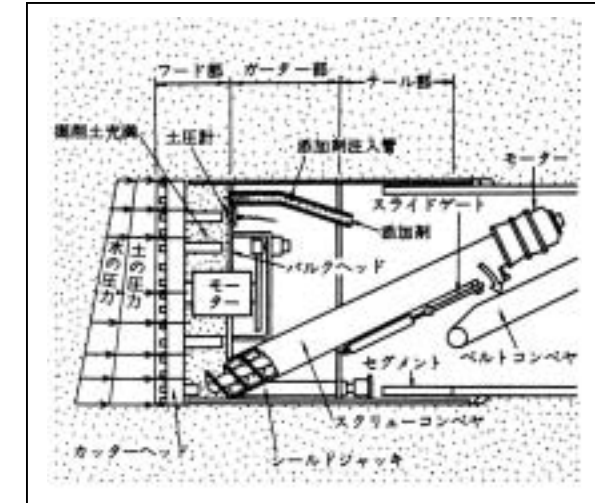
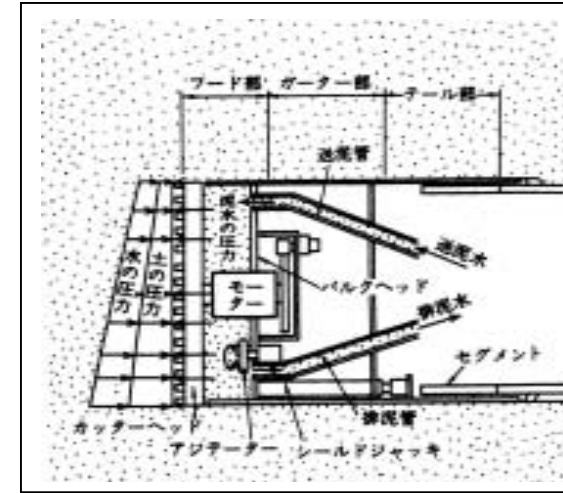


5. シールド工法事例の整理

1) 技術開発の現状

シールド工法は、1825年にテムズ川を横断する道路トンネルを構築するために考案された。日本では、1910年に奥羽本線折渡トンネルで使用されたのがはじまりと言われているが、本格的にシールド工法が用いられたのは1942年の関門鉄道トンネルである。

従来のシールド工法における作業環境や周辺地盤への影響を改善するため、日本独自の工法である密閉型シールドの開発が1965年頃からはじめられ、泥水式シールドは1967年、土圧式シールドは1974年から用いられている。これらのシールドは図5-1で示すように切羽が密閉されており切羽の安定が図れると同時に周辺の地下水や地盤への影響を抑止できる構造となっている。



2) シールド工法の漏水対策

(1) シールドトンネルの漏水の主な要因

セグメントの継手面の防水

トンネル内側に施す二次覆工、または一次覆工と二次覆工との間の防水

裏込め注入材による防水

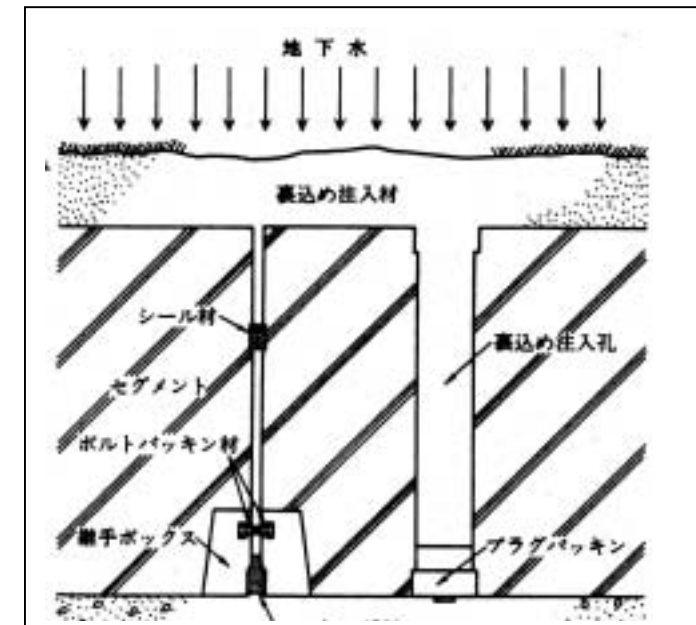
(2) シールド工法施工時の漏水要因

テール部のシール方法とシール材料

3) 漏水対策技術の状況

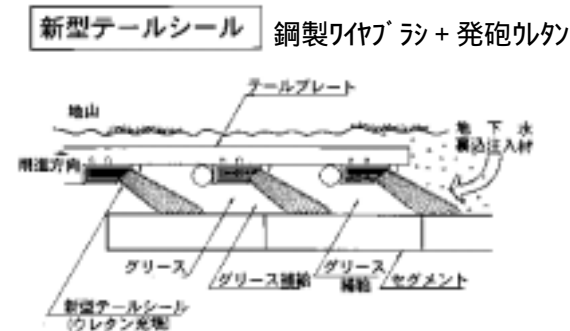
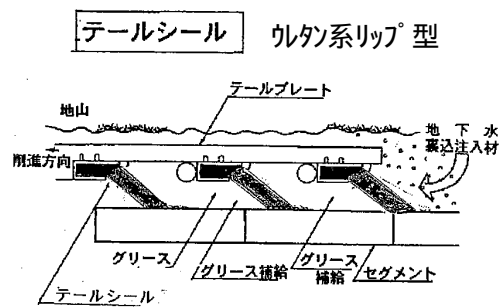
セグメントの継手面の防水技術

