

台場ずい道の施工について

——大断面泥水シールド——

瀬 尾 貞 甚 * 加 藤 重 臣 **
小 西 守 *** 水 口 宇 市 ****

要 約

当工事は、日本鉄道建設公団東京支社発注の、東京外環状線の一環を形成する京葉線建設計画のうち、台場ずい道工区のφ7.5m単線併列式トンネル1,440mを泥水加圧式シールド工法で施工したものであり、その実績をこの報告書にまとめた。

目 次

- § 1. 工事概要
- § 2. 掘 進
- § 3. 覆 工
- § 4. 裏込注入
- § 5. 泥水処理
- § 6. む す び

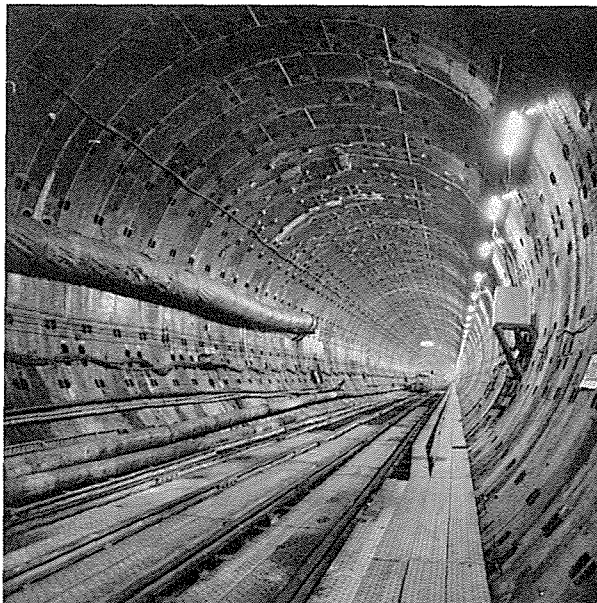


写真-1 一次覆工完了後の台場ずい道坑内

* 関東支店江東有明(出)所長
** 関東支店江東有明(出)副所長
*** 関東支店江東有明(出)工事係長
**** 関東支店江東有明(出)工事係

§ 1. 工事概要

1-1 工事概要

工事件名：京葉線台場ずい道（13号地付近）その1 工事
工 期：自 昭和51年3月31日

至 昭和55年1月31日

主要数量：掘さく	66,700m
泥水処理設備仮設	1 式
セグメント製作運搬 甲	439 R
乙	976 R
丙	172 R
覆工（セグメント）	1,433m
裏込注入量	7,000m
薬液注入工	775m
セグメント間伸縮継手工	86リング
二次覆工	1,440m

1-2 路 線

本工区の路線は、13号地その1埋立地の西側護岸付近に隣接沈埋工区によって施工されたケーソン立坑を発進立坑として、はじめの500m間は沖積シルト層をすすみその先は洪積シルト砂および砂礫の互層を掘進して、東側護岸付近の到達立坑に到るトンネルである。

路線の地上状況は、全長にわたって埋立地内であり、路線は公園予定地から東京湾岸道路開渠部斜横断を経て国道357号線と並行したさら地の下をはしる。土被りは発進地点で18m、到達付近で11mである。(図-1)

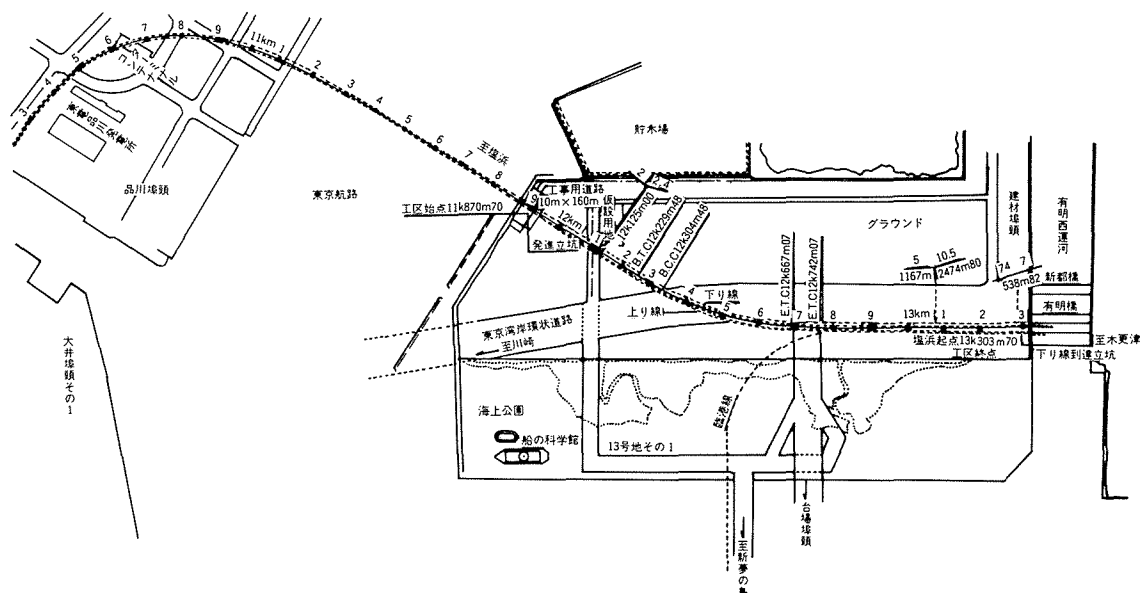


図-1 台場ずい道路線図

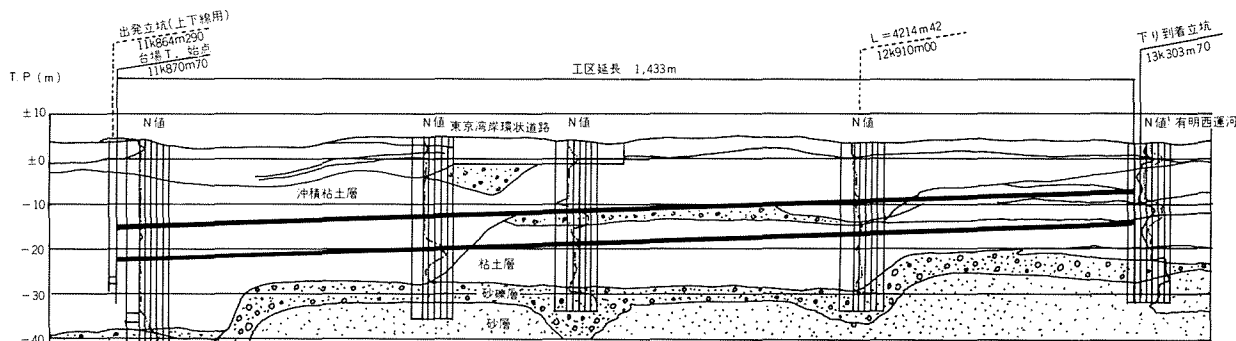


図-2 台場ずい道地質縦断面図

1-3 地質概要 (図-2 地質縦断面図参照)

13号その1埋立地は荒川と隅田川の両河口付近に形成された三角洲上に昭和38年から43年頃にかけて埋立てられた造成地である。厚さ6～8mの埋立土の下には、河口特有の沖積層があり、更にその下方に洪積層の段丘が存在する。

本工事区間の洪積層段丘は羽田トンネル(森ヶ崎工区)*と同様に大きなうねりが見られる。即ち、層表面は発進部ではT.P.-40m付近の深度であるが間もなく、T.P.-30m付近となり、更に発進後500m付近からは、その洪積砂礫層の上に洪積粘性土、砂及び砂礫が互層に堆積して、T.P.-10m付近になっている。

従って、トンネル中心高さはT.P.-18.6mであるのでトンネル断面の地質は、はじめの500m間はN値が殆んど0の沖積層であり、それから先はN値が10程度を示す洪積粘性土と砂及び砂礫の互層である。

トンネル断面より上部は大半が前記の沖積シルト層で

あるが、到達坑付近300m間は3m厚の沖積砂層でおわれている。

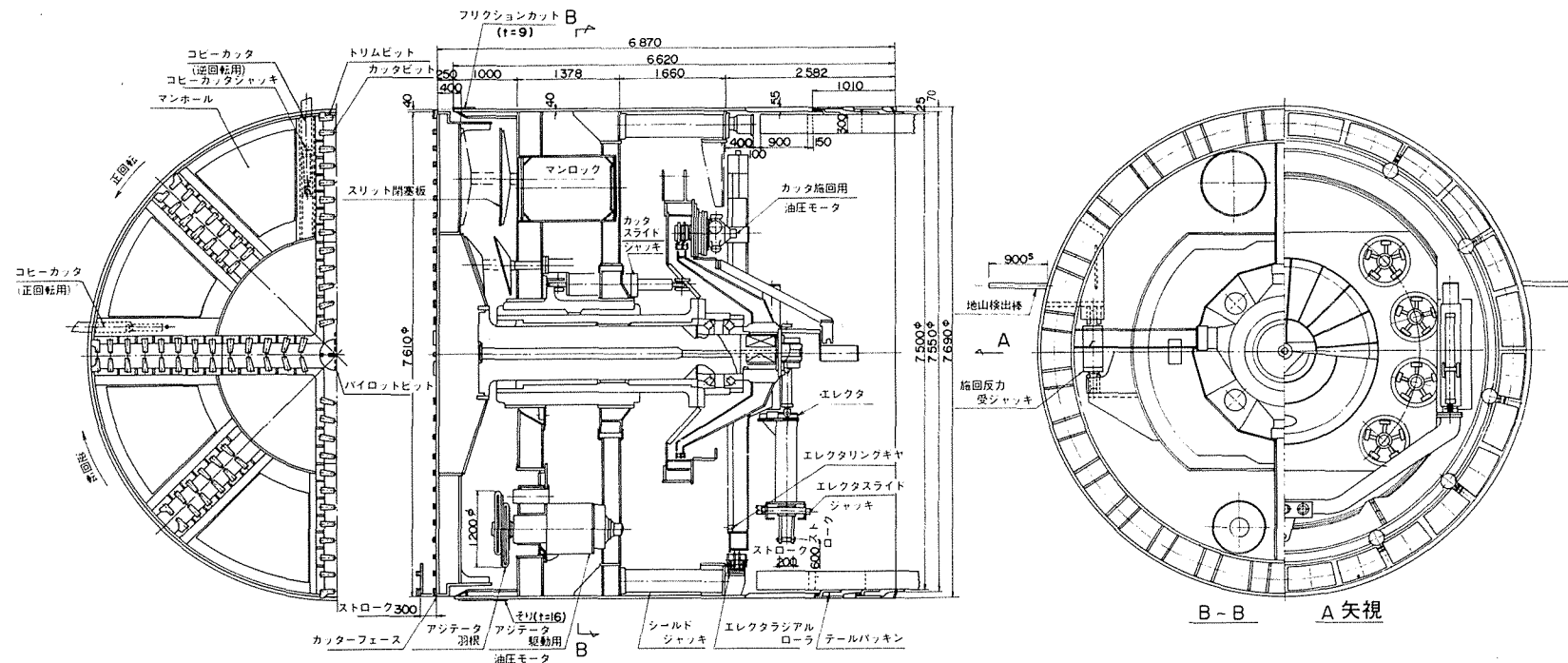
沖積層の土質は、軟弱な粘性土が主体で、砂の含有率は10%以下である。

自然含水比は、液性限界をこえ鋭敏比が10もありこの粘性土は施工時の練り返しによって、極端に強度が低下すると思われる。

* 1 京葉線羽田ずい道(森ヶ崎工区)
S.45.2～S.46.4 泥水式シールドにて施工

1-4 シールド掘進機 (図-3, 写真-2 参照)

