

高炉セメント配合モルタルの初期強度に及ぼす硬化促進剤の影響に関する研究

東海大学大学院	学生会員	○中嶋	望
福岡大学	正会員	橋本	紳一郎
佐藤工業株式会社	正会員	宇野	洋志城
東海大学	正会員	伊達	重之

1. 目的

日本の山岳部のトンネル工事現場では、主に NATM 工法が採用されている¹⁾。NATM 工法は、一般に二次覆工を必要とし、そこで使用される吹付けコンクリートや覆工コンクリートの材料として、発注者からの要求により普通セメントに比べ耐久性が良好で、環境負荷低減対策にも有効な高炉セメントの使用例が報告²⁾されている。しかしながら、高炉セメントを用いたコンクリートは普通セメントと比べ強度発現が遅いことが一般的に知られており、型枠存置期間の延長によって工期が延びるという欠点がある。この欠点を克服し、工期遅延を防止するためには、材齢初期の強度増進が有効だと考えられる。これに対して、さまざまな効果促進剤が上市されているが、トンネルの二次覆工コンクリート向けには利用の実績がない。そこで本研究では、2種類の硬化促進剤を用いた高炉スラグモルタルを対象に、初期強度に及ぼす硬化促進剤の効果およびその温度依存性を評価し、高炉セメント配合覆工コンクリートの生産性向上の可能性を検討した。

表-1 使用材料

材料名	記号	種類	比重
セメント	BB	高炉スラグセメント B 種	3.04
細骨材	S	神奈川県山北町産川砂	2.69
混和剤	Ad	高性能 AE 減水剤	1.01~1.13
硬化促進剤	C-S-H	C-S-H 系	1.03~1.11
	A	硝酸亜硝酸混合系	1.45
	B	亜硝酸系	1.41

表-2 実験条件

パラメータ	水準
硬化促進剤	無添加, C-S-H, A, B
添加 (C×%)	0, 2, 4, 6
養生温(℃)	10, 20
材齢(hour)	8, 10, 12, 14

2. 実験概要

2.1. 使用材料, 配合条件および養生条件

本研究に使用したモルタルの使用材料を表-1 に、モルタルの配合条件と養生条件を表-2 に示す。混和剤には、ポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤を使用し、硬化促進剤は、C-S-H 系、亜硝酸系 (A, B) の3種類の硬化促進剤を使用した。硬化促進剤の主成分として、C-S-H 系はカルシウムシリケート水和物のナノ粒子、亜硝酸系 A は硝酸カルシウムと亜硝酸カルシウムの混合系、亜硝酸系 B は亜硝酸カルシウムからなる硬化促進剤を使用した。モルタルの練上り温度が養生温度(10℃, 15℃, 20℃)と同様になるよう、水と混和剤以外の材料を既定の温度に保温したものを使用した。モルタルの練上がり温度は養生温度と同じとし、水セメント比は 42%, 砂セメント比は 3.0 に設定した。養生は 10℃, 15℃, 20℃それぞれ一定の温度環境で行った。また、セメントは 3000 g 一定としてモルタルの作製を行った。高性能 AE 減水剤の添加率は C×0.7%と一定となっている。

表-3 フレッシュ性状 (20℃)

記号	0 打 (mm)	15 打 (mm)
無添加	101	134
A 2%	108	158
C-S-H 2%, A 2%	108	166
C-S-H 2%, B 2%	108	154
C-S-H 4%	143	205
C-S-H 4%, A 2%	103	142
C-S-H 4%, B 2%	117	155
C-S-H 6%	144	213

2.2. 評価項目

評価項目は圧縮強度のみとした。圧縮強度試験の供試体は φ50×100 mmを用いた。圧縮強度試験の試験材齢を表-2

キーワード 硬化促進剤, 高炉スラグ, 覆工コンクリート, 初期強度

連絡先 〒259-1292 神奈川県平塚市北金目 4-1-1 東海大学大学院工学研究科建築土木工学専攻 TEL 0463-58-1211

に示す。

3. 実験結果および考察

3.1. 養生温度と初期圧縮強度の関係

硬化促進剤による高炉スラグ配合モルタルのフレッシュ性状および初期強度改善効果に及ぼす養生温度と硬化促進剤の添加率の影響を表-3、図-1 および図-2 に示す。同じく、硬化促進剤の累計添加率6%の結果を図-3 に示す。凡例は硬化促進剤の種類と添加率を示している。

