

## C-S-H 系早強剤を用いたフライアッシュコンクリートの冬期施工性の評価

国土交通省東北地方整備局 焼田 聡 東京大学 正会員 田中 泰司  
 (株)大林組 正会員 ○榊原 直樹 東京大学 正会員 石田 哲也  
 BASF ジャパン(株) 正会員 井元 晴丈 日本大学 正会員 岩城 一郎

## 1. はじめに

床版コンクリートの高耐久化, 特に塩害やアルカリシリカ反応への対策として, フライアッシュ (以下, FA と記す) を用いたコンクリートが実橋に採用され始めている<sup>1)</sup>. 冬期の施工においては, 低温による凝結遅延や初期強度発現性の低下によって, 左官仕上げ終了時間の遅延や, 養生期間の長期化などの施工上の課題がある. よって, 冬期においても FA コンクリートのような高耐久なコンクリートを施工していくためには, それらの課題解決が重要となる. 一方, カルシウムシリケート水和物 (以下, C-S-H) のナノ粒子のサスペンションである C-S-H 系早強剤 は, 従来の早強剤と異なり, C-S-H の種結晶によりセメント水和反応を促進するものであり<sup>2)</sup>, その効果により, コンクリートの凝結を促進し初期強度発現性を増進させる. ここでは, FA コンクリートの冬期施工における C-S-H 系早強剤の効果について, 試験施工により評価した.

表-1 使用材料

| 材料種別   | 記号  | 概要                                                 |
|--------|-----|----------------------------------------------------|
| セメント   | C   | 普通ポルトランドセメント<br>(密度: 3.16 g/cm <sup>3</sup> )      |
| 細骨材    | S1  | 大船渡市日頃市中宿産砕砂<br>(密度: 2.65 g/cm <sup>3</sup> )      |
|        | S2  | 遠野市上郷町早瀬川流域産砂<br>(密度: 2.59 g/cm <sup>3</sup> )     |
|        | S3  | 青森県上北郡六ヶ所村倉内産陸砂細目<br>(密度: 2.61 g/cm <sup>3</sup> ) |
| 粗骨材    | G1  | 遠野市上郷町早瀬川流域産砂利<br>(密度: 2.68 g/cm <sup>3</sup> )    |
|        | G2  | 大船渡市日頃市町中宿産碎石<br>(密度: 2.70 g/cm <sup>3</sup> )     |
| 混和材    | EX  | 石灰系膨張材 (密度: 3.16 g/cm <sup>3</sup> )               |
|        | FA  | フライアッシュ II 種<br>(密度: 2.23 g/cm <sup>3</sup> )      |
| AE 減水剤 | CA1 | 変性リグニンスルホン酸化合物                                     |
|        | CA2 | リグニンスルホン酸化合物とポリカルボン酸エーテルの複合体                       |
| 早強剤    | MXS | C-S-H 系早強剤<br>C-S-H ナノ粒子のサスペンション                   |
| 水      | W   | 遠野市地下水                                             |

## 2. 試験概要

表-1 にコンクリートの使用材料を, 表-2 にコンクリート配合を示す. コンクリートの呼び強度は, いずれの配合も 24 N/mm<sup>2</sup> である. N0 は, 一般的に床版で使用されている配合, F0 は, フライアッシュと膨張材を併用し, かつ, 空気量を 6.0±0.9%とした高耐久コンクリート<sup>1)</sup>であり, F4 は, 高耐久コンクリートに C-S-H 系早強剤をセメント質量の 4.0%添加したものである. なお, コンクリートの練上がり温度は, 10±4℃とした. 試験施工は, 2016 年 1 月 30 日に実施した. コンクリートは, 岩手県遠野市内のレディーミクストコンクリート工場で製造した後, 35km 離れた試験施工現場 (岩手県釜石市) に運搬した. 運搬時間は, いずれも約 50 分であった. 床版を模擬した版体の型枠 (1200×1200×250 mm) に運搬したコンクリートを打ち込んだ. 養生方法は, 5℃以上 (5~10℃) で底型枠下面より給熱したものと, 無給熱で吹きさらしの場合の 2 水準とした. レディーミクストコンクリート工場でのコンクリート製造時の外気温は-3~-1℃, 荷卸し時の外気温は-1~1℃であった. フレッシュコンクリートおよび打ち込んだコンクリートについて, スランプ (JIS A 1101), 空気量 (JIS A 1128), 貫入試験 (N 式<sup>3)</sup>, プロクター) および左官工による仕上げ時間の確認により評価した.