- ・ セグメントのシール材・・・水膨張性シール材による防水
- ・ 継手ボルトのリング状パッキン材・・・合成ゴムや合成樹脂製パッキン
- ・ 注入孔のグラウト用パッキング材・・・注入孔外周の水膨張性ゴムリング



テールシール材

グリスのみ→80年代前半に改良→テールシールの改良と相まって止水性向上

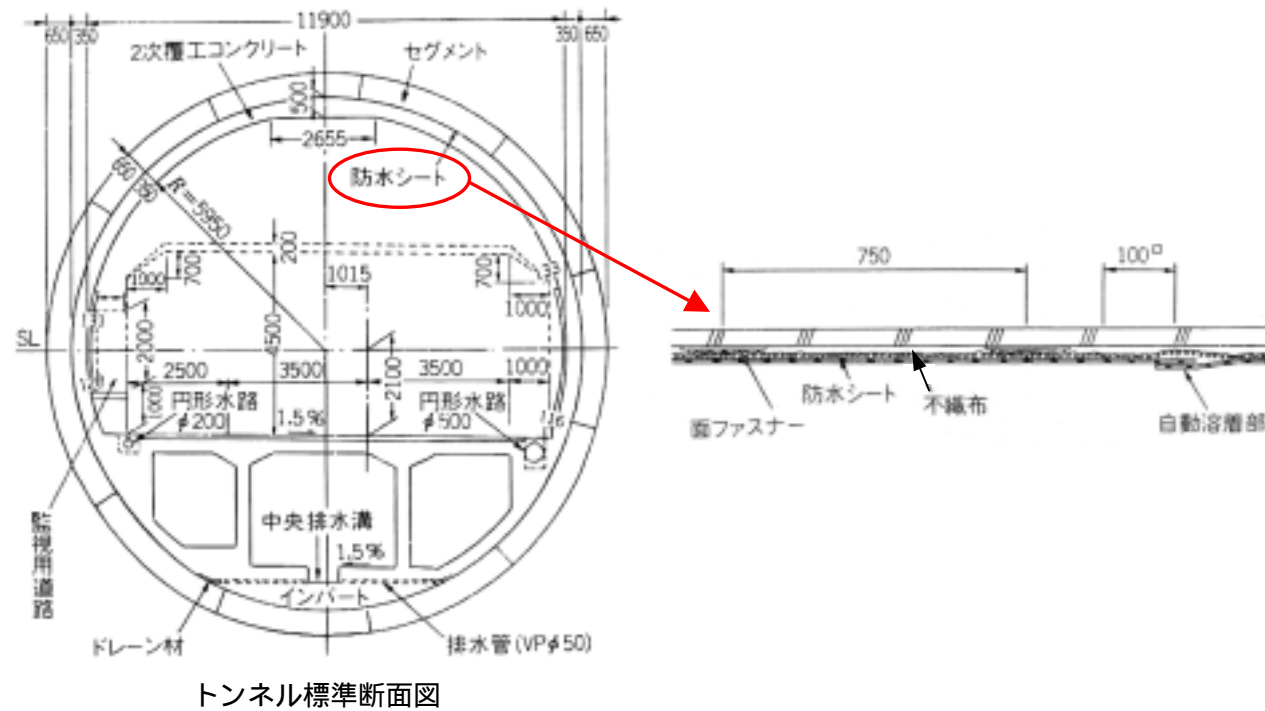


4) 新しい漏水対策技術

(1) シート防水工

東京湾アクアラインのシールドトンネルは、高水圧下（6 kgf/cm²）に建設されたことから、防水に関しては十分な事前対策が検討され、従来の漏水対策（水膨張性シール材、ボルトパッキン、グラウト注入孔プラグパッキン等）に加え、第二次の防水対策として1次覆工（セグメント）と2次覆工の間に導水タイプのシート防水工が設けられた。シート防水工の目的と機能を以下に示す。

- ・ 1次覆工からの漏水を速やかに排水し、1次覆工の劣化を防止する
- ・ 2次覆工に作用する水圧を低減する
- ・ 1次・2次覆工間の拘束度を低減し、2次覆工コンクリートのひび割れを防止する
- ・ 漏水のない快適な走行空間を確保すると共に、トンネル内機器類の腐食を防止する



