

トンネル覆工用低収縮コンクリートのひび割れ抑制効果

(株)竹中土木 正会員 ○鎌田 英志 同 安藤慎一郎 同 吉田 邦勝
 (株)竹中工務店 正会員 三井 健郎 井上 和政
 竹本油脂(株) 正会員 木之下光男 同 齊藤 和秀 稲垣 順司

1. 目的

トンネル二次覆工コンクリートは、トンネルの延長方向 10.5m, 周方向 21m程度、巻厚 30cm 程度の薄肉構造である。天端アーチ部のコンクリート打設は吹上げ方式であり、養生時間 12~20 時間程度で脱型の施工サイクルを特徴としている。

このため、覆工コンクリートには乾燥収縮に起因すると考えられる初期ひび割れの発生がしばしば確認されるが、コンクリートの品質向上やコスト低減が改めて問われる昨今、様々な対策工法が検討・提案されている。

本報では、トンネル覆工用として検討を進めている収縮低減タイプ AE 減水剤(以下、SRT という)を用いた低収縮コンクリートのひび割れ抑制効果について報告する。

2. 実験概要

2.1 目標性能

本検討に用いた低収縮コンクリートの目標性能は、表 2-1 に示す通り、一般的なトンネル覆工コンクリートに適用される配合基準に基づくフレッシュ性状、硬化物性に加えて、ひび割れ抑制のために必要な値として覆工コンクリートの収縮低減率 20%以上の確保とした。

2.2 使用材料およびコンクリート配合

使用材料を表 2-2 に、検討コンクリート配合を表 2-3 に示す。SRT は減水成分と収縮低減成分の性能を兼ね備え、トンネル覆工用として従来品より収縮低減効果を高めたハイブリッド混和剤である。検討コンクリートは、SRT を添加した低収縮配合 SRT に加え、標準配合 BB および膨張材 E を標準添加量セメント置換した膨張材配合 E20 とした。

2.3 試験方法

試験方法は表 2-4 に示す通りである。図 2-1 は拘束ひびわれ試験²⁾を示す。同試験ではトンネル覆工の受ける拘束効果を想定し、各コンクリート配合のひび割れ抑制効果を拘束度 2 種類(0.2, 0.35)のひび割れ発生時期によって比較評価した。なお、拘束度の設定は算定式に基づき、鉄筋径の変更によって行った。

表 2-1 目標性能

性能項目	目標性能
フレッシュ性状	スランプ 15.0±2.5 cm
	空気量 4.5±1.5%
硬化物性	設計基準強度 18.0 N/mm ²
	強度管理材齢 28 日
	収縮低減率 20%以上

表 2-2 使用材料

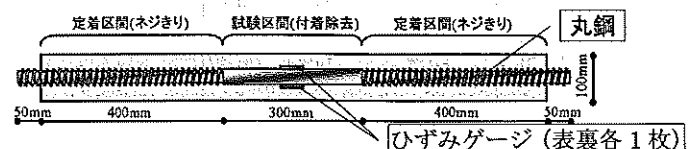
項目	略号	銘柄・概要
セメント	C	高炉セメント B 種 3 種等量混合(T 社:S 社:M 社製) 密度 3.04g/cm ³
膨張材	E	密度 3.16 g/cm ³ T 社製
細骨材	S	陸砂(静岡県大井川水系) 表乾密度 2.58g/cm ³ , 吸水率 2.34%, 粗粒率 2.63
粗骨材	G	硬質砂岩系砕石(東京都青梅市産) 表乾密度 2.66 g/cm ³ , 吸水率 0.50%, 実積率 62.7% 混合質量比 G1:G2:G3=4:3:3
混和剤	Ad	Ad1: AE 減水剤(EX) T 社製 Ad2: 収縮低減タイプ AE 減水剤(SRT) T 社製

表 2-3 検討コンクリート配合

No.	記号	設計基準強度	G _{max} (mm)	W/C (%)	S/a (%)	単位量(kg/m ³)					混和剤 Ad	
						水 W	セメント C	膨張材 E	細骨材 S	粗骨材 G	Ad1 (EX)	Ad2 (SRT)
1	BB	21	20	55.0	43.8	171	311	—	—	—	1.71	—
2	E20						291	20	813	962	1.71	—
3	SRT						311	—	—	—	—	4.71
特記		18	—	60 以下	—	—	270 以上	—	—	—	—	—