表-2 コンクリート配合

| 記号 | スランプ<br>(cm) | 空気量<br>(%) | W/C<br>(%) | W/B<br>(%) | s/a<br>(%) | 単位量 (kg/m³) |    |      |     |     |     |     |     |     |        | 添加量 (C×%) |     |  |
|----|--------------|------------|------------|------------|------------|-------------|----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|-----------|-----|--|
|    |              |            |            |            |            | C           | EX | FA   | W   | 細骨材 |     |     | 粗骨材 |     | AE 減水剤 |           | MXS |  |
|    |              |            |            |            |            |             |    |      |     | S1  | S2  | S3  | G1  | G2  | CA1    | CA2       |     |  |
| N0 | 8±2.5        | 4.5±1.5    | 54.0       | -          | 44.5       | 286         | 0  | 0    | 154 | 504 | 122 | 207 | 317 | 746 | 1.0    | -         | 0.0 |  |
| F0 | 12           | 6.0±0.9    | 54.8       | 42.4       | 43.3       | 283         | 20 | 62.5 | 155 | 456 | 111 | 185 | 303 | 707 | -      | 0.8       | 0.0 |  |
| F4 | ±2.5         |            | 54.8       | 42.4       | 43.3       | 283         | 20 | 62.5 | 155 | 456 | 111 | 185 | 303 | 707 | -      | 0.7       | 4.0 |  |