シールド掘進機は羽田トンネル型のものを改良して設計した。さらに掘進中止時に切羽よりの土砂の呼び込みないようにスリットの閉塞板を設け、防護工(図-7)内の掘進の際に左右のクリアランスを測定する地山探針棒を設備した。



シールド関係		
名	称	仕 様
シールド	電動機	200T×1100S×26本×350kg/台
	油圧ポンプ	18.5kw×4P×50Hz×200V×4台
パワーユニット	油圧ポンプ	350kg/台×26台/min×4台(FC30-20/20)
推進スピード(全数作動)		7.0cm/min
m 当り 掘 削 力		112T/m

エレクトラ関係		
名	称	仕 様
施 回 ト ル ク		10.5T-m
施 回 速 度		0.4~0.7r.p.m
昇 降 ジ ャ ッ キ		(M20S上) 7T×4.8T×600S×2本×140kg/台
ス ラ イ ド ジ ャ ッ キ		7T×200S×1本×140kg/台
施 回 用	電動機	15kw×4P×50Hz×200V×1台
	油圧ポンプ	100kg/台×54台/min×1台(GH4-40)
	油圧モータ	285kg-m×100kg/台×2台(M20)
昇 降 用	電動機	5.5kw×4p×50Hz×200V×1台
	油圧ポンプ	140kg/台×20台/min×1台(GH1-15)

スリット開閉装置関係		
名	称	仕 様
ス リ ッ ト 開 閉 板		1750×750×7 組 900×750×4 組
パ ワー ユ ニ ッ ト	電動機	2.2kw×4p×50Hz×200V×1台
	油圧ポンプ	35kg/台×14台/min×1台(GH1-10)
ス リ ッ ト 開 閉 ジ ャ ッ キ	電動機	1.0T×900S×7本×35kg/台
	油圧ポンプ	1.0T×800S×4本×35kg/台

カッタ施回関係		
名	称	仕 様
カ ャ タ ト ル ク		140kg/台時 187T-m
カ ャ タ 同 転 数		210kg/台時 280T-m
カ ャ タ 同 転 数		140kg/台時 1.2r.p.m
カ ャ タ 同 転 数		210kg/台時 0.75r.p.m
カ ャ タ 施 回	電動機	55kw×6p×50Hz×200V×6台
	油圧ポンプ	0~200T/min a140kg/台×6台(2VS)
	油圧モータ	0~126T/min a1210kg/台×6台
パ ワー ユ ニ ッ ト	電動機	1.95T-m a140kg/台(M20S減付)
	油圧ポンプ	2.92T-m a1210kg/台×8台
	油圧モータ	2.92T-m a1210kg/台×8台

アジテータ関係		
名	称	仕 様
ト ル ク		140kg/台時 700kg-m
ト ル ク		210kg/台時 1025kg-m
同 転 数		140kg/台時 54r.p.m
同 転 数		210kg/台時 33r.p.m
パ ワー ユ ニ ッ ト	電動機	55kw×6p×50Hz×200V×2台
	油圧ポンプ	200T/min a140kg/台 (2VS)
	油圧モータ	126T/min a1210kg/台×2台
パ ワー ユ ニ ッ ト	電動機	700kg-m a1140kg/台 (M35)
	油圧ポンプ	1025kg-m a1210kg/台×2台

カッタスライド、コピカッタ施回反力関係		
名	称	仕 様
カ ャ タ ス ラ イ ド ジ ャ ッ キ		130T×300S×350kg/台×6本
カ ャ タ 反 力 受 ジ ャ ッ キ		72T×550S×350kg/台×2本
地 山 掘 削 ジ ャ ッ キ		30T×900S×350kg/台×2本
パ ワー ユ ニ ッ ト	電動機	5.5kw×4p×50Hz×200V×1台
	油圧ポンプ	350kg/台×7.5T/m×1台(FC6-14/12)

コピカッタジャッキ		15×140S×160kg/台×4本 (内2本は予備)
コピカッタ		11kw×4p×50Hz×1台
パ ワー ユ ニ ッ ト		160kg/台×32T/m×1台(FC30-22/20)

静圧軸受シールド給油関係		
名	称	仕 様
静圧軸受用	電動機	18.5kw×4p×50Hz×200V×3台 (内1台予備)
	油圧ポンプ	350kg/台×28T/m×3台(FC30-20/20) (内1台予備)
シールド給油用	電動機	0.4kw×4p×50Hz×200V×3台 (内1台予備)
	油圧ポンプ	2kg/台×3T/m×3台 (TGP-2ME-200HG) (内1台予備)

図-3 泥水式シールド掘進機図

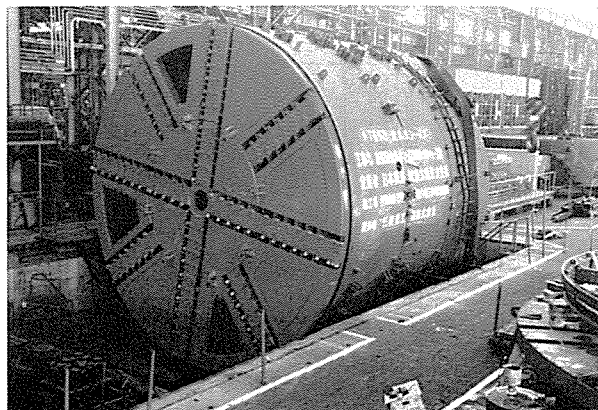
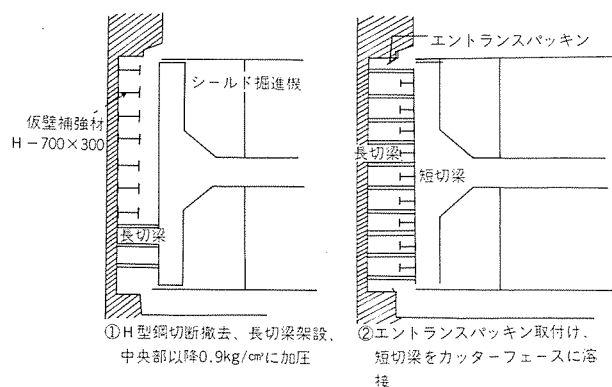


写真-2 シールド掘進機φ7,690mm

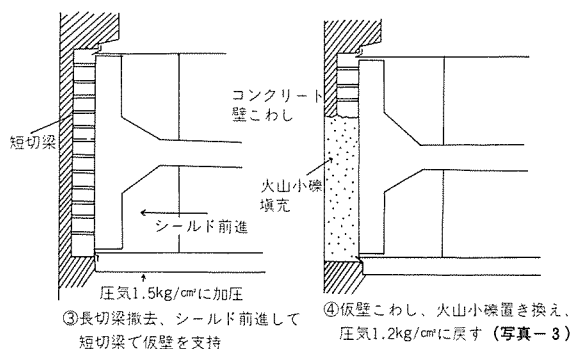
§ 2. 掘 進

2-1 初期掘進

N値0の軟弱な地質のためと水圧が $1.6\text{kg}/\text{cm}^2$ のために補助工法として薬液注入(L,W)と立坑圧気を併用して発進口の仮壁をこわすように計画し、羽田トンネルと同様に次の要領で発進した。

①H型鋼切断撤去、長切梁架設、中央部以降 $0.9\text{kg}/\text{cm}^2$ に加圧

②エントランスパッキン取付け、短切梁をカッターフェースに溶接



③長切梁撤去、シールド前進して短切梁で仮壁を支持

④仮壁こわし、火山小礫置き換え、圧気 $1.2\text{kg}/\text{cm}^2$ に戻す(写真-3)

仮壁撤去後は $1.2\text{kg}/\text{cm}^2$ の圧気効果と填充火山小礫によって切羽の崩壊を防止し、ただちに掘進態勢に入った。

計画では、泥水圧力を $1.8\text{kg}/\text{cm}^2$ (自然水圧 $+0.2\text{kg}/\text{cm}^2$)にあげて発進する予定であったが、薬注および圧気によって相対地山間隙水圧が低減している事、初期の段階では切羽水圧の管理が困難なこと及び主目的が填充砂を排



写真-3 エントランス仮壁こわし作業

出することである点を考慮して、ほとんど相対泥水圧を上げる事なく $1.5\text{kg}/\text{cm}^2$ の泥水圧で掘進を開始した。

当初の使用ジャッキ推力は全推力 $5,200\text{t}$ のうち 520t 程度であったが、シールド機が地山に貫入してからは切羽水圧も $1.8\text{kg}/\text{cm}^2$ (自然水圧 $+0.2\text{kg}/\text{cm}^2$)に上げて切羽の安定を保ちながら掘進したので推力も $1,600\text{t}$ 程度になった。

初期掘進段階では圧気と作業員の不慣れのために1～2R/日の進行であったが、徐々に進行もあがって55m(60R)区間の初期掘進を約50日間で完了した。

2-2 本掘進

初期掘進55m完了時点で圧気設備の撤去および立坑内の発進用仮組セグメントの上半部撤去等の諸設備段取替を行って昭和52年10月10日に本掘進を開始した。(図-4)

約1年におよぶ掘進期間中、種々の問題に遭遇したが発進側から次の4区間に大別してそれぞれについて記述する。

- 1) 沖積粘土層区間(発進立坑より約430m間)
- 2) 沖積粘土層、洪積粘土層及び洪積砂礫層の互層区間(首都高速湾岸道路下の斜横断約370m間)

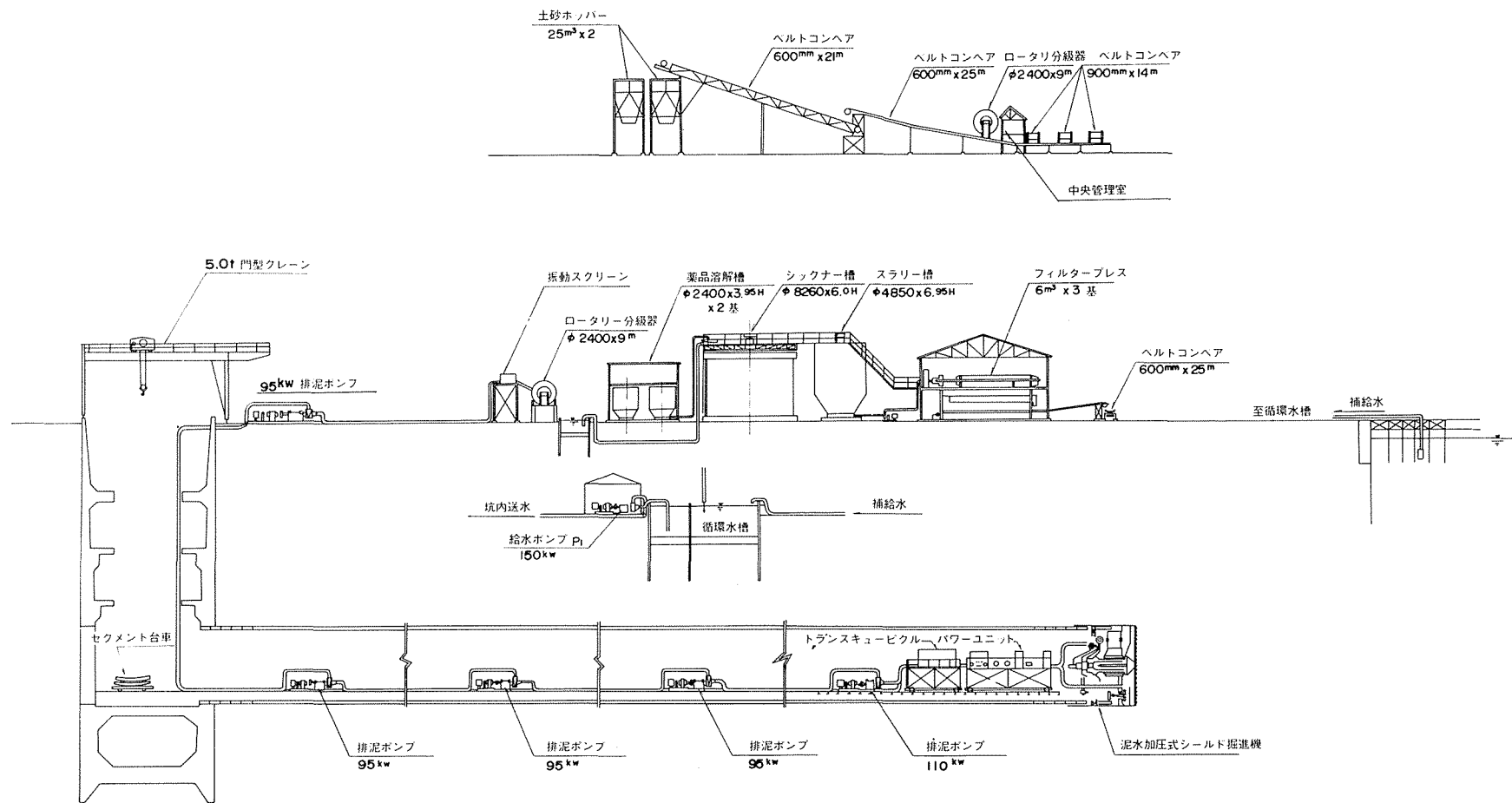


図-4 泥水式シールド設備全体図

3) 沖積粘土層、洪積砂礫層の互層区間(国道357号線と平行する約200m間)

