

# 報告 高流動コンクリートの反力床マスコンクリートへの適用

西田浩\*<sup>1</sup>・横須賀誠一\*<sup>2</sup>・藤原敏夫\*<sup>3</sup>・今井信也\*<sup>4</sup>

**要旨**：実験研究施設新築工事の反力床マスコンクリート施工において、温度上昇抑制のため低熱ポルトランドセメントを使用し、所要強度を確保しつつ単位セメント量の低減を図るため分離低減剤を使用した高流動コンクリートを適用した。本報告は、この高流動コンクリートの使用材料・調合決定から実施工に至るまでの技術的検討およびその結果についてとりまとめたものである。使用材料・調合は、実機練りによって、フレッシュ性状、強度性状などを検討して定めた。実施工では、温度ひび割れの発生を防止でき、構造体コンクリートとして所要品質を有することを確認した。

**キーワード**：高流動コンクリート、マスコンクリート、低熱ポルトランドセメント、反力床

## 1. はじめに

反力床は、鉄筋やプレストレス導入のためのシースに加え、反力用PC鋼棒挿入のための貫通孔、それらの保持架台としての形鋼などが多数錯綜しているため、コンクリートの打込み・締固め作業性が大幅に低下することが予想された。また、部材断面が大きいうえ、設計基準強度は 36N/mm<sup>2</sup> で比較的高く、用途上からはひび割れがなく床表面の仕上がり精度もよい高品質のコンクリートが求められた。

このため、温度ひび割れの抑止、高強度の確

保および施工性の向上を目指して、温度上昇抑制のため低熱ポルトランドセメントと分離低減剤を併用し、単位セメント量をできるだけ低減した高流動コンクリートを適用した。

本報告は、調合選定から実施工に至る検討およびその結果を報告する。

## 2. 反力床の形状

図-1に反力床の形状を示す。反力床は長辺(X方向) 23.6m、短辺(Y方向) 15mの平面で耐圧版(厚さ3.2m)、立上り(高さ1.8m)、

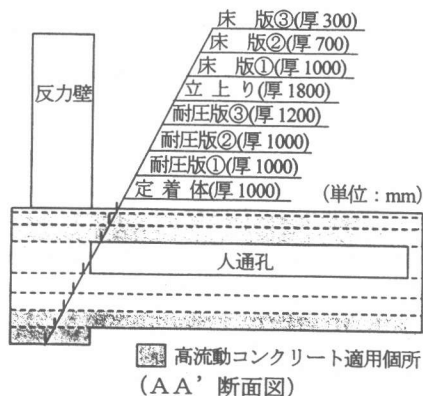
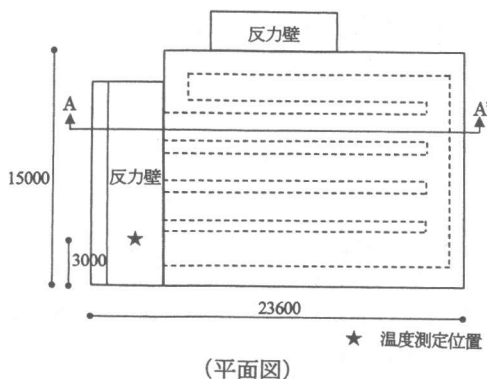


図-1 反力床形状

- \* 1 (株)フジタ技術研究所主任 工修 (正会員)
- \* 2 (株)フジタ技術研究所主席研究員 (正会員)
- \* 3 (株)フジタ技術研究所主任研究員 工修
- \* 4 (株)フジタ横浜支店作業所長

床版（厚さ 2.0m）の3層構造である。反力床の厚さ方向には反力用貫通孔（φ60.5mm）とPC鋼材とが短辺・長辺とも500mm間隔、鉄筋（D25）はX・Y・Z（高さ）方向に250mm間隔に配置されている。

### 3. コンクリート施工計画

低熱ポルトランドセメントと分離低減剤を併用した高流動コンクリート（記号：36-60L）は、鉄筋やプレストレス導入のためのシース管・保持架台などが複雑に錯綜する図-1の断面図に示す部分において適用した。締固めは流動状況および充填状況を見て補助的に行った。

プレストレス導入後に定着部の鋼材が多数突出する床版③（厚さ 300mm）の打設は、反力床表面精度の確保および収縮ひび割れ防止を考慮して、膨張材を混入したスランプ 18cm のコンクリート（記号：36-18N:普通ポルトランドセメント使用）とした。

