

報 告

[1145] トンネル補修用急硬性コンクリートの特性

田中一成*1・日比野悦久*2・鈴木輝彦*3・青木義治*4

1. はじめに

近年の建設現場では作業環境の改善、熟練作業員不足の解消、工期の短縮等から、工事の省力化および迅速化を図ることが重要な課題となっている。もちろん水路トンネルの補修においても例外ではない。

大正から昭和初期に建設された水路トンネルの多くはコンクリートの経年劣化、洗掘等による亀裂、肌落ちが生じており、従来は吹付けコンクリートと左官作業による補修を行っているが、断面が比較的小さいため、吹付けコンクリートによる粉塵で作業環境が悪化したり、人力作業による部分が多い等の問題がある。

そのため、これらの諸問題を解決したより合理的な補修工法の開発が必要になってきた。そこで、トンネルの1次ライニング工法として開発されたT S L工法を用いて経年劣化した水路トンネルの既設覆工内側に新設覆工を行う補修実証試験および本施工を行った結果、同工法および急硬性コンクリートが従来工法と比較して、粉塵・はね返りがほとんどなく作業環境が良好であり、また、覆工表面が円滑に仕上がるため左官作業が必要がない等の点で水路トンネル補修への適用性が確認された。

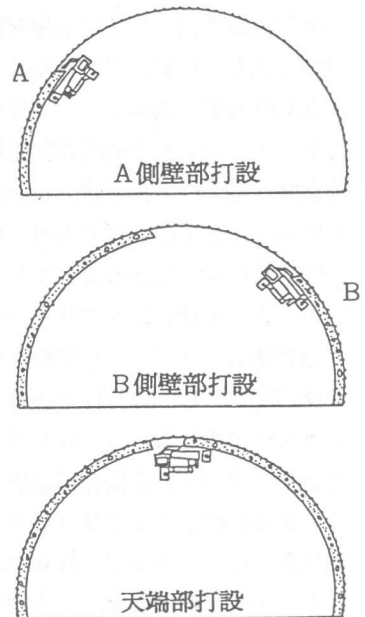
T S L工法では型枠として円周方向に移動可能なベルト型枠を用いており、コンクリート打設後2分程度で型枠が移動して脱型状態になるため、適用するコンクリートは1~2分で自立強度に達する急硬性のコンクリートである。

本報告では、T S L工法の概要の説明と急硬性コンクリートの特性について述べる。

2. T S L工法の概要

T S L (Tunnel Swift Lining) 工法はN A T Mの吹付けコンクリートの粉塵・はね返りの防止を目的に開発されたトンネルの1次ライニング工法である。

同工法は円周方向に移動可能なベルト型枠を使用し、ベルト型枠と地山あるいは既存覆工との空間部に流動性および急硬性を有するコンクリートを打設して、コンクリートの硬化時間に合わせてベルト型枠を移動させ、連続的に覆工を形成することが可能である。



図一1に施工順序、図一2に移動ベルト型枠の概略図を示

図一1 施工順序

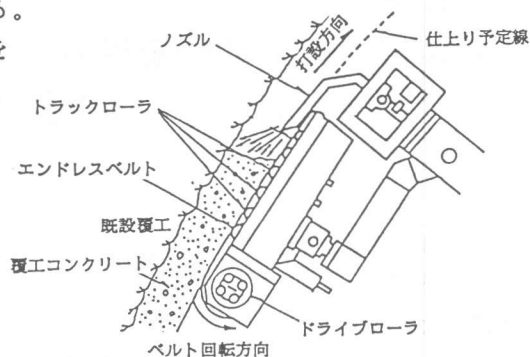
- * 1 鉄建建設(株)エンジニアリング本部土木研究開発部土木施工課 (正会員)
- * 2 東京電力(株)工務部工務土木課副長
- * 3 鉄建建設(株)エンジニアリング本部土木研究開発部土木施工課長
- * 4 鉄建建設(株)エンジニアリング本部技術営業第二部技術営業課長

す。本工法の施工順序は以下に示すとおりである。

- ① A側壁を脚部から天端方向にベルト型枠を硬化時間に合わせて移動させ打設を行う。
- ② B側壁をA側壁と同様に打設を行う。
- ③ 次にベルト型枠に取り付けた注入孔から注入方式で天端を閉合して完了する。

T S L工法の特長は以下のとおりである。

- ① 粉塵・はね返りがなく、良好な作業環境が確保できる。
- ② 円滑な仕上がり面が形成される。
- ③ 高品質の覆工コンクリートが施工できる。
- ④ 5 cmの薄肉覆工が可能である。



