

ピストン式ポンプを使用した本格的ずり圧送方法

Transportation Method of Soil by a Piston Pump

中山 肇*
Hajime Nakayama

中山 努**
Tsutomu Nakayama

要 約

本報文は東京電力㈱発注による芝川横断管路新設工事において土圧バランスシールドの掘削土砂の搬出をピストン式ポンプを用いて切羽から地上土砂ホップまで配管内を連続圧送することに成功した工事の報告である。

目 次

- §1. はじめに
- §2. 概要
- §3. ピストン式ポンプ
- §4. ピストンポンプの検討
- §5. 圧送実績
- §6. 圧送適応土質についての考察
- §7. おわりに

§1. はじめに

埼玉県南部に位置する川口市は東京都に隣接しており、交通至便なことから中高層住宅の建設増加及び川口駅前再開発計画の具体化などに伴う電力需要の伸びが予想され、本工事はその電力供給対策として鳩ヶ谷変電所から新規に配電管路を築造するものである。新芝川の下越横断、住宅密集市街地の幅員狭隘な道路の直下での施工、さらにシールド通過位置が川口底地と呼ばれる極軟弱地盤であることなど、これら悪条件の中での安全かつ経済的な施工法が種々検討された結果、土圧バランスシールドによる掘進ならびにピストン式ポンプによる土砂圧送が採用された。また、切羽土圧の設定に対し自動的に制御できる掘削土量コントローラのシールド掘進機への導入及び掘削土量を瞬時に把握できるパーソナルコンピュータを利用した掘削管理データ処理装置などの新しい試みを採用することによって当初懸念された地盤沈下などの地上への影響もほとんどなく掘進を完了した。

§2. 概要

2-1 工事概要

- (1) 工事名：芝川横断管路新設工事
- (2) 工期：自 昭和58年8月15日
至 昭和61年5月20日
- (3) 主要数量：一次覆工延長 582m (スチールセグメント、外径 $\phi 2.95\text{m}$ 幅90cm)
シールド部掘削総土量 4263m³
- (4) シールド掘進機の構造

Fig.1 に示すとおり一般的な土圧バランスシールドであるが、地山の変化に対応できる対策として切羽面への泥漿材の注入及び薬液注入が可能な構造となっている。また掘削土量コントローラの導入により、切羽土圧を設定し、設定土圧に従って自動的に掘削の制御を図った。

2-2 地質概要

当工区一帯は川口低地と称され、縄文時代後期まで海であった地域であり、海退期に海面が停滞し、三角洲を形成した後、荒川及び芝川の河川による侵食を受けた低地帯である。また当地区は長期間にわたって河川の蛇行、河道変化あるいは氾濫、侵食による後背湿地帯の発達及び表層地形の変化が著しかった跡が見受けられ、複雑な地質構造を形成している。

川口低地の地盤構成は、上から30m～40mの深さまでが沖積世の軟弱な粘性土、ゆるい中位の砂質土で、それから下部は砂、粘土及び礫で構成される洪積世(東京層)が分布する。シールドが通過する大半は下部粘性土層で、暗灰色をしたシルト分優勢層で、上部の上部砂質土層との境界付近では細砂の混入が多く高含水比である。特に

