

## 先行切梁工法を用いた地下掘削の施工

### Underground Excavation by Preceding Shore Method

宇留賀 好永\*  
Yoshihisa Uruga

池田 充\*\*  
Mitsuru Ikeda

有坂 七郎\*\*\*  
Shichirō Arisaka

#### 要 約

横浜市関内地区で関内礫層と称される沖積砂礫層 (GL-1.5m~GL-6.5m) の上部に直接基礎で支持されている RC4F と RC7F ビルに挟まれた敷地に建てた SRC9F/B1 (掘削深さ GL-12.5m) の地下工事において、隣接ビルへの被害防止のため JSG 工法による地盤改良を、掘削深度中間部と掘削底直下の軟弱地盤内に改良厚1.0m~1.5mで掘削前に施工し、これを先行切梁とみなすことにより山留め壁の変位を押さえ、良好な結果を得ることができた。

この工法は、軟弱地盤における大深度の掘削や隣家のアンダーピンニングに、多大な工費が要する場合には有効な工法の一つと思われる。

#### 目 次

- §1. はじめに
- §2. 工事概要
- §3. 地下工法の選定
- §4. 施工順序
- §5. 山留め造成工事
- §6. 地盤改良工事
- §7. 根切、山留め工事
- §8. 計測管理
- §9. おわりに

#### §1. はじめに

市街地の建築地下工事では、隣接建物の基礎(杭)支持地盤下部を接近して掘削しなければならないことは避けられないが、工事に起因して隣接建物に被害をおよぼすと、復旧・補修とその工事期間の補償に要する費用は莫大なものになることは、過去の例が示すとおりである。

本建物敷地は JR 根岸線「関内駅」東北約600m程に位

\*東京建築(支)本町ビル(出)工事係長  
\*\*東京建築(支)本町ビル(出)所長  
\*\*\*東京建築(支)建築課長

置し、国道133号に面して両側に昭和5年頃に建てられた RC 4階の官庁ビルと RC 7階の民間事務所ビルとが敷地境界に接して建てられており、両ビルとも沖積砂礫層の GL-1.8m 付近に直接基礎で支持されている。

本建物は地下1階、地上9階の SRC造であり、基礎杭は拡底現場造成杭である。地下は駐車設備が設置されるため、掘削深さは GL-12.0m (一部12.5m) と比較的深く、軟弱層に達する根切りとなる。したがって、隣接建物の沈下や傾斜が予想され、被害防止対策が最大の課題となり、そのため、設計時に地下工事の基本施工法を決定して地下外壁線を定めた。以下に地下工法の選定経過と地下工事完了までの施工結果を報告する。

#### §2. 工事概要

工事名称	横浜本町ビル新築工事
工事場所	横浜市中区本町4-35, 36
敷地面積	44,292m <sup>2</sup>
延床面積	4,128,472m <sup>2</sup>
構造規模	SRC造, 地下1階, 地上9階, PH 1階
設 計	(株)長谷川工務店
施 工	西松建設(株)東京建築支店

### § 3. 地下工法の選定

#### 3-1 敷地の状況と地盤構成

基本設計段階で行った近隣調査、地盤調査および追加地盤調査の結果を Fig. 1, Fig. 2 および Table 1 に示す。

#### 3-2 隣接ビル養生と山留工法の決定

隣接建物の基礎(杭)下部を約11.0m掘削するため、隣接建物の養生は不可避なことであるが、建物下部へのアンダーピンニングは、工費と効果の面で疑問があり、本敷地内での対処でいかに山留め壁の変位を押さえることができるかが、その成果のかぎとなる。

山留め壁の変形は、各掘削段階での山留め壁の撓みと支保工の弾性変形及び各段掘削底以深の掘削側地盤の変形の和であるから、支保工に最大軸力に近いプレロードを導入し山留め壁の剛性を出来るだけ高め、掘削地盤を高強度に改良すればその目的は達成される。しかし掘削内部の地盤改良を全山留め壁長に対して行うことは、工費と工期及び場所打ち杭との関連で問題がある。また、山留め壁の剛性を高めることは壁厚を大きくすることになり、地下室面積が小さくなり要求面積にこたえられないことになる。そこで、地下外壁外面を敷地境界より両ビル側は600mm、道路側は500mmと設定して施工した時の山留め壁の状態を RC 連壁とソイル柱列について検討した結果、剛性耐力ともに大きなソイル柱列を本工事の山留め壁として採用することにした。

