

VI-74

シールド裏込材の水密性向上技術の研究（その1）

東京電力㈱ 京葉地中線建設所 正会員 有泉 毅
東京電力㈱ 京葉地中線建設所 恵利川勝軍

1. まえがき シールドトンネル工においては掘削地山とセグメントの間に隙間が発生する。この隙間に充填される裏込材には、所要の強度と耐久性を保ちつつ地盤沈下防止、土圧の均等化の役割が期待される。また、地山に含まれている地下水をセグメントの継ぎ目を通してトンネル内に流入させないため、品質が高水密であるだけでなく、亀裂の発生をも避けることが望ましい。最近では同時注入工法の開発により、隙間発生と同時に裏込材注入が可能となったが、裏込材の耐久性の不足、材料の分離、施工後の亀裂発生などのため、裏込材注入は充分なものとなっていないと推定される。また、裏込材の水密性を格段に高めることができるならば、二次覆工の機能の主要な部分を裏込材に置き換えることができ、二次覆工の省略によって工費および工期の大幅な節減が可能になると考えられる。

2. 裏込の水密性を阻害する要因 裏込の水密性を阻害する要因としては、1) 施工中のセグメントの揺動による亀裂の発生、2) 裏込材の流動性の不足による充填不足、3) 注入時の材料分離、および地下水流による流出、分離、4) 地下水の浸食作用による劣化、などが推定される。これらのうち、1) に対しては、裏込材の凝結開始時期を遅らせ、セグメントの揺動中は裏込材を硬化させないこと、2) に対しては適切な流動化剤の使用、3) に対しては最近開発の進められている水中コンクリート用粘稠剤の使用、4) に対しては、水と結合材の比を小さく設定すること、が有効な手段と考えられる。しかし、1) に対する対策で遅硬性の裏込材を用いる事は、最近の裏込材の使用状況や開発状況をみると早期に地山程度に強度発現する裏込材が一般的である。ところで、永久に固化しない材料であっても裏込材として機能し得るとの報告¹⁾も一部にある。そこで、本研究では、テールボイド発生と同時に注入し、かつ、硬化する前の流動性のある段階ではトンネル全周の地山側に常に土水圧に相当する注入圧力を伝達する裏込材注入システムに適用でき、かつ、長期的に優れた耐久性、水密性を有する裏込材の開発を目標とした。

3. 要求機能を満たす裏込材の配合の検討 実験の結果得られた裏込材の配合を表-1に示す。この配合の特徴は、遅硬性を得るためにセメントとして C_3S の含有量の多いベリットセメントを用いていること、練り混ぜ後長時間にわたって流動性を保持させるために、ポリカルボン酸系の凝結遅延形流動化剤DL（N社製）を用いていること、および粘稠性の向上のためにポリアクリルアミド誘導体を主成分とする水中コンクリート用粘稠剤SB（S社製）を用いている点である。表-2に、この配合についての流動性、分離抵抗性、粘稠性および固化後の圧縮強度の試験結果を示す。

4. 裏込材の遅硬性によるデメリットの検討

もし裏込材の遅硬性からデメリットを生ずるとすれば、未硬化の間に周辺の地盤沈下の促進要因となることが考えられたので、この点に関する解析的検討を行った。解析手法としては有限要素解析（FEM）、解析対象とした裏込材は、遅硬タイプ、通常のモルタルタイプおよび急結タイプの3種である。

表-1 配合例

水・結合材比 (%)	砂・結合材比 (%)	増粘剤・結合材比 (%)	流動化剤・結合材比 (%)	単 位 量 (kg/m ³)						
				水	普通セメント	ベリットセメント*	フライアッシュ	細骨材	増粘剤SB	流動化剤DL
70	3	0.5	2.0	318	158	158	137	1362	2.27	9.06

* C_3S 含有量: 90%

表-2 流動性、分離抵抗性、粘稠性、固化後の圧縮強度の試験結果

特性値	流動性	分離抵抗性	粘稠性	固化後の強度
評価手段	テーパーテスト	ブリーディングテスト	水中作成試験体による圧縮強度*	一軸圧縮強度
試験結果	練り混ぜ直後: 280mm 24時間後: 240mm	ブリーディング率: 0	水中作成試験体の55.5% （材料91日）	材料2〜3日: 凝結 7日: 固化 28日: 29.6kg/cm ² 91日: 73.3kg/cm ²

* 水を満たしたφ10×20cmの型枠に裏込材を落下させて作成

解析は平面ひずみの左右対称問題として考えることとし、解析の手順は次のとおりとした。即ち、①初期応力解析(自重解析による)、②掘削解析(掘削領域の要素削除、応力解放30%)、裏込注入要素(テールボイド部の要素復活)、セグメント要素、③変形解析(掘削解析時の未解放応力を100%解放した解析、なお裏込材の材料特性が時間的に変化する場合にそれに対応して解放率を振り分ける)。