* 関東(支)鳩ヶ谷(出)所長

** 関東(支)鳩ヶ谷(出)

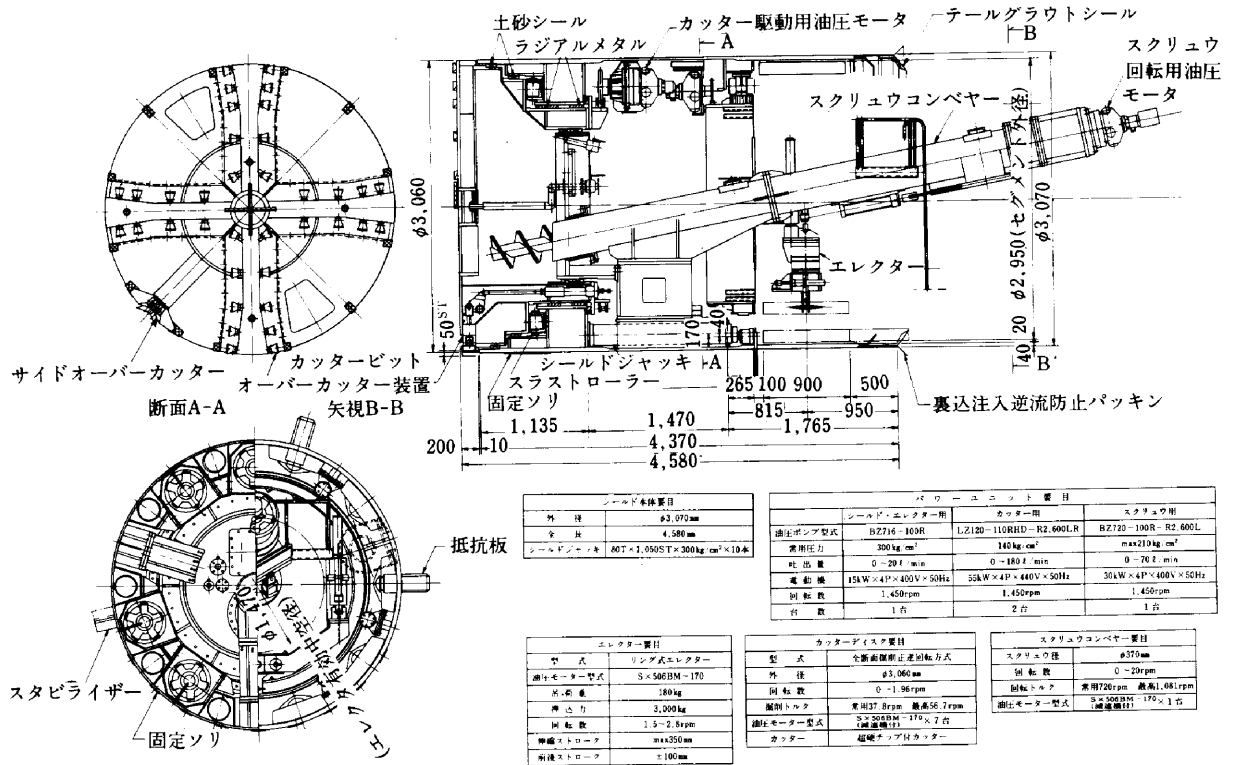


Fig.1 シールド掘進機構造図

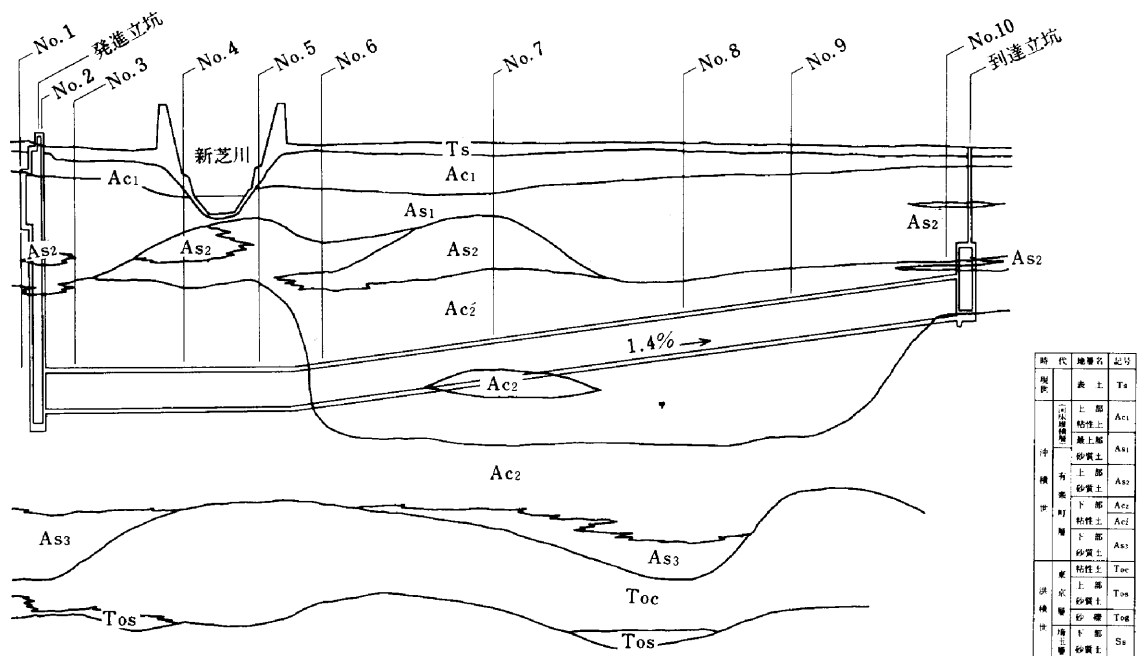


Fig.2 地質縦断図

地表から8m~10m付近ではサンドパイプの混入が顕著で全体的に細砂を層状にまたはブロック状に挟んでいる。N値は0~6の範囲で地表から15mまでは大部分がN値0と極めて低強度である (Fig.2 参照)。

§3. ピストン式ポンプ

3-1 基本動作

ピストン式ポンプは従来型ポンプに比べて吸込工程がないという機構上の大きな違いをもっている。機構及び

動作は Fig.3 に示すとおりであり、①～④の動作を繰り返すことによって圧送を行う。

3-2 仕様及び外形寸法

(1) 仕様及び能力

本工事で使用したピストン式ポンプ TGP-30型の仕様及び能力を Table1 及び Fig.4 に示した。

(2) 外形寸法

ピストン式ポンプは坑内に配置しやすいように、ポンプ本体部とパワーユニット部に分離されており、外形寸法は Fig.5 及び Fig.6 に示すとおりである。

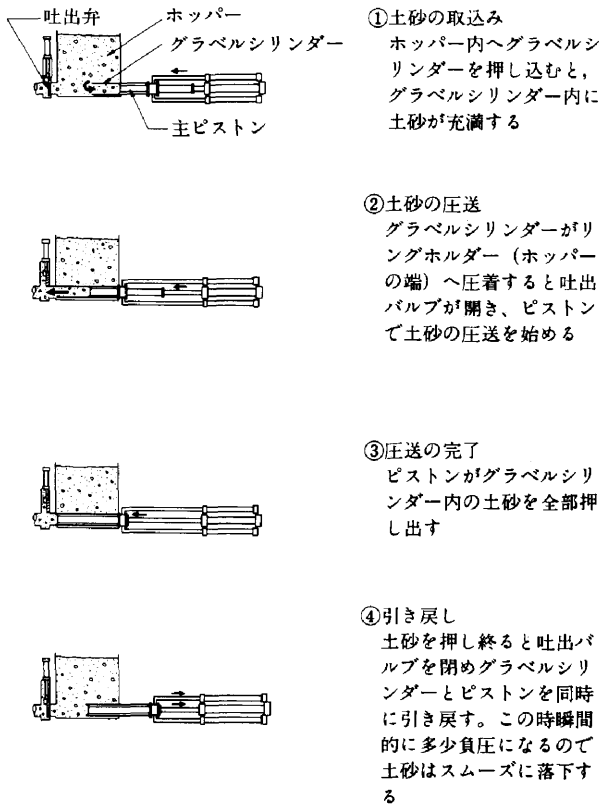


Fig.3 ピストン式ポンプ基本動作

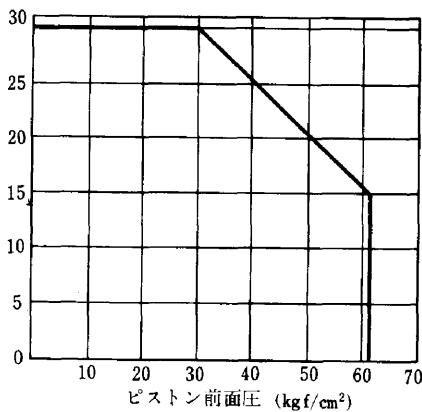


Fig.4 グラベルポンプ(TGP-30)能力特性

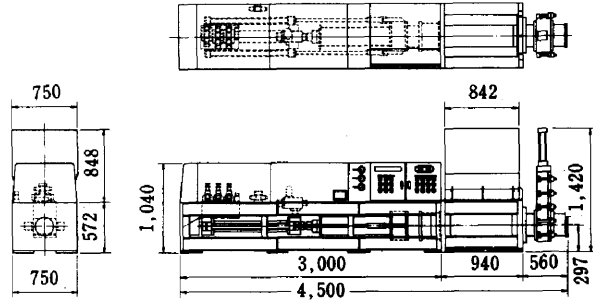


Fig.5 ピストン式ポンプ本体外形寸法図

Table1 ピストン式ポンプ(TGP-30)仕様

ポンプ本体仕様	
最大吐出量	30m ³ /h
最大ピストン前面圧	62kgf/cm ²
シリンダー形式	横型1シリンダー油圧単動式
シリンダー内径	228.6mm
シリンダーストローク	800mm
1ストロークの内容積	0.033m ³
ストローク回数	15~18回/min
ホッパー容量	0.51m ³
全長×幅×高さ	4,500mm×750mm×1,420mm

パワーユニット仕様	
電動機	75kW×4P×400V/440V×50Hz/60Hz
補助電動機	22kW×4P×400V/440V×50Hz/60Hz
作動油タンク容量	900ℓ
ピストン最高油圧	320kgf/cm ²
主油圧ポンプ	A7V160LV1
補助油圧ポンプ	PV2R-33-60-66-L-LLLA-30
全長×幅×高さ	3,500mm×700mm×1,650mm

