

# 耐震補強巻き立てコンクリートの 品質向上に関する検討

蔵重昌直<sup>1</sup>・茶園裕二<sup>2</sup>・藤倉裕介<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 (株)フジタ 西日本支社広島支店土木工事部 (〒730-0037 広島県広島市中区中町8-6)

<sup>2</sup>正会員 工修 (株)フジタ 西日本支社広島支店土木工事部 (〒730-0037 広島県広島市中区中町8-6)

<sup>3</sup>正会員 工修 (株)フジタ 技術センター土木研究部 (〒243-0125 神奈川県厚木市小野2025-1)

RC巻き立て補強工法の施工では、1回のコンクリート打ち込み部位として、高さ3.6m、厚さ200mmと薄い壁構造物を構築することとなることから、施工に起因して生じるひび割れや不具合を未然に防ぎ、耐久性の高いコンクリート構造体を構築する必要がある。このため、標準的な材料の使用および施工方法に加え、①材料（コンクリート配合）、②打設方法、③養生方法に関する施工上の対策、工夫が必要となる。そこで、本工事では想定される不具合に対する対策として材料および施工に関する検討を実施し、それに基づいた試験施工を実施した。本論分は、試験施工での5種類の配合及び初期養生として提案した散水・シート養生の効果の検証結果について報告するものである。

**キーワード：**コンクリート配合、散水養生、シート養生、コンクリート温度、湿度

## 1. はじめに

近年、特に公共工事ではコンクリート構造物の高品質化、長寿命化に関しての提案型発注が増加している。また、性能照査型設計への移行、環境負荷低減の観点から、各種の混和材料を組み合わせる使用ケースも増加している<sup>1)</sup>。このように使用材料の多様化が進む中、施工者は適切な材料選定を行うとともに、コンクリートの施工性、強度発現性および長期耐久性といった時間軸で要求される性能を満足することを計画段階で把握することが必要である。

特にかぶりコンクリートの耐久性を向上させるためには、施工者は環境条件を配慮した最適な養生方法を選定する必要もある。コンクリートの諸性能を高めるには湿潤状態の養生期間をできるだけ長く保つことが良いとされるが、実際の施工では不経済であり施工上困難であることから、土木学会のコンクリート標準示方書における標準的な材齢に準じて脱型がなされ、かぶりコンクリートが気中に曝される。また、工期短縮のために所定の強度が発現されていることを確認後、標準的な養生期間以前に脱型されるケースもある。

本工事対象となるRC巻き立て補強工法の施工では、1回のコンクリート打ち込み部位として、高さ

3.6m、厚さ200mmと薄い壁構造物を構築することとなることから、施工に起因して生じるひび割れや不具合を未然に防ぎ、耐久性の高いコンクリート構造体を構築する必要がある。このため、標準的な材料の使用および施工方法に加え、①材料（コンクリート配合）、②打設、③養生に関する施工上の対策、工夫が必要となる。そこで、今後の既設橋脚を対象としたRC巻き立てによる耐震補強工事に対する基礎資料とすることを目的とし、本工事では想定される不具合に対する対策として材料および施工に関する検討を実施し、それに基づいた試験施工を実施した。

本稿では、試験施工での5種類の配合、及び初期養生として提案した散水・シート養生の効果について報告するものである。

## 2. RC巻き立て補強工法の施工上の問題点

本工事における施工上の問題点を示す。図-1には一般構造および配筋図を示すが、既設と補強コンクリートの一体化の為にジベル筋が5本/m<sup>2</sup>配置され、壁厚200mmの中に主筋D32、フープ筋D22の補強鉄筋が配置されている。このため、コンクリート打設を行う上で、コンクリートの充填不良による構造的な