図一 2 移動ベルト型枠の概略図

3. 急硬性コンクリートの特性

3. 1 急硬性コンクリートの概要

T S L工法で使用する急硬性コンクリートは、ポンプ圧送したベースコンクリートと急硬剤をラインミキサー内で強制攪拌混合し作成するものである。

その性状は、急硬剤添加後の初期流動性と硬化開始後の急硬性との双方の性質を併せ持つものである。

初期流動性については急硬剤添加後の配管内での閉塞防止、打設面のコールドジョイント防止、円滑な仕上がり面の形成等から必要であり、トンネルの側壁部およびアーチ部では急硬剤添加後から30秒程度、天端部では型枠に取り付けた注入孔からの注入方式（下から上に向けて注入）によるため2～3分の初期流動時間を要する。また、急硬性についてはベルト型枠の移動速度から硬化開始後1～2分で貫入抵抗値1,000psi（一軸圧縮強度約2kgf/cm²相当）以上の自立強度に達する急硬性状が必要である。従って、本急硬性コンクリートには所要の初期流動時間の調整と急硬性状を確保できるコンクリート急硬剤を用いている。

3. 2 急硬性コンクリートの配合

急硬性コンクリートの配合を決定する際に特に考慮した点は、コンクリート吹き込み時に背面でリバウンドした骨材がそのまま残るとジャンカを発生させるため、コンクリートには適度なモルタル分と流動性が必要となる点である。そのため、コンクリートの打設試験等を繰り返し行いスランプ、細骨材率およびセメントペースト率を確認し、最適な配合を決定している。

急硬性コンクリートの基本配合条件を表一1、配合例を表一2に示す。

配合例は昨年度に行った実証試験のものであり、使用した材料の仕様は次のとおりである。

表一 1 急硬性コンクリート基本配合条件

W/C(上) (%)	S/A(下) (%)	セメントペースト率(下) (%)	スランプ (cm)	単位セメント量(下) (kg/m ³)
65	65	36	24±2	380

※注：(上) 上限値 (下) 下限値

表一 2 急硬性コンクリート配合例

W/C (%)	S/A (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
		W	C	S	G	流動化剤
57	70	217	380	1,225	527	C×1% 3.8

- ①セメントは普通ポルトランドセメントを使用した。
- ②粗骨材は最大粒径が15mmのものを使用した。
- ③細骨材はFMが2.6～2.9のものを使用した。
- ④流動化剤は非空気連行型のナフタレン系高性能減水剤を使用した。

3. 3 急硬剤の性状

本急硬性コンクリートの急硬剤は速硬性の急結剤と硬化開始時間を調整する遅延剤とから成り、各々以下の性状がある。

速硬性の急結剤は鋳物系で主成分が良質な石灰・ボーキサイト・石膏の熔融混合物であり、セメントと混合し反応すると急激に硬化する性質を持っている。

遅延剤は主成分が白色の結晶粉末で無機塩のオキシカルボン酸塩で、イオン封鎖作用により急結剤とセメントとの反応を一定時間抑制し、硬化開始後は急結剤の硬化作用を促進する働きがある。

急結剤および遅延剤はともに粉体であり、作業性を考慮して重量比70%の水で溶解し、スラリー状にして使用する。

遅延剤のイオン封鎖作用は、急結剤の粒子に対してのみ有効であるため、遅延剤と急結剤とを混合した後にコンクリートに添加する。

本急硬剤は以下の特徴を有している。

- ①急硬剤添加後、硬化開始までの時間を5分程度まで調節できる
- ②硬化開始後の急結効果が顕著である。
- ③コンクリートの強度に影響を及ぼさない。

急結剤の物性を表一3、化学組成を表一4に示す。

3. 4 急硬性コンクリートの特性

本急硬性コンクリートの特性については以下に示す。

(1) 流動性および急硬性

本急硬性コンクリートの特性は主としてその流動性と急硬性にある。

脚部・側壁部では初期流動時間が30秒程度、貫入抵抗値1,000psi以上の自立強度に達する時間が1～2分で、また天端部では初期流動時間が2～3分、自立強度に達する時間が1～2分となるような調整が必要である。

図一3はコンクリート温度20℃時の

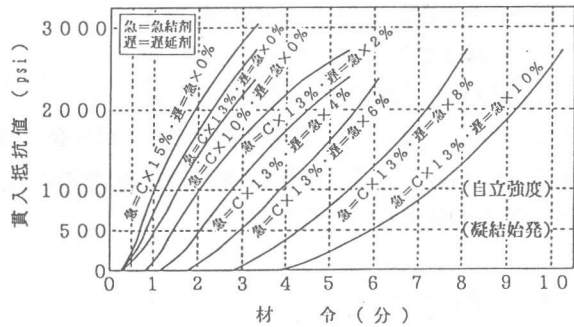
表一3 急結剤の物性

種別	外観	粉末度	比重
セメント用超速硬性混和剤	灰白色粉末	5,500cm ² /g	2.90

表一4 急結剤の化学組成

Ig-loss	Insol	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
0.6	0.8	2.2	23.9	0.7	42.6	0.2	28.3

