

シールド急曲線部における地山のゆるみ防止対策

Countermeasures to Prevent the Ground Loosening at the Sharp-curved Line
in Shield Tunneling Work鈴木 通正* 大倉 良之**
Michimasa Suzuki Yoshiyuki Okura松本 洋***
Hiroschi Matsumoto

要 約

本報告書は、大阪市交通局発注の地下鉄1号線我孫子～北花田間シールド工事（ $\phi 6,940\text{mm}$ 泥水加圧シールド）のうち、急曲線（ $R=160\text{m}$ ）部の施工についてのべたものである。特に、急曲線部における余掘りの確保と地山のゆるみ防止対策といった相反する問題の解決のため、ミニパッカー（注入袋）と中間充てん材併用という新しい裏込め注入工法を開発した。この工法の採用により、地山のゆるみを防止することができ、重要構造物への影響も皆無にすることができた。

目 次

- §1. はじめに
- §2. 全体工事概要
- §3. 急曲線部の施工計画
- §4. 裏込め注入試験
- §5. 急曲線部の施工実績
- §6. おわりに

§1. はじめに

地下鉄1号線我孫子～北花田間シールド工事は、1級河川（大和川、西除川）および在来鉄道線（地下鉄引込線、国鉄貨物線）下の横断、橋梁・高圧送電鉄塔および沿道家屋への近接ならびに急勾配区間における急曲線の施工等、非常に難易度が高く、大阪市交通局において、はじめて採用された泥水加圧シールドである。

施工にあたり、上記重要構造物への影響を極力少なくするために、最新の掘削管理システム¹⁾を導入するとともに、裏込め注入工についても種々の実験・検討を重ね、特に急曲線部の施工については、以下に報告するとおり、

新しい工法を開発し、良好な結果を得た。

§2. 全体工事概要

2-1 工事概要

工事名 高速電気軌道第1号線自大阪市住吉区我孫子東3丁目～至堺市東浅香山町4丁目地下線路線路工事（7工区）

工 期 自昭和56年3月27日

至昭和59年3月31日

工事内容 単線並列シールド

総延長 $L=2,623.239\text{m}$

セグメント外径 $\phi 6,800\text{mm}$

急曲線区間

- 1) 曲線 $R=160\text{m}$ 区間延長 (BTC～ETC)

北行軌道 181.087m (円曲線部 41.0871m)

南行軌道 174.0772m (円曲線部 34.077m)

* 関西(支)大阪地下鉄(出)所長
** 関西(支)大阪地下鉄(出)副所長
*** 関西(支)大阪地下鉄(出)工事係長

1) 昭和58年11月第2回西松建設トンネルシンポジウム論文集

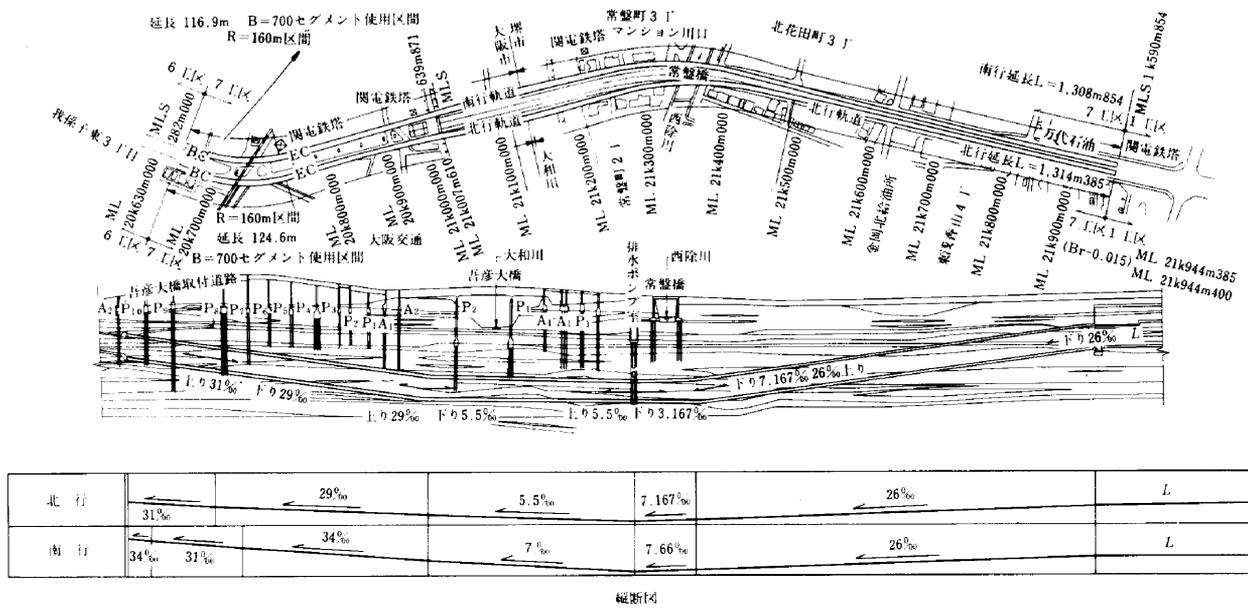


Fig.1 全体平面図及び縦断面図

計355.1642m(円曲線部75.164m)