4) 洪積砂層区間(到達立坑より約400m)

(1) 沖積粘土層区間(液性限界106, 含水比107.6%)

液性限界を越えた含水量の粘性土内の掘進については次の点が問題であった。

イ) 液性限界を越えた粘性土の浮力によるセグメントの浮き上り

ロ) 沈下調節用の伸縮継手工のゴムに起因する蛇行修正の困難

ハ) 泥水圧及び裏込注入圧によるセグメントの浮上

ニ) 粘土中の予期しなかった泥岩塊の処置

イ), ハ) についてはセグメントがシールド機テール離脱後1~2日で10cm以上も浮上したこともあったが, 裏込注入硬化後浮上も落ちついた。(図-5, 図-6)

ニ) については, カッタードラム内に長径30cm程の泥岩塊をとり込んで径8"の排泥管口を閉塞するトラブルが発生した。対策として, 排泥管口に刃状の突起物を溶接して岩塊を破碎するよう図ったり, アジテーターの羽根を10cm伸して管口付近の塊をはね飛ばす構造として対処した。

ロ) については蛇行修正時にセグメントの片側を推しても伸縮ゴムがセグメント間に挿入してあるため, 所要の反力, 変位が得られず蛇行修正, 方向変更にも困難があった。

地上(公園予定地)への沈下の影響は, シールド機通過前方25~35mより最初5mm程度の隆起が表れシールド機通過直前10~5mから沈下現象が発生して, シールド機通過後1週間で最大30~70mmの沈下

量に達した。

泥水処理に関しては2次分級の脱水時間が長くなり, ケーキの含水比も高くなった。この区間ではこの処理能力によって掘進の進行数が左右された。

(2) 首都高速湾岸線道路下の斜横断区間

沖積層区間掘進の次に巾100mの高速道路の下を半径800Rのカーブで斜めに約370m横断した。

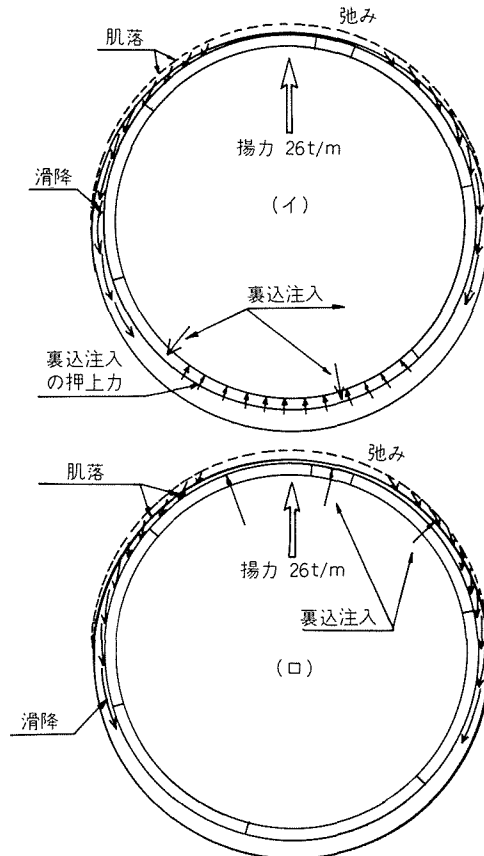


図-5 セグメントの浮上りの説明図

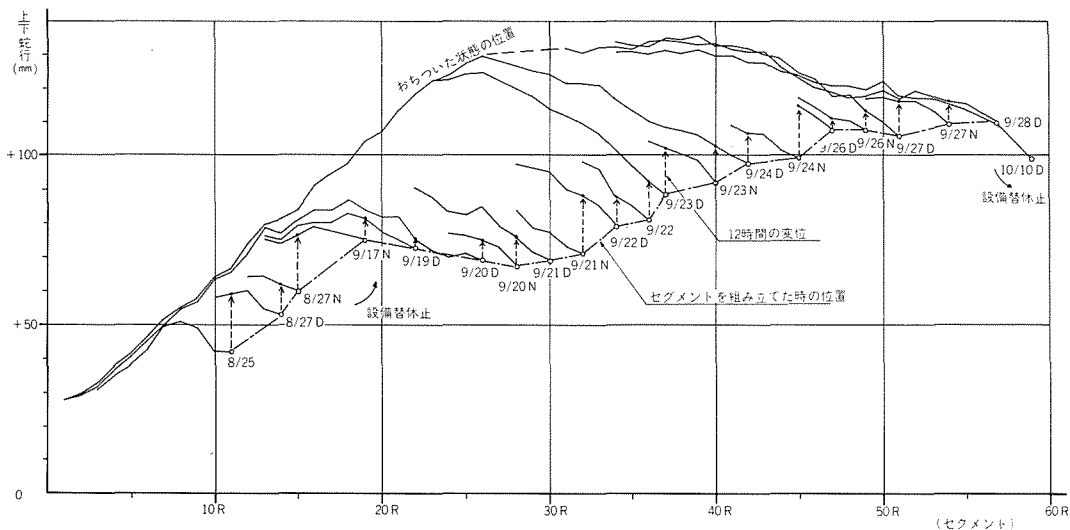
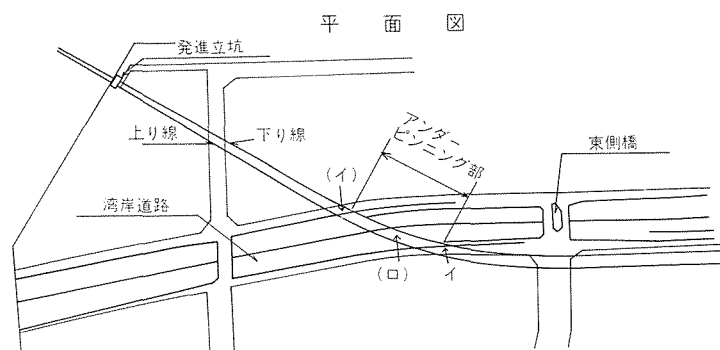


図-6 泥水圧および裏込注入圧によるセグメントの浮上り



道路構造物アンダーピンニング部断面図

(イ) 擁壁部

(ロ) 一般道路部

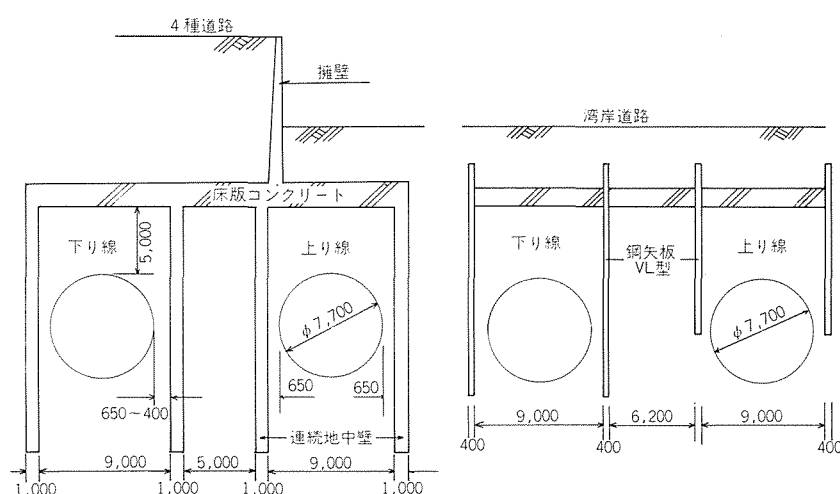


図-7 首都高速湾岸道路斜横断面部

この区間は、本路線中で最も問題としていた個所で、シールド掘進による湾岸道路の沈下が懸念されたため、道路工事を先行する時点で道路構造物の下にアンダーピンニングが施工された。(図-7)

バックサイトができない立坑から約 500 m 先の地点でシールドとアンダーピンニング杭間の左右のクリアランスがそれぞれ 400~650 mm しかなく、しかも、スラブよりシールド天端まで約 5 m という狭い防護工の中にシールド機を進入させた後、細心の注意をはらって掘進管理及び泥水管理を行いながら、無事通過し得た。

特にアンダーピンニング部進入口までの測量は、観測孔を設けずに、ジャイロコンパス等を使用することにより殆んど真芯に突入することができた。進入した後は、シールド機側部に装備した油圧探針棒による左右のクリアランスの確認、及び地山の緩みの状況を把握しながら慎重に掘進した。

カーブ掘進時には、シールドのカーブ内側の緩みが懸念されたが側部緩みの油圧測定結果から判断し

て、カーブ内側で 10 cm 程度のわずかな緩みが感じられる程度で、カーブの外側はほとんど緩ませていないと思われた。また、天端については、シールド機通過後、セグメントグラウトホールからボーリングマシンによって、スラブ下まで緩み調査を行ったがほとんど緩みはみられなかった。削孔跡埋めにはセメント・ミルクを注入した。

(3) 沖積層の落ち込んだ区間（沖積粘土層と砂礫層の互層）

この頃から、掘削土の中にしばしば $\phi 15$ cm 程度の玉石等が混じる様になり、P₂あるいはP₅ポンプの起動障害や閉塞の原因となった。そこで排泥管にバイパス回路による除礫装置を取付け、多い時は 1 リング掘削中に数回の排礫を行いながら掘進した。また、掘進を止めている間に砂が沈降して、時折り、アジテーター周辺を埋めアジテーターの起動に支障をきたした。この現象は調整槽、シックナー槽についても同様で、シックナー槽集泥レーキ等にオーバーロードがかかりトラブルの原因となった。

送泥水の粘性の低下は、水圧室内の濃度をアンバランスにするので切羽の保持に影響したものと思われる。

発進口より約1,020mの12K890m地点で沖積層が落ち込んで、一部の地盤状況の悪い箇所では液性限界を越えた沖積粘土層の切羽を泥水で支えきれず、相当多量の土砂を一時にバルクヘッド内に呼び込んで、掘進を一時中止するというトラブルが発生した。これらの対策のため、LW注入による補強、埋設管防護、泥水圧制御用の安全弁の取付け、泥水比重及び粘性を改良（マドコン及び粉末粘土）する等の対策によって再開することができた。

(4) 到達坑までの砂層が主体の区間 400 m

砂層掘削に対処して、送泥水混合槽で市販粘土等を混入して、泥水の粘性の高化を計った（ファンネル粘土計26秒500/500cc）が、泥水循環及び処理の過程で、砂質分が分級され難く、泥水の品質が低下するという現象が発生した。そのため、これまでのロ