表 2-4 試験項目一覧

分類	試験項目	試験方法
フレッシュ性状	スランプ	JIS A1101 に準拠
	空気量	JIS A1128 に準拠
	加振しフロー	参考文献 ²⁾ によって実施
	ブリーディング率	JIS A1123 に準拠
硬化物性	圧縮強度	JIS A1108 に準拠(N=3) 標準水中養生、材齢 1, 4 週
	乾燥収縮量	JIS A1129-2(コンタクトゲージ法)に準拠(N=2)
	拘束ひび割れ	JCI-SAS3, 参考文献 ³⁾ に準拠(N=2)。試験区間 300mm にひずみゲージを貼り付け、定着区間を 400mm とした丸鋼(φ19mm, φ28mm)をコンクリートの拘束体(拘束度 0.2, 0.35)とする 10×10×1100cm 試験体を用いてひび割れ発生時期、鋼材ひずみを測定
	凍結融解抵抗性	JIS A1148 に準拠(N=3)
	促進中性化	JIS A1153, JIS A1152 に準拠(N=2)

図 2-1 拘束ひび割れ試験体²⁾

拘束度算定式 $R = 1 / (1 + (E_c \times A_c) / (E_s \times A_s))$

ここで、

E_c : コンクリートのヤング係数 A_c : コンクリートの断面積
 E_s : 鉄筋のヤング係数 A_s : 鉄筋の断面積

キーワード 低収縮コンクリート、収縮低減タイプ AE 減水剤、トンネル覆工、拘束ひび割れ 拘束度
 連絡先 〒270-1395 千葉県印西市大塚 1-5-1 竹中技術研究所 建設技術研究部 材料部門 TEL0476-47-1700 FAX0476-47-3080

3. 実験結果

3.1 フレッシュ性状

フレッシュ性状試験結果を図3-1に示す。スランプおよび空気量は、いずれの配合も目標値の範囲である。ワーカビリティ評価として行った加振動 L フロー試験では、低収縮配合 SRT および膨張材配合 E20 とともに標準配合 BB と同等以上の結果であった。またブリーディング率についても配合によらずほぼ同等の結果であった。

3.2 硬化物性

1) 収縮ひび割れ抑制効果

硬化物性のうち収縮ひび割れ抑制効果を図3-2に示す。乾燥収縮試験の結果、低収縮配合 SRT は目標とした収縮低減率 20% を確保できた。一方、拘束ひび割れ試験ではトンネル覆工における拘束度として 0.2~0.35 程度を想定したが、乾燥材齢 90 日現在、拘束度 0.2 の低収縮配合 SRT は、膨張材配合 E20 と同様にひび割れ未発生である。また拘束度 0.35 とした場合には、いずれの配合もひび割れを発生し、発生日に大差はなかった。

2) その他の品質

図3-3は圧縮強度、凍結融解抵抗性、促進中性化の各試験結果を示す。圧縮強度は配合によらずほぼ同等である。収縮低減成分、膨張材の添加による強度低下は認められなかった。凍結融解抵抗性については、いずれの配合も相対動弾性係数 80% を上回っている。一般に、収縮低減成分増加に伴い凍結融解抵抗性は低下する傾向にあるが、低収縮配合 SRT は高炉セメント B 種使用にあたって問題ないことを確認した。また、中性化についても低収縮配合 SRT は、標準配合 BB に対して 25% 程度小さく、良好な結果が得られた。

4. おわりに

以上、新たにトンネル覆工用に開発した収縮低減タイプ AE 減水剤を用いた低収縮コンクリートについてフレッシュ性状および硬化物性を検討した結果、所要の性状の確保とともに良好なひび割れ抑制効果を確認できた。トンネル覆工コンクリートへの拘束を考慮した低収縮配合 SRT の拘束ひび割れ試験結果は、膨張材配合 E20 と同等であり、耐久性試験（凍結融解抵抗性、促進中性化）の結果にも特に問題は認められなかった。

SRT にはトンネル覆工コンクリートのひび割れ抑制対策として、一定の効果が期待できると考えられる。今後とも実トンネルへの適用を通じて、さらなる覆工コンクリートのひび割れ抑制を進める予定である。

