

## 6. 環境配慮型コンクリート「BB+FA」の実施工検討と物性の確認

Consideration of construction and confirmation of physical properties of environmentally friendly concrete "BB+FA"

荒木 朗<sup>\*1</sup> 山崎 順二<sup>\*2</sup>

### 要 旨

浅沼組と大阪広域生コンクリート協同組合が共同で実装した環境配慮型コンクリート「BB+FA(20%)コンクリート」は、普通ポルトランドセメントを用いた調合と比較して、材料として約 50%の CO<sub>2</sub> 削減率が見込め、日本建築総合試験所で環境配慮型材料証明を取得した「環境・社会への貢献」に資する材料である。

同コンクリートは 2020 に実装され、浅沼組でも 2022 年の土木作業所で初施工を迎えたが、大阪本店管轄の建築作業所で、大規模な地中構造物に打込む承認が初めて得られた。

一方で、協同組合と出荷予定工場の調整を行った際に割当てられた生コン工場（1 工場）は、BB+FA コンクリートの実出荷の実績が全く無かったため、予定工場において室内での試し練りを行い、フレッシュ性状やワーカビリティ、圧縮強度の発現傾向を確認することとした。

また、室内試し練りの時期が打込み予定日まであまり余裕がなかったこともあり、生コン工場が呼び強度を保証する試験材齢である 56 日まで強度発現結果を待つだけの時間的余裕が無いと考えられたため、材齢 28 日の圧縮強度試験結果から材齢 56 日の圧縮強度を推定し、その結果を基に強度発現性を確認した。

キーワード： 環境配慮型コンクリート、高炉セメント B 種、フライアッシュ、圧縮強度、CO<sub>2</sub> 削減量

### 1. はじめに

2015 年に採択されたパリ協定を受けて、世界が丸くなって温室効果ガスの削減に対する取組みを進めている。日本においても 2050 年時点でのカーボンニュートラルを達成すべく、改正地球温暖化対策推進法を定め、様々な研究開発や取組みを行っている。

また、日本建築学会では 2022 年に「建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事」（以下、「JASS 5」と記す）の改定を行い、その中でコンクリートの要求事項として「環境性」が新たに規定されることとなった。

浅沼組においても、中期 3 か年計画の注力テーマの一つとして「環境・社会への貢献」を掲げ、環境に配慮した施工技術の開発および施工に対する取組みを強化している。

そんな中、環境配慮型コンクリートの一環として、大阪兵庫生コンクリート工業組合と 2020 年から共同で実装した「BB+FA(20%)コンクリート」（以下、BB+FA と記す）は、普通ポルトランドセメントを用いた調合と比較すると材料として約 50%の CO<sub>2</sub> 削減効果が有り、「JASS 5」に

新たに規定された環境性の中の低炭素等級で 3 が見込める材料となっている。また、JIS マーク表示品（I 類）として標準化されたコンクリートであるため、指定建築材料として主要構造部などへの打込みが可能となっている。

浅沼組大阪本店管轄の作業所で、2022 年度の造成工事の作業所での採用を皮切りに、建築工事作業所でも施工実績を徐々に増やしてきているところである。

大阪広域生コンクリート協同組合では、BB+FA は普通ポルトランドセメントを使用した調合と同じ呼び強度の強度値において、同単価で出荷されることになっている。しかし、出荷実績が多くなかったためフレッシュ性状や強度発現性の安定性がどの程度確保されているのか過去のデータから説明できるだけの蓄積が無かった。

そこで、大阪府内で地中構造体のコンクリートに BB+FA の使用が承諾された作業所で、出荷予定工場において室内での試し練りを行い、フレッシュ性状や強度発現性の確認を行い、実施工時の安定性や余力を把握検討した上で実施工に臨むこととした。