§4. ピストン式ポンプの検討

4-1 施工条件

- (1) シールド掘進機外径 $D: 3.07m$
- (2) 掘進距離 $L: 582m$
(上り勾配約1.4%)
- (3) 立坑深さ $H_1: 17m$
- (4) 土砂ホッパー高さ (配管高さ) $H_2: 9m$
- (5) 立坑から土砂ホッパーまでの距離 $L_1: 35m$
- (6) 掘進速度 $v: 40mm/min$
- (7) 輸送管径 $d: 200mm$ (STK 8B)
- (8) 土質条件

事前の土質調査から、シールド通過地点の調査結果をまとめてみると Table2 のとおりである。

4-2 圧送管の圧力損失

(1) 配管の状況

使用配管 8B

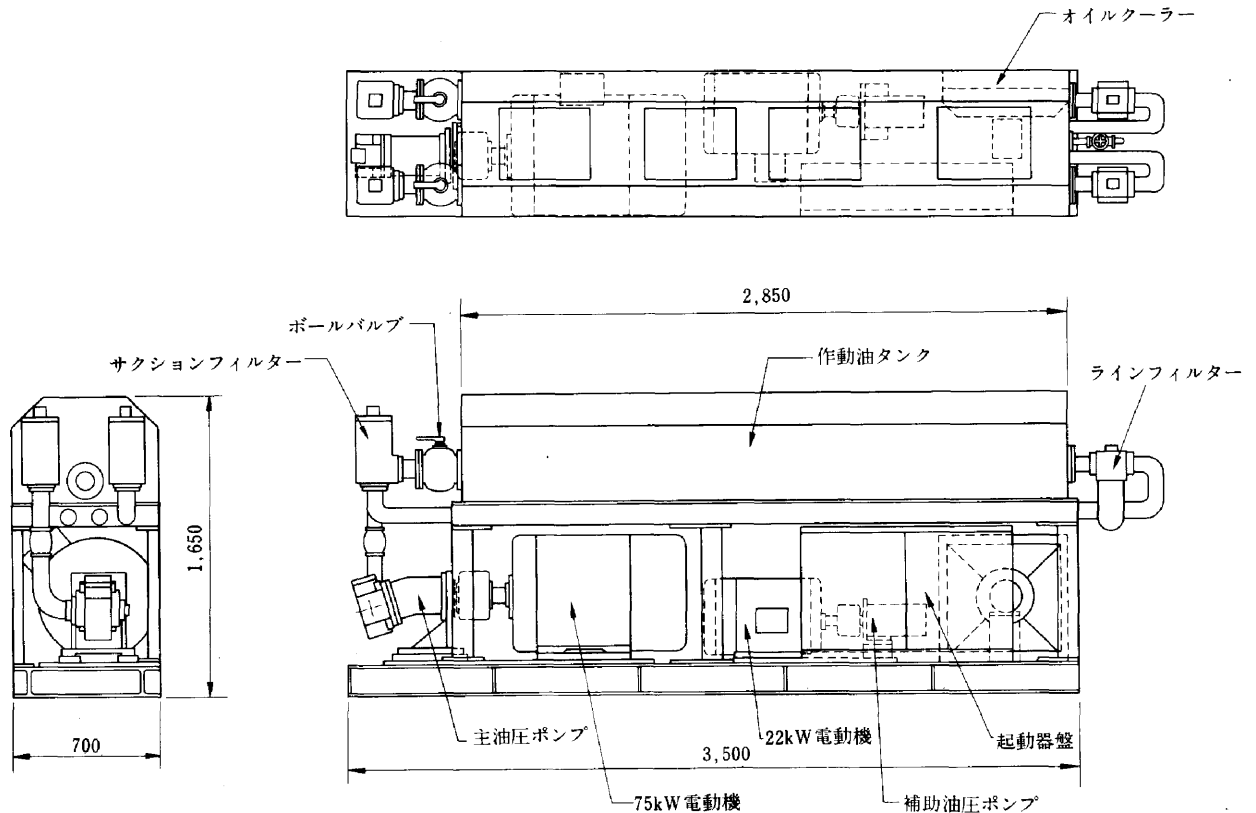


Fig.6 ピストン式ポンプパワーユニット外形寸法図

Table2 シールド通過地点土質試験結果一覧表

特性 No.	粒度組成 %			自然含水比 W %	N値	粘着力, C kgf/cm ²	液性限界, W _L %	塑性限界, W _p %	塑性指数, I _p	液性指数, I _e	コンシステンシー指数 I _c
	砂分	シルト分	粘土分								
1	10	57	33	59.9	0	0.38	71.4	40.9	30.5	62.2	0.37
2	—	—	—	—	0~2	—	—	—	—	—	—
3	24	52	24	46.5	0~2	0.4	49.6	29.8	19.8	84.3	0.15
4	3	52	45	57.7	0~2	0.55	53.5	29.7	23.8	117.6	-0.17
5	13	63	24	48.3	0	0.29	51.3	29.6	21.7	86.1	-0.13
6	7	54	39	67	0	0.44	64.4	32.1	32.3	108	-0.08
7	9	51	40	60.3	0	0.32	56.5	30.4	26.1	114.5	-0.14
8	4	64	32	67.2	0	0.37	58.7	30.7	28	130.3	-0.30
9	7	69	24	64.2	0	0.33	49.7	27.1	22.6	164.1	-0.64
10	11	65	24	58.5	1	0.48	56.5	33.7	22.8	108.7	-0.08
10'	4	66	30	59.2	1	0.33	43.6	27.9	15.7	199	-0.99

$$I_p = W_L - W_p, I_e = \frac{W - W_p}{I_p}, I_c = \frac{W_L - W}{I_p}$$

I_c ≒ 0 : 不安定

I_c ≧ 1 : 比較的安定

- バンド管 (90°) 6本 (1mR)
- " (45°) 2本 (")
- テーパ管 1本 (10B×8B, 1.5m)
- 実揚程 26m
- 最大水平距離 626m

(2) 配管抵抗の計算

これまでのピストン式ポンプ実績から、土質及び配管の

形状によって水平換算長さは Table3 のとおりに、また水平換算1m 当りの配管圧力損失は Table4 のとおりになることが知られている。従って上記配管状況及び Table3 及び Table4 に基づいて最大掘進距離の時の水平換算長さ L' 及びその場合の配管圧力損失 P を求めた。

なお、土質は砂20%、シルト、粘土80%として、45°ベ

Table3 水平換算表

単位：m

土質 配管径	砂・シルト粘土 80% 20%		砂・シルト粘土 20% 80%		シルト粘土100%		備考
	6B	8B	6B	8B	6B	8B	
バンド管 90° (1mR)	3.5	2.0	5.0	3.5	8.0	4.5	バンド管1本当り
90° (0.5mR)	6.0	3.5	7.0	4.5	12.0	7.0	
90° (0.35mR)	7.0	4.0	8.0	4.5	15.0	8.0	
垂直管	7.0	5.0	8.0	6.0	9.5	7.0	垂直高さ1m当り
テーパ管 10B→8B 全長1.5m	7.5		8.0		9.0		