以上の問題を解決するために、①配合、②打設方法、③養生方法、④ひび割れ抑制効果、⑤原価に関する検討が必要となった。

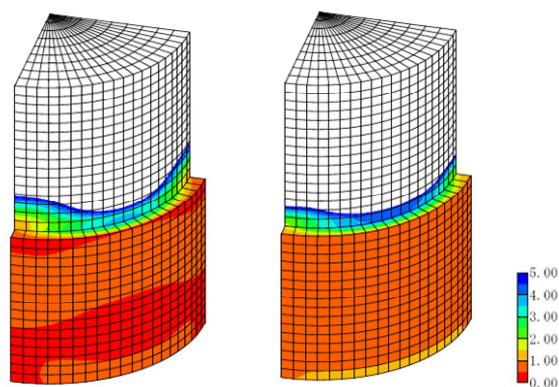


表-2 コンクリートの配合

| 施工場所                                                                                                                     | 配合                  | W/C (%) | s/a (%) | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |          |          |         |         |       |        |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------|---------|-------------------------|----------|----------|---------|---------|-------|--------|------|
|                                                                                                                          |                     |         |         | 水 (W)                   | セメント (C) | 膨張材 (EX) | 細骨材 (S) | 粗骨材 (G) | 混和剤   |        |      |
|                                                                                                                          |                     |         |         |                         |          |          |         |         | ①     | ②      | ③    |
| 3P                                                                                                                       | 30-12-20N (JIS配合)   | 50      | 45.7    | 169                     | 338      | —        | 836     | 1007    | 2.03  | 0.0068 | —    |
| 4P                                                                                                                       | 30-15-20N (+SP)     | 50      | 45.7    | 164                     | 328      | —        | 908     | 947     | *2.29 | 0.66   | —    |
| 6P                                                                                                                       | 30-15-20N (+SP+EX)  | 50      | 45.7    | 164                     | 313      | 15       | 908     | 947     | *1.98 | 0.66   | —    |
| 5P                                                                                                                       | 30-450-20N (+SP)    | 50      | 45.9    | 175                     | 350      | —        | 999     | 806     | *3.85 | 0.70   | 0.05 |
| 7P                                                                                                                       | 30-450-20N (+SP+EX) | 50      | 45.9    | 175                     | 335      | 15       | 999     | 806     | *3.85 | 0.70   | 0.10 |
| (備考) 膨張材(EX) (太平洋マテリアル:ハイパーエクспан)<br>混和剤① (ボゾリス15S)、高性能AE減水剤(SP8SV)<br>混和剤② 空気量調整剤(マイクロエア202)<br>混和剤③ 不分離性混和剤(SFCA2000) |                     |         |         |                         |          |          |         |         |       |        |      |

### (3) 材料分離抵抗性

充填性を向上させるため、高スランプのJIS配合に高性能AE減水剤を添加し、単純に流動性に優れるの配合（スランプフロー450mm程度）にしただけでは、ブリーディングが生じるとともに、材料分離による鉄筋下の空洞や部分的な脆弱箇所（ジャンカなど）の発生が想定される。これらの発生を防止し、材料分離抵抗性を向上させるため、不分離性混和剤の微量添加を行うことにより分離抵抗性を大幅に向上させた。

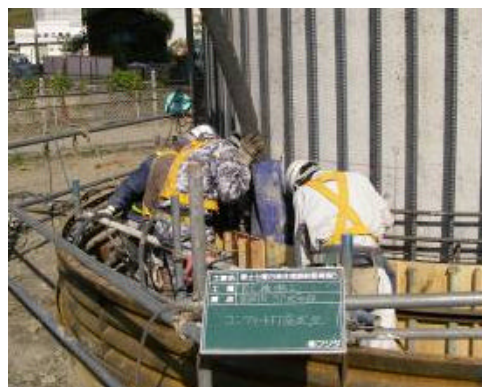


写真-1 コンクリート打設状況

### (4) コンクリートの配合

上述の検討結果を踏まえ、現地プラントのJIS配合（呼び強度30 N/mm<sup>2</sup>、スランプ12cm、粗骨材の最大寸法20mm、普通ポルトランドセメント使用）を標準配合とし、4種類の提案配合を決定した。標準配合および4種類の提案配合を表-2に示す。これらの配合について施工箇所毎に打設を行い、施工性能（ポンプ圧送性、充填性、分離抵抗性）およびひび割れの発生状況を観察し、最良の配合および施工方法を決定する試験施工を兼ねた本体施工を実施した。

防止する。

- ④ ポンプ筒先の型枠内挿入ができないため、コンクリートの落下高さが1.0m以下となるようポンプ車のホース先端にサニーホースを接続し、材料分離を防止する。

コンクリートの打設状況を写真-1に示す。

## 5. 養生方法

コンクリートの耐久性向上およびひび割れ抵抗性を向上させるためには、打設直後からの初期養生が重要である。また、コンクリートの諸性能を高めるには湿潤状態の養生期間をできるだけ長く保つことが良いとされるが、実際の施工では不経済であり施工上困難であることから、土木学会のコンクリート標準示方書における標準的な材齢に準じて脱型がなされ、かぶりコンクリートが気中に曝される。セメントは水の存在下で水和する。早期に相対湿度の低い環境に曝されて乾燥状態になると、コンクリート内部の含水率の低下を招き未水和セメントのその後