【参考文献】

- 1) 土木学会；山岳トンネル覆工の現状と対策，pp58，2002.9
- 2) 岡田正美ほか；中流動コンクリートの流動性及基礎物性に及ぼす振動と粗骨材量の影響，コンクリート工学年次論文集，vol.22，No.2，pp919-924，2000
- 3) 日本コンクリート工学協会；コンクリートの自己収縮委員会報告書，2002.9

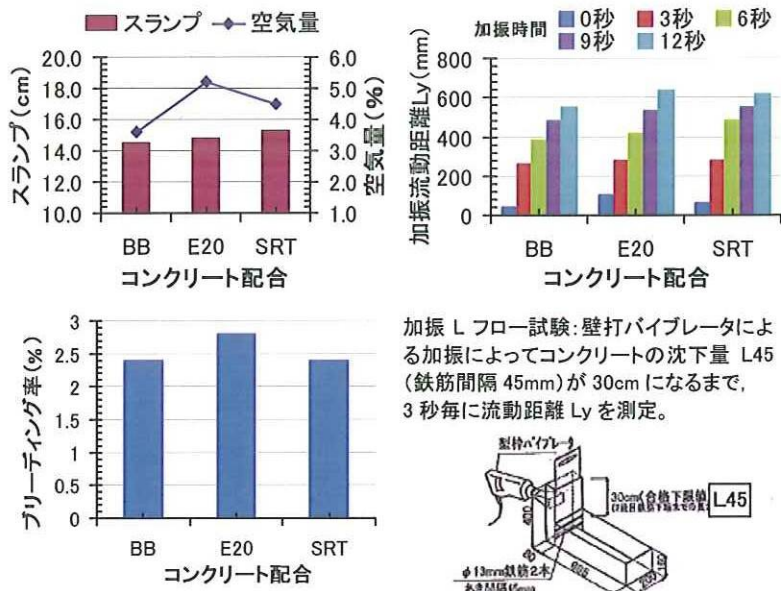


図3-1 フレッシュ性状試験結果

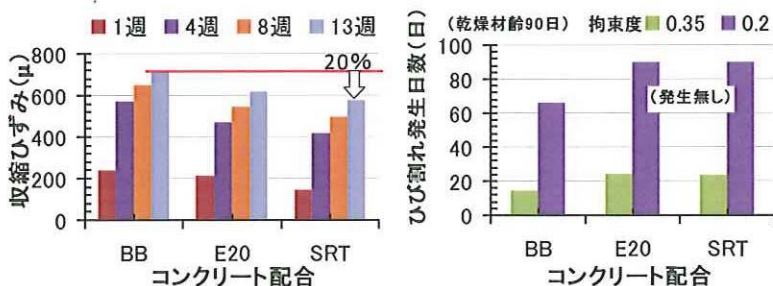


図3-2 収縮ひび割れ抑制効果

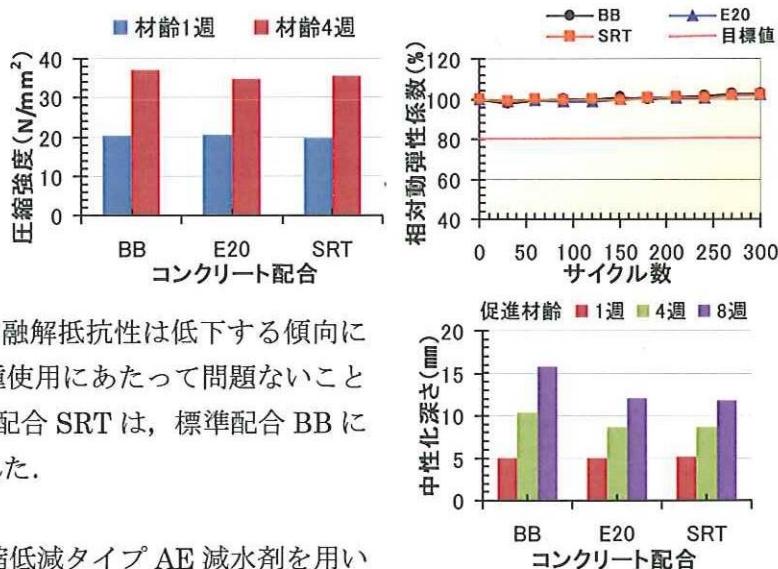


図3-3 硬化物性試験結果