Table4 水平換算1m当りの圧力損失表

単位：kgf/cm²

土質 注水装置有無	砂・シルト粘土 80% 20%		砂・シルト粘土 20% 80%		シルト粘土100%	
	6B	8B	6B	8B	6B	8B
注水装置 無	0.12	0.092	0.18	0.135	0.18	0.14
注水装置 1台	0.093	0.056	0.105	0.05	0.09	0.045
注水装置 2台	0.07	0.04	0.06	0.036	0.055	0.032

バンド管2本を90°バンド管1本に換算して計算を行った。

$$L' = \text{水平管長さ} + \text{テーパ管換算値} + \text{バンド管本数} \times \text{バンド管換算値} + \text{垂直管長さ} \times \text{垂直換算値}$$

$$= 626\text{m} + 8\text{m} + 7\text{本} \times 3.5\text{m} + 26\text{m} \times 6\text{m}$$

$$= 814.5\text{m}$$

イ) 注水装置を使用しない時の配管圧力損失 P_1

$$P_1 = 814.5\text{m} \times 0.135\text{kgf/cm}^2$$

$$= 110.0\text{kgf/cm}^2$$

ロ) 注水装置1台を使用した時の配管圧力損失 P_2

$$P_2 = 814.5\text{m} \times 0.05\text{kgf/cm}^2$$

$$= 40.7\text{kgf/cm}^2$$

ハ) 注水装置2台を使用した時の圧力損失 P_3

$$P_3 = 814.5\text{m} \times 0.036\text{kgf/cm}^2$$

$$= 29.3\text{kgf/cm}^2$$

また、掘進速度が40mm/minの時の時間当り掘削量 V は、地山の土量変化率を1.2と仮定すると

$$V = \frac{\pi \times (3.07)^2}{4} \times 0.04 \times 60 \times 1.2$$

$$= 21.3\text{m}^3/\text{h} \text{ となる。}$$

実績から、ピストン式ポンプ前面吐出圧が35kgf/cm²以下であれば当該工事の粒度組成から判断して閉塞せずに安全に圧送できると推定された。従って、TGP-30型の吐出能力30m³/hからみて、注水装置2台を使用すれば掘進距離が最大の時でも、前面吐出圧30kgf/cm²程度で圧送可能であるという結論に達した。

§5. 圧送実績

5-1 初期掘進

初期掘進時はシールド後方設備を発進立坑内と地上に

分割配置するため、ピストン式ポンプ本体及びパワーユニットを発進立坑内に配置するスペースがなく、掘進開始当初は、やむを得ず、ずりトロ方式を採用し、ピストン式ポンプ本体及びパワーユニットを坑内に配置できる距離(セグメント仮組7R, 本組13R)まで掘進した。その後、仮組セグメントの上半部分を解体してポンプ本体及びパワーユニットを投入、Fig.7に示すように配置し、掘進を再開した。初期掘進の間は、Fig.7の位置に固定し、掘進に伴ってベルトコンベヤを継ぎ足す方法で初期掘進、約47m(52R)を完了した。この間ピストン前面吐出圧は10kgf/cm²で安定し、ポンプ故障、圧送管内閉塞などのトラブルも全くなし順調に圧送できた。

5-2 本掘進

(1) 設備配置

初期掘進完了後、段取替えを行い、ピストン式ポンプ本体及びパワーユニットも後方設備としてFig.8に示すように坑内に配置した。注水装置も予めピストン式ポンプ吐出口後方に1台をセットした。

(2) 圧送状態

Fig.8に示すとおり後方設備を配置した後、本掘進を開始した。

シールド掘進機スクリーコンベヤから排出される土砂は、No.1ベルトコンベヤ及びNo.2ベルトコンベヤによって、グラベルポンプホップに運ばれ、ピストン式ポンプにおいて地上土砂ホップまで圧送される。

本掘進開始から、圧送は順調で、Fig.9に示すように掘進開始当初から150m付近までは、ピストン前面吐出圧13kgf/cm²程度で、ほぼ一定値を示している。初期掘進時に比べ、上昇しているのは、ピストン式ポンプ位置を、初期掘進時には坑口付近に固定しておいたものを坑内奥に移動したことにより配管長が長くなり、その結果として配管抵抗が増大したことによる。その後も圧送は順調で、ピストン前面吐出圧は徐々に上昇していくが、Fig.9に示すように、上昇の様子は掘進距離が延びるとともに直線的に上昇するのではなく、およそ100mごとに、ほぼ段階的に上昇している。

なおピストン前面吐出圧はFig.9に示す圧力計G₁の値を示す。

ピストン前面吐出圧は掘進距離が延びるに伴い段階的に上昇はしたが、当初の予想をはるかに下まわり、注水装置を全く使用せずとも、最高ピストン前面吐出圧は、460m付近で27kgf/cm²~28kgf/cm²を示したにすぎない。当初計画では、50m付近から注水装置を1台使用し、最終的には配管途中にさらに1台追加し、2台使用することによって掘進距離最大時に対応する計画であっ