## 4. コンクリートの打設

コンクリート打設は、事前の打設計画を施工に当たる全員に周知することが重要である。そこで以下の点に留意して打設を行った。

- ① バイブレータは細径(φ30mm)を使用、30cm間隔で締固めを行い、かぶり部分も確実に締固める。
- ② 一層高さを50cmとし、均等で水平となるよう打設する。
- ③ 打ち上がり速度は1.5m/hとし、型枠のはらみを

の反応過程が阻害され、特に表層のかぶり部分の緻密な組織形成に影響を及ぼす。このことはかぶりコンクリートの力学性能や耐久性能に影響する。湿潤養生期間と圧縮強度の関係を調べた既往の研究結果<sup>2)</sup>を図-3に示す。湿潤養生した試験体を乾燥させると一時的に圧縮強度は増加するが、その後の乾燥に伴い強度は低下する。初期の湿潤養生期間が短いほど、長期材齢における圧縮強度は小さいことが分かる。セメントの水和を促進しコンクリートの諸性能を高めるには土木学会のコンクリート標準示方書における標準的な養生期間以降も湿潤養生を行うことが好ましいといえる。

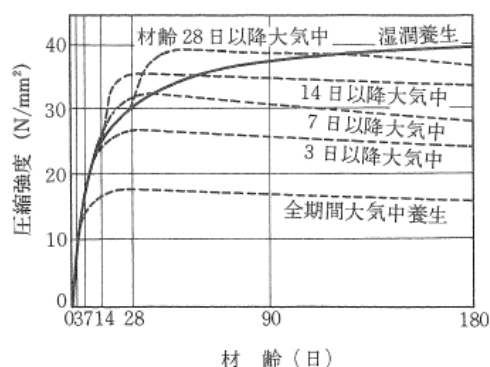


図-3 湿潤養生期間と圧縮強度の関係<sup>2)</sup>

特に本工事では冬場の施工であり、温度・湿度共に低く、コンクリートの硬化、強度発現を促進するような対策も必要とされる。そこで、養生面の対策として以下の項目を実施した。

- ① 初期強度の発現促進を目的として、脱型前の散水（温水）による湿潤養生の実施した。
- ② 養生環境の保持を目的としてビニールシートを型枠に巻き付け、養生雰囲気温度や湿度を保持した。
- ③ 脱型作業はビニールシート内で実施し、急激な乾燥や温度変化を防止した。
- ④ 脱型後には速やかに気泡シートを巻き付け、散水を材齢28日程度まで継続した。