- 2) 700mm幅セグメント使用区間延長 (BC~EC)
北行軌道124.6m (178リング)
南行軌道116.9m (167リング)
計 241.5m (345リング)
- 3) R=160m区間における縦断勾配 31/1000~34/1000‰

2-2 路線概要

1) 縦断線形

当シールド工事は、1工区にて施工済みの北花田停留場部構築の1部を発進立坑として、土被り約8.5m、下り勾配26‰で大阪方へ発進する。大和川横断面では土被り約13m(低水敷)である。その後、上り勾配29~34‰で到達部に至る。到達部の土被りは6.5mである。(Fig.1参照)

2) 平面線形

シールドルートは、基本的に主要地方道大阪高石線に沿った形で路面下を通過するが、Fig.1に示すとおり全線の約2/3の区間は、橋梁および橋梁への取付高架橋の両側を通過する。急曲線部は、国鉄貨物線および地下鉄引込線の直下部に位置しており、土被りは、国鉄下で11m、地下鉄構造物との離れは4~5mである。ここでの縦断勾配は31~34‰である。

2-3 土質概要

当地区は、大阪平野の中南部に位置し、南側の標高

50~100mの泉北~羽曳野丘陵が次第に高度を下げ、北へ岬状に細長く突き出たなだらかな台地のつけ根部分に位置している。この付近の標高は10~30m前後の微高地で、上町台地~和泉台地(信太山台地とも称す)と呼ばれている。当工区は、大和川下流の両岸に位置し、標高11~13mである。

土質はFig.1に示すとおり、地表部に沖積層がなく、掘削断面にあらわれる土質は、上部洪積層が主体で、縦断勾配の関係もあり、変化が激しく砂礫、砂、シルト、粘土の互層である。発進および到達部では、上部洪積層の低位段丘層、中間部は中位段丘層および大阪層群が現われる。これらの土質の性状は以下のとおりである。

1) 低位段丘砂質土層 (Ds3)

砂質土が主体であるが、一部粘性土のうすい層をはさむ。砂の粒子はやや不均一で径5~15mm(Max40mm)とやや大きい礫を混入するが、全体的には、良好な粒度分布である。

N値は20~30で「中位」の相対密度であり含水状態はやや大きい傾向にある。

2) 中位段丘砂質土層 (Ds4, Ds5)

Ds4層は、砂の粒子がほぼ均一なものが多く局部的には径5~10mmの礫を混入し、最大礫径50~70mm、時には、110mm程度のものも点在する。N値は50以上で「非常に締った」相対密度を示す。地下水は多く、被圧されており、透水係数は 1.3×10^{-3} cm/sec程度である。

Ds5層は、礫の混入は少なく、砂の粒子は、ほぼ均一で粗~中位である。N値は50以上で「非常に締った」相

対密度であるが、一部シルト分を多く含んでいる所では N 値は30~40と若干低下する。地下水は多く、被圧されており透水係数は $1 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ 程度である。

いずれの層も薄層の粘性土を狭在し、地下水の湧出がなければ比較的安定した土層である。

3) 中位段丘粘性土層 (Dc3, Dc4, Dc5)

Dc3層は、全体にわたって「貝ガラ片」を多重に混入し、また、砂分をやや多く混入する。 N 値は4~10、粘着力 $C=10 \text{tf/m}^2$ (98kPa) 前後であり「中位~かたい」相対稠度を示す。

Dc4層は、処々に砂質土の薄層を狭在している。 N 値は15~20、粘着力 $C=10\sim15 \text{tf/m}^2$ (98~147kPa) と「非常にかたい」相対稠度を示し強度的に十分な層である。

Dc5層は局部的に砂質土の薄層を狭在している。 N 値は15~30、粘着力 $C=15\sim20 \text{tf/m}^2$ (147~197kPa) と「非常にかたい」相対稠度を示し強度的に十分な土質である。