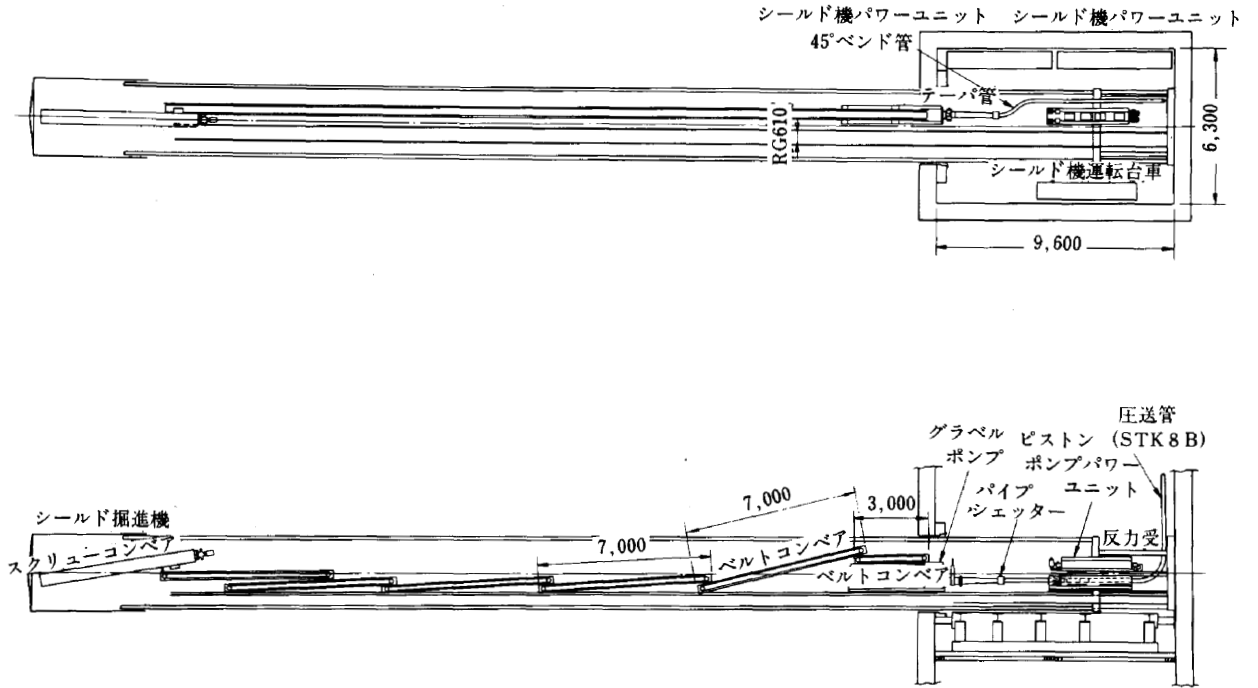


Fig.7 初期掘進時設備配置図

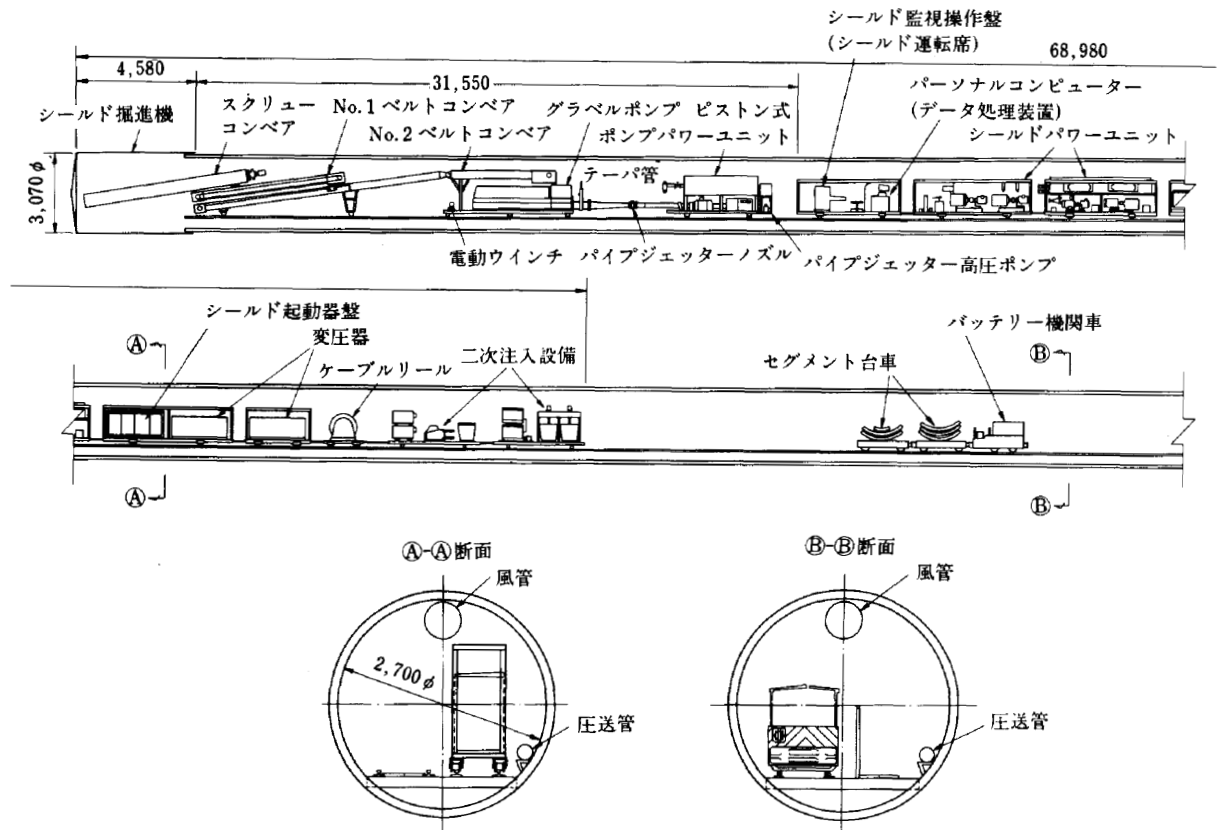


Fig.8 シールド後方設備配置図

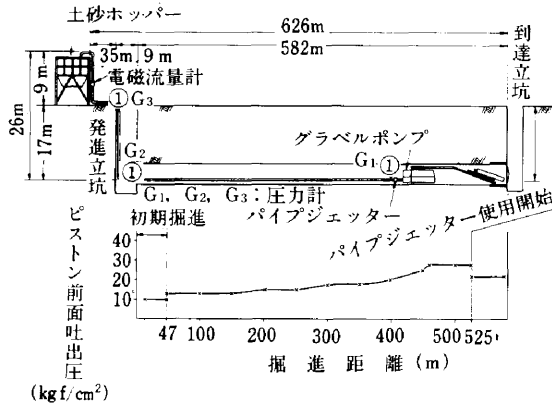


Fig.9 掘進距離とピストン前面圧の関係

たが結果的には Fig.9 に示すように、ポンプ吐出口付近に取付けた1台のみを525m 付近から使用しただけで最終地点まで圧送可能であった。注水装置を使用することによって、27kgf/cm²~28kgf/cm²であったピストン前面吐出圧は22kgf/cm²で急激に下降した。注水装置の使用を開始した時点においても、ピストン式ポンプの能力には余裕があり、全く閉塞の懸念はなかったが、テーパ管から45°ベンド管付近の配管 (Fig.7,8 参照) の横振れ振動が大きくなり、配管継手が外れる恐れが出てきたため、安全性を考慮し、注水装置を使用して吐出圧を低下させ、横振れ振動を極力低減させる対策をとった。

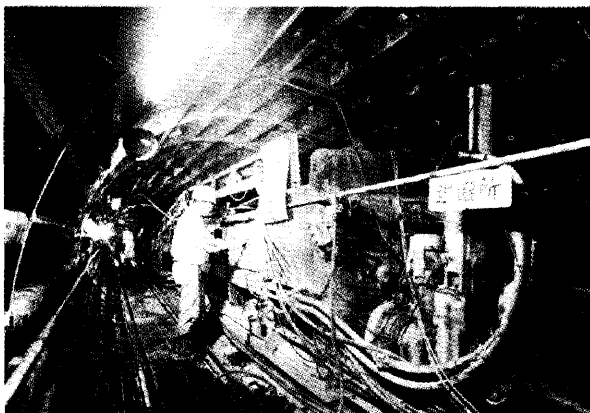


Photo1 坑内で稼働中のピストン式ポンプ

シールド掘進機スクリーコンベヤから排出される土砂は、掘進開始当初は固結した状態であったが、新芝川手前付近 (Fig.2 参照) から、やや液性化の傾向を示し、その状態は掘進完了まで続いた。この土砂が圧送されて土砂ホッパーに到達する間に管内でさらに液性化が進み、一般のダンプトラックでは運搬不可能な状態であった。これはピストン式ポンプにとっては圧送性能の向上という大きなプラスであったが、残土運搬は産廃収集専用ト