ータリークラシファイヤーに加えて急きょサンドコレクターを増設して砂分の分級能力の増大化を行った。以後、砂分によるシールド掘進システムのトラブルはほとんどなくなった。

到達立坑は、隣接工区によってニューマチックケーソンで施工されたが、シールド掘進に間に合わず、50m手前で40日間掘進を止めて待機することになった。

到達立坑の圧気施工を考慮し、また長期間停止の場合の砂層の切羽崩壊防止のため、泥水の代りにベントナイト溶液で置換して万全を期した。

置換の方法は、地上裏込注入プラントでベントナイト溶液を混合、スクリュークリートで切羽まで運搬し、モルタル送入ポンプMG-30で下方の4インチ予備排水口より注入し、切羽水圧を、 $1.1\text{kg}/\text{cm}^2 \sim 1.3\text{kg}/\text{cm}^2$ に保持しながら、排泥管の安全弁から在入泥水をオーバーフローさせ、均一なベントナイト溶液がでてくる迄注入を続け、完全に泥水とベントナ

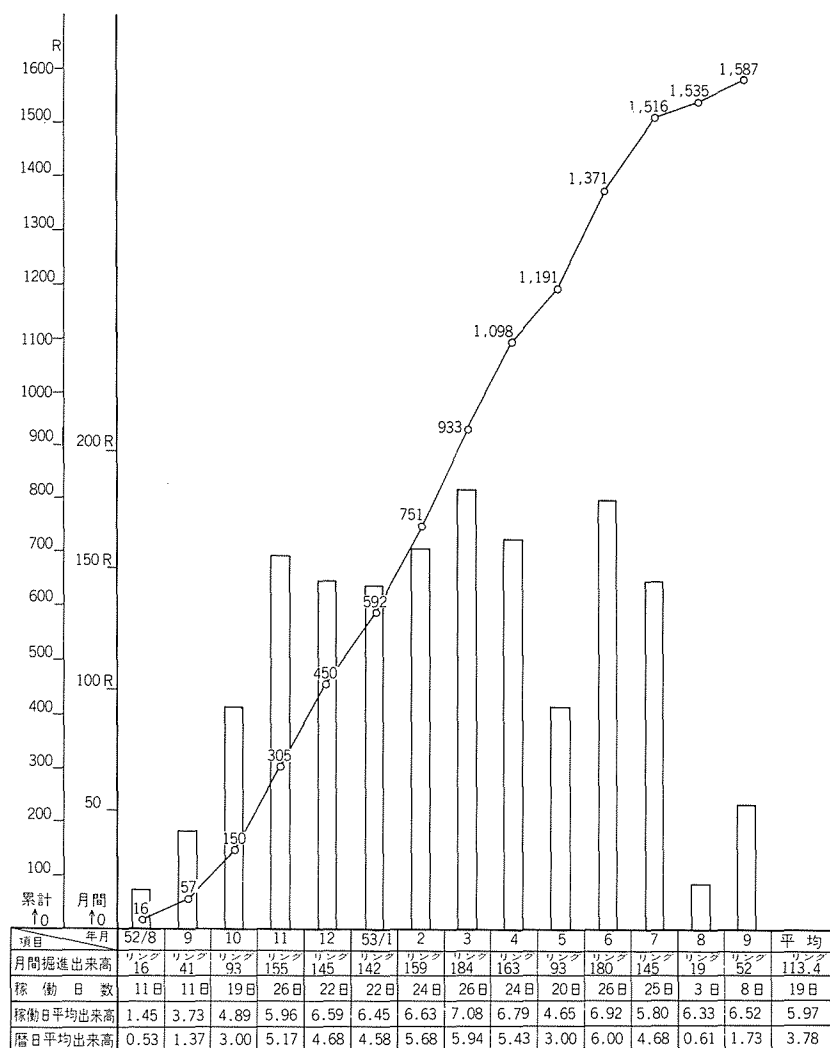


図-8 シールド掘進実績

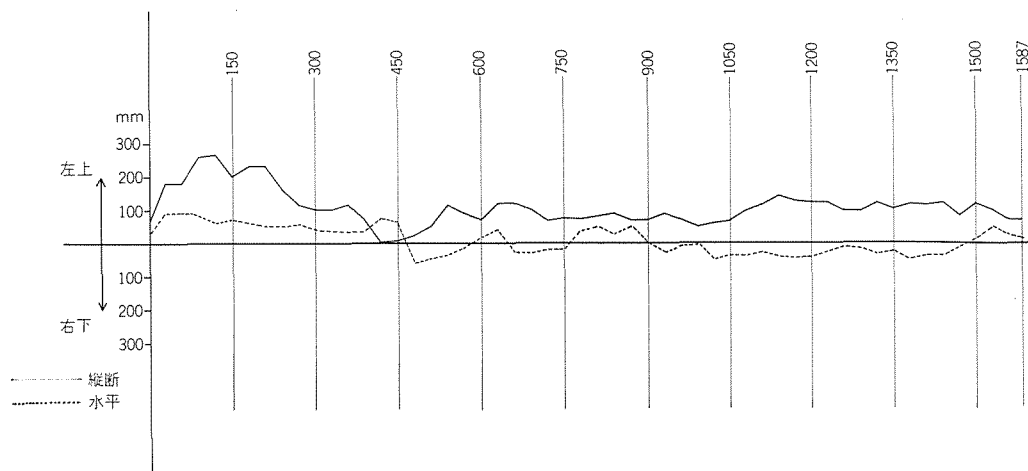


図-9 蛇行実測図

イト溶液を置き換えた。

ペントナイト溶液の配合は次の通りで行った。

1 バッチ (0.6m³) 当り

水……………480 ℓ

ペントナイト…………75kg

ブラスター…………3 kg

C.M.C……………0.45kg

ハイゲル……………0.60kg

掘進中止期間はシールド機頭上の地表面を毎日測定したが大きな沈下もなく、無事再掘進して到達す

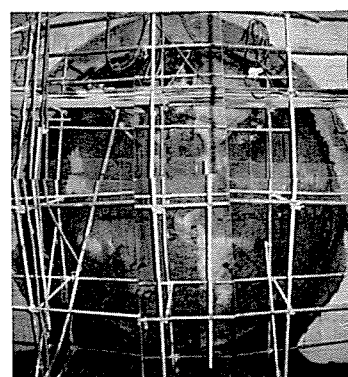


写真-4 到達したシールド機

る事ができた。尚、月別の掘進実績 (図-8) シールド機蛇行表 (図-9) を添付する。

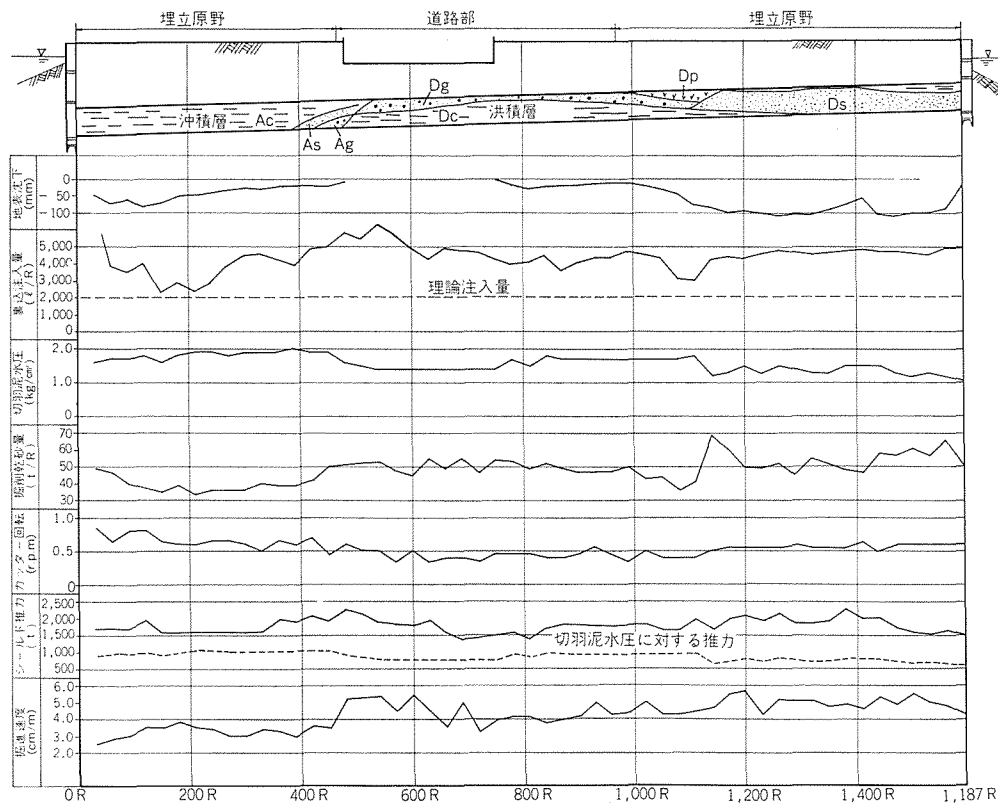


図-10 掘削管理図

2-3 掘進管理 (図-10)

処理設備内に中央管理室を設け、泥水循環及び処理の運転管理、切羽泥水圧力の監視と制御、排出土砂の計測等の他、シールド機の諸値（ジャッキストローク、ジャッキ圧力、カッター回転等）も検出表示して的確な総合管理の中核部とした。(写真-5、図-10)

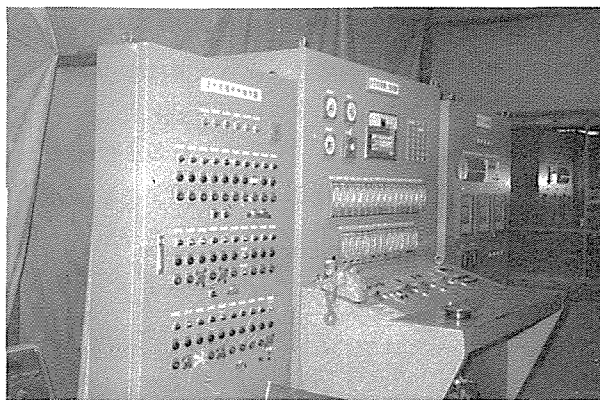


写真-5 中央管理室内部

§ 3. 覆 工

セグメントは鋼とコンクリートの合成セグメントで地質条件等により甲・乙・丙の3種類を用いた。セグメントの形状寸法は甲乙丙とも巾900mm×外径 ϕ 7,500mm×厚さ300mmでそれぞれの仕様は表-1のとおりである。

表-1 セグメント仕様

	甲	乙	丙
スキンプレート	3.2mm	2.3mm	3.2mm
主筋	D 22	D 19	D22
リング間継手プレート	14 mm	14 mm	22 mm
セグメント間継手プレート	25 mm	19 mm	25 mm
リング間継手ボルト	M30×85(10T)	M30×85(4T)	M33×188(10T)
セグメント間継手ボルト	M30×105(10T)	M30×90(10T)	M30×105(10T)
リング数	439リング	976リング	172リング

甲セグメントは沖積層用で構造は図-11に示すとおりである。

乙セグメントは洪積層用で構造はほぼ甲セグメントと同じでスキンプレート厚、主筋径などが小さくなっている。また、乙セグメントの特徴としてリング間継手面の形状を図-12に示すとおりとした。すなわち泥水工法の場合、セグメント端部の圧壊により、イ) コンクリート破片によるテールシールの損傷、ロ) クラック発生にともなう漏水等が懸念されるため、リング間継手面のシール溝から外縁までを1mm凹ます形状とすることにより