<sup>\*1</sup> 技術研究所建築材料研究グループ <sup>\*2</sup> 技術研究所長

## 2. 適用作業所の概要および BB+FA コンクリート概要

### 2.1 適用作業所の概要

下記に、作業所概要を示す。

設計監理：株式会社浅沼組一級建築士事務所

施 工 者：株式会社浅沼組 大阪本店

工事場所：大阪府東大阪市

工事期間：2023 年 11 月 15 日～2025 年 1 月 15 日

主要用途：倉庫業を営む倉庫

建築面積：6,327.87 m<sup>2</sup>

延床面積：29,670.71 m<sup>2</sup>

構造規模：S 造・地上 5 階建て

### 2.2 BB+FA コンクリートの概要

国内で開発されている環境配慮型コンクリートには大きく分けて、①資源循環型、②低炭素型の 2 種類がある。①の資源循環型は、練混ぜ水や骨材などの再利用によるものが主となり、②の低炭素型は、セメントを他業種から排出される副産物に置換えるものと、コンクリート自体に CO<sub>2</sub> を多量に吸収させるものと大きく分けられる。

今回施工した BB+FA は低炭素型であり、使用するセメントを高炉セメント B 種にて設計し、さらにセメント使用量の内 20%をフライアッシュⅡ種に置換（内割り）して調査設計されている。

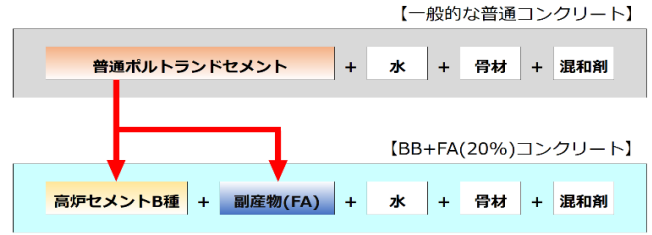
そのため、コンクリートの使用材料である普通ポルトランドセメントは、原材料を焼成する工程で多量の CO<sub>2</sub> が発生してしまうが、副産物に置き換えることで、材料としての CO<sub>2</sub> 発生量を普通ポルトランドセメント使用時の約 50%程度まで削減することが可能となっている。

大阪広域生コンクリート協同組合では、2024 年 12 月末現在で傘下の 68 工場において、BB+FA の標準化を終えており、JIS マーク表示品（Ⅰ類）として、指定建築材料が必要とされる主要構造部などへの打込みが可能となっている。

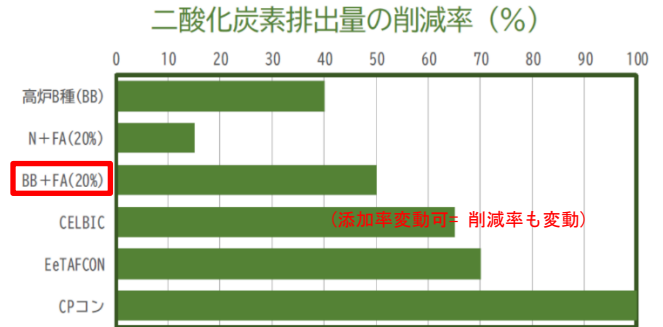
なお、スランプなどワーカビリティは普通ポルトランドセメントを用いた調査と同等であるとされているものの、強度発現性がやや穏やかになるため、工場が強度発現を保証するための材齢は 28 日ではなく 56 日とされていることおよび、湿潤養生期間や構造体強度補正值 mSn の設定期間の違いが生じることなどにも注意が必要である。

また、使用するセメントの種類が高炉セメント B 種となるため、適用部位は基本的に中性化の影響をあまり受けない基礎地中梁など地下躯体に限定している。

図－1 に環境配慮型コンクリートの脱炭素イメージを、



図－1 環境配慮型コンクリートの構成イメージ



図－2 環境配慮型コンクリートの CO2 削減率試算

表－1 標準配合表の比較（呼び 30-18-20 の場合）

【普通コンクリート標準配合表】（材齢28日）、N、SP

| 呼び<br>強度 | W/C<br>(%) | スランプ<br>(cm) | 細骨材量<br>s/a<br>(%) | 単位水量 | セメント | 細骨材 | 粗骨材 |
|----------|------------|--------------|--------------------|------|------|-----|-----|
|          |            |              |                    | W    | C    | S   | G   |
| 30       | 50         | 18           | 47.1               | 180  | 360  | 801 | 919 |