(単位：%)



図一3 若材令時の貫入抵抗値

表一5 急硬性コンクリートの圧縮強度

材令(時間)	圧縮強度(kgf/cm ²)	材令(日)	圧縮強度(kgf/cm ²)
1	14	3	200
3	36	7	276
6	58	28	368
24	107	365	451

急結剤および遅延剤の添加量別のプロクラー貫入抵抗値を表したものである（コンクリート配合は表-2を参照）。

図-3からコンクリート温度20℃時の急結剤および遅延剤の適切な添加量を設定すると脚部・側壁部のコンクリートで急結剤添加量がC（セメント）×13%、遅延剤が急結剤量×2%で、天端部では急結剤添加量がC×13%、遅延剤添加量が急結剤量×6%において、所定の初期流動性と急硬性状を得ることができる。

(2) 強度特性

昨年度に行った実証試験での強度試験等の結果を特性値として示す。

図-4に急硬性コンクリートの若材令時の一軸圧縮強度、図-5に一軸圧縮強度、表-5に強度一覧表を示す（供試体のコンクリート配合は表-2を参照）。

本急硬性コンクリートの強度発現の推移は $\sigma_{1\text{hour}}=14\text{kgf/cm}^2$ 、 $\sigma_{1\text{day}}=107\text{kgf/cm}^2$ 、 $\sigma_{7\text{days}}=276\text{kgf/cm}^2$ 、 $\sigma_{28\text{days}}=368\text{kgf/cm}^2$ を計測しており、一般に使用されている覆工コンクリート $\sigma_{28\text{days}}=180\sim 240\text{kgf/cm}^2$ と比較しても十分な強度を

有している。また、その他の特性値としては圧裂引張強度 $\sigma_{28}=37\sim 46\text{kgf/cm}^2$ 、純引張りによる付着強度 $\sigma_{48\text{hours}}=10\sim 12\text{kgf/cm}^2$ （付着対象物はコンクリート板）、単位体積重量は2.23~2.29 g/cm^3 等が測定されている。

4. おわりに

本急硬性コンクリートは急硬剤添加後の初期流動性と硬化開始後の急硬性の双方の性状を有し、実証試験および本施工の結果から水路トンネル補修に適したコンクリートであることを確認した。

本急硬性コンクリートの特性は以下のとおりである。

- ①急硬剤添加後は脚部・側壁部コンクリートで30秒程度、天端部コンクリートで2~3分の時間流動性を保持し、硬化開始後は1~2分で自立強度に達して型枠の脱型が可能となる。
- ②急硬剤は鉱物系の速硬性急結剤と硬化時間を調整する遅延剤を用いており、ともに水で溶解しスラリー状にして使用するタイプである。
- ③コンクリート温度20℃において急結剤添加量がC×13%、遅延剤添加量は脚部・側壁部コンクリートで急結剤量×2%、天端部で急結剤量×6%が適正配合である。
- ④急硬性コンクリートの強度は $\sigma_{28}=300\sim 350\text{kgf/cm}^2$ であり、一般に使用される覆工コンクリート $\sigma_{28}=180\sim 240\text{kgf/cm}^2$ と比較しても十分な強度を有している。

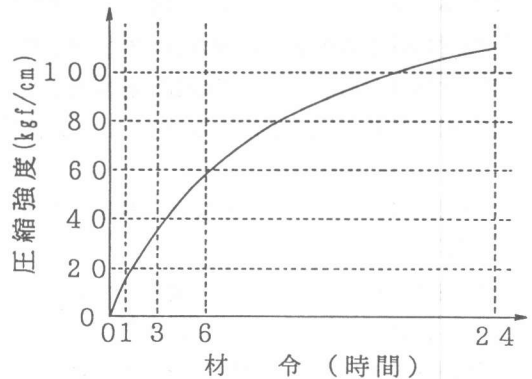


図-4 若材令時の一軸圧縮強度

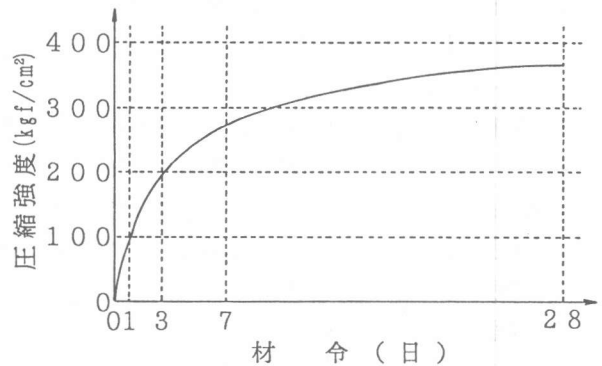


図-5 一軸圧縮強度