掘削部地盤改良に対しては、山留め壁の最大変形量を計算値15mm以内(実測値では計算値の2/3程度と考えて)に

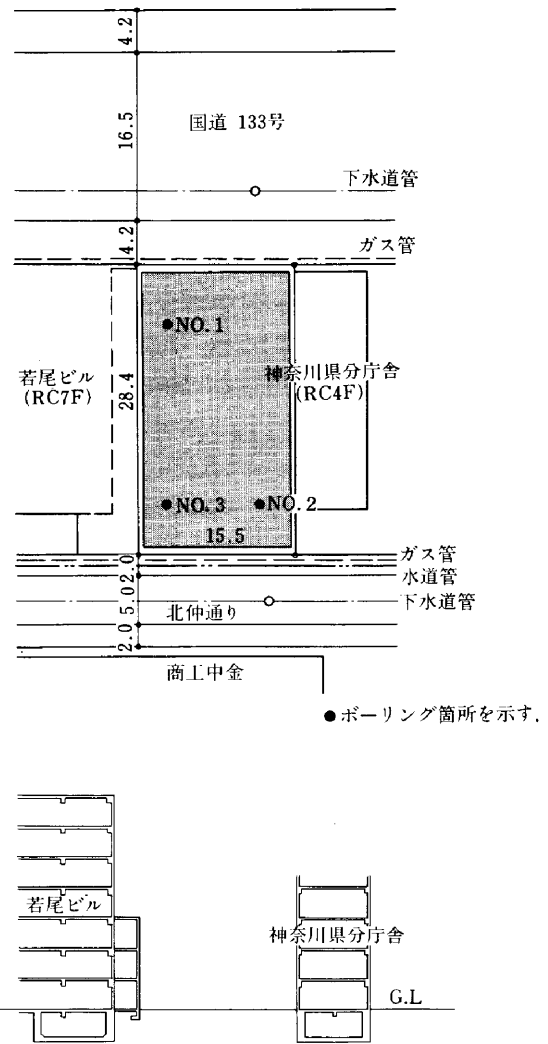


Fig.1 近隣状況図

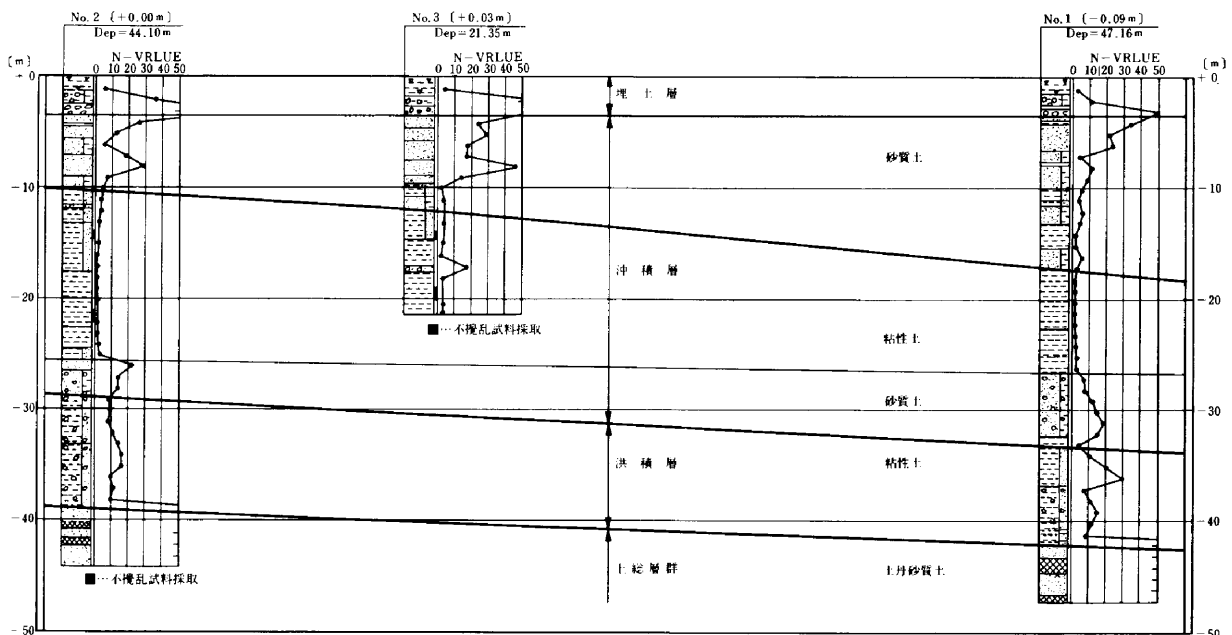


Fig.2 土層断面想定図

Table 1 室内土質試験結果一覧表

ボーリングNo.		No. 2		No. 3	
採取位置	深 度 (m)	14~15	19~20	14~15	21~22
	標 高 (m)	仮BM-14~-15	仮BM-19~-20	仮BM-14~-15	仮BM-21~-22
対象土層	土 質 名	砂質粘土	粘 土	砂質粘土	粘 土
	地 層 名	沖積層	沖積層	沖積層	沖積層
	N 値	4	3~4	2~3	1~2
粒度特性	礫 分 (%)	0	0	0	0
	砂 分 (%)	27	39	38	13
	シルト分 (%)	25	33	37	35
	粘土分 (%)	48	28	25	52
液性限界 $W_L$ (%)		75	60	55	86
塑性限界 $W_P$ (%)		31	29	31	45
含水比 $W_w$ (%)		56	67	45	86
湿潤密度 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )		1.7	1.6	1.7	1.5
間 隙 比 $e$		1.6	1.9	1.2	2.1
一軸圧縮強さ $q_u$ (kgf/cm <sup>2</sup> )		2.1	2.0	1.6	1.6
変形係数 $E_{50}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )		192	109	84	86
三軸 (UU)	粘着力 $C$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	1.0	1.0	0.7	0.8
	せん断抵抗角 $\phi$ (度)	2	2	4	5

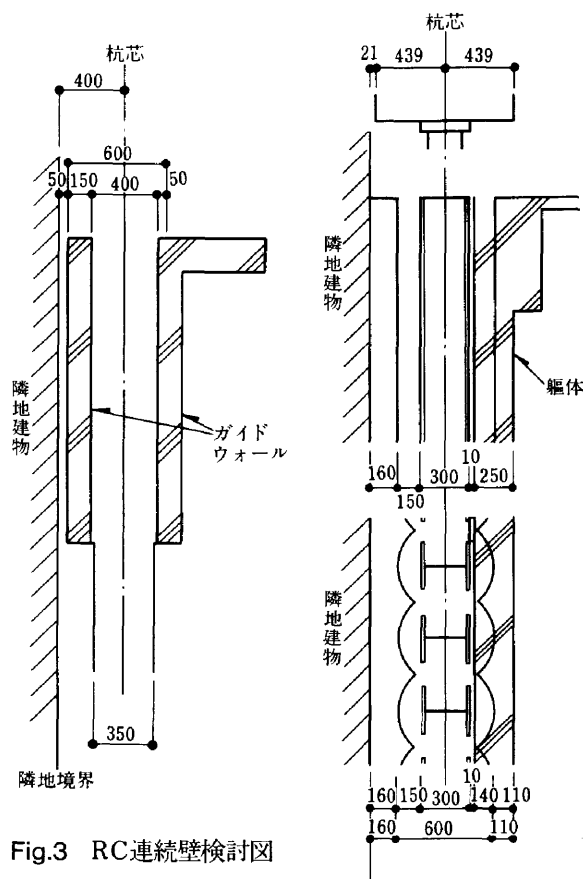


Fig.3 RC連続壁検討図

Fig.4 ソイル柱列連壁検討図

なるように種々試算した結果、高強度の地盤層が掘削深度中間部のやや軟弱な部分と根切底に存在すれば計画変位量でおさまるので、この高強度地盤を地盤改良で人工的に造成することにした。この地盤改良は強度の信頼性が高く、かつ施工誤差が少なく、場所打ち杭が造成されてあっても杭に損傷を与えることがなく山留壁に密着するものが要求される。この条件を満たす工法として JSG 工法を選定した。この改良地盤は、切梁掘削前に架設したのと同様な結果となるので、これを先行切梁と呼ぶこととする。