上記以外の耐圧版②、③および立上りは棒パイプレタによる締固めが可能なことから、低熱ポルトランドセメントを用いたスランプ 21cm のコンクリート（記号：36-21L）とした。

コンクリートの打設にはいずれもブーム付ポンプ車を用いた。1回の打設厚さは配筋作業・プレストレス導入のためのシース設置作業、コンクリートの温度上昇、生コンプラントの供給能力などを考慮して図-1の断面図に示すように計画した（計8リフト）。

### 4. コンクリートの調合

使用材料を表-1、コンクリートの調合を表-2に示す。なお、高流動コンクリートの目標スランプフローは65cm、目標空気量は3.0%（凍結融解作用を受けるおそれがなく、空気が連行されにくかったため）とした。強度管理材齢は、高流動コンクリートおよびそれ以外の低熱ポルトランドセメントを用いた場合で56日（現場水中養生）、普通ポルトランドセメントを用いた場合で28日（標準水中養生）とした。

表-1 使用材料

|       |                      |
|-------|----------------------|
| セメント  | 低熱ポルトランドセメント 比重：3.22 |
|       | 普通ポルトランドセメント 比重：3.16 |
| 細骨材   | 相模川水系川砂 表乾比重：2.61    |
|       | 千葉県市原産山砂 表乾比重：2.56   |
| 粗骨材   | 神奈川県津久井産碎石 表乾比重：2.65 |
| 膨張材   | 水和熱抑制型膨張材            |
| 混和剤   | 高性能A E減水剤（ポリカルボン酸系）  |
| 分離低減剤 | セルロース系               |

表-2 コンクリートの調合

| 種類     | 水結合材比 (%) | 細骨材率 (%) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |      |     |     | ※1 混和剤 (%) | 分離低減剤 (kg) |      |
|--------|-----------|----------|--------------------------|------|-----|-----|------------|------------|------|
|        |           |          | 水                        | セメント | 細骨材 | 粗骨材 |            |            | 膨張材  |
| 36-60L | 48.5      | 53.6     | 180                      | 371  | 938 | 833 | —          | 2.5        | 0.25 |
| 36-21L | 48.6      | 49.0     | 170                      | 350  | 878 | 936 | —          | 1.25       | —    |
| 36-18N | 42.0      | 46.9     | 171                      | 377  | 813 | 947 | 30         | 1.0        | —    |

※1 (セメント+膨張材) × 重量%

### 5. 実機試験

実施工に先立って、試験室における試し練りにより決定した調合を用いて、実機練りによる高流動コンクリートをトラックアジテータ（積載量 5m<sup>3</sup>）にて工事現場に輸送し、品質確認のための各種試験、試験打設を行った。

#### 5.1 試験項目

##### (1) フレッシュ性状の経時変化

出荷時・荷卸し時・筒先から試料を採取し、スランプフロー、50cmフロー時間、空気量、温度、凝結時間、5.2に示すバリアフローなどについて試験を行った。

##### (2) 硬化後の品質

硬化後のコンクリートの品質として圧縮強度、ヤング係数の各試験を行った。

#### 5.2 バリアフロー試験

バリアフロー試験とは、図-2に示す試験装置を用いて行うもので、丸鋼（φ10）を等間隔に配して流動に対する抵抗（以下、バリアという）を設けたスランプフロー試験である。

このバリアは、コーン軸を中心とする直径30cmの同心円上を16等分した位置に丸鋼を配したものをを用いた。試験状況を写真-1に示す。なお、コーン下部に付いている押えは、引上げ

時にバリアに引っかからないように、除去したものをを用いた。ここで、本試験で用いる指標を次のように定義した。

$$\text{通過率} = \{(Bf - 30) / (Sf - 30)\} \times 100(\%) \quad (1)$$

Bf: バリアフロー(cm)

Sf: スランプフロー(cm)

$$\text{内外粗骨材比} = Ai / Ao \quad (2)$$

Ai: バリア内部粗骨材重量比

Ao: バリア外部粗骨材重量比

$$50\text{cm フロー時間差} = B_{150} - S_{150} \text{ (秒)} \quad (3)$$

B<sub>150</sub>, S<sub>150</sub>: バリアフロー試験およびスランプフロー試験における50cmフロー時間(秒)