- a) ジャッキスプレッダーがセグメント外縁に当たらなくなり外縁端部の圧壊を防止できる。

- b) コンクリート面不整があっても、外縁に慮外の応力を発生させない

- c) シール機が推力により変形してシール溝からはみだしても継手面に隙間を発生させない

ことを図った。

丙セグメントは沖積層用で甲セグメントとほぼ同じ構造、強度をもつものであるが、後述する伸縮継手部に用いるため、リング間継手の形状が若干異なる。

3-2 セグメント組み立て

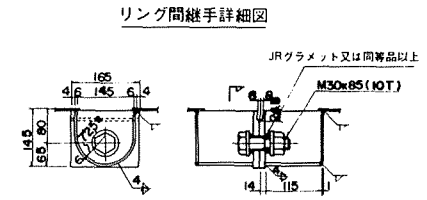
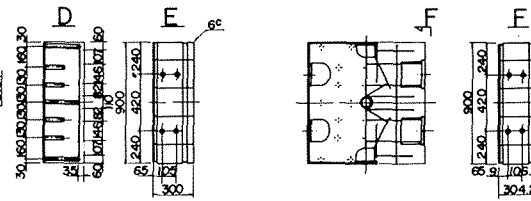
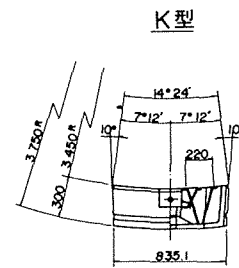
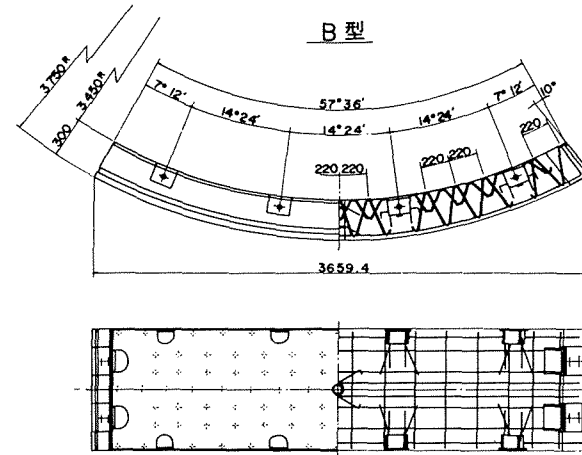
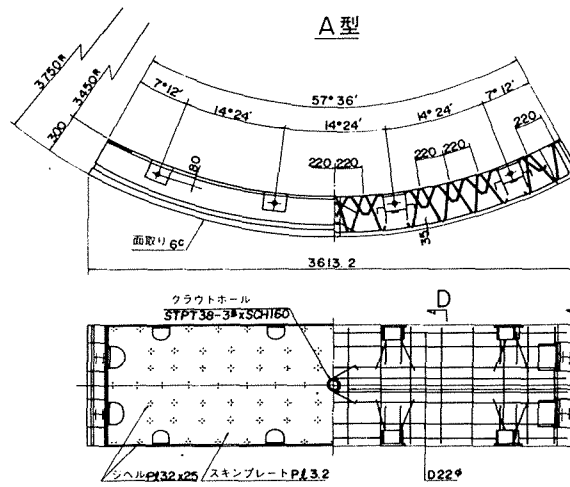
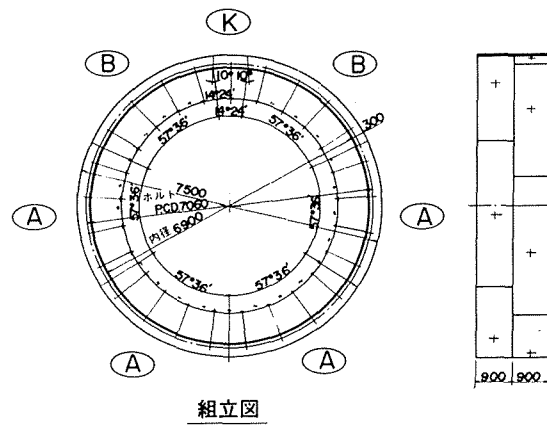
セグメント製作工場から運搬されたセグメントは発進基地のセグメント置場(写真-6)にストックされる。ここでシール材を貼付されたセグメントは5.0t吊り門型クレーンによって2枚ずつたて坑下の運搬台車におろされ、バッテリー機関車にて切羽迄1リング分3台の台車で運搬される。掘進終了の都度、後続台車に設備されたホイストクレーンによりシールドテール内迄小運搬し、エレクターで下方より順次組み立てていく。シールド機は切羽前面からばう大な泥水圧力を受けているので、シールドジャッキを組み込むピース分だけ(4本)締め、その他(22本)は張ったままにして組み立てた。セグメント締結ボルトはラチェットレンチにより、約2.5~3 t/cm²の力で締結し、後続台車通過後(約60~70リング)、トルクレンチで $\sigma_s=4000\text{kg/cm}^2$ となるまで再締付けを行った。



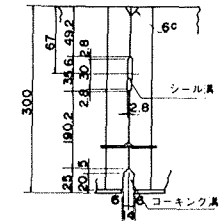
写真-6 セグメントストックヤード

3-3 伸縮継手工

当ずい道が施工された13号地その1埋立地は、地盤の沈下が不十分で、特に発進たて坑から500m迄の間は非常に軟弱な沖積シルトであり、現在著しい地盤沈下が進行中である。その沈下量は地表で16cm/年、トンネル下端で7cm/年に及び、約90年後の予想沈下量は、最大約1m10cmの計算値となっている(図-13)。そのため従来の剛結合トンネルでは地盤の沈下に追従できず、覆工が破壊すると考えられる。そこで、当トンネルではゴムガス



コーキング詳細図



セグメント間継手詳細図

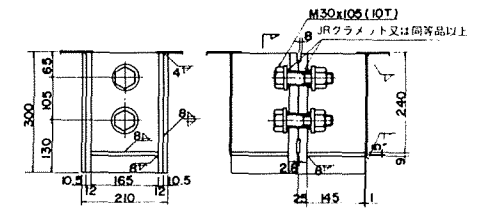


図-11 セグメント図 (甲セグメント)

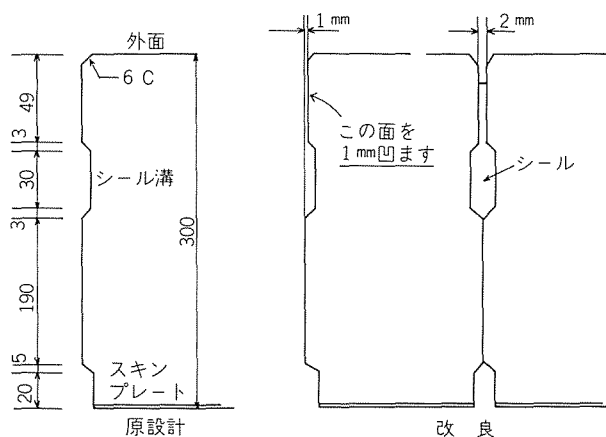


図-12 セグメント継手部の改良

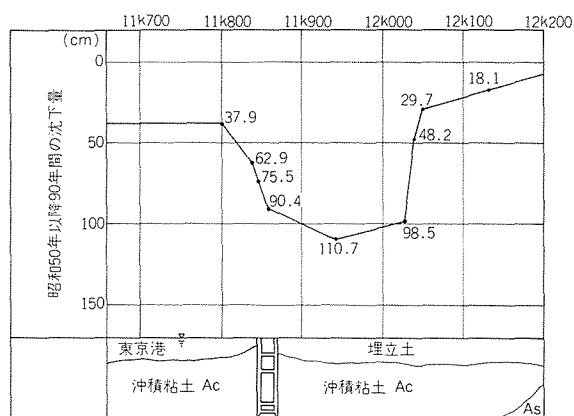


図-13 沈下予想曲線図

ケットをセグメントのリング間に入れて、地盤沈下に対してその伸縮性で対応させるフレキシブルな構造とされた。ゴムガasketは将来の地盤沈下に対応させるために表-2の規格値を満足するよう、ネオプレンゴムと天然ゴムを表-3の配合でブレンドしたものをを用いた。

ピース長に切削加工されたガasketは、地上において予じめ接着剤でセグメントに貼りつける(写真-7)。組立は一般セグメントと同じ要領で順次行ない、シールドジャッキの推力で60mmのガasketを30mmに圧縮してリング間のボルトを締結する(図-14)。掘進及び覆工が完了した後、リング間ボルトのナットを24mmもどし(図

表-2 規格値 JIS K6301準拠

(イ) 圧縮永久ひずみ	10%以内
(ロ) 応力緩和	90年外挿値が50%以内
(ハ) 引張り強さ	100kg/cm ² 以上
(ニ) 伸長率	400%以上
(ホ) 硬度	50°±5
(ヘ) 引裂強さ	20kg/cm以上
(ト) 浸水テスト	70℃×90days±10重量%
(チ) 100℃120時間老化した場合でも(イ)、(ニ)の条件を満足すること。	

表-3 ゴムガasket配合表

種別	品名	重量(%)
ゴム材料	ネオプレン(ポリクロロプレンゴム)	50
	天然ゴム	10
補強充てん剤	カーボンブラック	20
調整剤	有機酸及び石油留分	10
耐圧縮用添加剤	Y-J 116154	5
加硫剤	イオウ、チウラム類	3
老化防止剤	ジァミン類	2

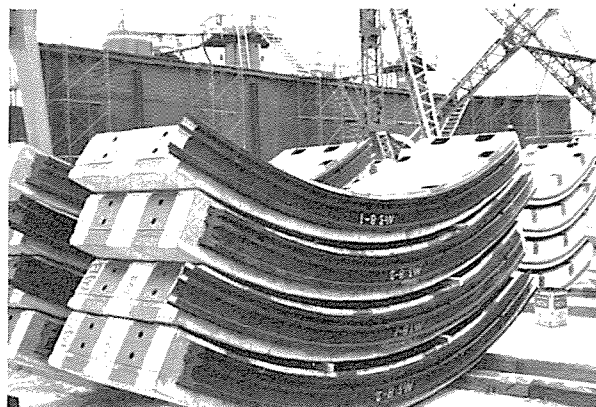


写真-7 セグメントに貼付けられた伸縮ゴム

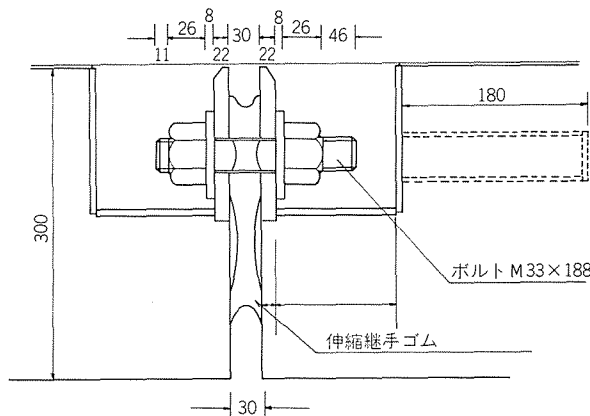


図-14 掘削直後の伸縮継手ゴムの組立図

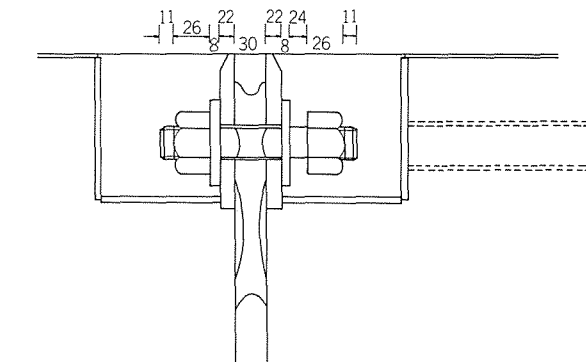


図-15 掘進覆工完了後の伸縮継手ゴム解放図

図-15) 地盤沈下による覆工の変状に対応してゴムが54mm迄復元できる様にする。伸縮継手ゴムガasketはセグメントと同じ7分割としたが継手の位置はセグメント端