いずれの土層もコンシステンシーはかなり固く、固結度の高い粘性土である。

Fig.2に急曲線部の土質柱状図を示す。

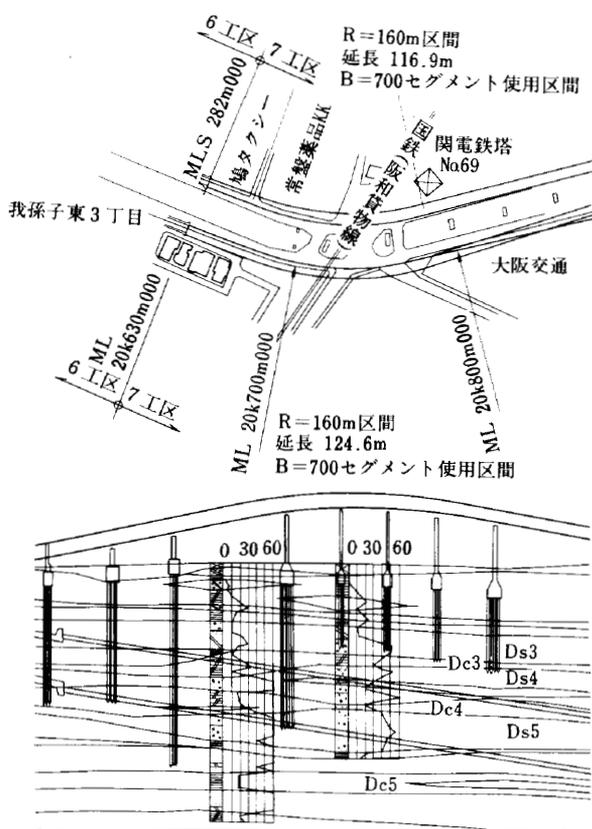


Fig.2 R=160m付近土質柱状図

§3. 急曲線部の施工計画

3-1 シールド機の形状

シールド機の設計にさいし、急曲線 ($R=160\text{m}$) の施工を考慮し、機長、テールクリアランス、オーバーカッターのストロークを決定した。

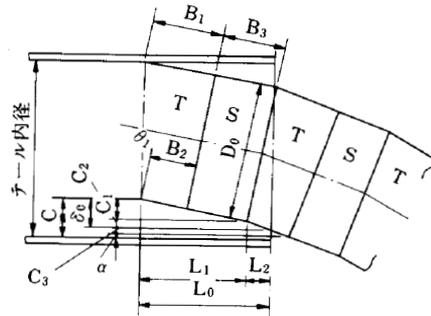


Fig.3 テールクリアランスの計算

1) テールクリアランス

C : テールクリアランス $x \times 2$

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \alpha$$

α : 組立余裕

B_1 : テーパーセグメント最大幅730mm

B_2 : テーパーセグメント最小幅670mm

B_3 : 標準セグメント幅700mm

D_0 : セグメント外径6800mm

θ : テーパーセグメントのテーパー角 (片テーパーとして)

L_0 : セグメント組立位置前端までの距離1900mm

δ_0 : テール内部でのセグメント傾き量 $= C_1 + C_2$

C_3 : テールの変形およびセグメント組立精度による必要寸法

a) シールド本体製作公差 $\pm 12\text{mm}$

b) セグメント組立精度 $\pm 15\text{mm}$

c) テール端の最大たわみ量 3.75mm

$$\theta = \tan^{-1} \{ (B_1 - B_2) / D_0 \}$$

$$\approx 0.51^\circ$$

$$C_1 = (B_2 + B_3) \sin \theta$$

$$= 12.09\text{mm}$$

$$L_1 = (B_2 + B_3) \cos \theta$$

$$= 1.37\text{mm}$$

$$L_2 = L_0 - L_1 = 530\text{mm}$$

$$C_2 = L_2 \times 530 \times \tan(1.0110758^\circ) = 9.35\text{mm}$$

よって $\delta_0 = C_1 + C_2 = 21.44\text{mm}$

また、 $C_3 = 15 + 3.75 = 18.75\text{mm}$

従って、 $C = 21.44 + 18.75 + \alpha = 40.19 + \alpha\text{mm}$

以上より、組立余裕 $\alpha=10\text{mm}$ を見込んで $C=50\text{mm}$ とした。 $C=2x$ より $x=25\text{mm}$ 、従って、 25mm のテールクリアランスとした。

2) L/D について

シールド全長 $L=6,175\text{mm}$ 、シールド外径 $D=6,940\text{mm}$ 、 $L/D=6,175/6,940=0.89$ とした。

3) オーバーカッター

オーバーカッターは4ヶ所取付け、その最大ストロークは計算上 85.6mm であるが、余裕を見込み 110mm とした。

3-2 裏込め注入

シールド工事における裏込め注入は、地山のゆるみと沈下を防止するとともに、土圧の均一化および止水性の向上等を計ることを目的としたものである。

1) 注入主材料

当工事において使用する注入材は一般的条件を満足するのみならず、泥水加圧シールドに適合した作業性の優れた材料でなくてはならない。当工事においては、前記の条件を満足する「クレーサンド系モルタル（瞬結型）」を採用した。以下にクレーサンド系モルタルの特徴を示す。

イ) 注入材は2液混合方式であり、混合後瞬時に擬似固結する。この擬似固結材料は適度な注入圧でテールボイドを充てんする流動性と切羽やテール部に漏出しな程度の粘性を有している。

ロ) 擬似固結材料のため水中での材料分離が少ない。

ハ) テールボイド充てん後、短時間で強度を発現する。

ニ) 固結後は容積変化がなく、安定した固結物として残る。

2) 注入方法

シールド工事においては、裏込め注入の遅れが広範囲な地表面への影響をもたらすため、シールド掘進に合せた早急な注入が必要とされる。このため当工事においては即時注入方式を採用した。しかし、急曲線部においては、掘進中余掘りを確保する必要がある。このため、一般部施工のような即時注入方式をそのまま採用すると、注入材がシールド機周囲の余掘り部分を埋めたり、泥水チャンバー内に流入するおそれがある。これら弊害を避けるため裏込め注入を遅らせることが考えられるが、これは、裏込め注入の目的に反し、ジャッキ反力に対するセグメントの安定確保にも不利である。つまり、余掘りの確保と即時注入とは相矛盾するものであるが、この両者はできる限り同時に満足されなければならない。そこで早期にセグメントを固定し、かつ、地山の崩壊を防止する目的で新しい工法を開発した。(裏込め注入試験につ