§ 4 . 施工順序

地下工事の施工は隣接ビル (RC7F) の接地圧が13.0 t/m<sup>2</sup>と大きいので隣接養生を優先させるため、山留壁の造成より開始し、杭工事、先行切梁(地盤改良)工事、掘削工事と進めた。工事工程と各工事での重点管理項目を Table 2, Table 3 に示す。

§ 5 . 山留め造成工事

山留壁造成機には既存壁面に接近施工ができるように改良した特殊多軸オーガー (3軸) 機を用いた。既存壁

Table 2 土工事工程表

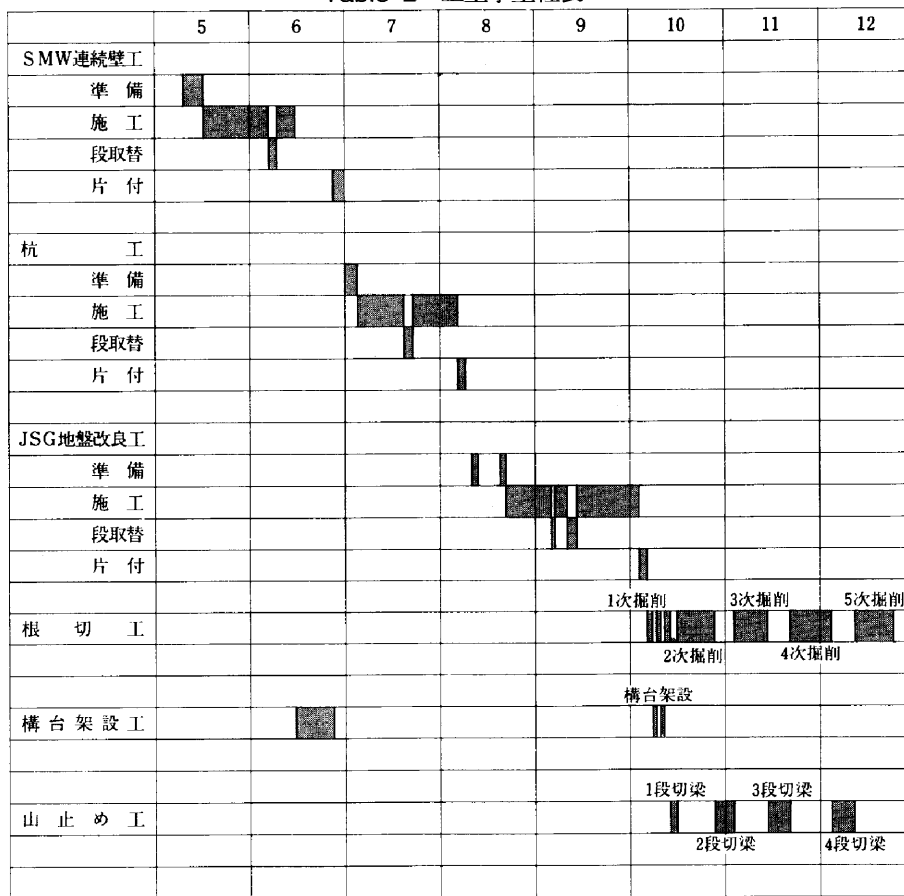


Table 3 重点管理項目

工種名	重点管理事項	判定基準
山止め壁	1.固化材, スラリーの注入量 2.応力材の建込み精度	1.ソイルセメントミルクの液取り試験 掘進速度 1.0 m/min 2.ビル側 1/120 道路側 1/200
杭	1.空掘り部埋戻	1.材料 碎石又は粗砂材 時期 コンクリート打設1日後
先行切架 (地盤改良)	1.ジェットケーシングの建入精度 2.引上げ速度, 回転速度 3.造成圧力 4.杭体及び山留め壁との接合	1.1/100 2.砂層 28min/m 粘土層 21.5min/m 回転 10r.p.m 3.200kgf/cm <sup>2</sup> 4.土砂が介在しない接合部のボーリングコア試験
掘削	1.山止め壁の変位	1.傾斜測定変位1.0cm 隣家傾斜の増加1/500

面接近施工寸法を Fig. 4 に示す。

機械の組立て解体は夜間国道133号を一部使用して行った。ソイル強度は山留壁と先行切梁との接合部の必要強度により圧縮強度  $F_{28} \geq 10\text{kgf/cm}^2$  として注入スラリーの配合を定めた。実施配合及び施工実績は Table 4, Table 5 の通りであった。

### § 6 . 地盤改良工事

山留め壁内地盤上を水平に鋤取り、削孔位置の割付けに合わせて敷き並べたガイド H 鋼上に JSG 専用ボーリング機を据付け、建入れ精度を確保しながらジェットケーシングを継ぎ足し所定深度の GL-14.75m まで削孔した。その後ノズルを所定の速度で引上げながら所要改良強度が得られるように配合混練された硬化剤ミルク (JG-1号) をエアと共に高圧噴射させ、ジェットケーシ

Table 4 SMWセメントミルク配合 対象土 1㎡当り

材 料 名	配 合 量	
水	550 ℓ	汚物・塩分の含まれない水
セメント	250kg	
ベントナイト	10kg	

ングを1.5m引き上げ下部1.5mの地盤改良を行い噴射を停止して GL-7.75m までノズルを引き上げて再度回転噴射を開始し1.0m引き上げて上部1.0mの地盤改良を行った。これで1本の改良が完了したことになり、次の位置に移動して作業をくりかえす。施工順序は山留め壁接合部を施工した後、中央部から山留め壁側に施工した。

