

C-S-H 系早強剤によるトンネル工事における生産性向上に関する研究

東海大学大学院 学生会員 ○佐々木 駿
 佐藤工業株式会社 正会員 宇野 洋志城
 東海大学大学院 学生会員 横山 大輝
 東海大学 正会員 伊達 重之

1. はじめに

近年、建設現場における熟練工の不足や工期短縮のニーズの高まりとともに、生産性や品質の向上やコストダウンなどにつながる新材料、新工法などの実用化が望まれている。その一例としては、施工サイクルに短縮に向けた、コンクリートの早期強度の向上が挙げられる。

NATM によるトンネル工事の覆工コンクリート施工に代表される比較的低強度で脱型を行う施工法を選定し、早期脱型を実現することで施工サイクルの短縮が期待できる。一方、トンネル工事における覆工コンクリートにおける脱型強度は、一般的に 2~3N/mm²程度が目安である¹⁾。通常の脱型材齢は 16~20 時間程度であり、打設は 2 日に 1 回のペースで行われている場合が多い。

本研究は、コンクリート工事の生産性を向上させるため、早期脱型を実現する材齢 10 時間で圧縮強度が 3N/mm²の数値目標を設定した。C-S-H 系早強剤を使用したコンクリートの硬化性状およびフレッシュ性状について検討した。

2. 実験概要

2.1 実験の流れ

表-1 に実験の流れを示す。実験 I (基礎実験) は、材齢 10 時間で圧縮強度が 3N/mm² という目標を設定し、コンクリートの硬化後性状の違いを検証した。実験 II (実機試験) は、材齢 10 時間での圧縮強度の数値目標は変わらず、使用材料はトンネル工事現場にレディーミクストコンクリート (RMC) を供給するプラントと同じものに変更して、コンクリートの硬化後性状の違いおよびフレッシュ性状の経時変化を検証した。

2.2 使用配合

実験 I, 表-2 に使用材料, 表-3 に示方配合, を示す。また, 実験 II に表-4 に示方配合を示す。配合条件は, 水セメント比を覆工コンクリート用の配合水準 (24-15-40BB) と同じに設定した。また, C-S-H 系早強剤を使用した。主成分がカルシウムシリケート水和物 (C-S-H) のナノ粒子であり, 種結晶として作用して水和反応を促進させ, コンクリートの初期強度発現性が向上する新しい硬化促進メカニズムを有する。しかし, これまでにトンネル覆工コンクリート施工に適用した実績はないため, 強度発現の確認を行った。目標のスランブは 15cm, 空気量は 4.5% とした。

キーワード C-S-H 系早強剤, NATM, 若材齢, コンクリート生産性, 圧縮強度,

連絡先 〒259-1292 神奈川県平塚市北金目 4-1-1 東海大学 TEL. 0463-58-1211 FAX. 0463-50-204

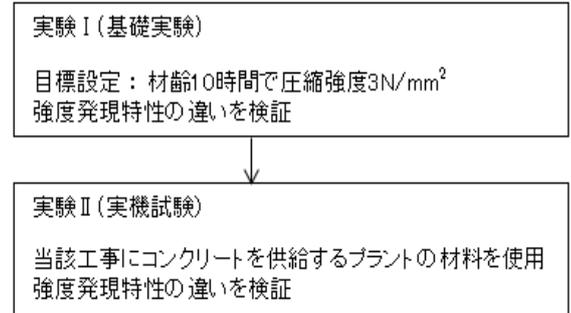


図-1 実験の流れ

表-2 使用材料

材料	諸元
セメント	C 普通ポルトランドセメント：密度 3.16g/cm ³
細骨材	S1 君津市産山砂：表乾密度 2.57g/cm ³
	S2 京都府由良川水系陸砂：表乾密度 2.56g/cm ³
粗骨材	G 亀岡市産碎石：表乾密度 2.67g/cm ³
膨張材	EX 早強性膨張材：密度 3.19g/cm ³ , 主成分は石灰系
混和剤	Ad1 早強剤：主成分はカルシウムシリケート水和物(C-S-H)
	Ad2 高性能減水剤：主成分はPAE化合物
	Ad3 AE減水剤：主成分はリグニンスルホン酸塩とオキシカルボン酸塩
	Ad4 高機能AE減水剤：主成分はリグニンスルホン酸塩とオキシカルボン酸系化合物