【BB+FA(20%)コンクリート標準配合表】（材齢56日）、置換率20%、BB、SP

| 呼び<br>強度 | W/B<br>(%) | スランプ<br>(cm) | 細骨材量<br>s/a<br>(%) | 単位水量 | セメント | フライアッシュⅡ<br>FaⅡ | 細骨材 | 粗骨材 |
|----------|------------|--------------|--------------------|------|------|-----------------|-----|-----|
|          |            |              |                    | W    | C    | S               | S   | G   |
| 30       | 44         | 18           | 44.2               | 175  | 318  | 80              | 724 | 942 |

図－2 に各種環境配慮型コンクリートの CO<sub>2</sub> 排出量抑制効果の試算結果を、表－1 に呼び 30-18-20 における標準配合を普通ポルトランドセメントおよび BB+FA とともに示す。

## 3. 試し練りの実施

### 3.1 室内での試し練り実施

販売店と協同組合の事前協議により、地中部分の構造体コンクリートに使用する BB+FA の出荷予定工場を、特段の事情が無い限りは 1 社に限定して出荷可能とする旨の回答が得られた。

しかし、出荷予定工場における BB+FA の実出荷実績が無かったため、JIS Ⅰ類であり本来ならば不要であるものの、性状や強度発現性の事前把握のために、あえて工事着手前に工事監理者立会いの下、室内での試し練りを行うこととした。

試験を実施した調査は、設計基準強度の範囲に構造体補正強度 mSn の最大値である 6N/mm<sup>2</sup>を加えた範囲の強

度および出荷予定であるスランプ値の組合せとした。下表に示す通り呼び 24 から 33 までの 4 水準で試験を実施することとなった。

写真－１に試し練り時の状況写真を、表－２に試し練り時の調合一覧を、表－３に試し練り時のフレッシュ試験結果一覧を示す。

### 3.2 試し練りフレッシュ試験結果

試し練り時のフレッシュ試験結果については、4 調査ともスランプおよびスランプフローの結果が良好で、空気量とともにとても安定しており、基礎地中梁に打込むコンクリートとしてのワーカビリティは十分に確保できていることが確認できた。

また、単位水量推定試験結果についてもすべてが±0～-5 (kg/m<sup>3</sup>) までの範囲に収まっており、骨材の表面水率も含めて安定した品質管理状況が伺える結果となった。



写真－１ 室内試し練り状況（立会いは監理者）

表-2 試し練り実施調合一覧

| 【BB+FA(20%)コンクリート試し練り配合表】（材齢56日）、置換率20%、BB、SP |              |            |            |                    |                                   |                                   |                             |                            |                            |                            |                            |                       |
|-----------------------------------------------|--------------|------------|------------|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------|
| 呼び<br>強度                                      | スランプ<br>(cm) | W/B<br>(%) | W/C<br>(%) | 細骨材量<br>s/a<br>(%) | 単位水量<br>W<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | セメント<br>C<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | FAⅡ<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | S1<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | S2<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | G1<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | G2<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | 高性能<br>AE減水剤<br>(B×%) |
|                                               |              |            |            |                    |                                   |                                   |                             |                            |                            |                            |                            |                       |
| 24                                            | 18           | 50         | 62.5       | 47.9               | 175                               | 280                               | 70                          | 412                        | 411                        | 414                        | 506                        | 0.3                   |
| 27                                            | 18           | 48         | 59.9       | 47.3               | 175                               | 292                               | 73                          | 404                        | 403                        | 415                        | 508                        | 0.3                   |
| 30                                            | 18           | 44         | 55.0       | 45.9               | 175                               | 318                               | 80                          | 384                        | 384                        | 419                        | 512                        | 0.325                 |
| 33                                            | 18           | 42         | 52.4       | 45.1               | 175                               | 334                               | 83                          | 374                        | 373                        | 420                        | 513                        | 0.35                  |