#### 6-1 有効径の設定

有効径の設定は、造成対象の土層および施工条件と土層の最大 N 値を基に設定した。当現場では Fig. 7, Table 8 から上段 (砂質土) 下段 (粘性土) とともに  $\phi 1500\text{mm}$  として施工した。

#### 6-2 施工準備

##### 1) 電力

3セットの稼働の電気容量を考慮して、注入プラント設備に200kVA 1台、ボーリングマシン、バキュームポンプ側に125kVA 1台の発電機を使用した。

##### 2) 用水

高圧ポンプ1セットあたり最大使用量が  $60\ell/\text{min}$  であるので、3セットあたり  $200\ell/\text{min}$  の水が供給できるように口径40mmの給水栓を準備した。

Table 5 SMW施工実績

施 工 箇 所	山止め水平延長 (m)	壁 (m) 長	壁 (mm) 厚	応力材ピッチ (mm)	山止め壁面積 (㎡)	施 工 日 数 (日)
若 尾 ビ ル	27.85	20	600	450	557	8
国 道 133 号	15.18	20	600	450/900交互	303.6	4
神奈川県分庁舎	27.85	20	600	450	557	8
北 仲 通	15.18	19	600	450/900交互	288.42	4
計	86.06	79			1706.02	24

\*実施日数は準備工4日、段取替3日、片付3日を必要とする。

Table 6 硬化材の種類

名 称	分 類	主な適用範囲	性 状	主な適用例
JG-1号	セメント系	強度発現型、通常地盤強化止水	高強度タイプ	底盤改良、歯抜け部、支持強化
JG-2号	セメント系	強度抑制型、通常地盤強化止水	中強度タイプ	発進到達防護、路線防護
JG-3号	セメント系	同 上	低強度タイプ	同 上
JG-4号	特殊セメント系	腐植土用、地盤強化止水	腐植土タイプ	底盤改良、歯抜け部、管路部

硬化材の標準配合 (1㎡当り)  
(JG-1号)