ラックを使用しなければならない、というマイナス面もあった。



Photo2 一次覆工及び圧送管配管状況

(3) 配管伸縮

圧送管は、泥水シールドにおける送、排泥管と同様に掘進に伴い伸縮をしなければならない。伸縮方法は、伸縮管を使用する場合と、他の方法による場合の大きく二つに分類される。

(a) 伸縮管を使用しない場合

シールド掘進機とピストン式ポンプとの間で伸縮させる方法で次の方法がある。

- イ) シールド掘進機スクリーコンベヤ排出口から、数段のスクリーコンベヤの組合せによる方法。土砂のこぼれは非常に少ないが、反面費用が高く小断面の場合、取合いが困難である。
- ロ) シールド掘進機スクリーコンベヤ排出口から固定コンベヤとスライドコンベヤの組合せによる方法。スクリーコンベヤ及び各ベルトコンベヤが重なる部分で土砂がこぼれる可能性があるが、費用は安く、小断面で適応性が高い。
- ハ) シールド掘進機スクリーコンベヤ排出口から、パイプとベルトコンベヤを使用する方法。費用は最も安いですが、砂分が多い場合、パイプ内で閉塞の恐れがある。

(b) 伸縮管を使用する場合

この場合は後方設備の最後部に設置し、次のような長所、短所がある。

- イ) 後方設備が縮小化され、簡便化される。
- ロ) 有効ストロークが3m と短いため、配管継手の数が増加し、配管段取が多くなる。

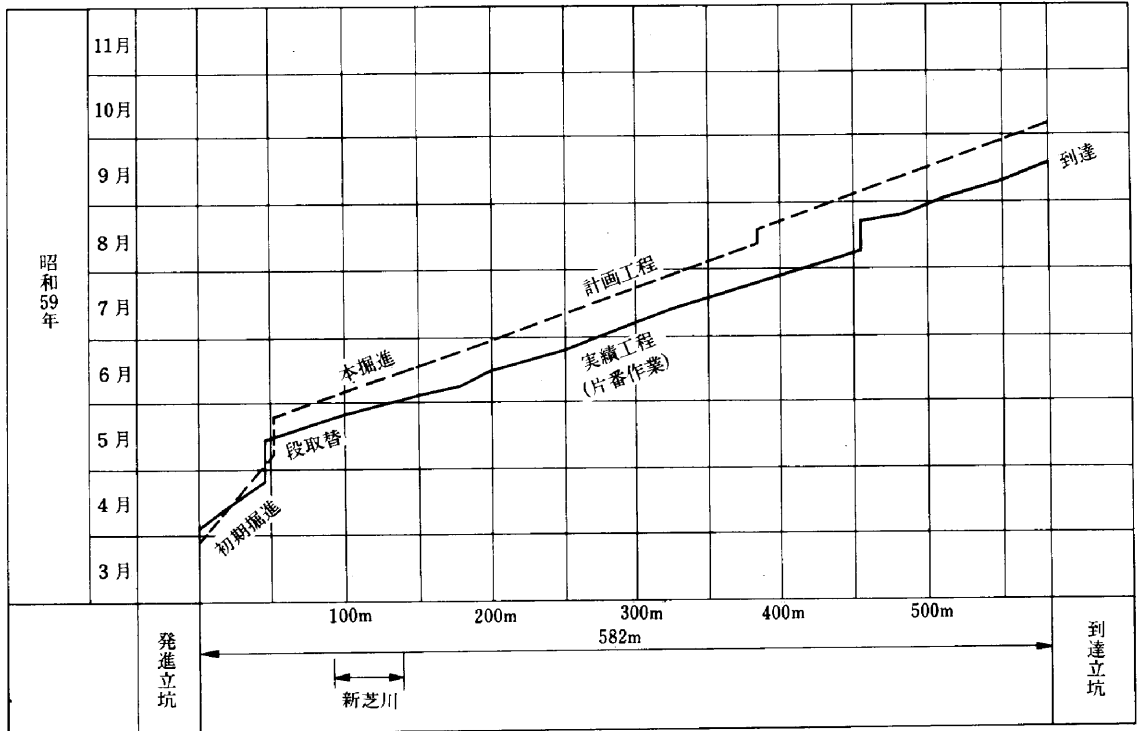


Fig.10 シールド掘進工程表

ハ) 小断面の場合、坑内に寸法的に配置できない場合がある。

ニ) 砂分の多い場合、閉塞の恐れがある。

上記各方法を検討した結果、当該工事では土砂のこぼれは予想されるものの、比較的費用が安く、保守も容易で閉塞の恐れのない固定コンベヤとスライドコンベヤの組合せによる方法を採用した。

No.1 ベストコンベヤと No.2 ベルトコンベヤを Fig. 8 に示すように配置し、掘進に伴い No.1 ベルトコンベヤはシールド掘進機と一体となって、シールド運転席以下の後方設備と共に No.2 ベルトコンベヤの上をスライドしながら前方に移動する。スライドストロークが圧送管一本分 (5.5m) 伸びた時点でピストン式ポンプパワーユニット後部付近の配管継手を1箇所外し、電動ウインチを用いて、No.2 ベストコンベヤ、ピストン式ポンプ本体及びパワーユニットを配管と共に前方に移動する。この時、ピストン式ポンプパワーユニット後部に圧送管1本分の配管の空間が生じ、ここに新しい圧送管を継ぎ足すことによって配管延長を完了する。

なお今回使用した継手はポンプ吐出圧が高圧となるためタイヨージョイント SH-S 型とした。(ビクトリックジョイント M-1 型に相当)

5-3 注水装置 (パイプジェット)

