</sup> 当り				
セメント	フライアッシュ	ベントナイト	イントルジョンエイド	水
120kg	640kg	100kg	1.6kg	632ℓ

(4)注入ロッド引抜および打込

補助クレーンにてA鋼矢板引抜孔より注入ロッドを引抜き、(この時も、ソイルセメントの注入を行い、地表よりあふれ出たのを確認する) B鋼矢板引抜孔へ打込む。



Photo 3 シートパイル引抜跡に注入ロッドを挿入しソイルセメント注入



7-2 結果

(1)ソイルセメント注入 (Photo 3参照)

引抜かれた鋼矢板に付着した泥は、大小様々ではあったが、平均すると1枚当り0.05m<sup>3</sup>であった。また、引抜かれた鋼矢板の体積は0.25m<sup>3</sup>であり、1枚当りの注入量は0.9m<sup>3</sup>であったことから、 $0.9\text{m}^3 - (0.25\text{m}^3 + 0.05\text{m}^3) = 0.6\text{m}^3$ のソイルセメントが土中に注入されたことになる。これは、当地盤のモルタル注入率を20%と仮定すれば  $(0.6\text{m}^3/\text{枚} \times 2\text{枚}/\text{m} \div 18\text{m}) \div 0.2 = 0.33\text{m}^3/\text{m}$  となり、鋼矢板を狭み、約30cmのセメント注入が行われたと推定される。

ソイルセメントの圧縮強度は、3種(セメントのみ、セメント50%山砂50%、セメント50%発生シルト50%)のテストピースを採取、試験したが、いずれも7kgf/cm<sup>2</sup>

(材令14日)程度であった。

(2)近隣地盤の沈下状況

鋼矢板引抜後の地盤沈下は、当初若干沈下したが、それ以後の進行は認められなかった。測定箇所は、埋設ガス管、下水管底、地山、アスファルト道路縁石と様々ではあったが、引抜鋼矢板よりの距離別に分けると、Table 2のような結果となった。

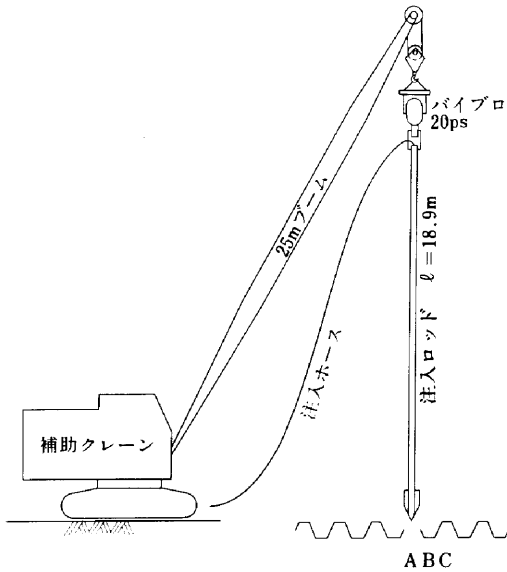


Fig.17 注入ロッド打込

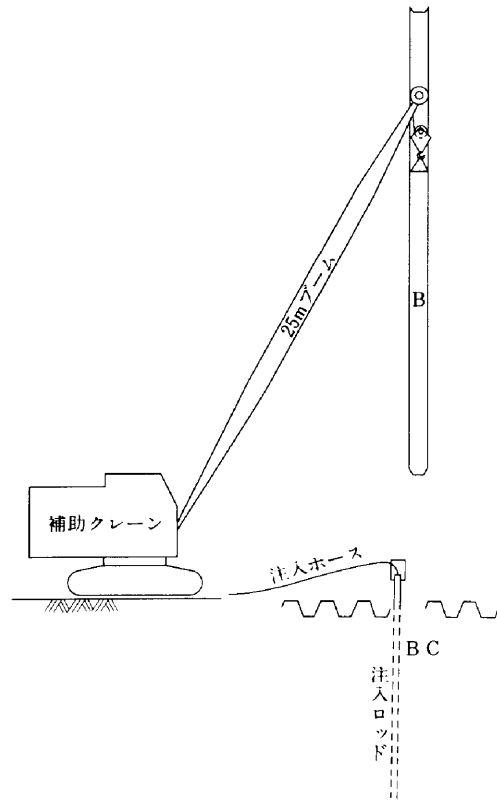


Fig.19 B鋼矢板引抜

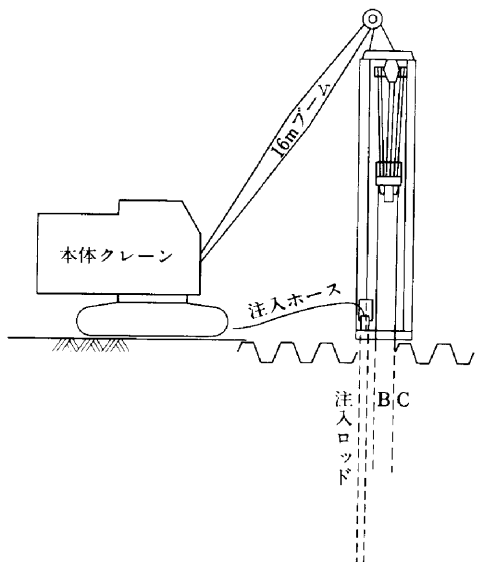


Fig.18 B鋼矢板腰切り及びソイルセメント注入

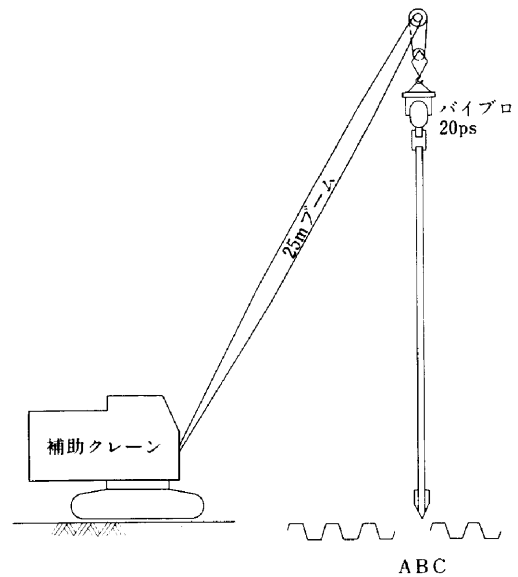


Fig.20 注入ロッドの移動