- ・ 厚さ2mm以上の防水シートを用いる
- ・ 約30m毎にリング状の隔壁をセグメントリング間に設けることで、不測の事態でシートが破れても、早期に漏水区間が特定できる
- ・ 完全止水が期待できるため、地下水変動や地盤沈下を抑制できる
- ・ 2次覆工が省略可能



施工実績

建設省中部地建名四国道工事事務所 「平成10年度23号大高シールド工事」
一般国道23号名四共同溝（延長5.3km）のうち、愛知用水直下の91m区間に本工法を適用した（試験フィールド事業）。



(2) 新工法（ラッピングシールド工法）

工法概要

本工法はセグメントの外周全体に防水シートを巻き立て、完全止水のシールドトンネルを構築するものである。セグメントと地下水をシート遮断することにより、トンネル内への漏水を完全に防ぐことが期待できる。特徴を以下に示す。

(3) まとめ

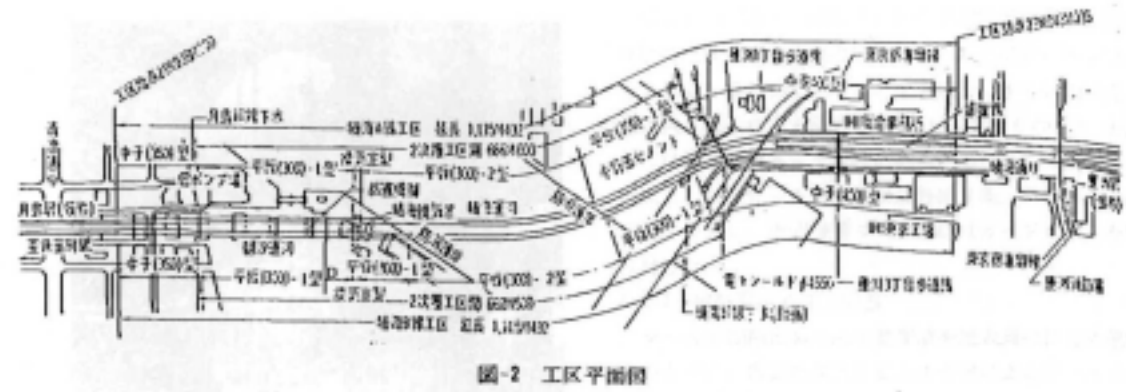
シールド工法の適切な設計・施工及び確実な防水工を行えば、トンネル壁面からの漏水は避けられるものと考えられる。したがって、地下水挙動の解析上、トンネル外周面は不透水層としてモデル化しても問題ないと判断することができる。

シールド工法漏水対策事例

項目 NO.	事業名 トンネル名	都道府県	用途	シールド本 体径 (m)	土か ぶり (m)	掘削 延長 (km)	採用工法		漏水対策	出典	竣工 年月	備考
							掘削工法	止水・防水				
1	営団地下鉄8号線 晴海単線シールド	東京都	地下鉄	6.84	15～ 26m	1.2	泥水式 シールド工法	スチールワイヤー入り ゴムシール1段・繊維グリス 充填ブラシ式テールシール 2段	水膨張シール2列・ボルト孔 に水膨張パッキン・運河下 横断面二次覆工による防水	トンネルと 地下 1987年 10月	1987年	複雑な地盤での掘進、高水圧下の 運河の横断、重要構造物の近接 施工において全て満足のいく好結 果である。
2	営団地下鉄7号線 牛込濠シールド	東京都	地下鉄	9.70	14～ 19m	0.9	泥水式 シールド工法	グリス充填ブラシ式テール シール3段	二次覆工は地下水位が豊 富なため施工	トンネルと 地下 1994年 5月		本工事では、泥水加圧式シールド を採用し薬液注入改良を施したた め地下水への影響は少なかった
3	京都市地下鉄 東西線	京都府	地下鉄	5.84	4.2～18m	4.4	泥土圧式 シールド工法	グリス充填ブラシ式テール シール		トンネルと 地下 1996年 2月	1995年	切羽安定制御、自動方向制御、近 接影響予測管理、高機能フィード バック等のシステム集中制御によ り、構内への泥水噴出もなく計測 管理による変状値も管理値内に収 まっている。
4	東京湾アクアライン	神奈川県 ～千葉県	道路	14.14	50～ 60m (海面下)	4.8	泥水式 シールド工法	グリス充填ステンレスブラシ 式テールシール4段・緊急 止水シール3段	水膨張シール・万が一の漏 水対策のために防水シート を利用した二次覆工・高炉 スラグ入りセグメント	トンネルと 地下 1998年 2月	1997年	自動方向制御、自動測量、自動セ グメント組立装置などの採用で組 立精度が向上し、セグメントの真円 を保ち、目開き目違いを0mmに近 づけ、止水性能を著しく向上させ た。
5	横浜市高速鉄道 1号線	神奈川県	地下鉄	6.66	12～ 15m	0.8	泥水式 シールド工法	グリス充填ブラシ式テール シール3段		トンネルと 地下 1999年 1月	1998年	地表面沈下量が当初予測80mmが 施工時最大10mm程度に抑えられ た
6	都営地下鉄6号 三田線	東京都	地下鉄	7.35	33m	1.3	泥水式 シールド工法	ステンレスパネ鋼併用発泡 ウレタン充填ブラシ式3段	水膨張シールによる防水・ 浸透性弾性エポキシ樹脂塗 布セグメント	トンネルと 地下 1999年 3月	1998年	高水圧対策で、止水性を向上させ た。シールド通過時、変状測定を 実施したが影響なし。
7	都営地下鉄 南北線	東京都	地下鉄	6.74	25m	0.24	泥水式 シールド工法	グリス充填ブラシ式テール シール3段	水膨張シール・浸透性弾性 エポキシ樹脂セグメントによ る防水	トンネルと 地下 2000年 11月	1999年	地下観測井戸での確認結果や隔 壁撤去後の湧水の程度から、地山 側の地下水をほぼ遮断できたと判 断した。
8	日本鉄道建設公団 みなとみらい21	神奈川県	地下鉄	9.98	13m	0.4	泥土圧式 シールド工法	グリス充填ブラシ式テール シール3段	水膨張シール・背面防水塗 膜による防水	トンネルと 地下 2001年 3月		砂礫層区間の地表面沈下量は4～ 8mmであり、周辺地盤の影響を最 小限にした。透水係数の大きい砂 礫地盤において、安定掘削の実現