表-3 示方配合 (実験 I)

配合	W/C (%)	Air (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						
				W	C	EX	S1	G	Ad1	Ad2
I-①	54	4.5	45	160	296	0	810	1027	11.8	8.88
I-②					261	35				

表-4 示方配合 (実験Ⅱ)

配合	W/C (%)	Air (%)	s/a (%)	単体量 (kg/m ³)								
				W	C	S1	S2	G	Ad1	Ad2	Ad3	Ad4
Ⅱ-①	55.0	4.5	42.4	160	291	617	154	1090	11.64	1.46	0	0
Ⅱ-②	47.0		39.6	163	347	559	140	1107	0	0	3.47	0
Ⅱ-③	55.0		42.4	160	291	617	154	1090	11.64	0	0	1.46

表-5 フレッシュ性状および硬化後品質 (実験Ⅰ)

配合	主な混和材料	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	圧縮強度 (N/mm ²)	
					10(h)	12(h)
I-①	早強剤	14.5	3.5	21.0	2.08	2.53
I-②	早強剤+早強性膨張材	19.0	3.3	21.5	3.05	3.62

表-6 フレッシュ性状および硬化後品質 (実験Ⅱ)

配合	W/C (%)	主な混和材料	スランプ (cm)		空気量 (%)		コンクリート温度 (°C)	圧縮強度 (N/mm ²)			
			0分後	30分後	0分後	30分後		10(h)	11(h)	7(day)	28(day)
Ⅱ-①	55	早強剤+高性能減水剤	16.0	12.5	3.6	3.3	22	3.48	-	31.2	39.8
Ⅱ-②	47	AE減水剤	20.5	-	4.7	-	22	2.25	-	37.6	47.7
Ⅱ-③	55	早強剤+高機能AE減水剤	16.5	14.5	4.6	3.9	22	2.90	3.47	31.6	40.9

当該トンネル現場では冬期施工が予想されたため、供試体の作製と養生は $15\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、65%RH の恒温恒湿室内で実施した。

3. 実験結果

実験Ⅰ、配合Ⅰ-②では、コンクリートの強度発現は材齢10時間で 3.05 N/mm^2 、材齢12時間でも 3.62 N/mm^2 に達し、覆工コンクリートに求める品質から判断しても十分に脱型可能な範疇にあると考えられた。だが、配合Ⅰ-②はコンクリート工事において骨材の組み合わせによっては、強度のばらつきが大きいこと、フレッシュ性状の経時変化はできるだけ小さい方が望ましく、実験Ⅱでは、高性能減水剤を選定することを検討した。

実験Ⅱ、配合Ⅱ-③は、プラントから現場までの移動時間を考慮し30分後の経時変化を測定した結果、スランプロスは十分許容される範囲(16.5 cmから 14.5 cm, 2cm のスランプロス)に収まり、硬化後品質も材齢10時間で 2.90 N/mm^2 と目標強度に僅かに達しなかったがトンネル標準示方書 [山岳工法]・同解説において脱型時のコンクリートの圧縮強度は $2\sim 3\text{ N/mm}^2$ 程度²⁾を目安としている場合が多いと表記しているからに過ぎず、当該施工において配合Ⅱ-③を採用した。

4. まとめ

本研究は、実験Ⅰにおいて、材齢10時間で 3.05 N/mm^2 と硬化性状は達成できたが、フレッシュ性状の経時変化はできるだけ向上させる必要があると考えられた。実験Ⅱにおいては、コンクリートの硬化後品質は約 3 N/mm^2 の発現が可能となり、フレッシュ性状の経時変化(16.5 cmから 14.5 cm, 2cm のスランプロス)も満足できた。本配合を用いることで、コンクリート工事(トンネル工事)において打設回数を1日に2回転で行なうことが可能となり、コンクリート工事の生産性の効率化を図れる。

参考文献

- 1) 池田正志ほか：養生温度と早期脱型がモルタルの初期強度に及ぼす影響，土木学会第51回年次学術講演会講演概要集第Ⅴ部門，pp.524-525,1996.9. 2) 土木学会：トンネル標準示方書 [山岳工法]・同解説，pp.173,2006