

低温環境におけるトンネル覆工コンクリートの初期強度向上に関する基礎的研究

太平洋マテリアル(株) 正会員 ○竹下 永造 非会員 村手 三郎
 戸田建設(株) 正会員 土師 康一 正会員 澤村 淳美

1. はじめに

トンネルコンクリート施工指針(案)¹⁾によると、トンネル覆工コンクリートの脱型は、移動式型枠の普及により1スパン/日の製造工程で作製されることが多いため、「12~20時間」と早期に行われることが多く、また、脱型の際に必要な圧縮強度については、覆工コンクリートの自重および施工に加わる荷重に耐えられる安全側の強度として「2~3N/mm²」と判断されているのが現状である。ただし、環境条件やコンクリートの配合条件によっては、脱型に必要な強度を常に満足することは困難であると考えられる。例えば、馬場ら²⁾によると、施工環境の改善を目的とした換気設備の充実により坑内温度は季節変動するとの報告があり、トンネル坑内でも低温環境となりうることが示唆されている。さらに、藤倉ら³⁾によると、性能照査型設計への移行や環境負荷低減の観点から、覆工コンクリートにフライアッシュや高炉スラグ微粉末を使用するケースも多くなっており、初期の強度発現性に懸念が残る。そこで本研究では、低温環境におけるトンネル覆工コンクリートの初期強度向上を目的として、高炉セメントB種を用いたコンクリートに対し、硬化促進タイプの2種類の混和剤(剤)を用いた基礎的な研究を実施した。その結果について報告するものである。

2. 試験概要

(1) 環境温度および目標強度

本試験における環境温度は、冬場のトンネル坑口の平均温度を参考に10℃と設定した²⁾。次に、初期強度改善に対する目標強度は、トンネルコンクリート施工指針(案)¹⁾を参考に、18時間で2~3N/mm²と設定した。

(2) 使用材料およびコンクリートの配合

表-1に本研究に用いた使用材料一覧を示す。また、表-2にコンクリートの配合を示す。ここで、使用するセメントは高炉セメントB種を用いた。また、膨張材は石灰系早強型膨張材を細骨材置換にて使用した。さらに、硬化促進剤は窒素系無機塩化合物を後添加にて使用した。その使用量はC×3.0%である。次に、試験水準については、水セメント比を46%~55%(単位セメント量:300~360kg/m³)の範囲で4水準設定し、コンクリートの配合強度に応じたフレッシュ性状や初期強度向上効果の確認を実施した。

(3) 測定項目および測定方法

表-3に測定項目および測定方法を示す。ここでコンクリートの目標フレッシュ性状は15±2.5cmとし、目標空気量は4.5±1.5%とした。また初期材齢強度に用いた断熱養生は、木箱内面に断熱材を張り付けた簡易断熱容器を用いて実施した。最後に圧縮強度の測定は、材齢1日で脱型し10℃気中養生にて試験に供した。

表-1 使用材料一覧

材料名	記号	備考
水	W	上水道水
セメント	C	高炉セメントB種, 密度 3.04g/cm ³
膨張材	EX	石灰系早強型膨張材, 密度 3.19g/cm ³
細骨材	S	山砂, 密度 2.57g/cm ³ , 吸水率 2.2%
粗骨材	G	砂岩碎石, 密度 2.65g/cm ³ , 吸水率 0.67%
混和剤	F-L	窒素系無機塩化合物
	A1	AE減水剤 高機能タイプ
	A2	変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤

表-2 コンクリートの配合

配合強度	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)							
			W	F-L	C	EX	S	G	A1	A2
Fc24	55.0	48	165	9	300	20	837	954	0.3	3.5
Fc27	51.6			9	320		829	944		
Fc30	48.6			10	340		821	936		
Fc33	45.9			10	360		813	926		

表-3 測定項目および測定方法

測定項目	測定方法
フレッシュ性状	スランプ(SL) 空気量(Air) 生コン温度(CT)
経時変化	経時確認: 30分および60分
初期材齢強度	気中および断熱養生(材齢15,18,21,24時間)
圧縮強度	気中養生(材齢7日および28日)

キーワード 低温環境, トンネル覆工コンクリート, 初期強度, 膨張材, 促進剤
 連絡先 〒285-0802 千葉県佐倉市大作 2-4-2 TEL 043-498-3921

3. 試験結果

(1) フレッシュ性状および経時変化

表-4にフレッシュ性状の経時変化を示す。表より、水セメント比によるフレッシュ性状の経時変化に大きな違いは確認されなかった。従って、早強型膨張材と窒素系硬化促進剤を併用したとしても、当報告の配合の範囲内ではフレッシュ性状への影響はないものと考えられる。

(2) 初期材齢強度試験結果

図-1および図-2に初期材齢での圧縮強度試験結果を示す。図より、気中養生では材齢18時間で目標強度を満足することができなかったが、材齢21時間でFc30およびFc33の水準が目標強度を満足する結果となった。次に、断熱養生では材齢18時間ですべての水準が目標強度を満足する結果となった。これらの結果より、早強型膨張材と窒素系硬化促進剤を併用した配合は温度依存性が高いことが伺える。そのため、経済性や生産性および要求性能の観点から、現場環境条件を十分に考慮した上でトンネル覆工コンクリートの処方決定することが望ましいと考えられる。