圧送管内壁に沿って注水し、配管抵抗を減少させるための、特殊なノズルと高圧ポンプを組合せた装置である。

既述したとおり、今回は2台使用の予定であったが、1台の使用で閉塞もなく掘進を完了した。

高圧ポンプの吐出能力は10ℓ/minであったが、実際の注水量を測定した結果、6.8ℓ/minであった。

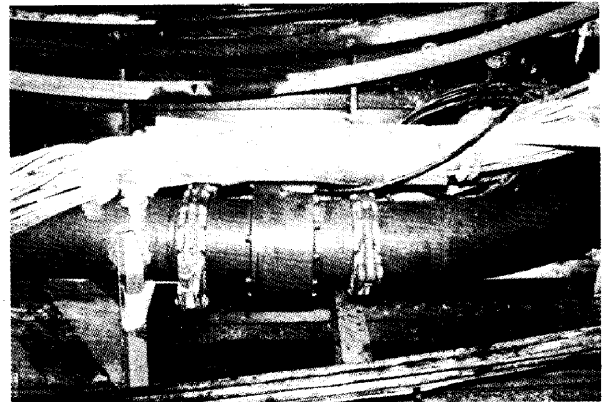


Photo3 パイプジェッターノズル

5-4 配管圧力損失

Fig.9 に示すように、配管内圧力を、ピストン式ポンプ吐出口、発進立坑上、下の3箇所において測定した。圧力計 G₁はダイヤフラム式圧力計、G₂、G₃はゲージプロテクタ式の圧力計を使用し、いずれも直読式である。G₁の値は掘進距離の延びに伴い上昇し、掘進距離460m付近で最高値28kgf/cm²を示したが、G₂は6.0kgf/

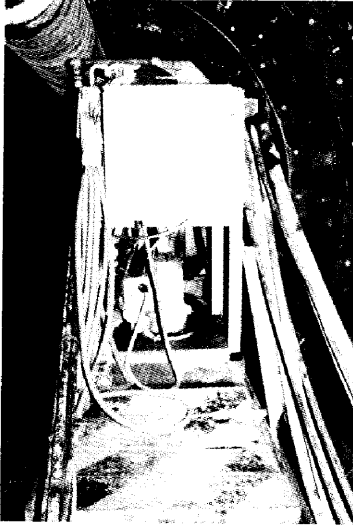


Photo4 パイプジェッター-高压ポンプ

cm², G₃は2.5kgf/cm²と掘進距離が延びても一定値を示し, G₂, G₃の値は注水装置を使用した場合でも変らなかった。G₁が最高値を示した時のG₁とG₂の距離は, 注水装置を使用しない時, 約440m, 使用した時, 約506mであった。これらの値から, 水平部分の圧力損失 ΔP_h , $\Delta P'_h$ (注水装置1台使用の場合) 及び垂直部分の圧力損失 ΔP_v は1m当り, 概ねつぎのように求められる。

$$\Delta P_h = \frac{28\text{kgf/cm}^2 - 6\text{kgf/cm}^2}{400\text{m}}$$

$$= 0.055\text{kgf/cm}^2$$

$$\Delta P'_h = \frac{22\text{kgf/cm}^2 - 6\text{kgf/cm}^2}{506\text{m}}$$

$$= 0.03\text{kgf/cm}^2$$

$$\Delta P_v = \frac{6\text{kgf/cm}^2 - 2.5\text{kgf/cm}^2}{17\text{m}}$$

$$= 0.21\text{kgf/cm}^2$$

従って, 垂直部分の水平換算長 l' は1m当り

$$l' = \frac{0.21}{0.055}$$

=3.82m となる。

上記の各値は Table 3,4 と比較すると, いずれも小さな値であり, これは, トンネル勾配が1.4%の上りで, トンネル全長で約6mの高低差が影響していることも考えられる。

5-5 主なトラブル

圧送は掘進開始から終了までほぼ順調であったが, 下記のようないくつかのトラブルが発生した。

- (1) ピストン式ポンプ本体のトラブル
 - イ) 操作回路の漏電による運転不能 (2回)
 - ロ) 吐出バルブのシール損耗 (1回)

- ハ) 油圧ホース破裂 (1回)
- ニ) 吐出口継手の破損 (1回)
- ホ) 吐出バルブ開閉用油圧シリンダ破損 (1回)

(2) 配管のトラブル

- イ) ピストン式ポンプ吐出口45°ベンド管と直管との継手部の直管側カラーリングの溶接部に亀裂 (3回)

上記トラブルはいずれも重大なものではなく, 作業への支障は最長でも半日程度であった。

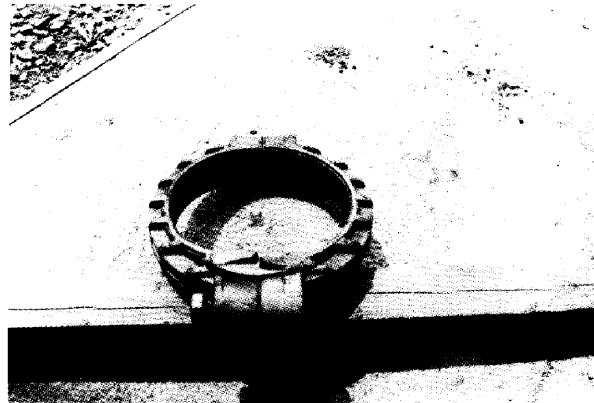


Photo5 破損した吐出口継手



Photo6 圧送管カラーリング溶接部の亀裂

5-6 掘削土量管理

土砂圧送の場合, 従来のずりトロ方式と異なり, 掘削量を把握しにくい点がある。掘削土量の管理装置はいくつか開発されているが, 圧送可能な土砂では電磁流量計を用いて圧送量を測定できることが確認されていたため, 本工事においては, 電磁流量計と, パーソナルコンピュータを利用したデータ処理装置を組み合わせ, 実掘削土量と理論値の比較及び管理中の設定, リング間予測による施工管理等の土量管理システムを導入した。

Fig.9 に示すように, 土砂ホップ付近の配管途中に設置した電磁流量計により得られた排出土砂量の計測値は,

シールド掘進機運転席に設置したデータ処理装置に送られて統計処理されることにより次のリングの予測値を求め、その値を管理基準とするとともに、標準偏差を求めてその管理幅として掘削管理を行う。その方法としては、1リング(90cm)を3ブロックに分け、過去30ブロック分のデータ(10リング分)を基に統計的予測演算を行い、予測値及び管理幅を求める。1ブロック(30cm)内においてもストローク1cmごとのデータから次のブロックのストロークに対する推移を予測する。管理基準値及び管理幅と共に計測値と比較しながらCRTモニターにグラフ化し掘削状況を経時変化で把握する。必要に応じて管理グラフはプリンタでプリントアウトすることができる(Fig.11参照)。