図-4に養生フローを示し、図-5に本工事にて開発した散水養生システムを概要を示す。

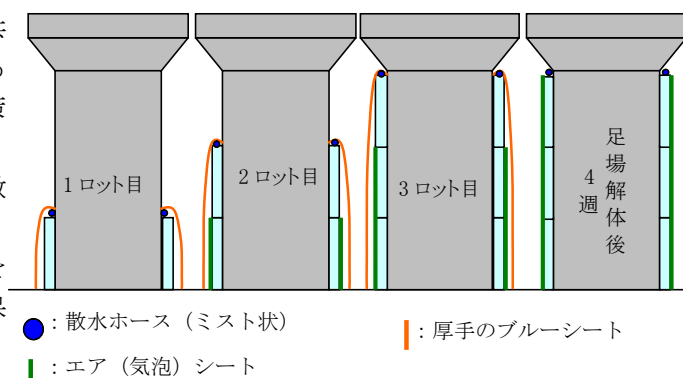


図-4 養生フロー

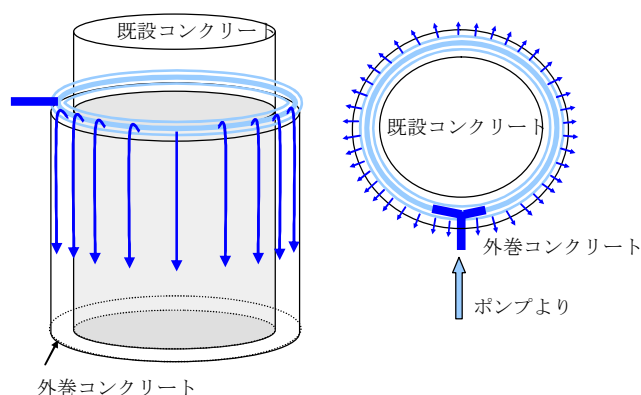


図-5 散水養生システム

## 6. 提案内容の検証結果

### (1) 配合および打ち込み

5種類の配合に関して打ち込みを行った結果について以下に示す。

- ① 標準配合では施工性が悪いとの観点から、締め固めを入念に行ったため、良好な仕上がりとなった。提案配合では高性能AE減水剤を使用していない配合でありコンクリートの粘性も小さく、エアあばたも少なかった。今回の施工では良好な仕上がりとなったが、不可視部分における充填不足や締め固め不足のリスクは高いものと考えられる。
- ② スランプを15cmとした配合では標準配合と比較して施工性は良好であったが、高性能AE減水剤を使用したことから、スランプや空気量のばらつきが大きい性状がみられた。このため、均質で安定した品質の確保が必要であると考えら

れる。

- ③ 流動性を増加させた配合では施工性は非常に良好であり、型枠パイプレータの併用により充填性は良好であった。しかし、分離抵抗性を向上させるためにコンクリートの粘性を増加させており、エアあばたが残る結果がみられた。写真-2にコンクリート表面の状況を示す。エアを抜くような施工上の対策と施工性向上による打ち上がり速度の増加に注意した運搬・打設計画を作成する必要がある。また、側圧の増大に対す

表-3 各種配合と施工性、見栄えの検証結果

| 施工場所 | 対象量<br>(コンクリート)     | 配合                 | コスト<br>(材料費)単価 |   | 施工性        |     | 表面の<br>見栄え | ひび割れ本数<br>(打設後経過日数) | 総合評価 |
|------|---------------------|--------------------|----------------|---|------------|-----|------------|---------------------|------|
|      |                     |                    |                |   | ポンプ<br>圧送性 | 充填性 |            |                     |      |
| 3P   | 36.3 m <sup>3</sup> | 30-15-20N          | ±0円            | ○ | △          | △   | ○          | 4本(72日)             | △    |
| 4P   | 33.0 m <sup>3</sup> | 30-15-20N(+SP)     | +500円          | ○ | △          | △   | ○          | 2本(59日)             | ○    |
| 6P   | 31.1 m <sup>3</sup> | 30-15-20N(+SP+EX)  | +2,000円        | △ | △          | △   | ○          | 1本(39日)             | ○    |
| 5P   | 31.7 m <sup>3</sup> | 30-450-20N(+SP)    | +1,000円        | ○ | ○          | ○   | △          | 1本(48日)             | ○    |
| 7P   | 24.0 m <sup>3</sup> | 30-450-20N(+SP+EX) | +2,500円        | △ | ○          | ○   | △          | 0本(28日)             | ◎    |

る対策として、型枠のたわみ防止に専用の鋼製リングを使用した。さらに、ペーストの噴出し防止するために、型枠の隙間及び打継面での隙間には、シーリング剤による間詰めを実施した。

以上の検討結果を表-3にまとめて示す。コストについては材料の単価についての価格差を示す。また、打設後の経過日数とひび割れの発生状況を示す。ひび割れ幅については0.2mmを超えるような有害なひび割れは発生していない。

なお、今回、初期の材料コストが高い配合も提案しているが、1基当りのコンクリート量が少ないため、施工の合理化、省力化によって、標準配合よりも全体の施工費用としては安価になるものとする。その中でも、ひび割れに関する評価は、高性能AE減水剤による単位水量の削減と膨張材によるひび割れ抑制効果が高く、さらに、流動性を増加させた配合により材料や施工に起因する不具合を低減し、補修費用の大幅な削減を可能とするものと考えられる。

## (2) 散水・シート養生の効果

冬期施工での散水・シート養生の実施状況を示すとともに、その効果を検証した結果について示す。まず、写真-3に脱型前後に実施するシート養生の状況を示し、写真-4には足場解体後も気泡シートをコンクリート表面に巻き付け養生を実施している状況を示す。次に養生方法の効果を検証する目的で温度・湿度計測を実施した。計測は図-6に示す位置で行い、散水・シート養生の有無で比較した。

図-7にコンクリート温度の計測結果を示し、図-8には養生シート内・外の雰囲気温度および外気温の測定結果を示す。養生シートの設置によりコンクリート温度が高い分布を示していることが分かる。また、防音シート内においても外気温度よりも温度変化が小さく高い温度を示しているが、養生シート内では更に高い温度を示している。このことから、養生シートの設置により雰囲気温度の変化、特に外気