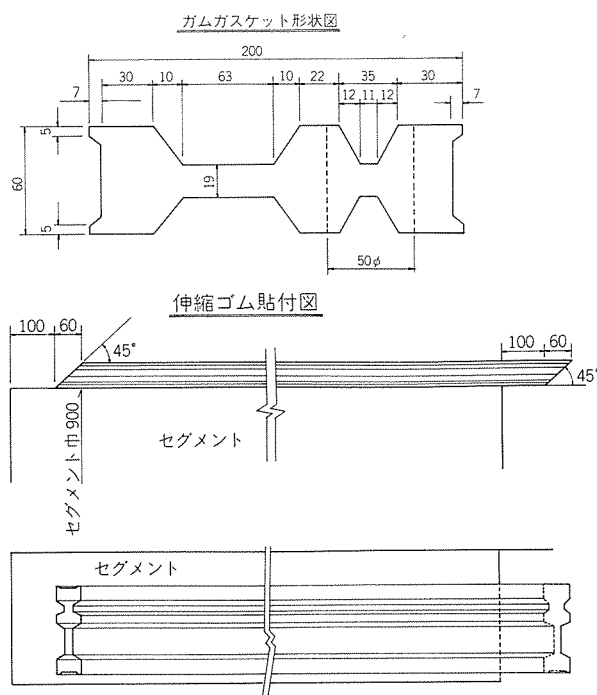


図-16 伸縮継手ゴムガスケット

からずらして、図-16の形状寸法とした。

3-4 土圧及び応力測定

当トンネルにおいて、初めて導入された伸縮継手ゴムガスケットを使用したセグメントの挙動を測定するために土圧、鉄筋応力、スキンプレート表面歪、伸縮継手の伸縮、せん断変位及びトンネル縦断変位の測定を行った。計器の選定にあたっては、下記の条件を満足するものとした。

- (1) 堅牢であること。
- (2) 測定精度が高いこと。
- (3) 長期的な安定性をもつこと。
- (4) 測定値の信頼性が高いこと。

(5) トンネル内に設置可能な計器であること。

以上の条件により表-4に示す様な計器を選定した。

測定は、セグメント組立て直後より始め、2週間目迄は毎日1回、2ヶ月目迄は3日に1回、その後は月に1回行っている。

土圧分布は、下方は現在の値が最大であるが、上方はテール離脱後（裏込注入時）が最大値を示している。また、土圧は現在ほぼ落ちついた状態であるが、今後併列するトンネルの掘削によりかなりの影響がでてくると思われる。

トンネルの縦断変位は1度テール脱出時に浮き上りを見たものの、その後沈下し、立坑より50m地点で40mm、100m地点で70mm、200m地点で90mm、300m地点で30mm、400m地点で0となっており、現在も尚、沈下中である。

また、それに伴って伸縮継手も変化しているがボルト解放がまだなされていないので大きな変化はみられない。

測定は現在も行っており、今後、併列トンネルの通過迄（それ以後は未定）は行う予定である。今回は現在迄の結果（図-17）を示すだけとし、測定完了後、機会があればそれについて報告したい。

表-4 計器仕様

	型 式	測定範囲	測定精度	使用温度範囲	計器長さ
鉄筋応力計	カールソン型 CR-22	$\pm 2,000 \text{ kg/cm}$	13.3 kg/cm^2	$-30^\circ\text{C} \sim +70^\circ\text{C}$	900 mm
表面ひずみ計	カールソン型 CF-10S	$\pm 1,000 \times 10^{-6}$	6.7×10^{-6}	$-30^\circ\text{C} \sim +70^\circ\text{C}$	100 mm
せん断変位計	PD-20L	$\pm 10 \text{ mm}$	0.05 mm	$-30^\circ\text{C} \sim +70^\circ\text{C}$	500 mm
伸縮変位計	PD-60F	$\pm 30 \text{ mm}$	0.15 mm	$-30^\circ\text{C} \sim +70^\circ\text{C}$	500 mm
土 圧 計	F440 $\times$ 400 Q F 10	0 $\sim$ 10 kg/cm^2	0.05 kg/cm^2		400 mm $\times$ 400 mm

§ 4 . 裏込注入

4-1 配合計画

当トンネルの地質では、裏込注入対象部分の間隙は常に地下水又は泥水が充満している。その間隔を速かに填

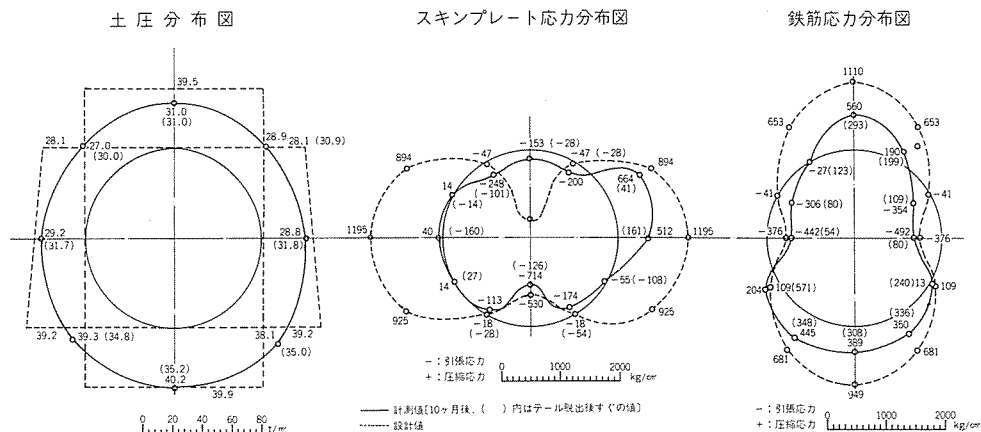


図-17 土圧・応力測定結果

充し、そして切羽への廻り込みを防止するために、注入材は硬化の早い配合のものを選定した。示方配合に従ってセメントモルタルと珪酸ソーダの2液混合とし、ゲルタイム60秒前後、1週圧縮強度10kg/cm²以上となる様に計画した。気温、液温の変化によるゲルタイムの調整は、夏配合と冬配合の2種類の配合を使うことで解決した。

(表-5)

表-5 裏込注入配合表

夏配合 (珪酸ソーダS1号)				m ² 当り	
A 液				B 液	
高炉セメント	フライ・アッシュ	砂	水	珪酸ソーダ (S1号)	水
180 kg	100 kg	650 kg	420 ℓ	150 ℓ	170 ℓ

冬配合 (珪酸ソーダ3号)				m ² 当り	
A 液				B 液	
高炉セメント	フライ・アッシュ	砂	水	珪酸ソーダ (3号)	水
280 kg	120 kg	650 kg	280 ℓ	180 ℓ	140 ℓ

4-2 注 入

注入はシールド推進と同時にテール端を脱けたセグメントのグラウトホールからセグメントに偏圧をかけない様、上下左右方向均等に注入した。注入圧力はセグメント背面に作用する地下水圧及び泥水圧以上で、且つセグメントにかかる設計荷重以下ということで注入口の圧力計の読みで3kg/cm²以下とした。坑内注入プラントには積算流量計を設置しB液(珪酸ソーダ)の流量を自動記録させて全体の注入量を管理した。(図-18) 1リング当りの計算間隙量V₁は

$$V_1 = 3.14 \times (3.845^2 - 3.75^2) \times 0.9 = 2.040 \text{ m}^3 / \text{R}$$

で、地山の緩みに対する割増率を24.5%とすると、計算注入量Vは、

$$V = 2.040 \times 1.245 = 2.54 \text{ m}^3 / \text{R}$$

となる。これに対して注入実績は、平均4.48m³/Rであり、間隙量に対して約220%、計算注入量に対して約180



写真-8 裏込注入作業

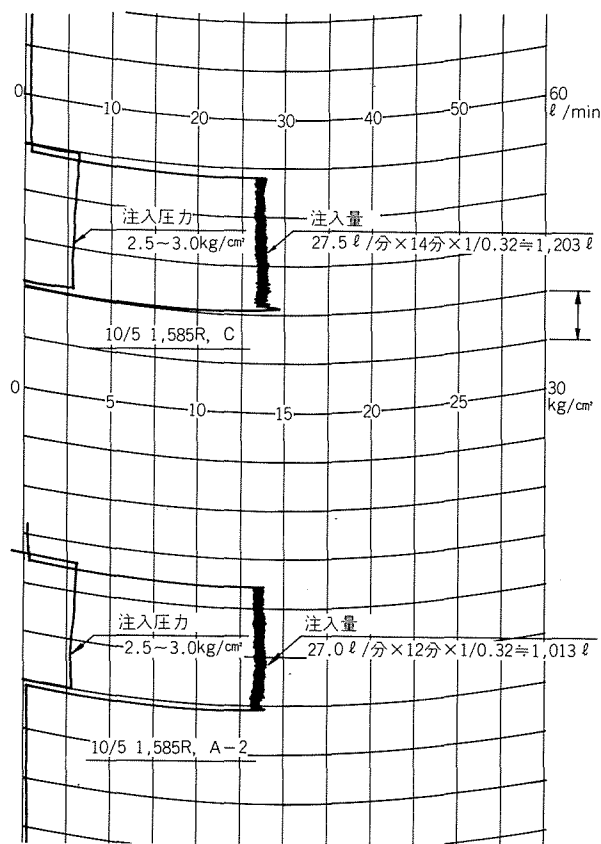


図-18 裏込注入量、圧の自動記録例

表-6 裏込注入、圧縮強度試験結果

採取年月	配合	液温(β)	モルタル温度	ゲルタイム	圧縮強度σ ₇
52.10	夏	20℃	23℃	59"	27.0kg/cm ²
52.12	冬	15℃	10℃	58"	59.9kg/cm ²
53. 2	冬	14℃	13℃	47"	46.9kg/cm ²
53. 4	夏	16.5℃	16℃	53"	26.8kg/cm ²
53. 6	夏	24℃	24℃	62"	14.6kg/cm ²
53. 8	夏	27℃	26℃	66"	21.9kg/cm ²
53.10	夏	25℃	24℃	78"	21.2kg/cm ²

%の値であった(図-10)。注入材の運搬及び注入方法は次の通りである。A液は地上プラントのミニバッチャーを使用して自動計量及び袋数計量によって混合し、グラウトポンプで坑内の注入材受け場所まで圧送する。B液も地上の貯蔵タンクから坑内へ圧送される。注入材受け場所では、A液はスクリークリートに、また、B液はバケット台車に投入され、それぞれバッテリー機関車で牽引して切羽プラント迄運搬した。更にA液をアジテーターに、B液を水ガラスタンクに移し換え、グラウトポンプにて、図-19に示すような1.5ショット方式で注入した(図-20)。尚、裏込材の圧縮試験結果を表-6に示す。