セメント	760kg
混和剤	12kg
水	750 ℓ

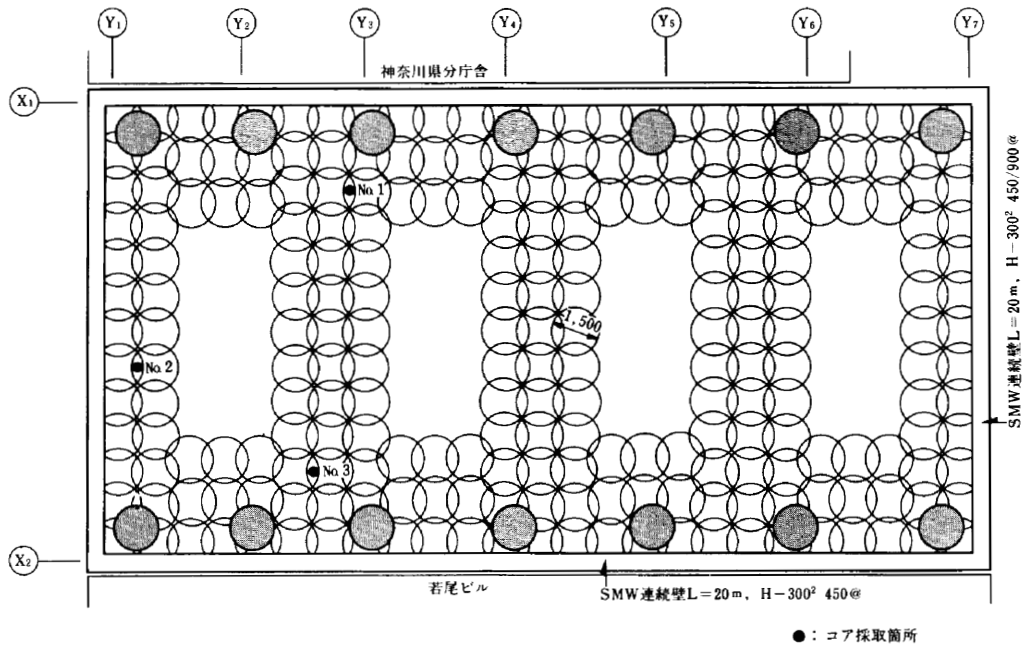


Fig.5 JSG地盤改良平面

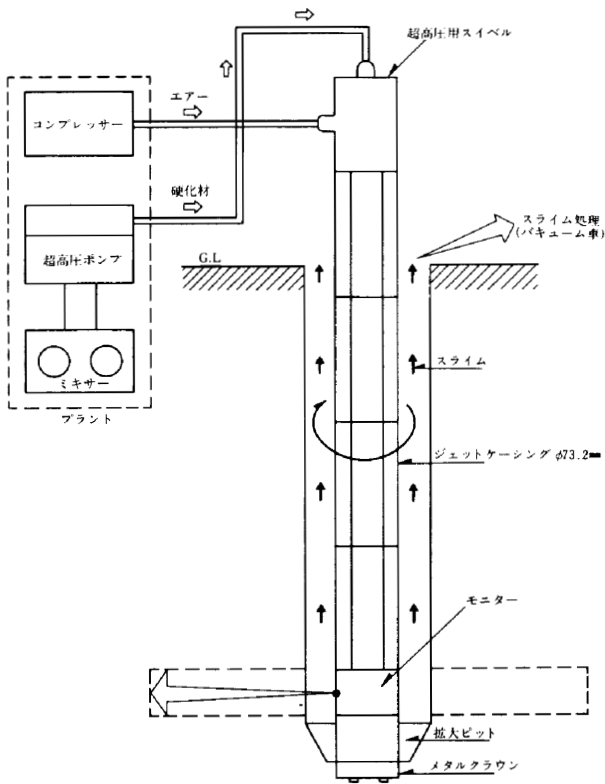


Fig.6 JSG注入系路

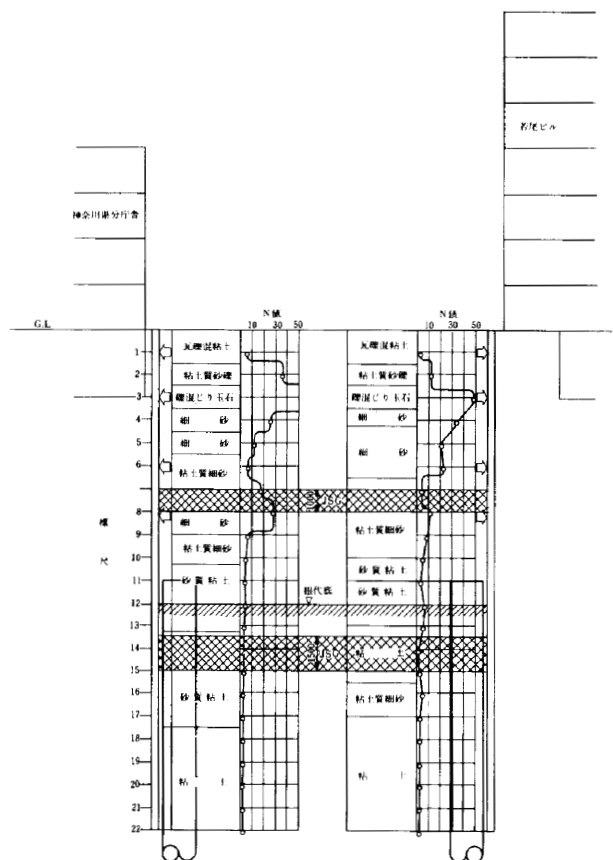


Fig.7 JSG施工断面・土質状況

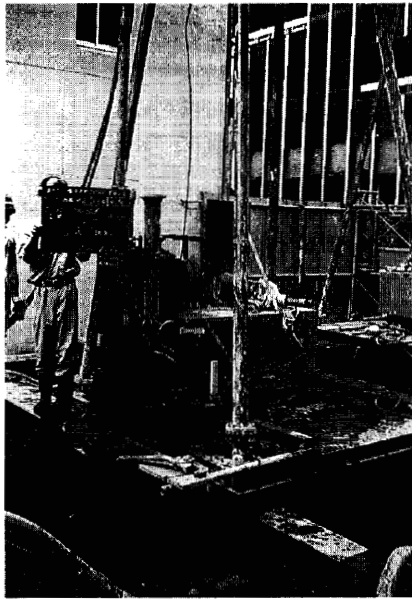


Photo 1 造成状況

3) マシン架台の設置

当現場においては、3セットの稼働スペースを考慮するとクレーンの配置が難しいため、ケーシングロット及びマシンの方向転換が可能なタワー付架台を使用し、施工ポイントに合せ H-200×200の鋼材を水平に設置した。

4) トレンチの掘削

掘削で発生するスライム処理がしやすいように、施

Table 7 JSG施工仕様

注入方式	高圧噴射注入方式
注入順序	ロッド引き上げ方式
吐出圧力	180~200 kgf/cm <sup>2</sup>
注入管径	φ60.5 mm
回転数	5~10 r.p.m
吐出量	60 ℓ/min
引き上げ速度	v=砂 28.0 粘土21.5 min/m
ノズル径	φ=2.8~3.2 mm

Table 8 土質条件による標準有効径

部位	土質	土質条件	標準有効径(mm)
上段	砂礫	—	1000±200
		N < 15	2000±200
	砂質土	15 ≤ N < 30	1600±200
		30 ≤ N < 40	1200±200
		40 ≤ N < 50	1000±200
下段	粘性土	N < 1	2000±200
		1 ≤ N < 3	1600±200
		3 ≤ N < 5	1200±200