モルタルのフレッシュ性状に及ぼす硬化促進剤添加の影響は、いずれの材料、添加率においても無添加に比べて流動性が向上することが確認された。このことから、硬化促進剤の使用によって実際の施工に悪影響を与えることがないことが確認された。

初期強度発現について、養生温度（環境温度）が10℃では、いずれの配合においても材齢14時間経過後でもセントルの脱型強度（約3N/mm²）に到達せず、促進剤添加による強度増進の効果は僅かであり、有意な差はみられなかった（図-1 参照）。一方、養生温度20℃では、無添加では材齢14時間経過後でも脱型強度に到達しなかったが、硬化促進剤を添加した場合は、2%添加の場合は材齢14時間で、累計4%添加の場合は材齢12時間でそれぞれ脱型が可能となることがわかった（図-2 参照）。さらに、累計添加6%の場合では、8時間まで脱型時間を短縮できることが確認された（図-3 参照）。一般にC-S-H系と亜硝酸系の硬化促進機構は、前者が水和物の核（種結晶）を水和物の成長基盤とし、後者はセメントの化学反応の触媒効果と考えられている。これらを比較するためC-S-H単味およびC-S-H、亜硝酸混合添加それぞれ同じ累計添加率で強度を比較した結果、今回の実験条件ではC-S-H単味の方が強度増進に有利であることが確認された。また、亜硝酸系の2種類においては、初期強度促進に与える影響に差がないことが確認された。

4. まとめ

高炉スラグモルタルの、初期強度に及ぼす養生温度及び硬化促進剤の効果を評価し、高炉セメント配合覆工コンクリートの生産性向上の可能性を検討した。その結果、以下の知見を得た。

- (1) 硬化促進剤を3種類の硬化促進剤を比較した結果、C-S-H系が最も初期強度促進が見られ、亜硝酸系の2種類においては、初期強度促進に与える影響の差がないことが確認された。
- (2) 環境温度10℃においては、硬化促進剤の効果はほとんど確認されなかったが、20℃においては、硬化促進剤を適宜用いることによって材齢14時間以内にセントルの脱型が可能となり、二次覆工工事の生産性向上が期待されることが確認された。

参考文献

- 1) 久武勝保：トンネル切羽の安定・崩壊挙動に関する基礎的研究，土木学会論文集，Vol.517，No.31，pp105-115，1995。
- 2) 吉田 行ほか：高炉セメントを用いた吹付けコンクリートの強度発現に及ぼす諸要因の影響，土木学会第60回年次学術講演会（CD-ROM），Vol.60，No.2，5-354，2005

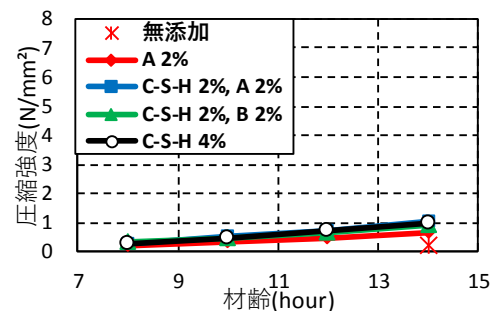


図-1 初期強度測定結果
(10℃養生，累計添加率；2，4%)

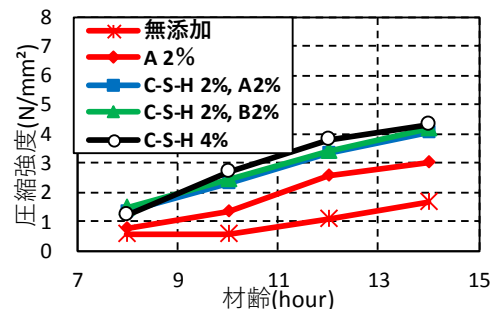
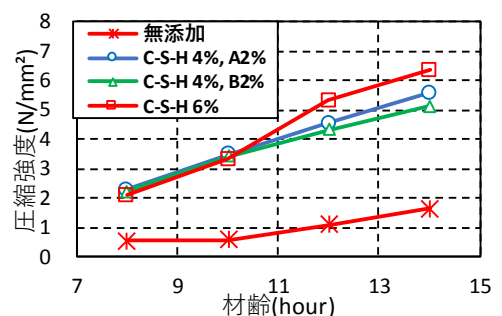


図-2 初期強度測定結果
(20℃養生，累計添加率；2，4%)



初期強度測定結果
(20℃養生，累計添加率；6%)