シールドの形状および地盤については、それぞれ表-3、4のように設定した。また、裏込材の入力定数は表-5のように設定した。この中で遅硬タイプおよびモルタルタイプにおけるポアソン比と弾性定数の設定にあたっては、

4 kgf/cm²の圧力下で加圧ブリージング試験²⁾(加圧下で脱水による体積変化を評価する方法)を実施し、経過時間と体積変化率の関係を求めた(図-1)。この結果と、 $K=(1/3) \cdot E/(1-2\nu)$

(K :体積弾性係数、 E :弾性係数、 ν :ポアソン比)の関係より、遅硬タイプでは $E=1 \text{ t/m}^2$ と設定することにより ν を、モルタルタイプでは $\nu=0.25$ とすることにより E を、各々算出した。

表-6に地表面中央およびシールド天端における沈下量の解析結果を示す。切羽到達以降の沈下量の増分は僅かに遅硬タイプにおいて大きくなっているが、全沈下量では大きな差異は認められず、解析的には裏込材の遅硬性が地盤沈下を生ずる原因とはならないと考えられる。

5. 模擬トンネルによる裏込注入試験 表-1に示す配合の裏込材の充填性に関する実験例を写真-1に示す。内径1m、長さ2m仮想テールボイド厚5cmの二重円筒型模擬トンネル内に水を満たした状態で注入試験を実施したが、十分な流動性と粘稠性を示し、良好な充填結果となった。

6. むすび 以上の結果から、裏込材に遅硬性、流動性、粘稠性を付与することにより、高水密性のシールド裏込の見通

しを得ることができた。

尚、本研究の実施にあたり御指導頂いた、愛知工業大学 内藤幸雄教授に謝意を表する。

(参考文献)

1)池田、津吉、"シールド工法における裏込めグラウトについて"第21回土木学会年次講演会概要集、2)土木学会、コンクリートのポンプ施工指針(案)P.124

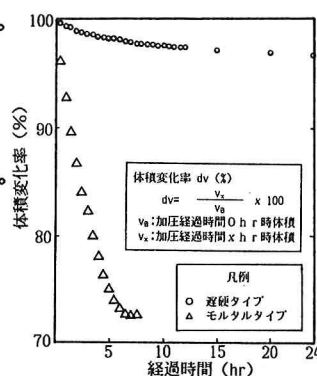


図-1 加圧ブリージング試験結果

表-3 シールドモデルの諸元および土被り

シールド外径	$D_s = 6146 \text{ mm}$
セグメント外径	$D_{sg} = 6000 \text{ mm}$
テールボイド	$T = 1/2(D_s - D_{sg}) = 73 \text{ mm}$
土被り	20 m

表-4 地盤モデルの入力定数

単位体積重量 $\gamma (\text{tf/m}^3)$	1.8
ポアソン比 ν	0.35
弾性定数 $E (\text{t/m}^2)$	1750

表-5 裏込材の入力定数

	遅硬タイプ		モルタルタイプ		急結タイプ
	6hr まで	6hr 以降	6hr まで	6hr 以降	
単位体積重量 $\gamma (\text{tf/m}^3)$	1.9	1.9	1.9	1.9	1.7
ポアソン比 ν	0.4998	0.4998	0.25	0.25	0.25
弾性定数 $E (\text{tf/m}^2)$	1	1	220	5000	5000
一軸強度 $qu (\text{tf/m}^2)$	0.01	0.01	2.2	50	50

表-6 沈下量の比較

地盤	裏込材料	沈下量(上段:地表面中央,下段:シールド天端)			
		切羽到達時	裏込め設置後 6時間後	切羽到達以降 48時間後	の増分
洪積砂層	遅硬タイプ	0.91 3.13	1.40	1.76	0.85
			4.98	6.37	3.24
	モルタルタイプ		1.35	1.52	0.61
			4.99	6.08	2.95
	急結タイプ		1.32		0.41
			5.69		2.56

(単位:cm)

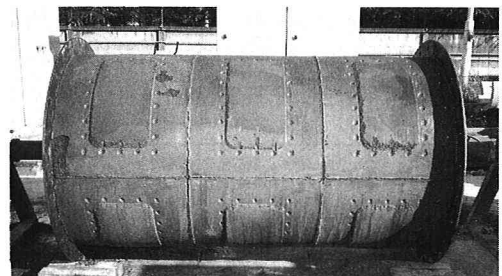


写真-1 遅硬タイプ(粘稠剤を含む)の充填試験結果