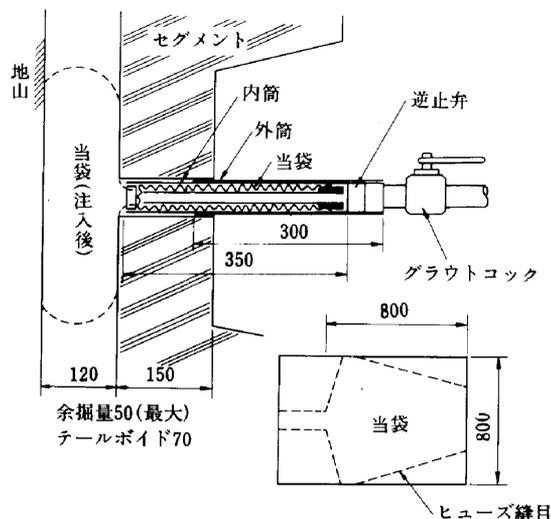


Fig.4 ミニパッカー概要図

いては§4にのべる。)

この工法は、ミニパッカーと呼ばれる注入袋を使用し早期にセグメントを固定する作業と、中間充てん材を余掘り部分に充てんし地山の崩壊を防止する作業から成り立っている。

イ) ミニパッカー

ミニパッカーは、Fig.4に示すとおり、袋状の布を内蔵した筒である。施工にさいしては、セグメントに設けられた注入孔に上記の筒を取り付け、早期強度が得られるエアモルタルを袋に注入する。エアモルタルを袋に注入することにより、袋は順次筒より抜け出しセグメントと地山の間に拡がりセグメントを地山に固定する。注入圧により袋が直接破裂するのを防止するため袋には図示のとおりヒューズ縫目を設けてある。注入圧が上昇すると先ずヒューズ縫目が破れ、圧が解放され注入圧が低下する。その後、圧力計を監視することにより、袋の破裂以前に注入を停止する。

ミニパッカー用注入材の配合は実験の結果 Table 1 のとおりとした。

Table1 ミニパッカー用注入材の配合

A 液 (1 m ³ 当り)						B 液 (A 液 1 m ³ 当り)	
セメント	細骨材	起泡剤	安定剤	水	空気量	増強調整剤	
300 kg	300 kg	2.0 kg	3.0 kg	430 ℓ	35%	150 ℓ	

ロ) 中間充てん剤

前記ミニパッカーの使用によりセグメントの固定は達せられるが、余掘り部の地山の安定を保つには不十分である。泥水のみで余掘り部の地山を支えることは地盤安定上不安が大きすぎるため、裏込め材のように固定する材料ではなく、泥水より粘性の大きい中間充てん材 (半

固溶体)を泥水と裏込め注入の間に注入し地山の崩壊防止をはかることとした。中間充てん材の配合は、実験の結果、Table 2のとおりとした。

Table2 中間充てん材配合

A 液						B 液 (A液 1 m ³ に対し)	
特殊粘土A	特殊粘土B	起泡剤 TAC-2号	増粘剤 スルーザー	水	空気量	塑強調整剤 TAC-3号	
300 kg	300 kg	1.5 kg	2.5 ℓ	600 ℓ	15%	75 ℓ	

Table3 特殊粘土Aの化学分例

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	lg-loss
58~65%	17~23%	4.0~5.5%	1.0~1.3%	0.5~0.7%	7.5%

粘土A, Bの主鉱物：セリサイト、石英、正長石、カオリナイト等

特殊粘土B：増量材（特殊粘土Aより粒度が荒い。）
フライアッシュを含む。

スルーザー：増粘剤、CMC等と同等、溶液タイプ。

ハ) 施工手順

①余掘り掘削5リングまでは、通常の即時注入。

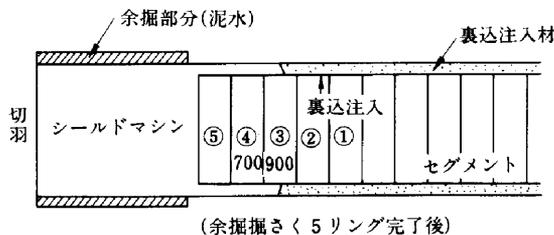


Fig.5 曲線部裏込め注入施工手順(1)

②余掘り掘削10リング目から裏込め注入を中断し中間充てん材を注入。

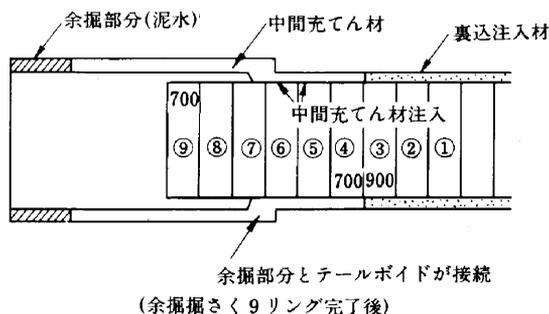


Fig.6 曲線部裏込め注入施工手順(2)