NO.1 営団地下鉄8号線 晴海単線シールド

【現場平面図等】シールド外径 6.84



【地下水観測データ等】

- ・ 地質 軟弱粘土層、ゆるい粘土層、締まった砂層（東京層）
 - ・ 地下水位・水圧 GL - 3.0m 2.6 kgf/cm²
 - ・ 土被り 1.5m ~ 2.6m
- その他 運河下（430m）横断であり東京層の水量も豊富

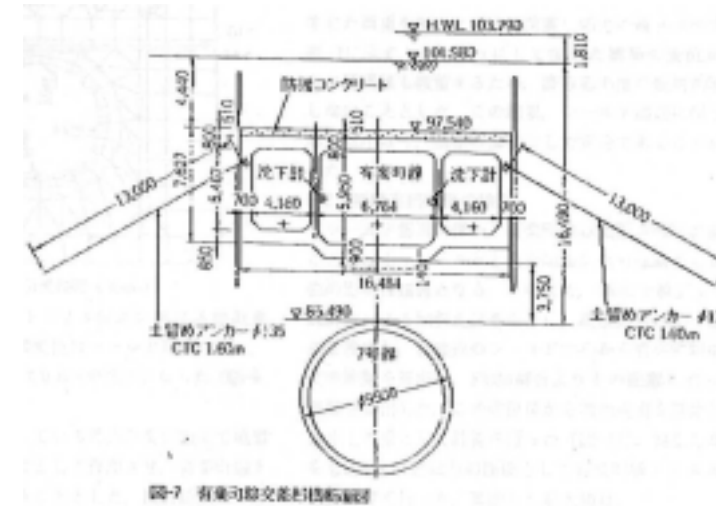
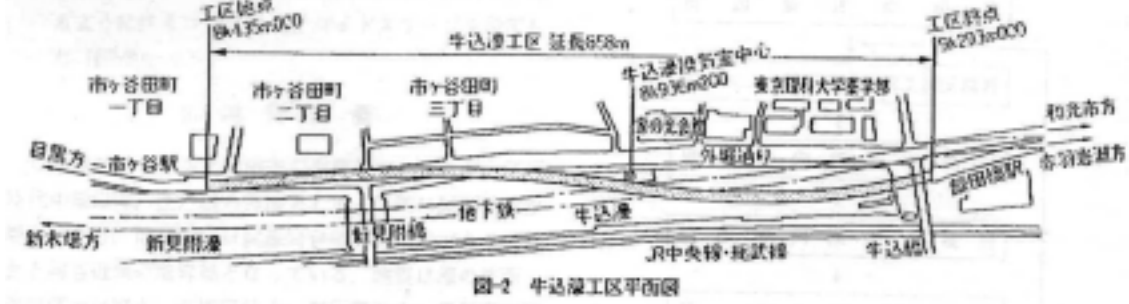
【工事施工と地下水の関係に係わるコメント】

- ・ セグメント継手部 水膨張シール材を2列、ボルト孔に水膨張パッキン使用
- ・ テールシール スチール入りゴム板1段、ワイヤーブラシ2段 計3段
- ・ 二次覆工 運河横断部に施工（運河下の安全確保から同時施工）