本工事における上記指標の管理値は、既往の実験的検討<sup>1)</sup>により、通過率が80%以上、内外粗骨材比が1.20以下とした。

### 5.3 試験結果

#### (1) フレッシュ性状

フレッシュコンクリートの試験結果を表-3に示す。コンクリートの輸送は、出荷時から荷卸し時まで31~60分を要し、スランプフローの増大量が6~12cm程度認められた。空気量は0.7~2.0%の減少がみられたが、荷卸し時において所定の品質のものが得られた。内外粗骨材比は1.01~1.12で、管理値である1.20以下を満足する値となった。通過率は、1台目の筒先から採取した試料で79%となったが、荷卸

し時ではいずれも96~106%となり、管理値の80%を満足する値となった。50cmフロー時間差は0.1~2.1秒となり、良好な流動性を示した。コンクリートの凝結時間は、始発で11時間41分、終結で14時間20分であった。

#### (2) 硬化後の品質

圧縮強度発現状況を図-3に示す。供試体は、検討時期が実施工とは異なり冬期であったため、標準封かん養生とした。圧縮強度は、材齢56日で50N/mm<sup>2</sup>となり、設計基準強度を十分満足すると判断した。

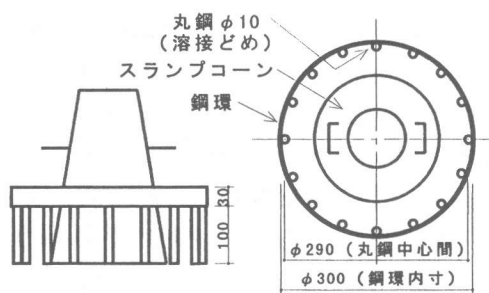


図-2 バリアフロー試験装置

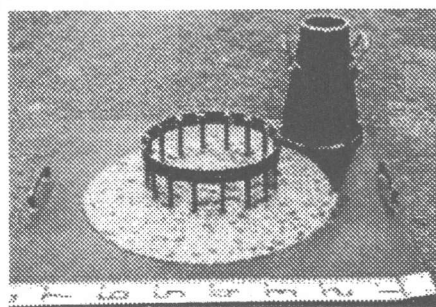


写真-1 バリアフロー試験状況

表-3 実機練り試験結果

| No | 項目<br>採取場所 | 経過時間<br>(時-分) | スランプフロー試験       |              | 空気量<br>(%) | 温度<br>(°C) | バリアフロー試験       |              | 内外粗骨材比 | 通過率<br>(%) | 50cmフロー時間差(s) | 輸送時間<br>(分) |
|----|------------|---------------|-----------------|--------------|------------|------------|----------------|--------------|--------|------------|---------------|-------------|
|    |            |               | スランプフロー<br>(cm) | 50cmフロー時間(s) |            |            | バリアフロー<br>(cm) | 50cmフロー時間(s) |        |            |               |             |
| 1  | 出荷         | 0-00          | 60.2            | 4.4          | 3.9        | 20.0       | —              | —            | —      | —          | —             | 60          |
|    | 荷卸し        | 1-08          | 66.5            | 5.8          | 2.6        | 20.5       | 65.2           | 5.9          | 1.06   | 96         | 0.1           |             |
|    | 筒先         | 1-24          | 61.5            | 7.5          | 2.6        | 20.1       | 55.0           | 9.2          | 1.09   | 79         | 1.7           |             |
| 2  | 出荷         | 0-00          | 55.5            | 6.2          | 2.2        | 20.0       | —              | —            | —      | —          | —             | 48          |
|    | 荷卸し        | 0-50          | 67.5            | 5.5          | 1.4        | 19.9       | 68.5           | 6.7          | 1.05   | 103        | 1.2           |             |
| 3  | 出荷         | 0-00          | 53.5            | 8.1          | 3.2        | 20.0       | —              | —            | —      | —          | —             | 31          |
|    | 荷卸し        | 0-35          | 63.0            | 7.0          | 1.7        | 20.4       | 64.5           | 7.3          | 1.07   | 105        | 0.3           |             |
|    | 筒先         | 0-55          | 64.2            | 8.7          | 1.5        | 19.1       | 59.5           | 10.8         | 1.01   | 86         | 2.1           |             |
| 4  | 出荷         | 0-00          | 54.5            | 8.1          | 5.8        | 19.5       | —              | —            | —      | —          | —             | 44          |
|    | 荷卸し        | 0-50          | 64.0            | 9.5          | 3.8        | 19.7       | 66.0           | 10.2         | 1.12   | 106        | 0.7           |             |