③余掘り掘削10リング完了後ミニパッカーを施工（セグメント③④に裏込め注入）

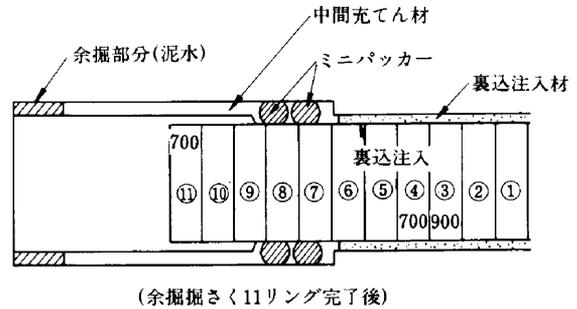


Fig.7 曲線部裏込め注入施工手順(3)

④余掘り掘削11リング目より即時裏込め注入を再開し中間充てん剤を掘進方向に移動

§ 4. 裏込め注入試験

施工計画とあわせて、裏込め注入工の試験を行った。

4-1 ミニパッカー（注入袋）

目的：ミニパッカーの形状の決定および袋の耐圧度の確認

1) ミニパッカー水中試験

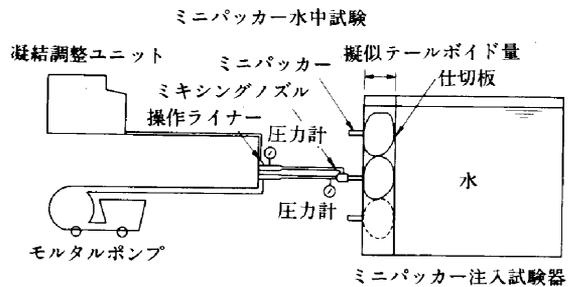


Fig.8 ミニパッカー水中試験装置

Fig.8に示す函体に水を入れ、余掘りを含めたテールボイド量に見合った間隙をつくりミニパッカーに注入した。実験では20cmのボイドを設け3ヶ所より注入した。Photo 2は、1時間後に水を抜き注入袋の状態を調べたものである。注入袋の中の注入材はかなりの強度を有し、地山に見たてた鉄板に密着した状態、破裂させた袋が破裂後もほとんど形状を変えていない状態および破裂後水中に出た注入材が分離していない状態が確認された。

2) ミニパッカー耐圧試験

大気中でミニパッカーに注入を行い、その状態と耐圧をチェックした。平均耐圧は約1.5kgf/cm² (98~147 kPa)であった。耐圧試験の結果から、安全弁としてヒューズ縫目を設けた。

3) ミニパッカーの形状試験

Fig.9およびTable 4に示す形状の注入袋をつくり、それぞれに注入試験を行い形状の決定をした。

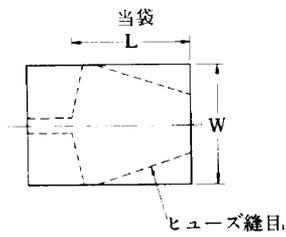


Fig.9 当袋の形状図

Table4 当袋の形状

	W×L (mm)
①	800×800
②	800×1,000
③	800×1,200
④	700×1,400

袋の大きさは、注入管からスムーズに出るもので、できるだけ大きなものが望ましい。

試験の結果800×1400の袋は筒からの出が悪いため、800×800と800×1200の袋を用いることにし、余掘り量の大きさにより50mmまでは800×800、50mm以上は800×1200を採用することにした。

4-2 中間充てん材

目的：中間充てん材と裏込め注入材の置換状態の確認

1) 中間充てん材注入試験

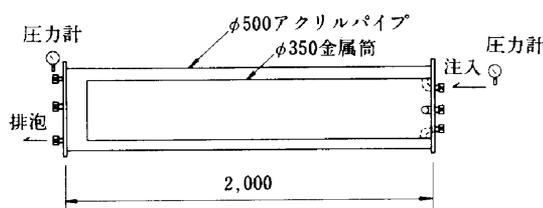


Fig.10 中間充てん材注入試験器

Fig.10に示すように、内部にシールド機やセグメントに見たてた金属筒と地山に見たてたアクリルパイプを組み合わせた試験器の中に泥水を満たし、注入口より中間充てん材を注入し、排泥圧を保ちながら泥水を排除し、その置換状態を観察した。次に、一定量の中間充てん材を注入した後、裏込め注入を行ない中間充てん材を押し出していく状態を観察した。

注入試験結果を模式図に示すと、Fig.11のようになる。アクリルパイプの外側から見ると、裏込め注入材の中はかなり中間充てん材が残っているかに見えたが、断面を見ると表面だけでほとんど裏込め材と置換えられていた。

2) 中間充てん材、裏込め材混合圧縮強度試験

裏込め材の中に一部中間充てん材が残った場合の一軸圧縮強度を調べた。

Photo7のように裏込め材の供試体作成中に中間充てん材を10~40%入れ、24時間経過後一軸圧縮強度を調べた。

$q_u = 1.9 \sim 12 \text{ kgf/cm}^2$ (0.19~1.18MPa) とばらつきはあったが中間充てん材が少し位裏込め材の中に残って

