

支持強度を指標とした超速硬型の高性能繊維補強セメント系複合材料の配合検討

(株)大林組 技術研究所 正会員 ○太田 健司 正会員 川西 貴士 正会員 石関 嘉一  
UBE 三菱セメント (株) 正会員 玉滝 浩司 正会員 藤野 由隆 正会員 伊藤 隆紘

1. はじめに

我が国の高度経済成長期に建設された社会インフラは、老朽化の進行が社会問題となっている。高速道路の橋梁においては、塩害の進行や疲労などの影響を受け、床版に著しい損傷が生じている。このような背景から、各地で橋梁床版の取替工事をはじめとする高速道路のリニューアル工事が進められている。床版取替工事では、長期耐久性の向上や工期短縮の観点などから、高強度かつ高耐久材料である超高性能繊維補強セメント系複合材料（以下、UHPFRC とする）が開発され、工事への適用も進められている。

床版取替工事では、特に交通量の多い都市部において、日中や休日など交通量が多い時間帯は最小限の車線規制にとどめ、交通量の少ない平日夜間のみ車線規制を拡幅する工法が採用されている<sup>1)</sup>。この工法では、夜間規制（夕方に規制開始し、翌早朝に規制解除）のみで、既設床版撤去から新設 PCa 床版設置、アスファルト舗装までを行い、交通開放しなければならない。このような場合に、PCa 床版と橋桁を一体化させるためのジベル孔などの穴埋め材に、短時間で硬化し、かつ早期に強度発現する UHPFRC の適用が求められた。UHPFRC の打込み後、舗装を開始するまでの時間が 40 ～60 分程度と非常に短時間であったことから、超速硬型の UHPFRC の配合選定および若材齢での強度発現性を簡易に確認できる手法が必要とされた。

そこで、実施工を想定し、10～30℃の異なる環境温度条件において、山中式土壌硬度計による支持強度を指標とした配合選定方法について検討した。

2. 実験概要

使用材料を表-1、UHPFRC の基本配合を表-2、目標性能および試験項目を表-3 に示す。表-2 中の混和剤および遅延剤は、練上がり直後の目標モルタルフローが 200mm(管理値 150～280mm)、硬化時間が 40 分以内となるようにそれぞれ添加率を調整した。硬化の目安と

して、舗装時に使用する転圧機械の接地圧が 0.55N/mm<sup>2</sup> であることから、山中式土壌硬度計により算出される支持強度が 1N/mm<sup>2</sup> 以上となった時点とした。

UHPFRC の練混ぜは、ドラム容量 150L のパン型ミキサを使用し、1 バッチ当たり 60L とした。

3. 実験結果

環境温度 10～30℃で製造した UHPFRC の遅延剤および混和剤の添加率と試験結果の一覧を表-4 に示す。いずれの環境温度においても、混和剤の添加率を調整することでモルタルフローは目標性能を満足する結果が得られた。混和剤の添加率の影響を比較するため、遅延剤の添加率が同一のときの混和剤の添加率とモルタルフローの関係を図-1 に示す。環境温度の低下に伴い、同一のモルタルフローを得るための混和剤の添加率は減少する傾向を示した。

表-1 使用材料

| 種別       | 記号 | 物性                            |
|----------|----|-------------------------------|
| 水        | W  | 上水道水                          |
| プレミックス粉体 | P  | 専用プレミックス粉体                    |
| 細骨材      | S  | 珪砂，表乾密度 2.64g/cm <sup>3</sup> |
| 急硬材      | HA | 粉体系，密度 2.93g/cm <sup>3</sup>  |
| 遅延剤      | CR | 粉体系                           |
| 鋼繊維      | SF | φ 0.16×13mm                   |
| 混和剤      | SP | 高性能減水剤                        |

表-2 UHPFRC の基本配合

| 水粉体比 (%) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |      |     |     | SP | SF  | CR |
|----------|--------------------------|------|-----|-----|----|-----|----|
|          | W                        | P    | S   | HA  |    |     |    |
| 15.8     | 210                      | 1187 | 837 | 140 | 調整 | 157 | 調整 |

表-3 目標性能および試験項目

| 項目      | 目標性能                 | 規格          | 備考          |
|---------|----------------------|-------------|-------------|
| モルタルフロー | 150mm～280mm          | JIS R 5201  | 落下無し        |
| 空気量     | 4.0%以下               | JIS A 1128  |             |
| 温度      | 10℃以上                | JIS A 1156  |             |
| 支持強度    | 1N/mm <sup>2</sup>   | JGS 1441 参考 | 山中式土壌硬度計による |
| 圧縮強度    | 130N/mm <sup>2</sup> | JIS A 1108  | 材齢 28 日     |

キーワード 超高性能繊維補強セメント系複合材料，支持強度，環境温度，遅延剤，高性能減水剤  
連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 (株)大林組 技術研究所 TEL 042-495-1131