表-3 試し練りフレッシュ試験結果

| 【BB+FA(20%)コンクリート試し練り フレッシュ試験結果】（材齢56日）、置換率20%、BB、SP |              |            |                              |            |              |                    |            |              |                              |  |  |
|------------------------------------------------------|--------------|------------|------------------------------|------------|--------------|--------------------|------------|--------------|------------------------------|--|--|
| 呼び<br>強度                                             | 設計           |            |                              |            | 測定結果         |                    |            |              |                              |  |  |
|                                                      | スランプ<br>(cm) | W/B<br>(%) | 単位水量<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | W/B<br>(%) | スランプ<br>(cm) | スランプフロー<br>(cm×cm) | 空気量<br>(%) | con温度<br>(℃) | 単位水量<br>(kg/m <sup>3</sup> ) |  |  |
| 24                                                   | 18           | 50         | 175                          | 49.4       | 18.0         | 31.0 × 30.0        | 4.1        | 18.0         | 172.9                        |  |  |
| 27                                                   | 18           | 48         | 175                          | 47.8       | 18.0         | 30.0 × 29.5        | 4.3        | 18.0         | 174.3                        |  |  |
| 30                                                   | 18           | 44         | 175                          | 43.7       | 18.0         | 31.0 × 29.5        | 4.2        | 18.0         | 174.1                        |  |  |
| 33                                                   | 18           | 42         | 175                          | 41.4       | 18.0         | 31.0 × 29.5        | 4.1        | 18.0         | 172.5                        |  |  |

### 3.3 試し練り圧縮強度試験結果

表－４に圧縮強度試験結果を、表－５にそれぞれの材齢時点での呼び強度の強度値に対する強度発現比率を示す。

試し練り時に採取した供試体（φ100×H200）により、標準養生材齢 7 日、28 日、(42 日)、56 日でそれぞれ圧縮強度試験を行った。

なお、材齢 42 日での圧縮強度試験は、検討実施に当たり、材齢 56 日までの強度発現を待たための時間的余裕がなかったため、自主的に追加で試験を実施したものである。

7 日材齢での呼び強度の強度値に対する強度発現結果（比率）は、それぞれ 0.7 倍～0.9 倍と比較的低いものの、28 日材齢では 1.3 倍近い強度発現が確認できており、順調な強度発現の推移が伺える結果となった。

### 3.4 圧縮強度（56 日強度）の推定

上述の通り、28 日材齢時点での強度発現状況が良好で、工場が呼び強度の保証をする基準材齢である 56 日までの間にさらなる強度発現が見込めそうであったことから、基準材齢に達する前に 56 日材齢の圧縮強度を推定し、合理化検討が可能かを確認してみることにした。

強度発現推定は下記(1)式にて求められるゴーラル曲線を用い、28 日材齢圧縮強度試験結果から 56 日材齢の圧縮強度を推定した。

推定した結果を表－６に示す。表中には 42 日材齢および 56 日材齢の圧縮強度試験結果も併せて示す。実際の圧縮強度試験結果と比して悪くない精度で推定できていたことが確認できた。

表-4 標準養生圧縮強度試験結果

| 【BB+FA(20%)コンクリート試し練り 圧縮強度試験結果】（材齢56日）、置換率20%、BB、SP |              |            |     |                              |                                   |      |            |      |           |      |          |      |
|-----------------------------------------------------|--------------|------------|-----|------------------------------|-----------------------------------|------|------------|------|-----------|------|----------|------|
| 呼び<br>強度                                            | スランプ<br>(cm) | W/B<br>(%) | B/W | 単位水量<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | 標準養生供試体 圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> ) |      |            |      |           |      |          |      |
|                                                     |              |            |     |                              | 7日(11/31)                         |      | 28日(12/22) |      | 56日(1/19) |      | 42日(1/5) |      |
|                                                     |              |            |     |                              | 測定値                               | 平均値  | 測定値        | 平均値  | 測定値       | 平均値  | 測定値      | 平均値  |
| 24                                                  | 18           | 50         | 2.0 | 175                          | 18.6                              | 18.6 | 30.7       | 31.3 | 36.2      | 35.5 | 34.1     | 34.6 |
|                                                     |              |            |     |                              | 18.5                              |      | 31.3       |      | 35.3      |      | 34.3     |      |
|                                                     |              |            |     |                              | 18.8                              |      | 32.0       |      | 35.0      |      | 35.3     |      |
|                                                     |              |            |     |                              | 21.5                              | 21.3 | 34.1       | 34.7 | 39.3      | 39.8 | 39.2     | 38.2 |
| 27                                                  | 18           | 48         | 2.1 | 175                          | 20.6                              |      | 34.3       |      | 39.9      |      | 37.4     |      |
|                                                     |              |            |     |                              | 21.9                              |      | 35.8       |      | 40.1      |      | 38.1     |      |
|                                                     |              |            |     |                              | 27.4                              | 27.4 | 40.2       | 40.5 | 43.8      | 44.2 | 45.8     | 46.3 |
|                                                     |              |            |     |                              | 26.7                              |      | 41.1       |      | 44.1      |      | 46.6     |      |
| 30                                                  | 18           | 44         | 2.3 | 175                          | 28.0                              |      | 40.2       |      | 44.7      |      | 46.6     |      |
|                                                     |              |            |     |                              | 27.9                              | 28.7 | 46.2       | 45.9 | 48.5      | 48.1 | 49.0     | 49.3 |
|                                                     |              |            |     |                              | 28.9                              |      | 46.1       |      | 48.3      |      | 49.8     |      |
|                                                     |              |            |     |                              | 29.3                              |      | 45.5       |      | 47.6      |      | 49.1     |      |