も一定値以上の強度が得られることが判った。

3) 中間充てん材配合試験

中間充てん材のB液添加量を決定するため、5%、7.5%、10%のB液を添加した材料を各々空気中と泥水中に24時間放置し、その状態を調べた。

結果はTable5のようになり、泥水との境で泥水に溶けず、しかも流動性がある材料として7.5%添加を基本配合とした。

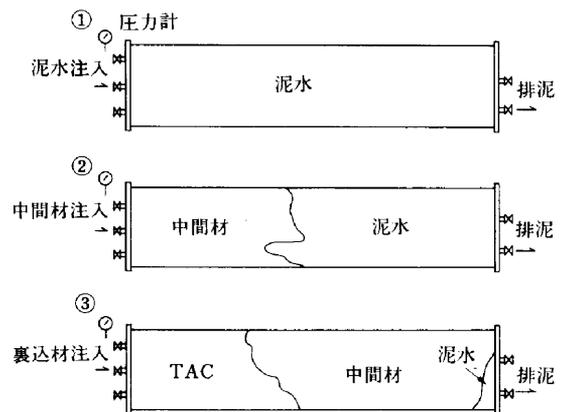


Fig.11 注入試験結果模式図

Table5 中間充てん材混合試験

	大気中で24H 経過後	泥水中で24H 経過後
A液+5%のB液	適当な流動性と塑性を有している。	少し柔らかく、泥水に溶ける傾向がある。
A液+7.5%のB液	適当な塑性を有している。	少し柔らかいが、泥水に溶ける程ではない。
A液+10%のB液	少し固く、流動性に乏しい。	適当な流動性と塑性を有している。



Photo1 ミニパッカー注入試験器

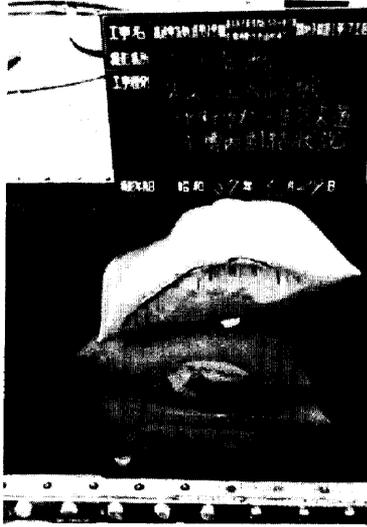


Photo2 ミニパッカー水中試験結果

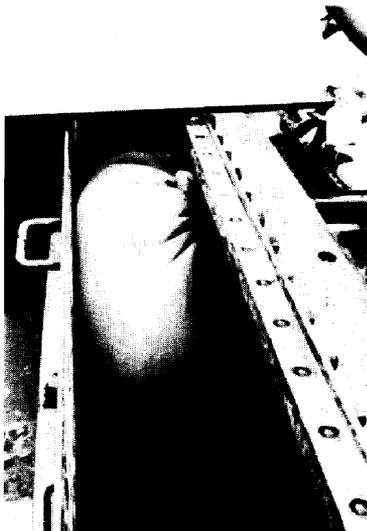


Photo3 800×1,200注入袋膨張状態

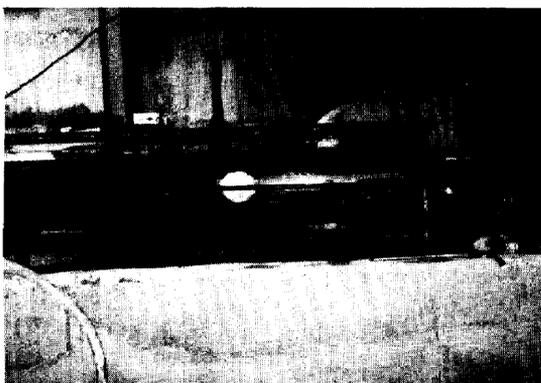


Photo4 中間充填材注入試験器

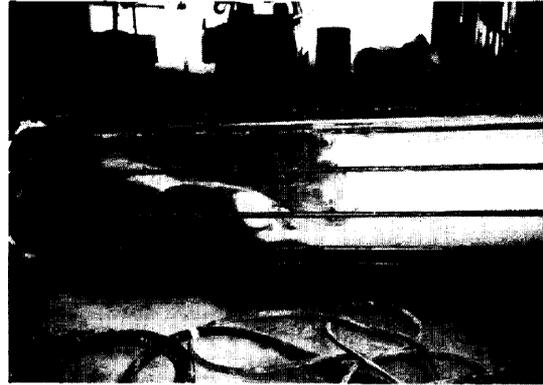


Photo5 中間充填材注入試験 泥水中に中間充填材を注入



Photo6 中間充填材注入試験 裏込材注入完了状態



Photo7 中間材TAC混合モールド一軸圧縮試験結果

§ 5. 急曲線部の施工実績

5-1 余掘り

急曲線部の掘進は、当初からオーバークッターを使用し余掘りを行う予定でその必要余掘り量は、計算上86mmであった。しかしながら、施工環境（重要構造物との離隔が非常に小である）を考慮し、極力余掘り量を少

なくする方針で施工管理を行った。この結果、Table 6、Table 7に示すとおり、最大余掘り量は、北行で50mm、南行で40mmに抑えることができた。

Table6 余掘り実施結果(南行)