➢ 複雑な地盤での掘進、高水圧下の運河の横断、重要構造物の近接施工において全て満足のいく好結果である。

NO.2 営団地下鉄7号線 牛込濠シールド

【現場平面図等】シールド外径 9.70



【地下水観測データ等】

- ・ 地質 締まった洪積砂層（透水係数 $10^{-3} \sim 10^{-4} \text{ cm/sec}$ ）
 - ・ 地下水位・水圧 2.2 kgf/cm²
 - ・ 土被り 1.4m ~ 1.9m
- その他 地下水は豊富

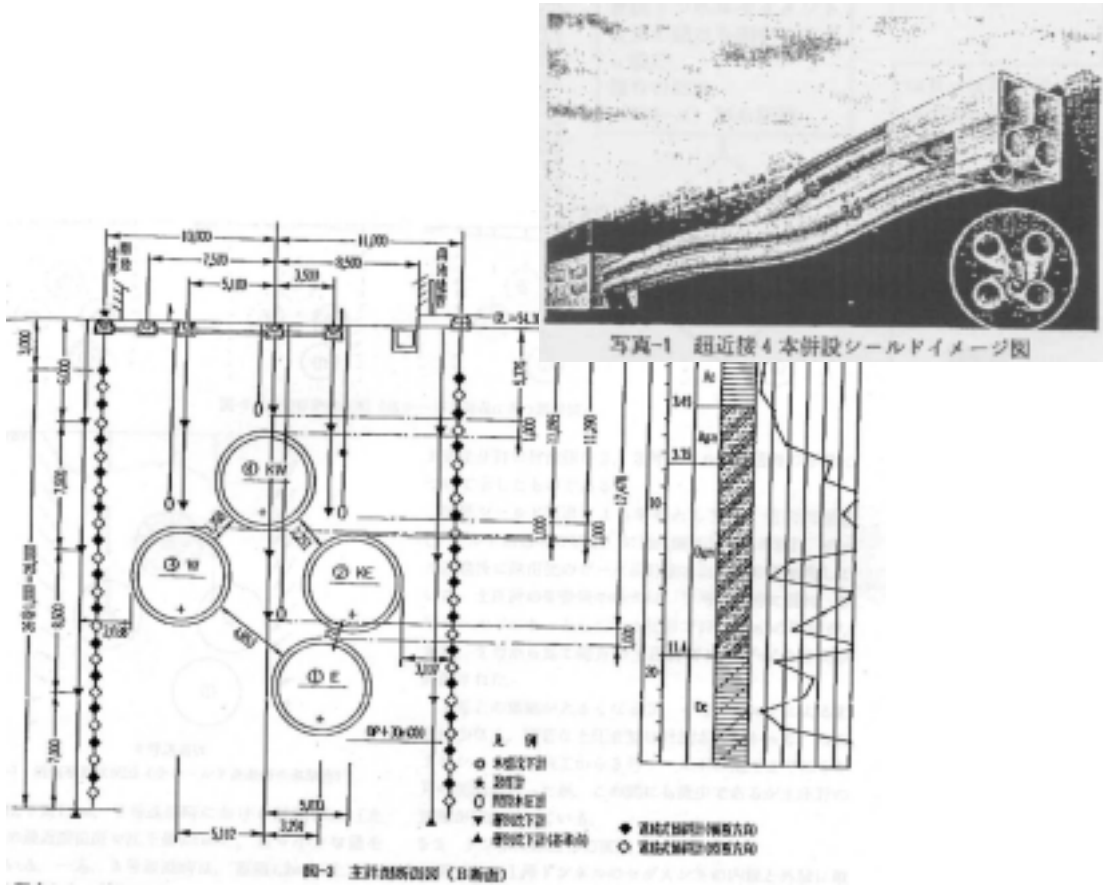
【工事施工と地下水の関係に係わるコメント】

- ・ セグメント継手部
- ・ テールシール グリス充填ブラシ式3段
- ・ 二次覆工 地下水が豊富なため施工

本工事では、泥水加圧式シールドを採用し薬液注入改良を施したため地下水への影響は少なかった。

NO.3 京都市地下鉄 東西線

【現場平面図等】シールド外径 5,84×4 (単線4線併設シールド)



【地下水観測データ等】

- ・ 地質 比較的大きな粘性土多く含む砂礫土層 (透水係数 $10^{-3} - 1 \sim 10^{-5} \text{ cm/sec}$)
- ・ 地下水位・水圧 GL - 2.0m
- ・ 土被り 4m ~ 18m
- その他 地下水は少ない