表-5 圧縮強度試験結果と強度発現比率

|      | 7日                           |            | 28日                          |            | 42日                          |            | 56日                          |            |
|------|------------------------------|------------|------------------------------|------------|------------------------------|------------|------------------------------|------------|
|      | 圧縮強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 同比率<br>(%) | 圧縮強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 同比率<br>(%) | 圧縮強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 同比率<br>(%) | 圧縮強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 同比率<br>(%) |
| 呼び24 | 18.6                         | 77.5%      | 31.3                         | 130.4%     | 34.6                         | 144.2%     | 35.5                         | 147.9%     |
| 呼び27 | 21.3                         | 78.9%      | 34.7                         | 128.5%     | 38.2                         | 141.5%     | 39.8                         | 147.4%     |
| 呼び30 | 27.4                         | 91.3%      | 40.5                         | 135.0%     | 46.3                         | 154.3%     | 44.2                         | 147.3%     |
| 呼び33 | 28.7                         | 87.0%      | 45.9                         | 139.1%     | 49.3                         | 149.4%     | 48.1                         | 145.8%     |

$$f_c(t) = \{t/(a+bt)\}d(i)f_{ck} \quad (1)$$

ここに

$f_c(t)$  : 材齢  $t$  日におけるコンクリートの圧縮強度

$t$  : 材齢 (日) (ここでは 56 日)

$a$  : 定数 BB の場合 6.2

$b$  : 定数 BB の場合 0.93

$d(i)$  : 材齢 28 日に対する材齢 91 日の増加率  
BB の場合 1.15

$f_{ck}$  : 基準強度 (ここでは 28 日材齢圧縮強度)

### 3.5 発注時の安全性検討

推定した 56 日材齢の圧縮強度の値を用いて、強度発現分布の理論上の下限値を算出し、実施工時の強度発現性に対する余力を検討することとした。

なお、検討に用いる標準偏差は JASS 5 に規定される「2.5N/mm<sup>2</sup> もしくは、0.1F<sub>m</sub> の大きい方の値」とした。BB+FA における検討では、上記の JASS 5 に規定される標準偏差を用いたため、普通ポルトランドセメントを用いた調合の実績よりも標準偏差が大きく (検討するにあたって安全側) なっていたことが分かる。

また、検討した全ての調合において、強度分布の理論上の下限値 (不良率 4%) である平均値  $m - 1.73\sigma$  の値が品質基準強度に構造体補正強度値  $mSn$  を加えた値以上となることが確認できた。よって、建築基準法で定められる 91 日材齢での構造体コンクリートの圧縮強度は、設計基準強度を下回らないと確認されたことになる。

出荷予定工場の各調合における標準偏差は比較的小さく、安定した品質管理状況が伺える。表-6 に、出荷予定工場の普通ポルトランドセメントを用いた調合および BB+FA の各調合について、強度発現状況および理論上の強度発現分布の下限値を示す。