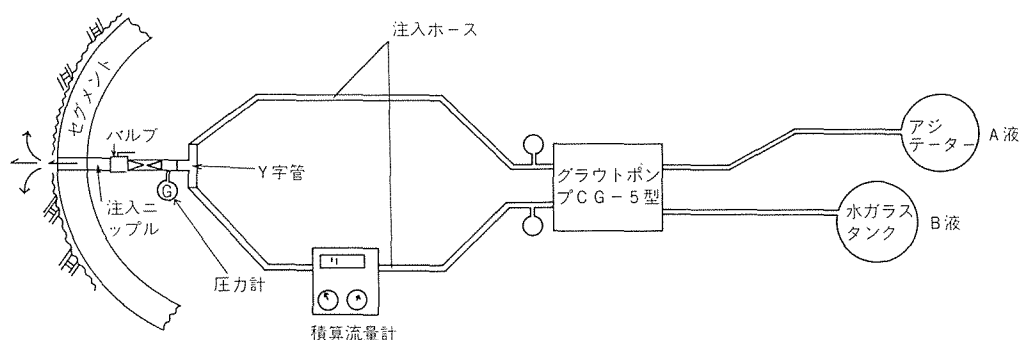


図-19 注入方法

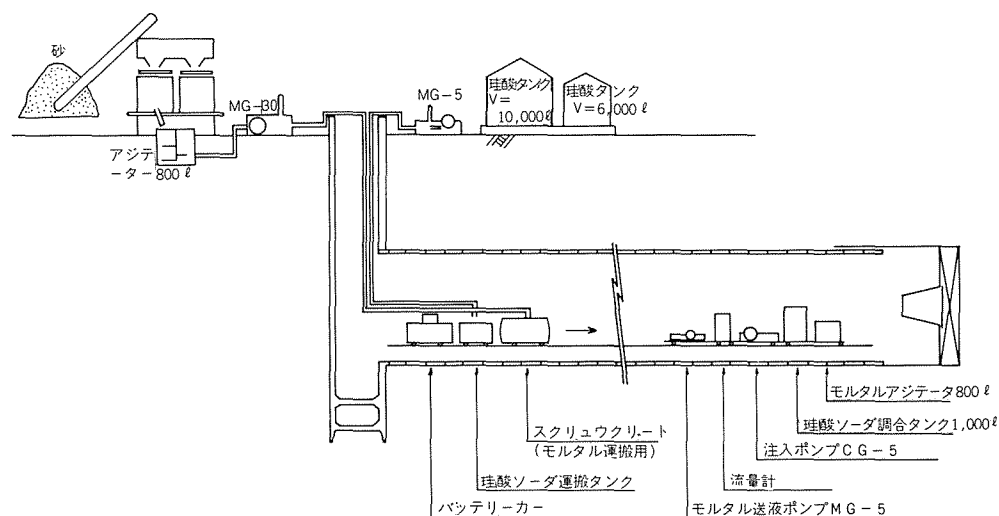


図-20 裏込注入系統図

§ 5 . 泥水処理

5 - 1 泥水処理設備

立坑より 300 m 離れた場所に約1400㎡の用地に泥水処理諸設備を設けた。また、その処理設備は次の各項により計画した。

- イ) 排泥水濃度 : 10VOL%
- ロ) 排泥水量 : 7 m³/分
- ハ) 1 リング処理時間: 150分

ニ) 泥水処理の方法 : 粗粒子の分級に機械式分級機を用い、微粒子の分級には凝集沈澱後強性脱水機を用いる。

以上より、主要設備は、

- ① 1次分級……振動スクリーン、ロータリクラシファイヤー、サンドコレクター(砂層時に増設)
- ② 送泥水調整……混合槽、調整槽

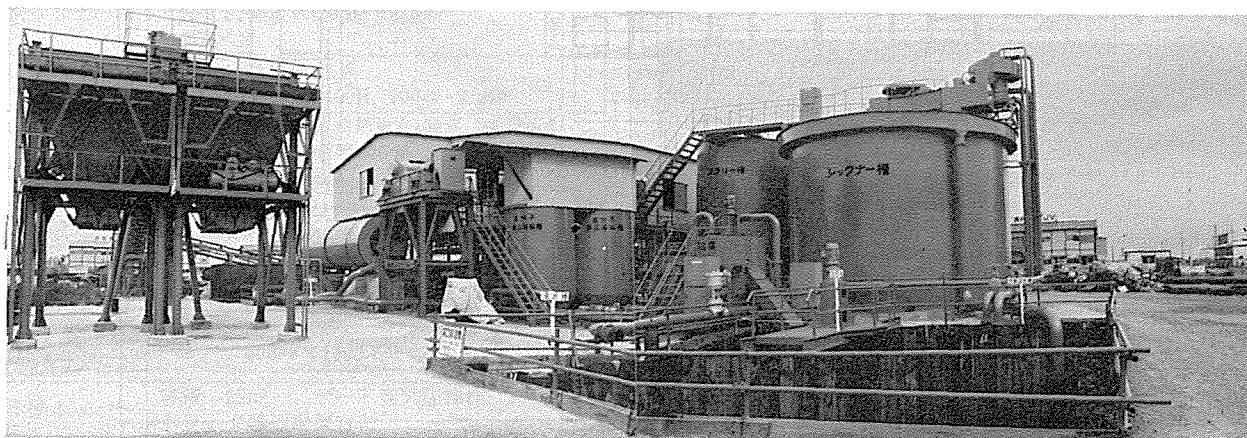


写真-9 泥水処理設備

③ 2次分級

フロック形成…シックナー槽、凝集剤添加、スラリー槽

脱水……………フィルタープレス

であり、各設備の配置は図-21の通りである。各機器の仕様を表-7に示す。

5-2-1 掘削泥水の1次分級

切羽よりスラリーポンプにて圧送（排泥管φ200mm）された掘削泥水は、先ず振動スクリーン（網目上段5mm、下段1mm）にて1mm以上の土砂を分級する。その後、分級泥水はロータリークラッシュファイヤー機のロータリードラム内に流入し、掻上羽根により200 μ 以上の土粒子を含水比30%程度で分級する。しかし、ロータリー分級機の分級効率が非常に悪いため、排出土粒子の含水比が高くその運搬にタンク車を必要とした。200 μ 以上の分級されない大径の土粒子が多量に2次分級機構に流入することと、2次分級量が増大するため機械が故障したり泥水密度が増大するなど、泥水処理に多大の影響を与えた。以上の理由から洪積層砂層の掘進時には急きょサンドコレクター（90t/hour）を増設して微細な砂分の分級

を行った。

以上の事から200 μ 以下の2次分級の効率を上げることと、適当な濃度の泥水を得るためには1次分級で振動スクリーンにて土塊・砂利・礫等の分級を行ない、微細な砂分はサンドコレクターで分級するという形式が望ましい。

5-2-2 送泥水の調整

1次分級された後の泥水は原水槽から混合槽に送られ切羽土質に適応する必要な泥水濃度に調整混合される。即ち泥水が粘性土の場合は希釈し、砂質土の場合は粘土あるいはCMCを添加混合する。濃度調整後の泥水は調整槽より、スラリーポンプにより切羽へ給泥管φ250mmにて送泥水として循環圧送される。必要以上の余剰泥水は処理のため2次分級機構へ流出する。

5-2-3 余剰泥水の2次分級（フロックの形成）

余剰泥水槽に入った泥水は、ポンプアップによりシックナー槽に送り込む。その際に無機凝集剤（バック）、次に高分子凝集剤（ソニクリン）を添加し、フロックを形成させて沈降速度を早める。凝集剤の添加は泥水濃度に応じた実験で求めた最適量を自動注入制御器で添加する。

