

シールドトンネル二次覆工厚の薄肉化に伴う配合選定

新谷 壽教* 土橋 吉輝*
 Toshinori Shinya Yoshiki Dobashi
 小山 光和**
 Mitsukazu Koyama

§ 1. はじめに

関西（支）鳳東（出）では、シールドトンネルの二次覆工コストの縮減を図ることを目的として、二次覆工厚を250mmから175mmに低減することとした。二次覆工コンクリートは、一般に温度応力や乾燥収縮によるひび割れの発生が大きな問題となっている。また、当現場では鋼製セグメントが使用されるが、このセグメントはスキンプレートにリップ等がついた構造となっていることから、覆工厚が薄い場合にはコンクリート覆工厚の変化が大きくなり、ひび割れがより発生しやすくなることも予想された。

本検討は、6種類の配合を用いた試験施工を行い、コンクリートのひび割れ発生状況等を確認し、二次覆工薄肉コンクリートに適切な配合を選定したものである。

§ 2. 試験概要

(1)使用材料および配合

本試験施工に使用した材料を表-1に示す。また、配合については実施工で計画された圧送距離を考慮し、セメントの種類、膨張材の有無、スランプ、骨材寸法等を変化させた表-2に示す6種類とした。さらに、これらの配合について机上で比較検討したものを表-3に示す。

(2)試験項目

本試験施工で実施した試験項目は、以下の通りである。
 打設時：スランプ試験、空気量試験、コンクリート温度、圧縮強度試験（材齢18時間（＝脱型時間）、7,28日）
 打設後：コンクリート温度、コンクリートひずみ、ひび割れ（発生時期、分布、長さ、幅）、温湿度
 打設後のコンクリート温度およびひずみの計測はコンクリートの温度ひび割れや乾燥収縮等によるひび割れを検討する上で有効であり、熱電対および埋込みひずみ計

* 技術研究所
 **関西（支）鳳東（出）

表-1 使用材料

材料	種類	備考
セメント	普通ポルトランドセメント	比表面積 = 3310cm ² /g, 密度 = 3.15g/cm ³
	高炉セメントB種	比表面積 = 3660cm ² /g, 密度 = 3.04g/cm ³
細骨材	S1：香川県室木産	F.M. = 2.64, 表乾密度 = 2.57g/cm ³
	S2：兵庫県西島産	F.M. = 2.90, 表乾密度 = 2.62g/cm ³
粗骨材	G1：兵庫県西島産	実績率 = 58.0, 表乾密度 = 2.62g/cm ³
混和剤	AE減水剤	リグニンスルホン酸系
	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸系
混和材	膨張材	セメント系

※S1：海砂, S2：砕砂, G1：砕石

表-2 配合表

No.	配合	単位量 (kg/m ³)					
		C	W	S	G	混和剤	混和材
①	24-15-20BB	331	179	761	968	3.51	-
②	24-15-20BB	292	175	797	947	3.20*	30
③	24-15-20N	288	175	812	945	3.20*	30
④	24-18-20BB	301	180	807	916	3.50*	30
⑤	24-18-20N	303	180	820	916	3.50*	30
⑥	24-18-15BB	303	180	851	869	3.50*	30

※は高性能AE減水剤

表-3 配合比較表

No.	ひび割れ発生確率	施工性	経済性	備考
①	高い	型枠内の充てん性が悪い恐れあり	基準	圧送距離200m以内
②	Cと膨張材の使用で低減			
③				
④	膨張材の使用で低減	長距離圧送が可能と予想される	高性能AE減水剤・膨張材の使用でコストアップ	圧送距離200m以上
⑤	Cと膨張材の使用で低減			
⑥				

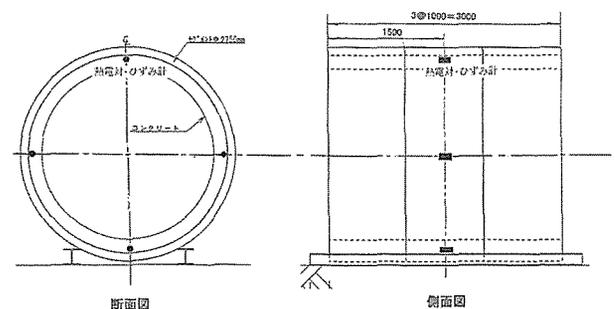


図-1 試験状況

を用いて計測した。試験状況を図-1に示す。また、ひび割れについては目視による観察とスケッチを実施した。試験項目および基準値を表-4に示す。

表-4 試験項目および基準値

試験項目	基準値
スラブ	15±2.5cm (①, ②, ③)
	18±2.5cm (④, ⑤, ⑥)
空気量	4.5±1.5%
コンクリート温度	-
圧縮強度 (材齢18時間, 7日, 28日)	3.0N/mm ² (材齢18時間)
	24N/mm ² (材齢28日)