表-6 強度発現状況及び下限値の推定

| 工場名            | 呼び強度<br>- 混和剤 | データ数<br>n<br>(個) | 平均値<br>m<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 最低値<br>L<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 標準偏差<br>σ<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 変動係数<br>V<br>(%) | 不良率4%<br>m-1.73σ<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 不良率0.1%<br>m-3σ<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
|----------------|---------------|------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|
| A工場<br>(N)     | 21-AE         | 30               | 31.0                             | 27.8                             | 2.10                              | 6.77             | 27.4                                     | 24.7                                    |
|                | 24-SP         | 30               | 34.4                             | 30.6                             | 2.27                              | 6.60             | 30.5                                     | 27.6                                    |
|                | 27-SP         | 30               | 38.3                             | 34.0                             | 2.25                              | 5.88             | 34.4                                     | 31.5                                    |
|                | 30-SP         | 30               | 41.6                             | 37.0                             | 2.27                              | 5.46             | 37.6                                     | 34.8                                    |
|                | 33-SP         | 30               | 44.3                             | 39.2                             | 2.34                              | 5.28             | 40.3                                     | 37.3                                    |
| A工場<br>(BB+FA) | 24-SP         | 1                | 34.6                             | —                                | 2.50                              | 7.23             | 30.3                                     | 27.1                                    |
|                | 27-SP         | 1                | 38.3                             | —                                | 2.70                              | 7.05             | 33.6                                     | 30.2                                    |
|                | 30-SP         | 1                | 44.8                             | —                                | 3.00                              | 6.70             | 39.6                                     | 35.8                                    |
|                | 33-SP         | 1                | 50.7                             | —                                | 3.30                              | 6.51             | 45.0                                     | 40.8                                    |

↑ 材齢 28 日試験結果  
からの推定値

## 4. 試験結果

作業所における BB+FA の打込みは完了しており、大きな問題は発生していない。

### 4.1 フレッシュコンクリートの試験結果

作業所における全工期を通じての BB+FA コンクリートの受入試験でのフレッシュコンクリートの試験結果の統計値まとめた結果を、表-7 に示す。また、スランプおよび空気量の変動について、基準値および上限値/下限値を加えて、図-3 および図-4 に、スランプフロー  $x \cdot y$  平均値の変動を図-5 に示す。

1 台目でスランプおよびスランプフローがやや大きい値となった日は有ったものの、全て判定基準値以内であり、1 日を通して観察したところワーカビリティは比較的安定しており、問題なく打込みができていた。

表-3 フレッシュ試験結果の統計値まとめ

|             | スランプ<br>(cm) | フロー<br>平均<br>(cm) | 空気量<br>(%) | コン温度<br>- 外気温<br>(℃) | 単位水量<br>(kg/m <sup>3</sup> ) |
|-------------|--------------|-------------------|------------|----------------------|------------------------------|
| 平均値         | 18.47        | 31.08             | 4.89       | 2.48                 | 167.1                        |
| 最大値         | 20.5         | 38.0              | 5.9        | 6.0                  | 170.8                        |
| 最小値         | 16.5         | 27.0              | 3.4        | -2.0                 | 165.0                        |
| 標準偏差        | 0.97         | 2.26              | 0.54       | 1.70                 | 1.64                         |
| 変動係数<br>(%) | 5.25         | 7.27              | 11.04      | 68.60                | 0.98                         |