表-4 遅延剤および混和剤の添加率と試験結果一覧

| 種別  | 環境温度<br>(℃) | 遅延剤<br>添加率<br>(%) | 混和剤<br>添加率<br>(%) | モルタル<br>フロー<br>(mm) | 空気量<br>(%) | 温度(℃) | 硬化時間<br>(分) | 圧縮強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
|-----|-------------|-------------------|-------------------|---------------------|------------|-------|-------------|------------------------------|
| L-1 | 10          | 0.20              | 0.70              | 122                 | 3.7        | 21.1  | 33          | 150                          |
| L-2 |             |                   | 0.80              | 163                 | 3.7        | 20.6  | 31          | 140                          |
| L-3 |             |                   | 0.95              | 211                 | 3.9        | 20.2  | 31          | 143                          |
| L-4 |             | 0.25              | 0.95              | 221                 | 3.7        | 20.9  | 39          | 145                          |
| L-5 |             | 0.30              | 0.95              | 251                 | 3.6        | 17.7  | 50          | 148                          |
| M-1 | 20          | 0.20              | 1.20              | 193                 | 3.3        | 26.7  | 28          | 144                          |
| M-2 |             | 0.25              | 0.95              | 142                 | 3.3        | 26.7  | 38          | 146                          |
| M-3 |             |                   | 1.10              | 192                 | 3.4        | 26.8  | 33          | 143                          |
| M-4 |             |                   | 1.25              | 219                 | 3.1        | 26.6  | 39          | 150                          |
| M-5 |             | 0.30              | 1.05              | 194                 | 3.4        | 26.7  | 40          | 148                          |
| H-1 | 30          | 0.25              | 1.20              | 160                 | 3.4        | 36.0  | 30          | 152                          |
| H-2 |             | 0.30              | 1.05              | 148                 | 3.3        | 36.2  | 34          | 150                          |
| H-3 |             |                   | 1.25              | 187                 | 3.2        | 35.7  | 43          | 151                          |
| H-4 |             |                   | 1.45              | 215                 | 3.4        | 36.1  | 43          | 144                          |
| H-5 |             | 0.35              | 1.10              | 162                 | 3.3        | 36.1  | 45          | 150                          |

つぎに、遅延剤の添加率と支持強度 1N/mm<sup>2</sup>に到達する時間の関係を図-2 に示す。40 分以内に 1N/mm<sup>2</sup>以上の支持強度が得られる遅延剤の添加率は、環境温度 20℃および 30℃で 0.30%以下、低温環境となる 10℃で 0.25%以下となった。また、材齢 28 日における圧縮強度は、環境温度や遅延剤の添加率によらず、目標性能である 130N/mm<sup>2</sup>を十分満足する結果となった。

4. 実環境への適用性の検証

図-1 および図-2 の結果から、実環境での適用を想定し、環境温度ごとに目標性能を満足できる遅延剤および混和剤の添加率を推定した関係式を図-3 に示す。図-3 を用いて設定した配合により、外気温 14~25℃の屋外環境下で製造した UHPFRC の試験結果を表-5 に示す。表-5 より、図-3 で推定した配合を用いることで実環境においても目標性能を十分満足する結果が得られた。

5. まとめ

山中式土壌硬度計による支持強度を指標として、超速硬型の UHPFRC の遅延剤と高性能減水剤の添加率を選定する手法について検討した。

その結果、支持強度を指標として配合選定することで、14℃~25℃の実環境下においても目標とする性能を十分満足できており、配合の妥当性が確認された。

参考文献

1) 岩城孝之, 仲田宇史, 川西貴士, 村上隆弘, 酒井修平, 小野聖久: 夜間 1 車線規制下での床版取替え工法の技術開発と施工, 橋梁と基礎, pp.21-27, 2021.5

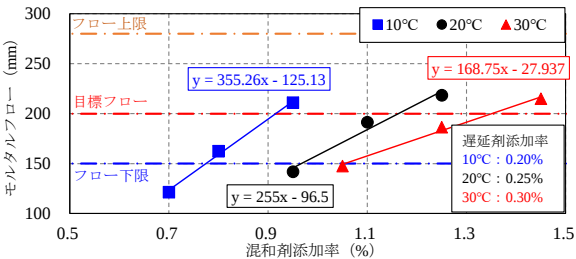


図-1 混和剤の添加率とモルタルフローの関係

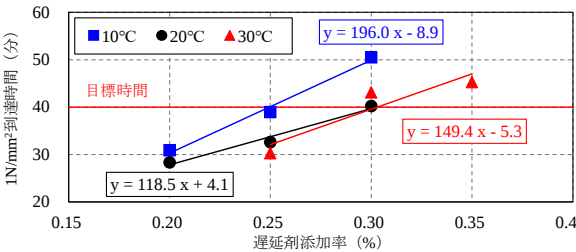


図-2 遅延剤の添加率と支持強度 1N/mm<sup>2</sup>到達時間

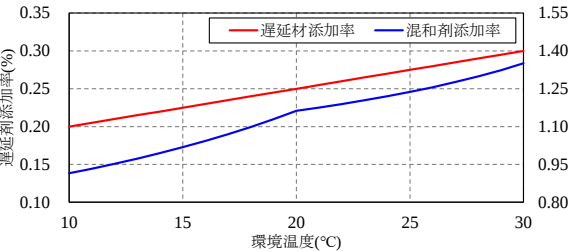


図-3 環境温度と遅延剤および混和剤の添加率の関係

表-5 屋外環境下で製造した UHPFRC の試験結果

| 外気温<br>(℃) | モルタルフロー<br>(mm) | 硬化時間※<br>(分) | 圧縮強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
|------------|-----------------|--------------|------------------------------|
| 14         | 199             | 22           | 139                          |
| 20         | 220             | 19           | 143                          |
| 25         | 188             | 16           | 134                          |

※山中式土壌硬度計による測定で支持強度が 1N/mm<sup>2</sup>に達した時間