	計 画			実 施			備 考
	追加距離	余掘り量 (mm)	R (m)	追加距離	余掘り量 (mm)	R (m)	
ETC	0.000	0	∞	0.000	0	∞	
	10.000	4	3,217				
	20.000	16	846				
	30.000	33	410				
	40.000	52	261	32.508	30	359	1,298Ring掘進時マシン先端
	50.000	70	196	49.008	30	201	1,321Ring掘進時マシン先端
ECC	60.000	82	168				
	70.000	86	159		40		
BCC	104.077	86	159				
	114.077	82	168				
	124.077	70	196	119.708	20	181	1,422Ring掘進時マシン先端
	134.077	52	261	136.508	20	286	1,446Ring掘進時マシン先端
	144.077	33	410				
	154.077	16	846				
	164.077	4	3,217				
	174.077	0	∞	174.077	0	∞	

Table7 余掘り実施結果(北行)

	計 画			実 施			備 考
	追加距離	余掘り量 (mm)	R (m)	追加距離	余掘り量 (mm)	R (m)	
ETC	0.000	0	∞	0.000	0	∞	
	10.000	4	3,217				
	20.000	16	846				
	30.000	33	410				
	40.000	52	261	30.664	30	395	1,283Ring掘進時マシン先端
	50.000	70	196	41.076 44,581	40	251 225	1,297Ring掘進時マシン先端 1,302Ring掘進時マシン先端
ECC	60.000	82	168				
	70.000	86	159		50		
BCC	111.087	86	159				
	121.087	82	168				
	131.087	70	196	99.960	20	159	1,381Ring掘進時マシン先端
	141.087	52	261	133.608	20	208	1,429Ring掘進時マシン先端
	151.087	33	410				
	161.087	16	846				
	171.087	4	3,217				
	181.087	0	∞	181.087	0	∞	

5-2 ミニパッカーおよび中間充てん材

急曲線部に使用するセグメントは幅700mmの鉄筋コンクリート製(一般部は幅900mm)を用いた。裏込め注入孔は原設計では、1セグメント当たり1ヶ所であったが、ミニパッカー用に1ヶ所追加し、1セグメント当たり2ヶ所に変更した。(Kセグメントについては原設計通り1ヶ所とした。)

ミニパッカーの使用実績は、1リング当たり4~5本、北行で94リング、南行で126リングにおいて、合計約1000本を使用した。ミニパッカーに使用した注入材は約40m³であった。

ミニパッカーの代表的な使用例を Fig.12 に、又注入量実績を Table 8、Table 9 に示す。

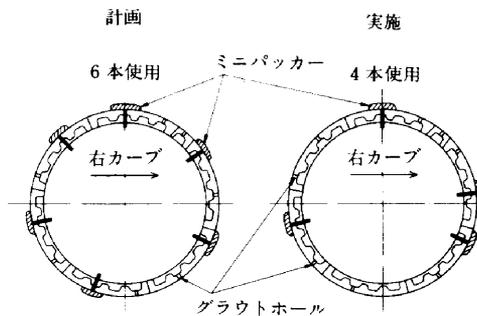


Fig.12 ミニパッカー取付図

Table8 注入量実績(南行)

リングNo-リングNo	ミニパッカー実注入量(m ³)	裏込め注入 (m ³)			中間充填材量 (m ³)	備 考	
		設計量	実注入量	補注注入量			
1	1303-1305	0.30	4.251	4.806	4.800	S 58.7.25	
2	1306-1315	1.87	13.300	17.622	4.800	7.26	
3	1316-1325	1.88	13.290	16.821	1.700	7.27	
4	1326-1335	1.80	14.765	18.957	1.200	7.28	
5	1336-1344	1.53	13.518	18.156	1.068	7.29	
6	1345-1353	1.56	13.488	17.622	2.136	1.900	7.30
7	1354-1360	1.18	10.524	14.952		7.000	7.31
8	1361-1364	0.64	6.048	8.277	1.068		8.1
9	1365-1372	1.40	11.976	16.287		3.600	8.2
10	1373-1381	1.65	13.398	17.957		1.300	8.3
11	1382-1390	1.68	13.368	18.957		1.600	8.4
12	1391-1399	1.68	13.368	20.559	2.136	1.600	8.5
13	1400-1408	1.72	13.328	18.690	1.068	7.600	8.6
14	1409-1416	1.50	11.876	16.554		1.600	8.8
15	1417-1426	1.92	14.800	23.496		1.600	8.9
16	1427-1436	0.58	13.368	23.763	1.602	1.600	8.10
17	1437-1443		9.548	14.952		1.600	8.11
18	1444-1449		8.184	11.748		1.600	8.12
19	1450-1451		2.728	3.738			
合 計		22.890	215.126	303.914	9.078	41.400	

補注注入として、9.078m³入れてあるので、実注入量の合計は 303.914+9.078=312.992m³となる。

次に、設計に対する率qとすると

$$q = \frac{312.992}{215.126} = 145\%$$

Table9 注入量実績(北行)