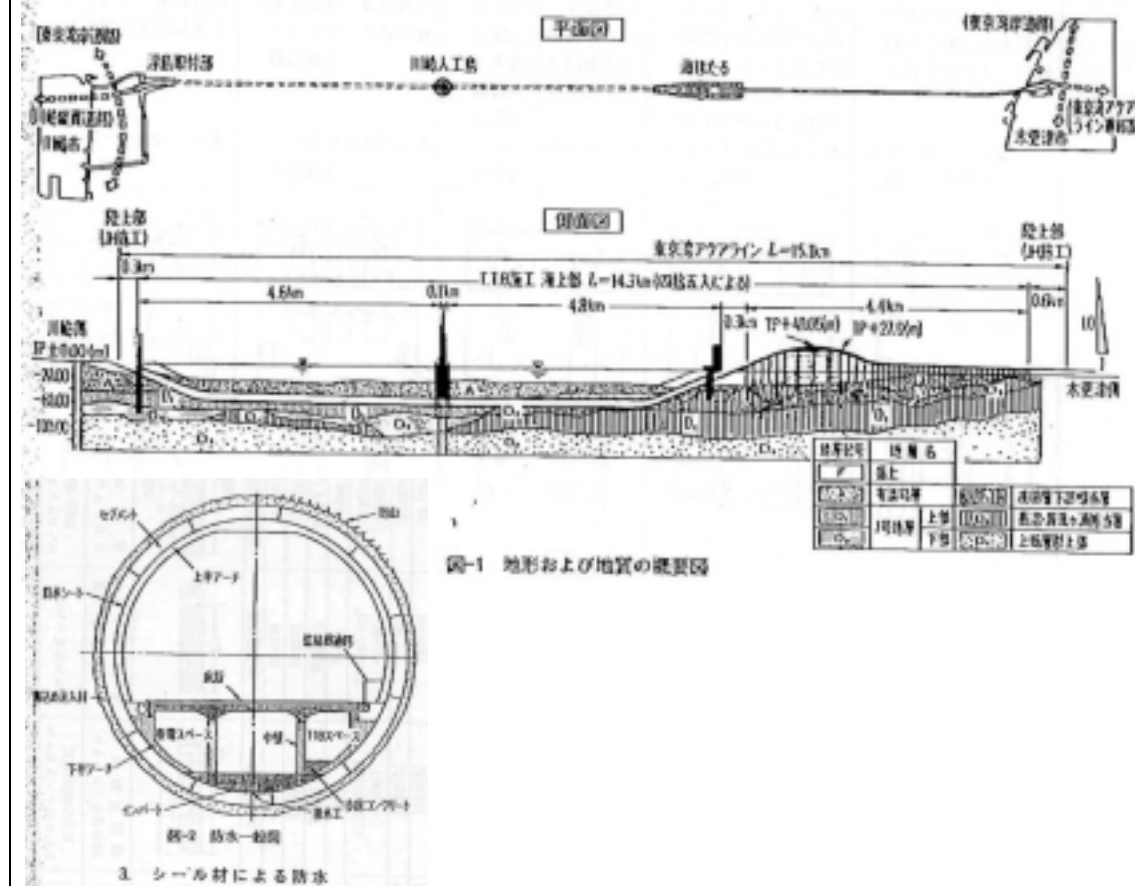
【工事施工と地下水の関係に係わるコメント】

- ・ セグメント継手部
- ・ テールシール グリス充填ブラシ式
- ・ 二次覆工

切羽安定制御、自動方向制御、近接影響予測管理、高機能フィードバック等のシステム集中制御により、構内への泥水噴出もなく計測管理による変状値も管理値内におさまっている。

NO.4 東京湾アクアライン

【現場平面図等】シールド外径 14.14



【地下水観測データ等】

- ・ 地質 沖積粘土層、洪積粘土層、洪積砂質土層
- ・ 地下水位・水圧 5 ~ 6 kgf/cm²
- ・ 土被り 海面下50m ~ 60m
- その他

【工事施工と地下水の関係に係わるコメント】

- ・ セグメント継手部 水膨張性シールド材使用
- ・ テールシール グリス充填ブラシ式4段
- ・ 二次覆工 万一の漏水対策のため防水シートを使用し、施工した。