## 6. 実施工

### 6.1 フレッシュ性状

高流動コンクリートの打設日を表-4に、スランプフローおよび空気量の経時変化をそれぞれ図-4、図-5に示す。

出荷時のスランプフロー平均は 57.3cm、空気量平均は 2.9%であったのに対し、荷卸し時の平均はそれぞれ 64.3cm、2.9%であった。

スランプフローは出荷時から荷卸し時において-2.5~+16.5cmと変化し、総体的に経時により増大する傾向が認められた。図-4では、荷卸し時に比べて、出荷時のスランプフローのバラツキが大きい。これは、打設日によって経時変化量が異なるので荷卸し時のスランプフローを安定させるため、経時変化を常時把握して出荷時のスランプフローを調整したことを示している。すなわち、出荷当初(中断を含む)は打設速度を遅くして経時変化を把握し、その結果をできるだけスムーズに製造に反映させるとともに、安定後も変動を監視した。この結果、荷卸し時では目標スランプフロー 65cm に対して許容差±5cmの範囲に管理することができた。

空気量は、出荷時から荷卸し時で-0.7~+1.2%の経時変化があったものの、荷卸し時では目標空気量  $3.0 \pm 1.5\%$  が得られた。

### 6.2 強度発現

実施工時の高流動コンクリートの強度発現状況を図-6に示す。標準水中養生と現場水中養生

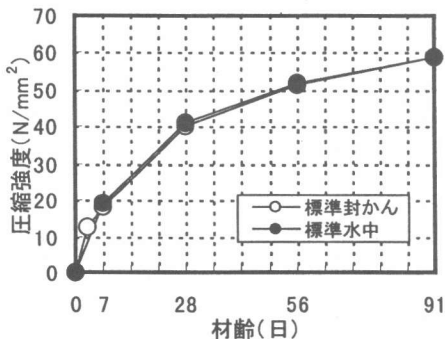


図-3 圧縮強度発現状況

表-4 高流動コンクリートの打設日

| 打設部位 | 打設厚さ (mm) | 打設量 (m³) | 打設日       |
|------|-----------|----------|-----------|
| 定着体  | 1000      | 102      | 平成9年5月24日 |
| 耐圧版① | 1000      | 203      | 平成9年6月7日  |
| 床版①  | 1000      | 203      | 平成9年9月6日  |
| 床版②  | 700       | 135      | 平成9年9月20日 |

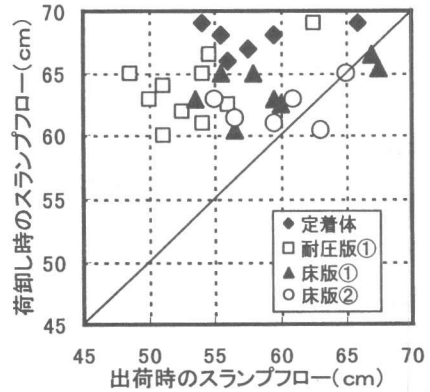


図-4 スランプフローの変化

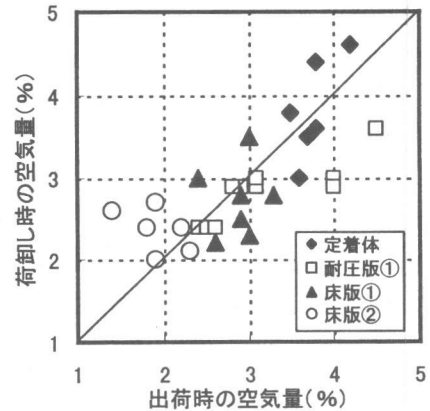


図-5 空気量の変化

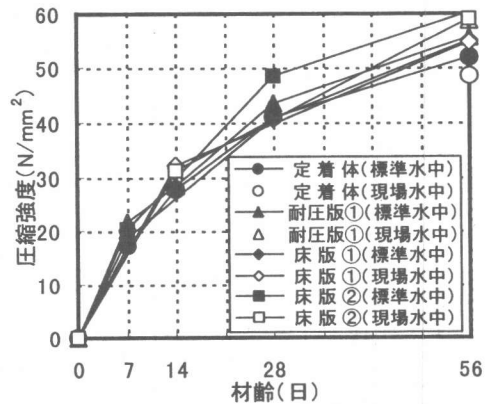


図-6 強度発現状況

生による顕著な差はなかった。また、管理材齢 56日(現場水中養生)における強度は、所要の設計基準強度を十分に確保できた。実機試験における結果(図-3)と比較してもほとんど差異はなく、計画したものが打設できた。