(3)打設方法

コンクリートの打設にはコンクリートポンプ車を用い、配管 (5inch, 長さ5~10m) を通してスチールフォームの天端打設口1ヵ所のみから行った。打設時は各試験体とも内部振動機を2本、さらに補助的なものとして型枠バイブレータを2台使用した。

§ 3. 試験結果

①フレッシュ性状と脱型時のコンクリート表面の状況

6配合ともフレッシュ性状は基準値を満足しており良好であったが、脱型時の表面状態には差異がみられた。配合④~⑥は良好であったが、配合②, ③は底版から側面にかけて細かいアバタが見られ、特に配合①はより多く認められた。

②圧縮強度の発現状況

所要脱型強度 (3.0N/mm²) を満たしている配合は、①, ③および⑤であった。また、材齢28日強度については全ての配合において設計基準強度 (24N/mm²) を満足していた。

③ひび割れ発生状況

配合①は、打設後初期にトンネル軸方向のひび割れが発生し始め、最終的にはひび割れ幅が0.30mm以上のものを含むかなりのひび割れが発生した。一方、膨張材を用いた配合②~⑥では、ひび割れの発生状況に差はあるものの、配合①と比較すると幅も本数も少なかった。このことは膨張材によるひび割れ低減効果があったものと考えられる。(図-2, 3参照) また、セメントの種類によるひび割れ幅の違いはほとんどみられなかった。

④コンクリートのひずみ

初期の水和に伴ったひずみから1ヶ月間のひずみ減少量をみると、配合②~⑥は配合①よりも少ないことがわかった。特に普通ポルトランドセメントを用いた配合③および⑤はこの傾向が顕著であった。このことは膨張材の効果が長期にわたって持続し、コンクリートの収縮を低減していると考えられる。(表-5参照)

⑤コンクリート温度

コンクリートの温度については、いずれの試験体も天端部分の温度が一番高かった。このことは、天端にひび割れが集中して発生する原因の1つと考えられる。

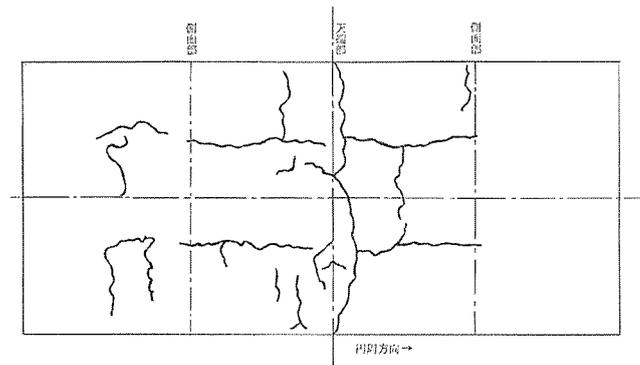


図-2 ひび割れ発生状況図 (配合①)

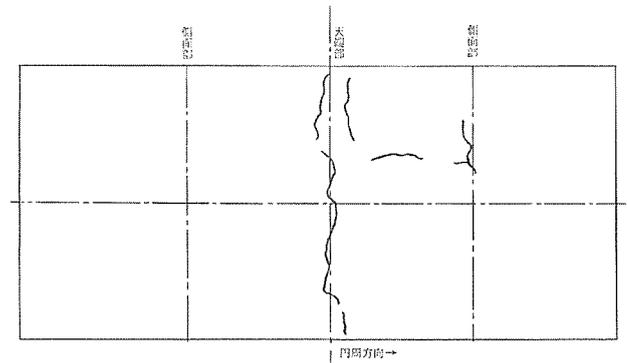


図-3 ひび割れ発生状況図 (配合③)

表-5 試験結果比較表

No.	スラブ (cm)	空気量 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)			ひずみ (×10 ⁻⁶)
			材齢18時間	材齢7日	材齢28日	
①	12.5	3.9	3.3	19.6	34.1	120
②	15.5	4.9	2.5	18.0	33.6	80
③	16.0	4.0	4.9	26.3	35.7	70
④	19.0	4.7	2.4	31.0	44.8	120
⑤	18.0	4.0	5.4	33.2	43.2	70
⑥	18.5	5.0	2.5	20.4	35.8	60

§ 4. まとめ

二次覆工コンクリートは、早期における強度の発現と長期にわたるひび割れ発生低減という品質上厳しい要求がなされている。この中で、今回のような薄い覆工厚に対しては、本結果で示したフレッシュ性状、圧縮強度の発現そしてひび割れ発生状況から考慮すると、圧送距離が200m以上の場合では配合⑤、圧送距離が200m以内の場合では配合③の普通ポルトランドセメントと膨張材を用いたものが適当であることがわかった。

現在、これらの配合を用いて実施工中であるが、脱型時の強度発現は十分であり、脱型後の状態も現時点ではひび割れやジャンカ等もなく良好な状態である。