□: 採用径

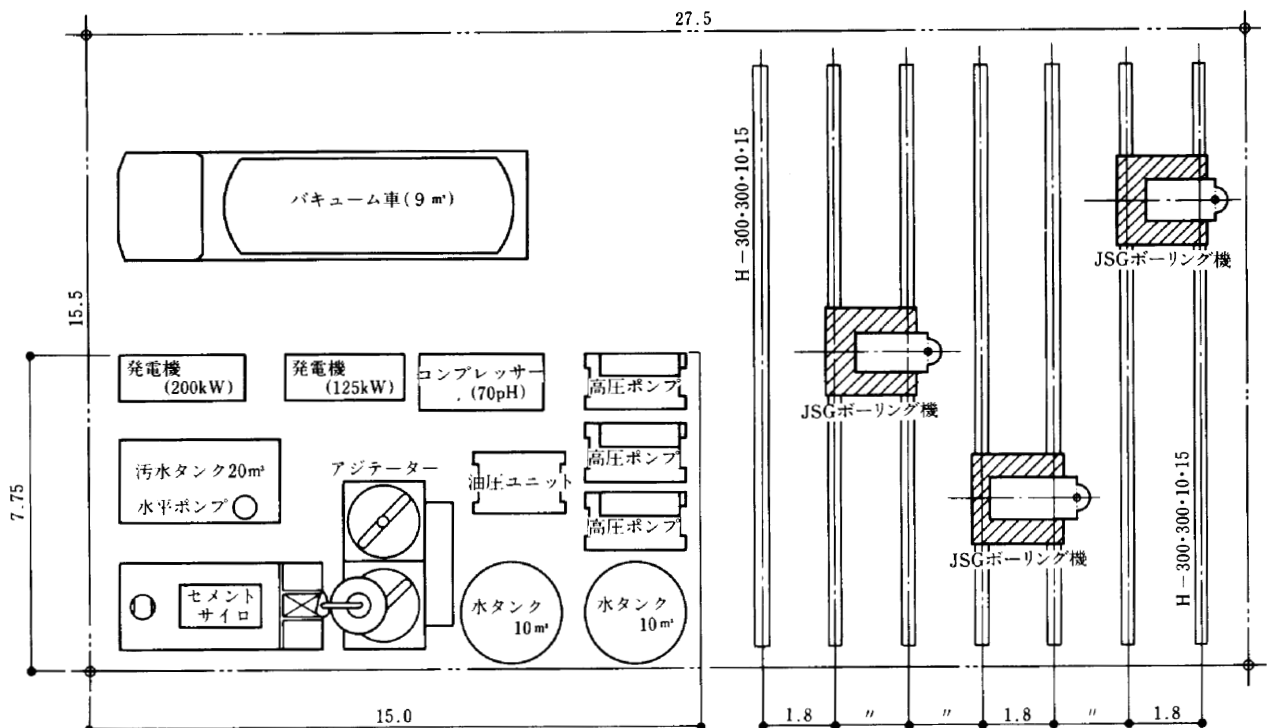


Fig.8 JSG仮設計画図

工ポイントの脇に巾1m, 深さ80cm程度の溝掘りをした。

6-3 施工順序

1)ボーリングマシン(荷台)の設置

所定のポイントにボーリングマシンをセットし, スラントルール(角度計)をあて, 垂直であるかを確認したのち削孔に移った。

2)削孔

地盤条件に応じたロッド回転とストローク速度でジェットケーシングをジョイントしながら計画深度まで削孔した。

なお削孔深度の確認は, ケーシングロッドの全長と, 作業床(マシン荷台)からの残尺で判断した。

3)噴射テスト及び定位置の噴射

削孔後, スチールボールをケーシングロッド内に投入して下端を閉鎖し, 横向き噴射ができるようにした後, 回転速度, 引き上げ速度を設定して噴射テストをし, 定位置噴射を行ってから造成に移った。

4)造成

所定の引き上げ速度及びノズルの回転により, パイルを造成した。

なお造成長の確認は, 削孔と同様に作業床(荷台)からの残尺により判断した。

砂層, 粘土層での引き上げ速度は, それぞれ28min/m, 21.5min/mとし, ノズルの回転は10r.p.mとした。

造成圧力に関しては, 常時200kgf/cm<sup>2</sup>を維持した, またエア圧力は, 7kgf/cm<sup>2</sup>を維持した, 実施造成結果を Table 9, 施工実績を Table 10 に示す。

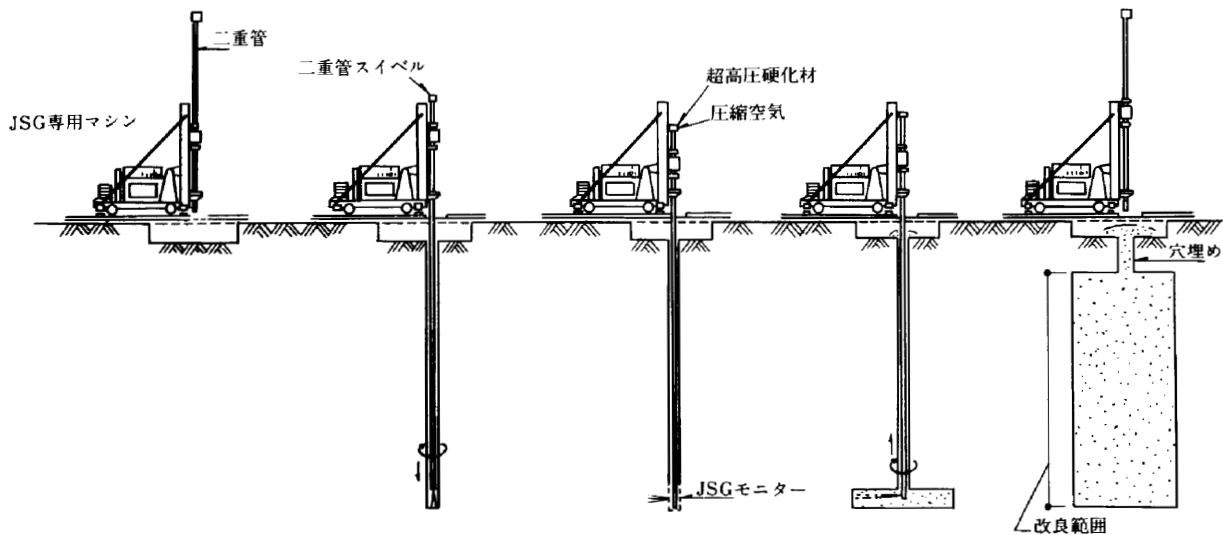
Table 9 JSG実施数量

JSG有効径		径1500mm
造成長	砂	$L_s=1.0m$
	粘土	$L_c=1.5m$
1本当たり噴射量		$Q=3840L$
施工本数		243本
延削孔長		3804.22m
延造成長		607.5m
総噴射量		933,120L
総使用量(使用バッチ)		940,000L
硬化材		JSG-1号

※削孔長はステージの高さを含む

Table 10 JSG施工実績

機 械	1号機	2号機	3号機
施工本数	83本	81本	79本
施工日数	30日	30日	28日
供用日	10日	10日	12日
人 工	120人	120人	120人



- ① 据 付 専用マシンを所定の施工位置に据付ける。
- ② 削 孔 地質条件に応じたロッド回転とストローク速度で計画深度まで削孔する。
- ③ 噴射テスト工 削孔後, スチールボール投入, 回転速度, 引き上げ速度を設定し, 噴射テストする。
- ④ 造 成 所定の引き上げ速度及びノズルの回転により, パイルを造成する。
- ⑤ ロッド引き抜き洗浄 造成完了後, 二重管ロッドを地上まで引き抜き, 管内を清水により洗浄する。

Fig.9 施工順序図(JSG工法)