### 6.3 温度履歴

図-7の測点①~⑥(各リフトの中央部分)におけるコンクリートの温度履歴測定結果を図-8に、解析結果を図-9に示す(平面的位置は図-1に示す)。なお、解析は日本コンクリート工学協会「マスコンクリートの温度・応力計算用のパソコンプログラム」を用いて、表-5に示す温度・応力解析条件に基づいて行った。実測値の最高温度は測点④で56.4℃、解析では測点④で59.7℃となり、両者はほぼ近似した。また、解析で求めた温度ひび割れ指数は、一部を除きほぼ1.2以上を確保しており、ひび割れ抑止効果が期待できた。実施後のコンクリートを目視検査した結果では、温度ひび割れの発生は認められなかった。

### 6.4 構造体コンクリートコア

耐圧版①を打設後、図-10の①~③における部位(反力床の方から流動させて一体に打設した実験棟鉄骨柱支圧コンクリート)の中心部から、鉛直方向にφ10cm、長さ70cm程度のコア採取を行った。1本のコアからφ10×20cmの供試体を3体ずつ整形し、圧縮強度試験および粗骨材面積率測定に供した(材齢56日)。粗

骨材面積は、圧縮強度試験後の供試体側面から直径5mm以上のものを測定した。粗骨材面積率、圧縮強度およびヤング係数の試験結果をまとめて図-11に示す。

コア供試体圧縮強度は、管理材齢である56日で設計基準強度を上回っており、構造体コン

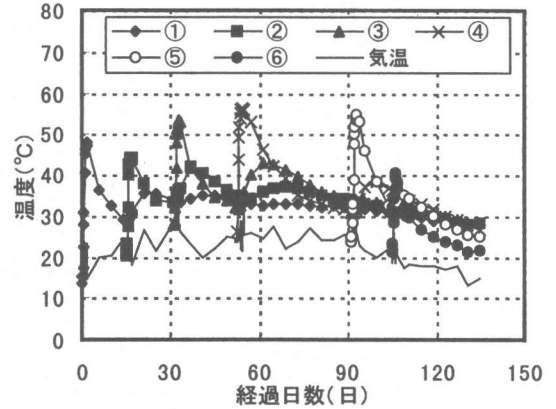


図-8 温度履歴実測結果

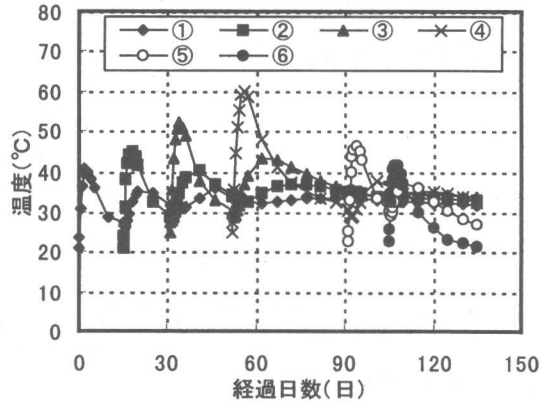


図-9 温度履歴解析結果

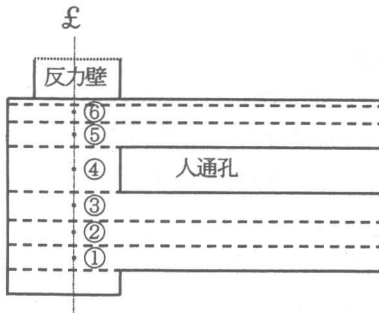


図-7 温度履歴測定位置

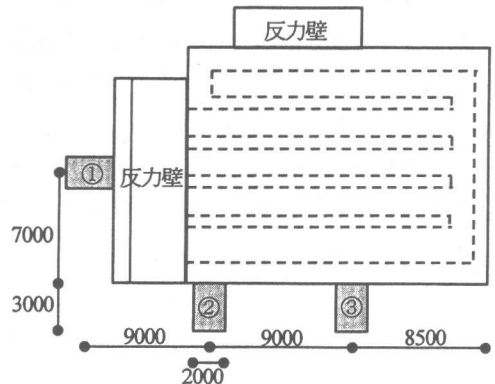


図-10 構造体コンクリートコア採取位置

表-5 温度・応力解析条件

|                                   |           |  |
|-----------------------------------|-----------|--|
| 断熱温度上昇式                           |           | $Q=K(1-e^{-\alpha t})$   |
| リフト                               | 耐圧版①, ②   | $K=46.2, \alpha=0.437$   |
|                                   | 耐圧版③, 立上り | $K=46.2, \alpha=0.437$   |
|                                   | 床版①, ②    | $K=46.2, \alpha=0.437$   |
| 比熱 (kcal/kg·°C)                   |           | 岩盤 0.25, コンクリート 0.31   |
| 密度 (kg/cm <sup>3</sup> )          |           | 岩盤 0.00194, コンクリート 0.0023  |
| 熱伝導率 (kcal/cm·h·°C)               |           | 岩盤 0.0194, コンクリート 0.025  |