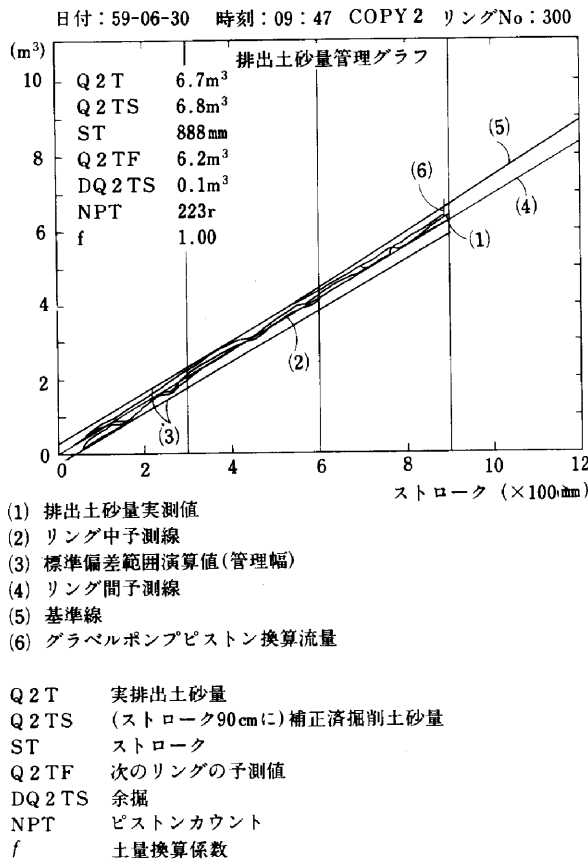


Fig.11 排出土砂量管理グラフ

上記のシステムで掘削土量及び掘進の管理を行ったが、当初、電磁流量計の計測値は実排土量の1/3程度の値しか示さなかった。排出土の導電率を計測した結果は、十分流量測定可能範囲内であったが、今回の土砂が非ニュートン流体であること、ならびに排土中の空隙中に含まれる空気泡によって導電率が低下するため電磁流量計の出力が100%出ないことがわかった。その後計測値は1/3程度で同じ傾向を示していたので、その値をパーソナルコ

ンピュータで比例補正することによって計測値として利用した。

掘削土量の実掘削土量値は測定することができなかったが、その傾向は把握することができ、十分掘削土量管理に反映することができたと考える。

§6. 圧送適応土質についての考察

当工区の土質に対する主な試験データを平均して整理してみると次のようになる。

(1) 粒度組成

砂(%)シルト(%)粘土

(%)

地質調査ボーリング資料 10 60 30

掘削中に採取した資料 14 55 31

(2) 含水比 (w%) 59%

(3) N 値 0~2

(4) 粘着力 (C kgf/cm²) 0.39kgf/cm²

(5) 液性限界 (wL%) 55.5%

砂分が10%~14%含有されるが、土質分類上はシルト質粘土に分類され、ブラインドシールドの適応範囲で土砂圧送には最適な土質だったことがわかる。粘着力がやや高めなため、計画時配管圧力損失が増大することが心配されたが、自然含水比 (w%) が液性限界 (wL%) より大きく、コンシステンシー指数 (Ic) もマイナス値を示しているため、液性化しやすい土質だったことが圧送に幸いしたと考えられる。(Fig.12, 13.14 参照)。

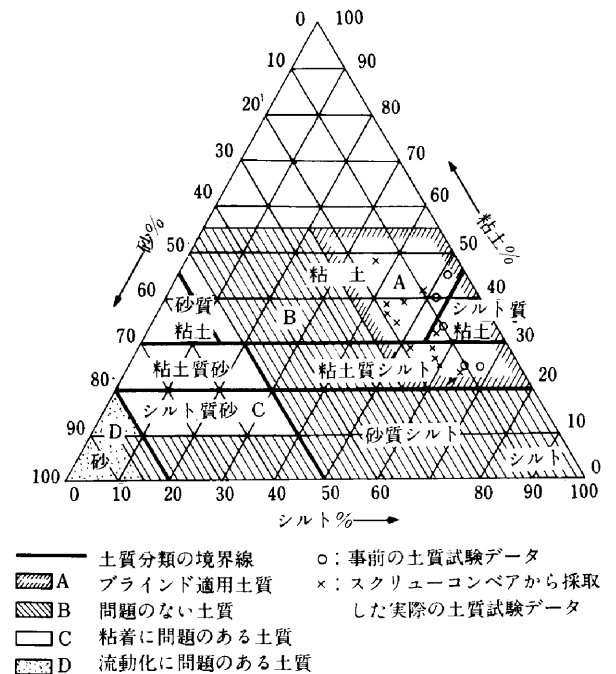


Fig.12 三角ダイアグラムによる分類

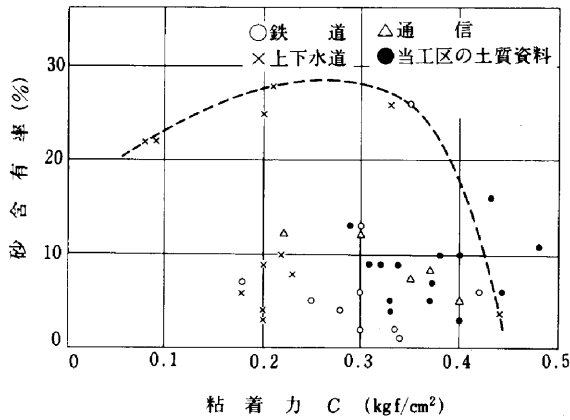


Fig.13 実施例より見たブラインドシールド適用土質の範囲(1)

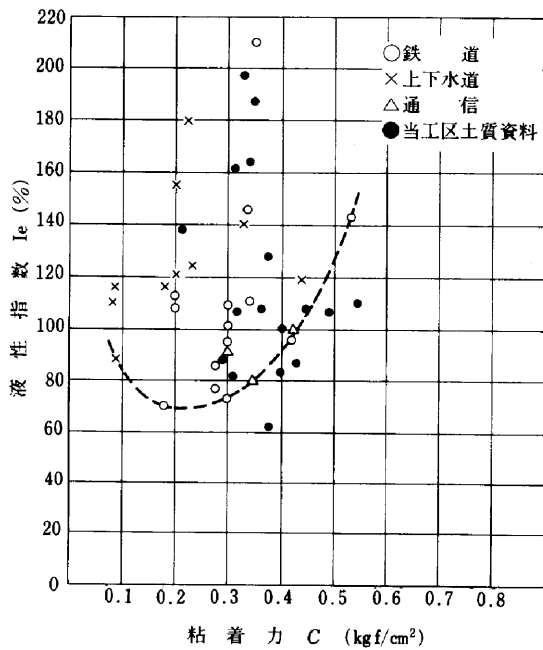


Fig.14 実施例より見たブラインドシールド適用土質の範囲(2)

§7. おわりに

手探り状態で始めた土砂圧送であったが、土質が最適状態であったこともあり、坑内の作業環境、安全性及び作業能率の向上に大きく貢献し、ほぼ所期の目的を達したと考える。今回の土質は全線にわたり、ゆるい砂まじりシルト層、シルト層であり、圧送には非常に恵まれた条件であったといえるが、細砂層においても、粘土溶液を混入攪拌させて、注水装置からベントナイト溶液を注

入することにより圧送は可能であると考え。

初めてということもあり、データの採取には多大に不十分なところがあったが、今後、同様な工法を採用される場合、本報文が何かの参考、あるいは新しいアイデアの材料になれば幸である。

最後に、今回の圧送にあたり、御指導、御協力をいただいた本社機材部をはじめ、関係各位に心から感謝いたします。