写真-2 コンクリート表面の状況



写真-3 シート養生



写真-4 気泡シート養生

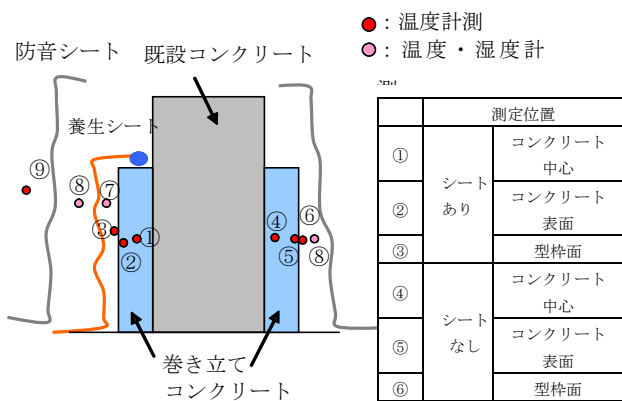


図-6 温度計測の概念図

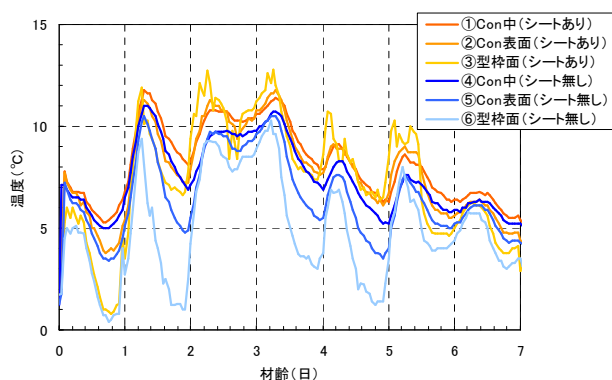


図-7 養生シートの有無によるコンクリート温度の違い

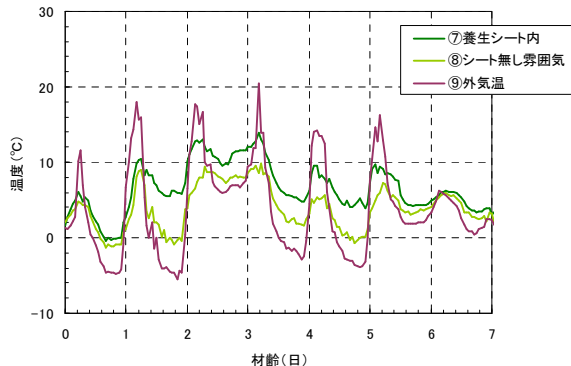


図-8 養生シート内外の雰囲気温度および外気温の測定結果

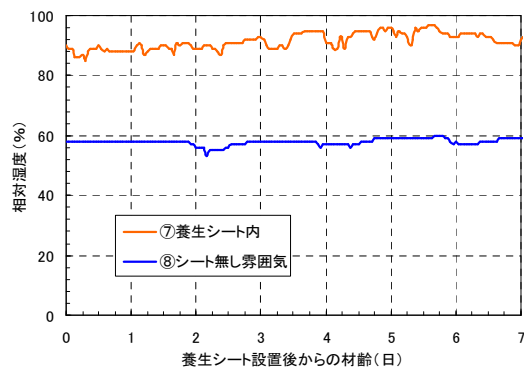


図-9 養生シート内外の相対湿度

温の影響による温度低下を防ぐことができることが分かった。

また、図-9には養生シート内外の相対湿度の測定結果を示す。散水により養生シート内部において高い湿度が保たれていることが分かる。脱型時および脱型後も同様の養生を継続して実施しており、高湿度な雰囲気は長期間保持されていることが分かる。これによりコンクリート表面が乾燥することなく水合が促進され、良好な強度発現、コンクリート表面の緻密化が促進され、耐久性の向上につながるものと考えられる。

## 7. まとめ

RC巻き立てコンクリートの施工に関し、「材料(配合)および施工性に関する検討」及び「コンクリートの初期養生を促進する目的で湿潤・保温の双方の効果を有する養生方法の効果検証」を行った。耐震補強は、構造物の延命化を図り、将来の維持管理費用も含めた対策が必要であり、コンクリートの変状を最大限に抑制し、高品質な鉄筋コンクリートの施工が望まれる。また、現在主流となっている提案型発注への対応のためにも提案事項の定量的な評価、検証、次の施工へのフィードバックがますます重要となるものと考えられる。

## 参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート技術シリーズ74，混和材料を使用したコンクリートの物性変化と性能評価研究小委員会（333委員会）報告書，2007.
- 2) 社団法人コンクリート工学協会：コンクリート便覧（第二版），1996.