キーワード C-S-H 系早強剤, フライアッシュ, 冬期施工, 左官仕上げ, N式貫入試験, プロクター貫入試験

連絡先 〒026-0054 岩手県釜石市野田町 1-9-22 (株)大林組 釜石道路工事事務所 TEL 0193-27-8126

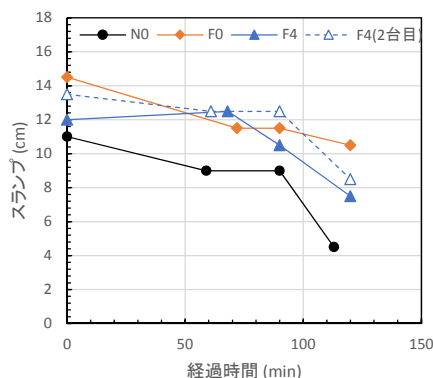


図-1 スランプ経時変化

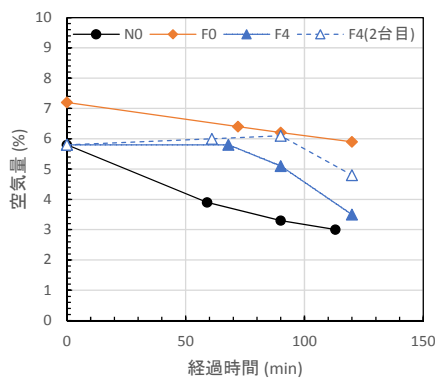


図-2 空気量経時変化

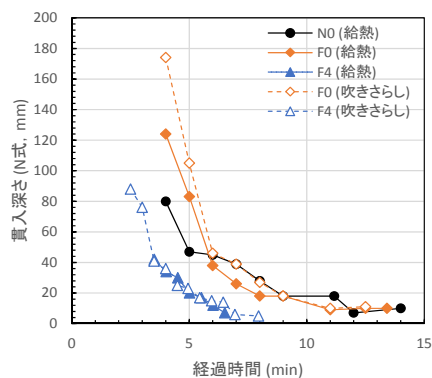


図-3 N式貫入試験結果

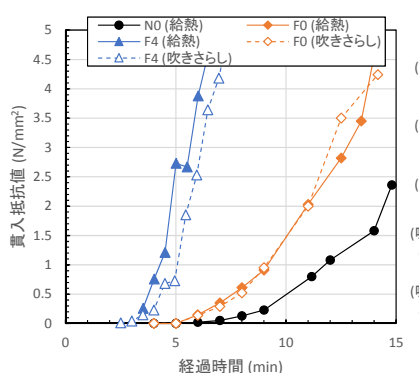


図-4 プロクター貫入試験結果

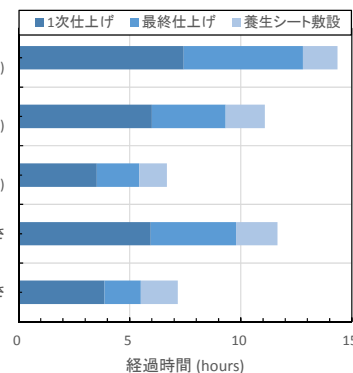


図-5 仕上げ時間

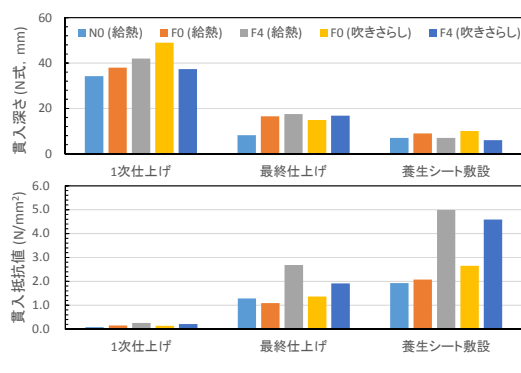


図-6 仕上げ段階と貫入試験値

### 3. 試験結果

練混ぜ直後からのスランプ経時変化を図-1に、空気量の経時変化を図-2に示す。F0は、120分までスランプと空気量が保持できたのに対し、C-S-H系早強剤を添加したF4は、90分程度までスランプを保持することを確認した。また、F4は空気量が90分後から低下しており、それに起因してスランプがロスしたものと推察される。

N式による貫入試験結果を図-3に、プロクターによる結果を図-4に示す。いずれの貫入試験においても、C-S-H系早強剤の添加により凝結が著しく早まることを確認した。また、給熱環境下では、吹きさらし環境下に比べ凝結が若干早い結果であった。

模擬床版に打ち込んだコンクリートの左官工による1次仕上げ、最終仕上げおよび、養生シート敷設の時期を練上がりからの経過時間で図-5に示す。C-S-H系早強剤を添加することより、冬期において遅延しがちな仕上げ時間を著しく短縮できることが確認された。また、各仕上げ段階のN式およびプロクター貫入試験結果を対比し、図-6に示す。いずれの貫入試験結果においても、配合によらずほぼ同様の値が得られたことから、これらの指標が仕上げ時期の判断目安となり得ることが確認できた。

### 4. 試験結果

FAコンクリートの冬期施工に関して、C-S-H系早強剤の施工性に関する評価を行った。今回作製した模擬版体については、今後、継続計測している温度測定結果と強度発現の関係確認、SWAT、トレント法などを用いた表層品質の評価や打重ね部の一体性確認評価を実施する予定である。

### 謝辞

コンクリート床版の高耐久化の一環として本試験施工に多大なご指導とご助言を頂きました南三陸国道事務所の佐藤和徳所長、コンクリート製造にご尽力いただいた(株)遠野レミコンの工藤和信工場長に深く感謝します。

### 参考文献

- 1) 榎原直樹ほか：フライアッシュコンクリートを用いた高耐久床版の施工，橋梁と基礎，vol.49, No.9, pp.25-30 (2015)
- 2) 井元晴丈ほか：C-S-H系早強剤を用いたコンクリートの初期硬化性状とブリーディング抑制効果，コンクリート工学年次論文集，Vol.36, pp.2248-2253 (2014)
- 3) 土木学会：コンクリートライブラリー103 コンクリート構造物のコールドジョイント問題と対策 (2000)