5) スライム排出

施工に伴うスライムに関しては砂層、粘土層ともに、比較的水分を含んだものがほとんどを占め、当初の計画量より多い排出量となった。

スライムは、バキュームポンプにより予め場内に待機しているコンテナ車に積み替えて、指定された捨て場へ回送、処理した。

6) 硬化剤の配合

硬化剤は JSG-1 号の配合表をプラントに掲げ、セメント、混和剤(マイティー150)、水を所定の配合で作製した。

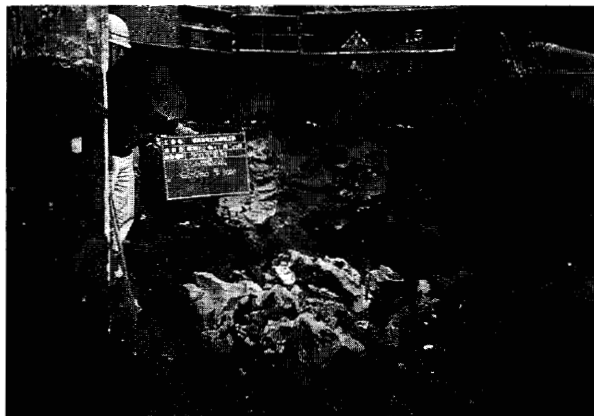


Photo 2 JSG地盤改良

6-4 硬化確認調査

JSG 杭が所定の深度に、所定の径が確保されているかを確認する目的で調査工を実施した。

位置は、杭と杭のラップ箇所を選んだ。

コアボーリングの結果、砂層 (GL-7.6~GL-8.6)、粘土層 (GL-13.65~GL-15.15) の位置でコアが採取された。

採取されたコアの 1 軸圧縮試験を実施した。結果は Table 11 に示すとおりであった。

§ 7. 根切、山留め工事

掘削は 5 次に、山留めは 4 段に分けて施工した。1 次掘削~3 次掘削までは一般的な地下工事の掘削と同様であったが、4 次掘削は先行切梁として造成した地盤改良盤の掘削が難行した。

当初改良計画強度を砂質土面 10kgf/cm<sup>2</sup> と設定していた JSG 強度が Table 11 で示すように 28kgf/cm<sup>2</sup> と予想以上に硬化していたため、0.1m<sup>2</sup> 程度のバックフォーでは掘削ができず、0.1m<sup>2</sup> バックフォー 2 台にジャイアントブレイカーを取付け、各段の土圧に注意を払いな

がら改良面の掘削を完了した。

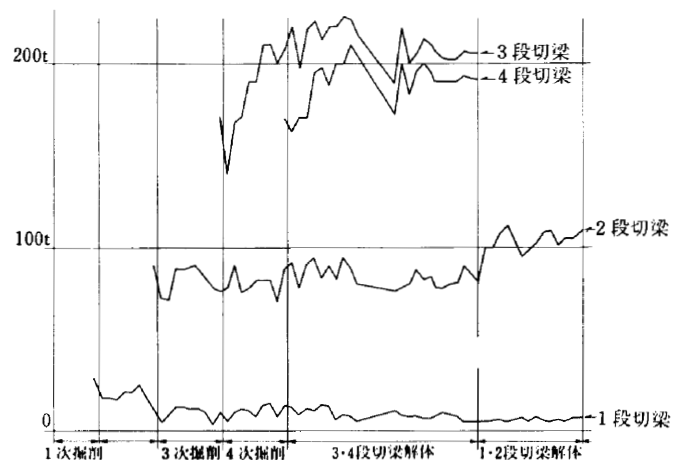
4 段切梁架設後 5 次掘削に入り、下段の改良面深度を確認しながら床付を行い、掘削を完了させた。3 段 4 段山留めの計画図を Fig. 10 に示す。

Table 11 一軸圧縮試験結果

砂 層		粘 土 層	
採取深度	GL-7.6~8.6	採取深度	GL-13.65~15.15
No. 1	40.466	No. 1	24.091
No. 2	15.586	No. 2	22.919
No. 3	—	No. 3	28.272
平均	28.0 kgf/cm <sup>2</sup>	平均	25.0 kgf/cm <sup>2</sup>

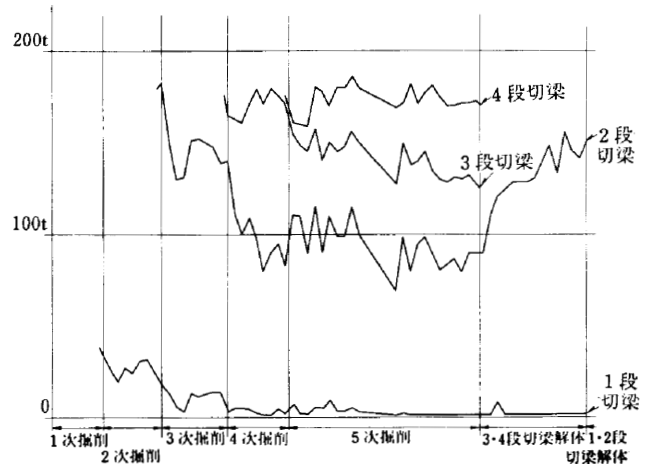
※上記砂層におけるコアにおいては、貝がらが介在したため、供試体が 3 ケ採取出来なかった。

(X方向)



(a) X方向

(Y方向)