リングNo~リングNo	ミニバ ッ カ ー 実 注 入 量 (m ³)	裏込め注入 (m ³)			中間充 填材量 (m ³)	備 考
		設計量	実注入量	補足注入量		
1	1288~1291	0.61	5.458	7.209	5.500	S58.6.20
2	1292~1296	1.02	6.565	8.544	1.800	6.21
3	1297~1301	1.04	6.545	10.145	1.800	6.22
4	1302~1305	0.75	5.783	10.413	3.471	6.23
5	1306~1309	0.75	6.246	8.010	1.600	6.24
6	1310~1314	1.00	8.130	9.879		6.25
7	1315~1320	1.20	9.756	11.481	1.800	6.27
8	1321~1326	1.20	9.756	11.748	1.400	6.28
9	1327~1334	1.48	13.128	14.418	0.800	6.29
10	1335~1342	1.58	13.028	16.287	1.300	6.30
11	1343~1350	1.59	13.018	14.952		7.1
12	1351~1358	1.60	13.008	15.753	1.400	7.2
13	1359~1365	1.40	11.382	14.151	1.335	7.3
14	1366~1371	1.20	9.756	11.481	1.600	7.4
15	1372~1379	1.60	13.008	16.554	1.400	7.5
16	1380~1387	0.60	13.546	16.821		7.6
17	1388~1394		9.548	14.151		7.7
18	1395~1401		9.548	14.151		7.8
19	1402~1407		8.184	10.947	3.204	7.9
20	1408~1415		10.912	17.088		7.11
21	1416~1420		6.820	11.214	1.200	7.12
22	1421~1426		8.184	12.282	0.900	7.13
23	1427~1434		10.912	17.622		7.14
合 計		18.620	222.221	295.302	8.010	23.700

補足注入として、8.010m³入れているので、実注入量の合計は
295.302+8.010=303.312m³となる。

次に、設計に対する率をqとすると、
 $q = \frac{303.312}{222.221} = 134\%$

中間充てん材は、北行で134リング、南行で147リングにおいて計70m³近く補足注入した。

この量は中間充てん材を注入した区間の裏込め注入量の約13%に相当する。確認の結果、その大部分が裏込め注入圧と泥水圧のアンバランスにより、切羽側へ移動しカッターチャンパー内へ流入していたことが判明した。

5-3 置換状態

施工に当り、中間充てん材と裏込め材との置換が十分に行なわれず、中間充てん材が裏込め材中に残存した場合、将来沈下等を生じるのではないかと、一抹の不安があった。このため、施工完了後、中間充てん材使用区間において、コア採取を行ったところ、中間充てん材と裏込め材の置換状態は非常に良好であった。

採取コアの状態を Fig.13, Fig.14 に示す

5-4 重要構造物の防護および地盤変状

1) 重要構造物の防護

急曲線部で、国鉄貨物線および地下鉄引込線の重要構造物への近接にともない、特に、シールドが地下鉄引込線構築下約4~5mの位置を通過するため、その間のゆ

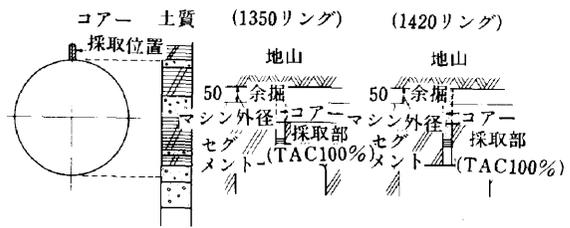


Fig.13 北行シールド裏込め注入状況図

南行シールド裏込め注入状況図

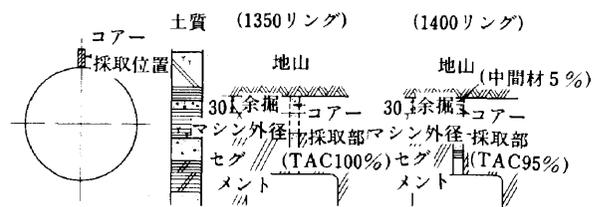


Fig.14 南行シールド裏込め注入状況図

るい砂質土に対し薬液注入(LAG)で地盤改良を行った。注入率は平均32%であった。

2) 地盤沈下および地盤変状測定

国鉄貨物線については、シールドが貨物線下約11mを通過すること、交差部の軌道構造が踏切部で接続軌道、一般部で碎石道床木枕木構造であることから、列車運行安全確保のため、シールド掘進影響範囲内の軌条面に5m間隔で測定点を設置し、シールド掘進にともない、基準軌条面の沈下測定および水準、通り、高低の測定を行った。また、地下鉄引込線構築物の沈下および変状については、既設構築物に基準測定点を設けレベル測定を実施した。測定結果は、いずれも測量誤差範囲で、地盤沈下および地盤変状は認められなかった。なお、工区全線にわたり113断面(1断面約5測点)で沈下測定を行ったが、最大沈下量は、シールド直上で3mmであり、その他の位置ではほとんど沈下は見られなかった。

§6. おわりに

鉄道線、高架橋、埋設物等重要構造物に非常に近接して施工したにも拘らず、これら構造物に何等の影響を与えることなく掘削を完了し、線形についても計画とおりの施工ができ、初期の目的を十分に達成し得たと考えている。今後、中間充てん材の置換状態の検知方法、裏込め材中に中間充てん材が残存した場合の処置の方法等、課題は残っているが、当工事と同様な工事を施工する場合、本報告が何等かの糧となれば幸いです。

最後に本工事の施工に当り、御指導、御協力いただいた関係各位に心から感謝する次第です。