自動方向制御、自動測量、自動セグメント組立装置などの採用で組立精度が向上し、セグメントの真円を保ち、目開き目違いを0mmに近づけ、止水性能を著しく向上させた。

NO.5 横浜市高速鉄道1号線 戸塚西口工区

【現場平面図等】シールド外径 6.66



図-2 平面図

【地下水観測データ等】

- ・ 地質 洪積粘土層、ピート層
- ・ 地下水位・水圧 1.2m ~ 1.5m
- ・ 土被り
- その他

【工事施工と地下水の関係に係わるコメント】

- ・ セグメント継手部
- ・ テールシール グリス充填ブラシ式3段
- ・ 二次覆工

地表面沈下量が当初80mmと予測されたが、施工時最大でも10mm程度に押さえることができた。

NO.6 都営三田線 三田シールド工区

【現場平面図等】シールド外径 7.35

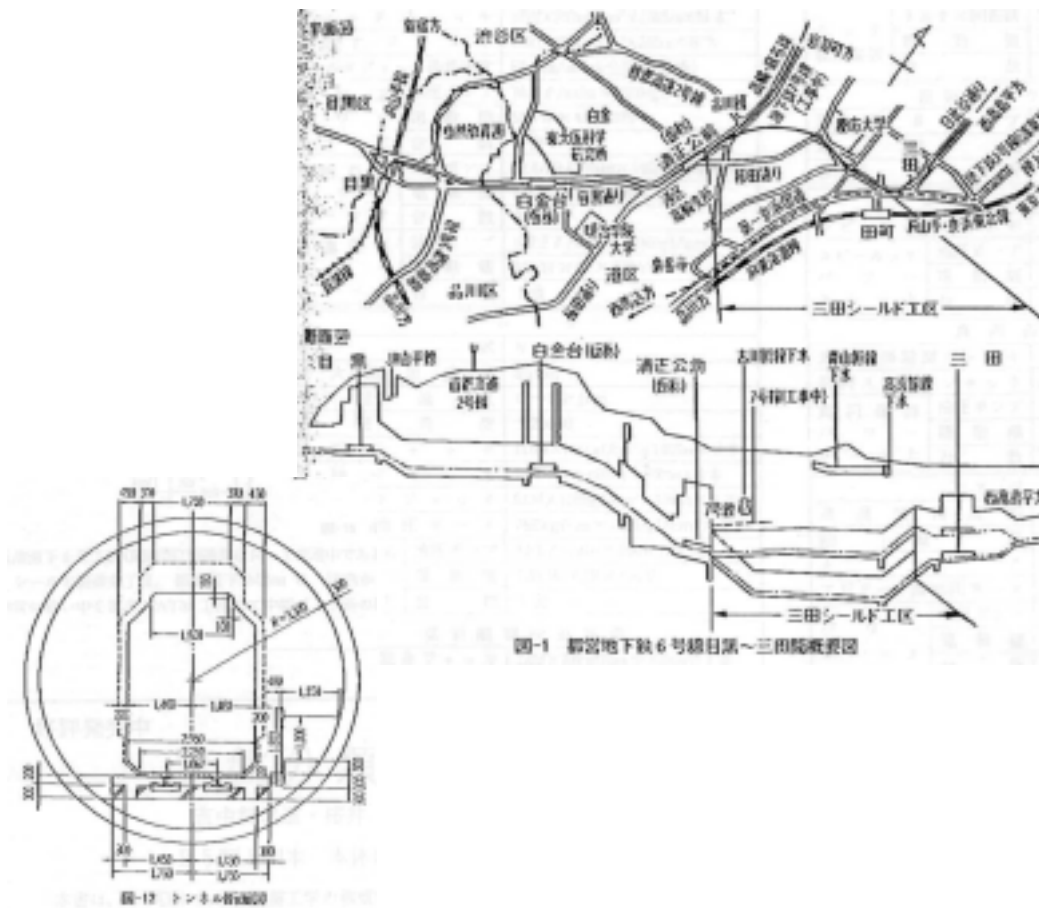


図-1 都営地下鉄6号線日原～三田間概観図

【地下水観測データ等】

- ・ 地質 固結した硬質なシルト層
- ・ 地下水位・水圧 GL - 6m 3.4 kgf/cm²
- ・ 土被り 最深部3.2m
- その他

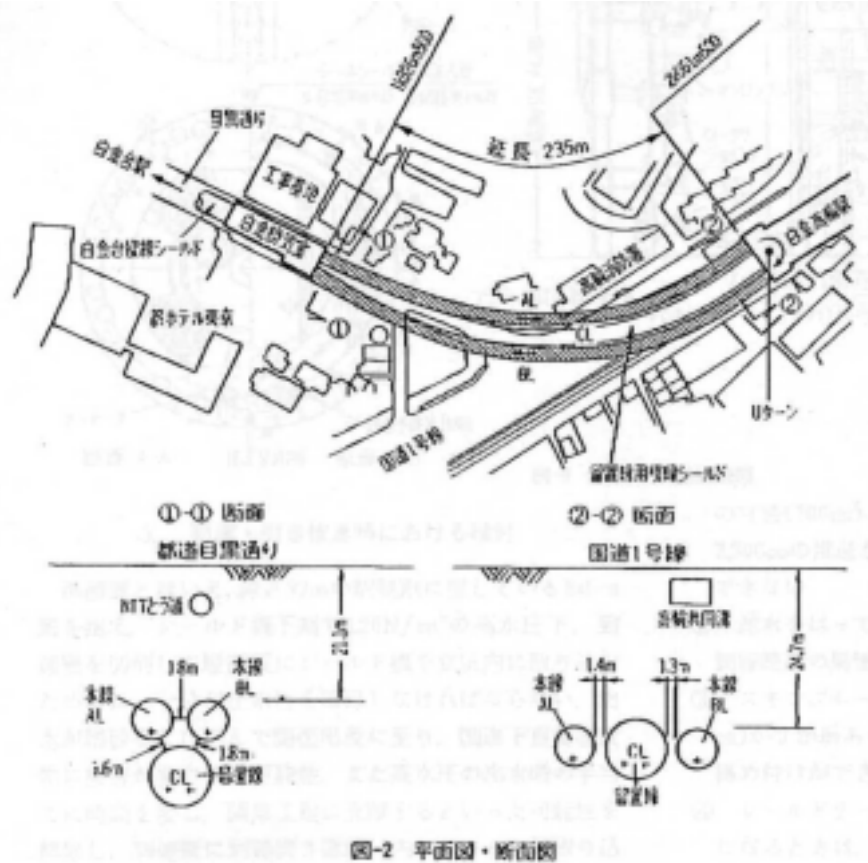
【工事施工と地下水の関係に係わるコメント】

- ・ セグメント継手部 水膨張性シール材使用、浸透性弾性エポキシ樹脂セグメント
- ・ テールシール ステンレスバネ鋼併用発砲ウレタン充填ブラシ式3段