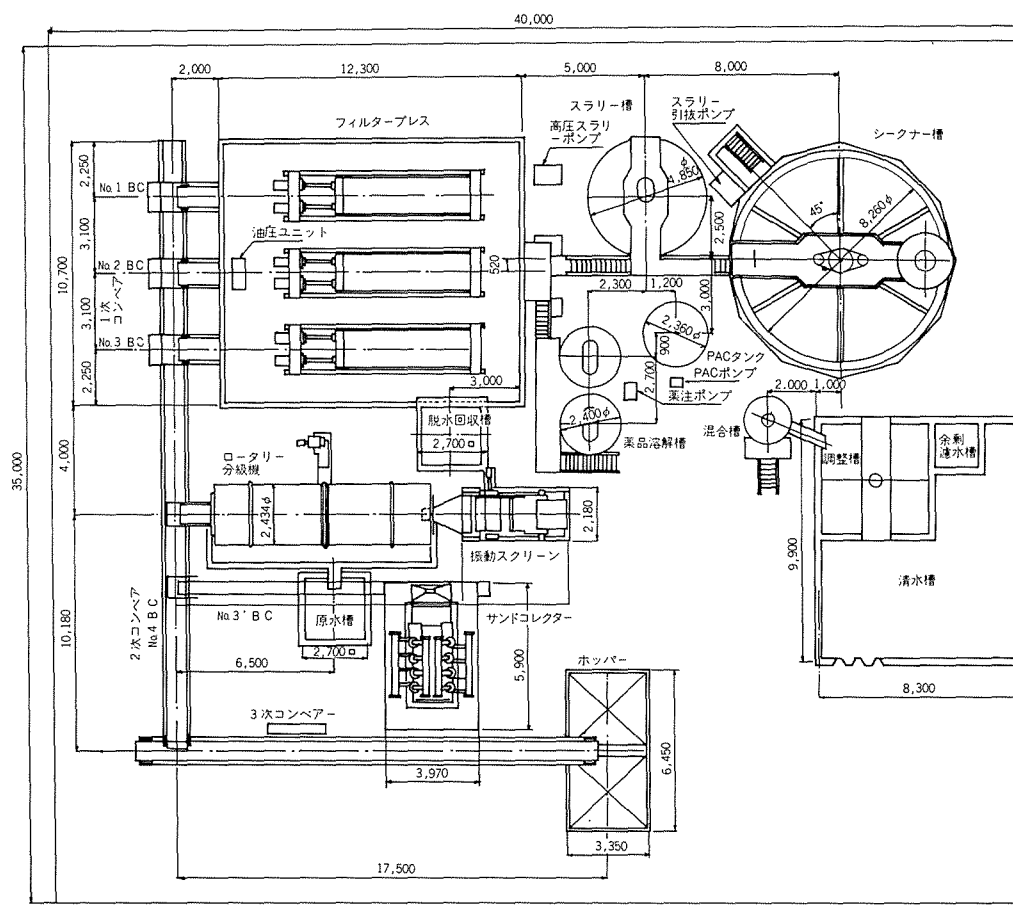


図-21 泥水処理設備配置図

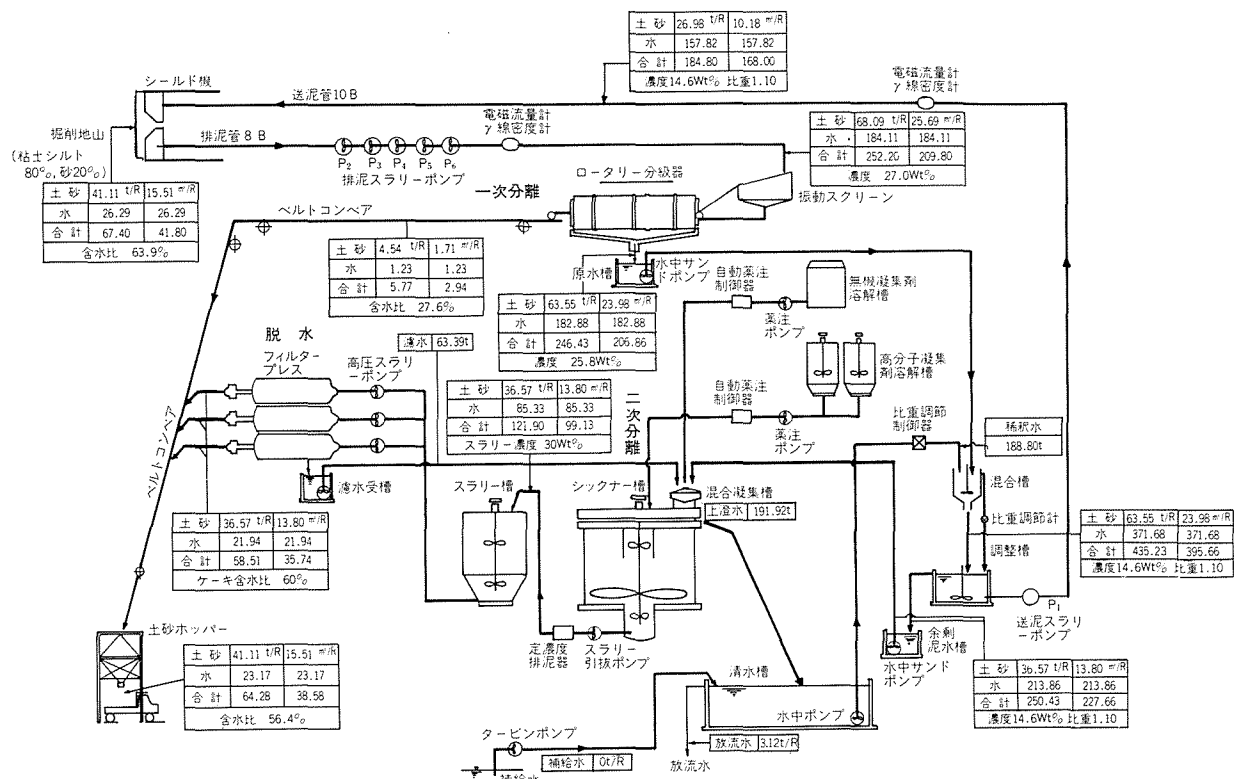


図-22 泥水処理フローシート図

表-7 泥水処理設備機器仕様表

機 械 名	仕 様	数 量
振動スクリーン	寸法：1500×3000 ローヘッド型 15KW 段数：2段 振動数：980rpm 網目：5mm・1mm	1
原 水 槽	寸法：2500×2500×2000H 12.5m³	1
サンド コレクター	9型サイクロン 230φ 8組 7.5KW スクリーン：ウェッジワイヤースクリーン 1500×300 2段 振動数：1100rpm 9 T/H 網目：0.3mm	2
混 合 槽	寸法：1920φ×2600H 3.7KW	
調 整 槽	寸法：4500×4500×3000H 60.75m³ 7.5KW	
余剰泥水槽	寸法：1500×1500×3000H	
シックナー槽	特殊高濃度濁水処理型 集泥レーキ凝集器 寸法：8260φ×600H 316m³ 2.2KW×2	
ス ラ リ ー 槽	集泥レーキ付 寸法：4850φ×6400H 100m³ 2.2KW	
フィルタープレス	FRP濾過板 60吋 角形単室100室 自動開閉式 容積6.0m³ 濾過面積400m² 水切シュート付	
1次コンベア	ベルト幅900mm×12500ℓ 2.2KW	
2次コンベア	600mm×24000ℓ 7.5KW	
3次コンベア	600mm×18000ℓ 7.5KW	
ロータリーコンベア	600mm×13000ℓ 7.5KW	
サンドコレクター ベルトコンベア	600mm×1300ℓ 7.5KW	
土砂ホッパー	容積 25m³ ゲート空気圧操作 トラック積込用架台付	
清 水 槽	10000×8000×3000H 240m³	

添加量はバグ平均9.17kg/m³、ソニクリン0.218kg/m³であつた。

形成されたフロックは沈降濃縮され、一定濃度になると底部からスラリー引抜きポンプによりスラリー槽へ引き抜かれて貯蔵される。シックナー槽よりのオーバーフロー水は清水槽へと戻り希釈水として一部使用し、残りは処理水として放流した。

5-2-4 余剰泥水の脱水

スラリー槽に貯められた平均含水比300%の濃縮スラリーは、高圧スラリーポンプによりフィルタープレス室内へ圧送され、圧力6.2kg/cm²で圧搾脱水される。圧搾脱水



写真-10 脱水されたケーキ

されたケーキは、平均含水比60%程度となりベルトコンベアーによりホッパー迄搬出される(写真-10)。脱水時間は、土質、スラリー濃度及び濾布の状態等により変化するが平均70分程度であった。

1次分級、2次分級および脱水の各過程において処理される土砂の量および粒径は図-22のフローシートの様になり、余剰泥水の各地点における凝集剤の添加量、脱水時間、ケーキ含水比及び放流水の関係は図-23のとおりであり、ケーキ含水比は80%、脱水時間の最高は100分であった。

5-3 凝集剤(表-8)

泥水処理全体において、2次分級、余剰泥水脱水で脱水性の良いフロックを作ることが、非常に重要である。凝集剤の種類、添加量及び添加方法を選定するに当り下記の条件を規準とした。

1. 放流水の含有浮有物(SS)量 140ppm以下
2. 放流水の水素イオン濃度(PH) 5.8~8.6
3. フロックの沈降速度 10m/H以上
4. 大きく且つ締り具合の良い脱水性に富んだフロックを形成すること。

表-8 凝集試験

凝 集 試 験										
供 試 試 料		11K980Mより採取100メッシュカットしたものを水道水にて10wt%に調整								
攪 拌		PACを添加して攪拌2分間、次に高分子を添加して攪拌30秒								
試験 No.	①高分子凝集剤の種類による凝集変化(1)					⑤PACの2段階注による凝集変化				
	②" (2)					⑥沈降速度試験				
	③PACの添加量の違いとアコーフロック720									
	④" ソニクリンP500A									
試験 No.	試料 のpH	PAC		高 分 子 凝 集 剤			試 験 結 果			備 考
		添加量cc	添加率kg/tss	銘 柄	添加量cc	添加率kg/tss	フロック状態	上澄水PPM	pH	
①	8.75	10	10	ソニクリン P410	4	0.2	×	1000	7.55	
	"	"	"	ソニクリン P500A	"	"	◎	100	7.40	
	"	"	"	ソニクリン P335A	"	"	◎	60	7.45	浮有物有 しまりなし
②	8.75	10	10	サンフロック AH200P	4	0.2	◎	40	7.5	
	"	"	"	アコーフロック 720	"	"	◎	150	7.45	
	"	"	"	ソニクリン P500A	"	"	◎	110	7.4	
③	8.75	6	6	アコーフロック 720	4	0.2	△	500	7.8	コロイド状
	"	8	8	"	"	"	◎	220	7.6	しまりなし
	"	10	10	"	"	"	◎	80	7.4	
④	8.75	6	6	ソニクリン P500A	4	0.2	×	420	7.75	
	"	8	8	"	"	"	◎	220	7.6	
	"	10	10	"	"	"	◎	120	7.4	
⑤	8.75	(1分)(1分) 4+2	6	ソニクリン P500A	4	0.2	×	400		
	"	4+4	8	"	"	"	◎	180		
	"	5+5	10	"	"	"	◎	76		
⑥	8.75	10	10	アコーフロック 720	4	0.2	◎	100		9.2m/H
	"	10	"	ソニクリン P500A	"	"	◎	125		10.2m/H
	"	5+5	"	"	"	"	◎	55		31.8m/H
放流水規準値		含有浮有物 pH		140PPM以下 5.8~8.6						

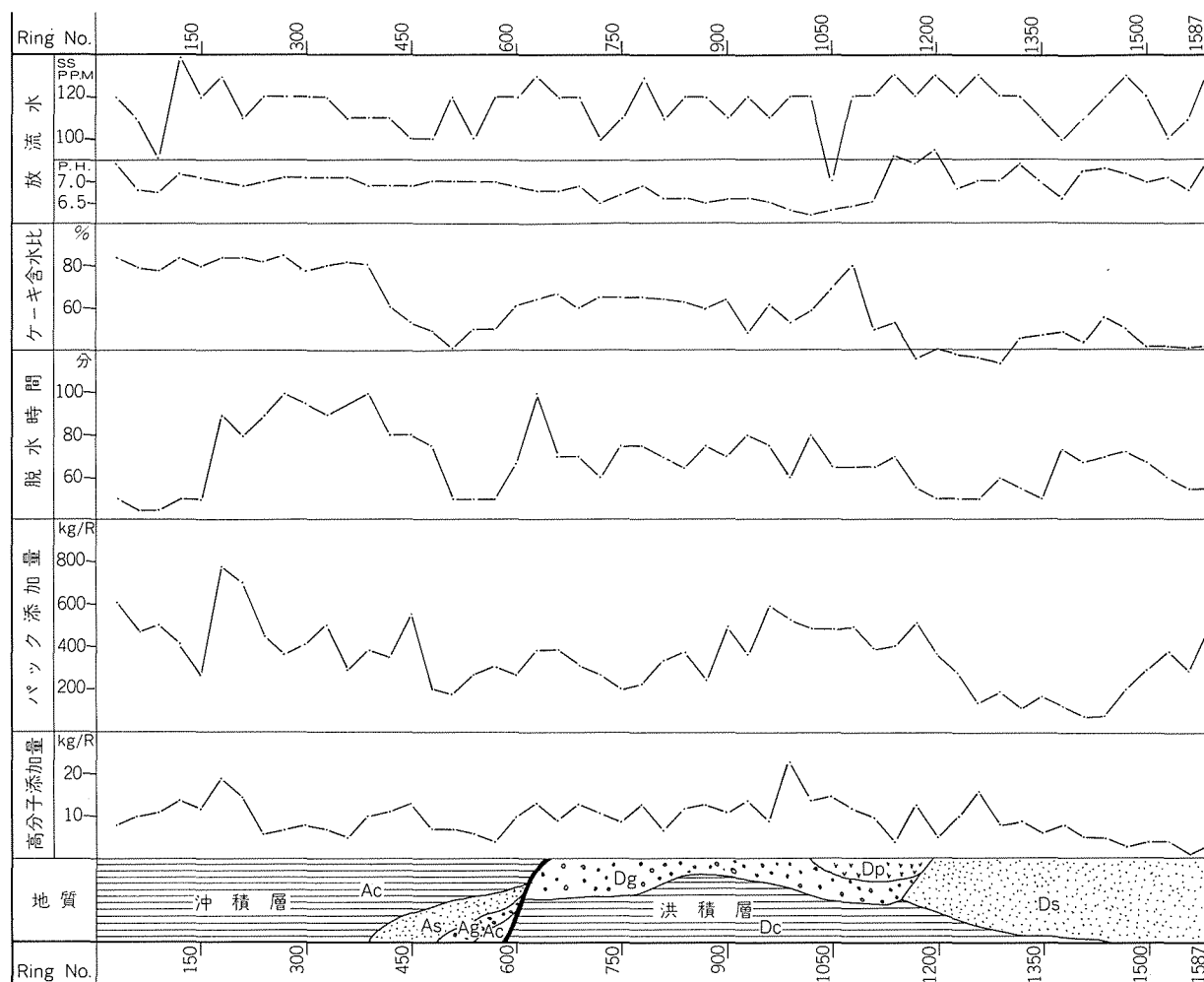


図-23 泥水処理関係管理図

無機凝集剤としては、パック、硫酸バンド及び塩化第二鉄を用いて実験を行った結果、硫酸バンドは放流水の濁度が400ppmと悪く、塩化第二鉄は濁度150ppmで良いがフロックの状態が悪く、パックは濁度120ppm、PH 7.2及びフロックの状態も良かった。

高分子凝集剤としては、ソニクアリン、アコーフロックを用いて実験を行った。上澄水の濁度は、ソニクリン P 500 A の場合 120ppm、アコーフロック 500 A の場合 80ppm（いずれも最適添加量のと看）とアコーフロック 500 A のほうが良い。しかし、アコーフロックの場合パックの添加量の影響を大きくうける欠点がある。また沈降したフロックの状態もソニクリン P 500 A より劣る。

以上の結果から、凝集剤は無機凝集剤としてパック、高分子凝集剤としてソニクリン P 500 A（但し、1,300 R 以降の洪積層では、ソニクリン P 100 A に変更）を使用した。

§ 6. むすび

当工事も1,440mの掘削を終えて、現在二次覆工の作業を行ないつつあり、また、併列する上り線のシールド機を製作しつつあり、今工事で得た貴重な経験を生かして大断面の泥水シールド工法の確立に近づくべく研鑽したいと考えている。最後に、ご指導ご鞭撻をいただいた日本鉄道建設公団をはじめ関係各位に感謝いたします。