(3) 圧縮強度試験結果

表-5に圧縮強度試験結果を示す。表より、材齢によらず圧縮強度は配合強度に比例した。さらに、配合強度と初期材齢強度の関係についても比例関係にあると推察され、つまり、コンクリートの強度ポテンシャルが大きくなるほど初期強度向上効果は高まるものと考えられる。

(4) 強度発現率

図-3に圧縮強度率と積算温度の関係を示す。ここで、圧縮強度率は以下の式(1)にて算出した。

$$\text{圧縮強度率(\%)} = \text{各材齢強度} / \text{材齢7日圧縮強度} \times 100 \quad \text{式(1)}$$

図より、配合強度によらず積算温度と圧縮強度率には相関関係が認められ、積算温度の概念を用いることで初期材齢強度が推定可能であることが示された。ただし、これらの効果に関するデータの蓄積が少ないこと、また、トンネル覆工コンクリートの設計・施工に対する技術構築も乏しいのが現状であり、今後の課題としたい。

4. まとめ

本試験の結果、以下の結論を得た。

- 1) 早強型膨張材と窒素系硬化促進剤を併用した低温環境におけるトンネル覆工コンクリートの初期強度は向上した。
- 2) 上記コンクリートの強度は、積算温度の概念を用いることで推定可能だが、データの蓄積および技術構築は今後の課題である。

<参考文献>

- 1) 土木学会：トンネルコンクリート施工指針(案)
- 2) 馬場ら：施工中のトンネル坑内環境と覆工コンクリートの湿度変化に関する研究，土木学会論文集 No.742, VI-60, 2003.9
- 3) 藤倉ら：中流動コンクリートを用いた覆工コンクリートの耐久性について，フジタ技術研究報告，第49号，2013

表-4 フレッシュ性状の経時変化

		直後	30分	60分
Fc24 (55%)	SL(cm)	16.5	13.5	10.0
	Air(%)	4.2	4.0	3.9
	CT(°C)	12.8	13.5	13.5
Fc27 (52%)	SL(cm)	15.0	12.0	10.0
	Air(%)	4.5	4.3	3.9
	CT(°C)	13.9	14.2	13.7
Fc30 (49%)	SL(cm)	14.0	12.0	9.5
	Air(%)	4.8	4.1	4.2
	CT(°C)	13.7	14.2	14.2
Fc33 (46%)	SL(cm)	13.0	10.5	7.5
	Air(%)	4.2	3.7	3.6
	CT(°C)	14.1	14.6	14.9

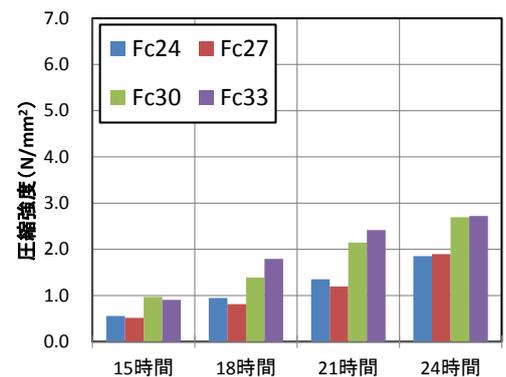


図-1 初期材齢強度(気中養生)

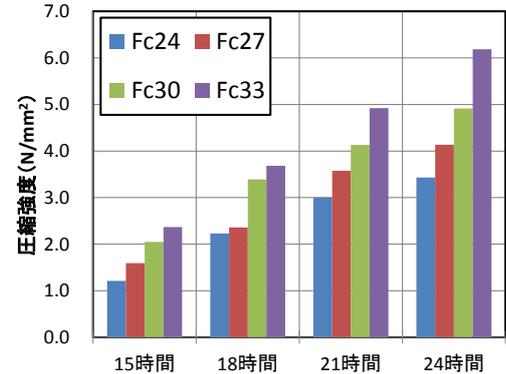


図-2 初期材齢強度(断熱養生)

表-5 圧縮強度試験結果(N/mm²)

	7日	28日
Fc24(55%)	14.1	22.2
Fc27(52%)	16.3	26.2
Fc30(49%)	18.6	26.6
Fc33(46%)	20.1	28.0

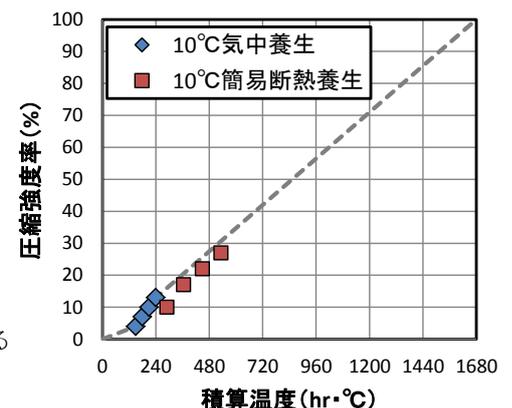


図-3 圧縮強度率と積算温度の関係