- ・ 二次覆工

高水圧対策で、止水性を向上した。
シールド通過時、変状測定を実施したが影響なし。

NO.7 営団地下鉄南北線 高輪一工区

【現場平面図等】シールド外径 6.74



【地下水観測データ等】

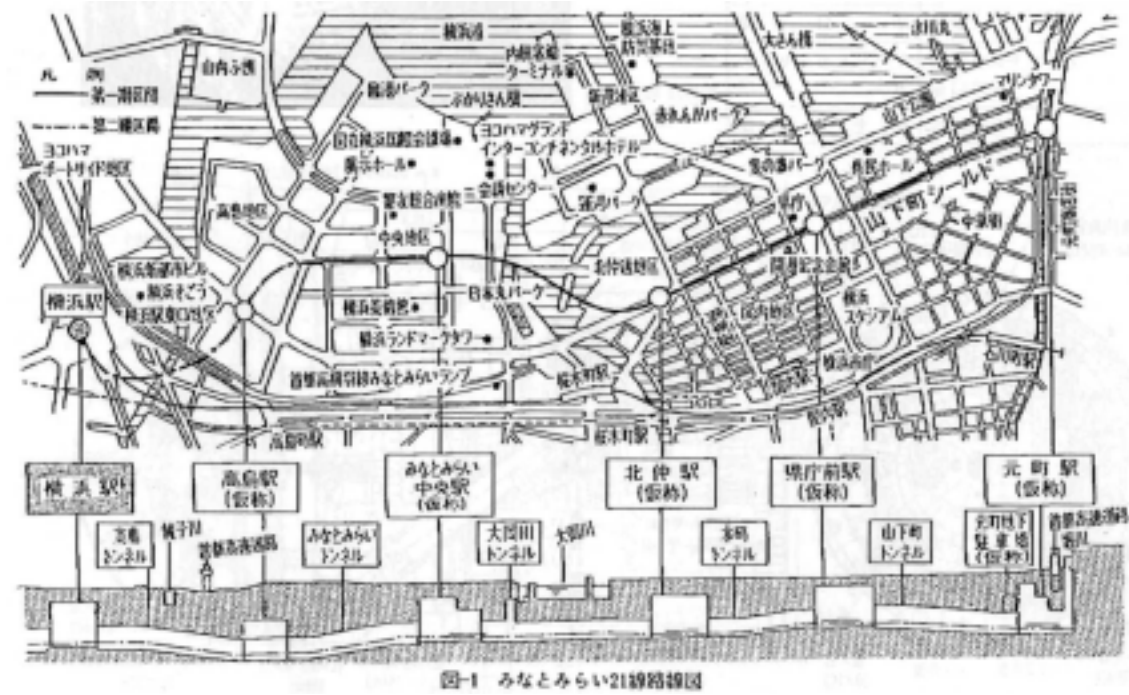
- ・ 地質 固結したシルト層、一部洪積砂層
- ・ 地下水位・水圧 2.6 kgf/cm²
- ・ 土被り 最深部 2.5 m
- その他 被圧地下水を有す

【工事施工と地下水の関係に係わるコメント】

- ・ セグメント継手部 水膨張性シール材使用、浸透性弾性エポキシ樹脂セグメント
 - ・ テールシール グリス充填ブラシ式 3 段
 - ・ 二次覆工
- 地下水観測井戸での確認結果や隔壁撤去後の湧水の程度から、地山側の地下水をほぼ完全に遮断できたと判断。

NO.8 みなとみらい21線 山下町シールド

【現場平面図等】シールド外径 9.94



【地下水観測データ等】

- ・ 地質 沖積砂礫層、洪積粘土層
- ・ 地下水位・水圧 1.3 m
- ・ 土被り
- その他

【工事施工と地下水の関係に係わるコメント】

- ・ セグメント継手部 水膨張性シール材使用、背面防水塗膜
 - ・ テールシール グリス充填ブラシ式 3 段
 - ・ 二次覆工
- 砂礫層区間の地表面沈下量は 4 ~ 8 mm であり、周辺地盤の影響を最小限にした透水性の大きい砂礫地盤において、安定掘削の実現