| 熱膨張係数 (°C <sup>-1</sup> )         |           | 0.00001  |
| 熱伝達率 (kcal/cm <sup>2</sup> ·h·°C) |           | 露出面 0.001, 合板型枠面 0.0005  |
| 圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )         |           | $f_c(t) = \{t / (13.6 + 0.848t)\} \cdot f_c(91)$                                     |
| 引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )         |           | $f_t(t) = 0.35 \cdot f_c(t)^{0.5}$   |
| 有効ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )      |           | $E(t) = 4740 \cdot \beta \cdot f_c(t)^{0.5}$<br>低減係数 $\beta$ : 材齢3日まで0.733, 4日以降は1.0 |
| 拘束係数                              | $R_N$     | 下から 0.25, 0.072, 0.040, 0.032, 0.024, 0.024  |
|                                   | $R_{M1}$  | 下から 1.17, 0.840, 0.680, 0.600, 0.560, 0.560  |
|                                   | $R_{M2}$  | 下から 1.08, 1.100, 0.072, 0.072, 0.072, 0.072  |

クリートの所要強度は確保できたと思われる。

粗骨材面積率は、29.6～36.5%の範囲にあり、調査上の粗骨材絶対容積百分率である31.4%に比べても大きな差はなく、圧縮強度・ヤング係数に及ぼすほどの影響はないと判断できる。この結果、構造体としてはほぼ均質なコンクリートが打設できたと思われる。

### 7. まとめ

反力床コンクリートの施工において、低熱ポルトランドセメントと分離低減剤を併用した高流動コンクリートを適用した。その結果、次に示す知見が得られた。

- ・良好な充填性が得られるように、出荷当初に打設速度を遅くするなど、経時変化を常時把握したうえで出荷時のスランプフローを調整して対応し、荷卸し時のスランプフローを許容差内に抑えることができた。
- ・温度ひび割れは、解析結果から抑止効果が期待でき、目視検査によってもその発生が認められなかった。

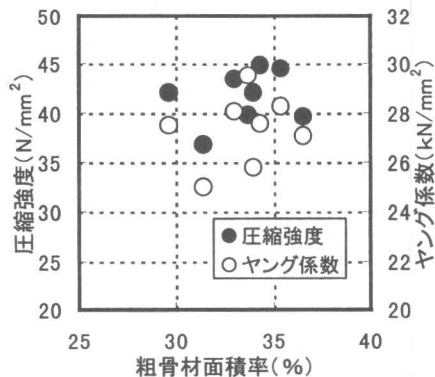


図-11 粗骨材面積率, 圧縮強度, ヤング係数

- ・反力床から流動させた部位においてコアを採取したところ、その粗骨材面積率からは有害な材料分離が認められず、圧縮強度・ヤング係数などの試験結果も所要の品質を有していることが確認できた。

### 参考文献

- 1) 西田浩和・横須賀誠一・渡部嗣道：高流動コンクリートの現場適用性に関する研究（その2），日本建築学会学術講演梗概集，A-1，pp.39-40，1996