(b) Y方向

Fig.12 切梁軸力測定

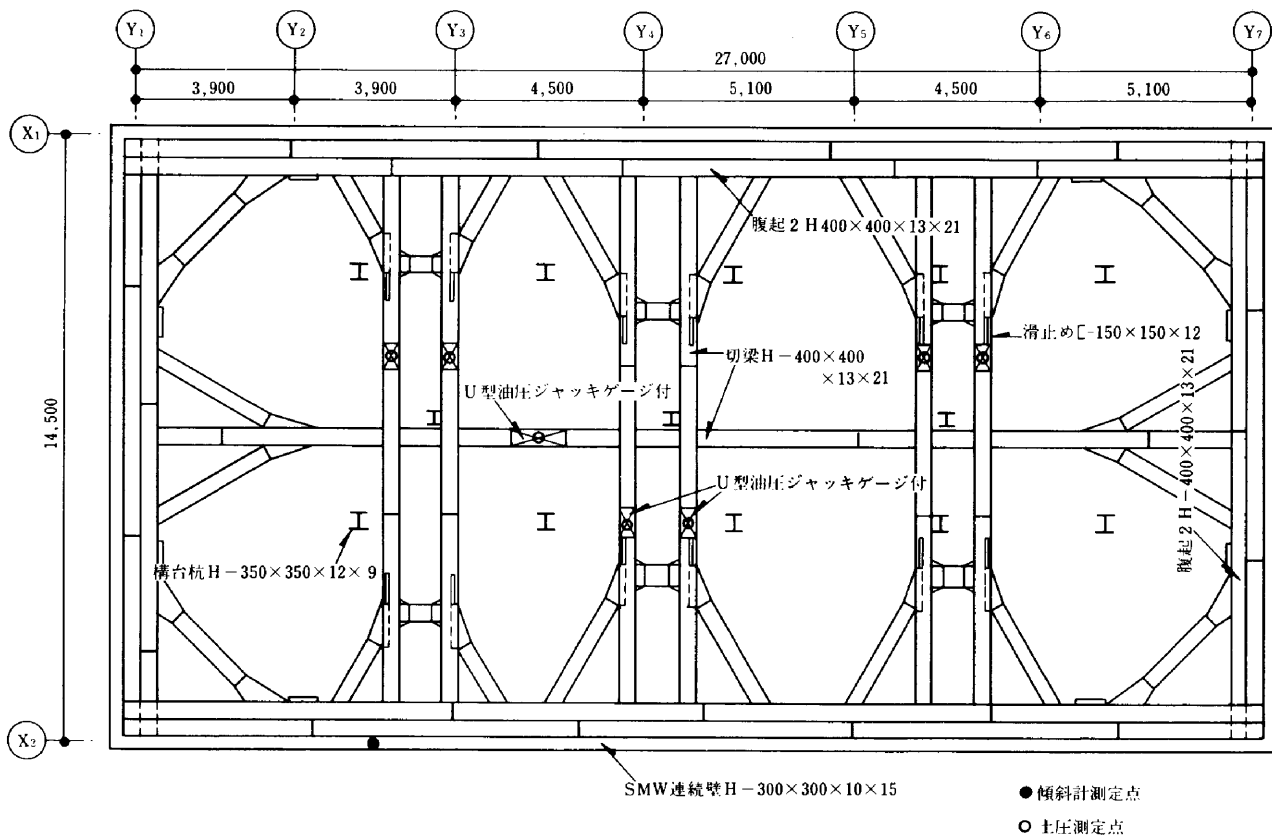


Fig.10 3.4段切梁架設計画図

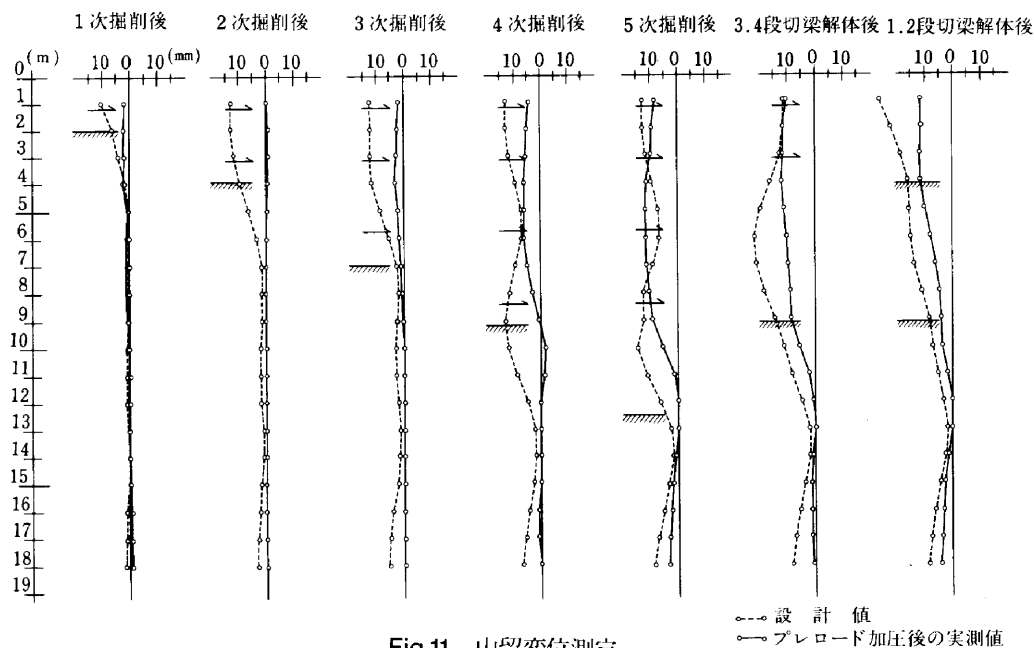


Fig.11 山留変位測定

## § 8. 計測管理

当工事は前述したように、山留め壁の変形により地盤面下において、大きな挙動が発生すると、地下埋設物や建物の変動につながるため、地下工事期間中の各段階において、地盤沈下、変位、山留め壁に作用する側圧、切梁の変形などを測定し、危険な兆候に対してはすみやかに処置がとれるよう対策を講じた。幸い今まで何もなく進行中である。

### 8-1 山留め壁の計測と切梁軸力

山留め壁の計測は挿入式傾斜計を使い、山留め壁の深度方向の変形を測定し、山留め先端 (GL-18m) を不動点として測定したものを現場で算出作図した。また、切梁軸力も土圧計を取付毎日2回測定した。以上各段階の変形の測定と土圧の変化を Fig. 11, Fig. 12 に示す。

## § 9. おわりに

JSG工法による先行切梁工法で高上載圧を受ける地下工事を実施して、隣接建物に被害を与えないという当初の目的を達成でき、山留め壁の変形も計画時の予想と図らずしも一致する結果で終了をみたことは、これからも本工法が有効に活用できると考えられる。