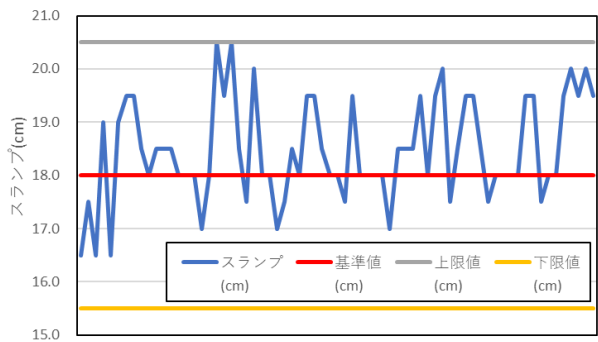


図-3 スランプ試験結果の変動

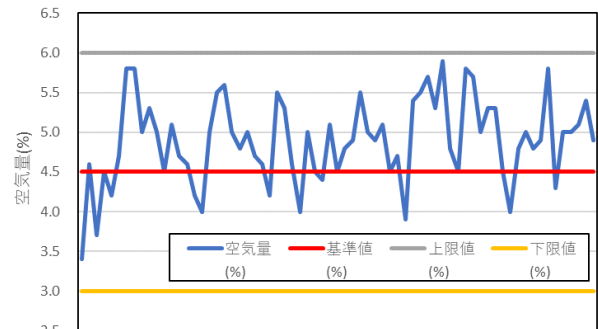


図-4 空気量試験結果の変動

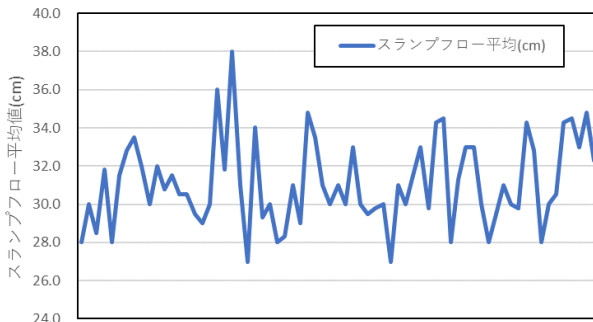


図-5 スランプフロー試験結果の変動

工期全体を通じてのスランプの平均値は 18.47cm で、その標準偏差は 0.97cm、変動係数は 0.05 (=5.25%) であった。やや変動は見られるものの、打込みに支障を生じるような急激な変動は無く、許容できる範囲であった。

フロー値についても測定しており、その x・y の平均値について全試験結果の平均値を算出すると、31.08cm であった。その最大値は 38.0cm、変動係数は 0.07 (=7.27%) であった。この結果については、打込みに支障はなかったものの、施工者としてはより安定した結果を望みたいと感じた。

空気量について、平均値が 4.89%、標準偏差が 0.54%、変動係数は 0.11 (=11.04%) という結果であった。この結果についても打込みに支障はないものの、もう少し安定性の確保を望みたいところであったと感じた。

単位水量について、平均値が 167.1kg/m<sup>3</sup>、標準偏差が 1.64kg/m<sup>3</sup>、変動係数は 0.01 (=0.98%) という結果であった。全て荷卸し場所で高周波加熱乾燥法によって測定した結果であるが、設計単位水量である W=175kg/m<sup>3</sup> をやや下回るとも安定した結果が確認できた。工場の品質管理が良かったものと推察できる

以上の結果から、単位水量の管理は良好であったものの、細かい気候の変動などに対して化学混和剤の使用量について微調整をするためのバックデータの蓄積が浅く、調整が足りなかったことが推察できる。この状況は、今後さらに出荷を重ねてバックデータが増えるに従い解消されるものと考えている。

#### 4.2 構造体コンクリートの圧縮強度試験結果

フレッシュ試験結果と同様に、工期を通じての構造体

コンクリートの圧縮強度試験結果について、統計値を表—8に示す。

表中の圧縮強度試験の結果は、全て大阪府内の JNLA 登録を受けている代行試験業者により実施されたもので、材齢 4 週および 8 週の標準養生供試体による結果である。

結果は、材齢 4 週で全て呼び強度の強度値を大きく上回る結果を出しており、4 週経過後も材齢 8 週まで順調に強度増進が見られていた。これはフライアッシュの特性により長期強度の増進が見られたことによると推察される。

圧縮強度が不足する心配は無いものの、やや過大な強度発現結果であり、標準配合による水セメント比の目標値が当該工場についてはやや安全側であったものと推察される。今後、組合傘下の各工場の実出荷実績が増えるにつれて、調整が入る可能性も考えられるが、購入者としての建設会社の立場から、現状を伝えて改善を促したい。

なお当該工場における、過去の普通ポルトランドセメントによる同強度での出荷実績データと比較すると、標準偏差が 1.12N/mm<sup>2</sup>、変動係数で 1.39%大きく、ややばらつきが大きくなってしまったことが確認された。

#### 5. CO<sub>2</sub>削減量

当該作業所において、基礎地中梁コンクリートとして、3,000m<sup>3</sup>を超える BB+FA コンクリートの打込みを行った。

設計変更が無かった場合の、普通ポルトランドを使用した同じ呼び強度および同じスランプでの標準配合で施工を進めた場合と比較した、材料としての CO<sub>2</sub> 排出量および比率を表—9に示す。

表-8 4 週および 8 週圧縮強度試験結果の統計値

|       | 最大値<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 最小値<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 平均<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 標準偏差<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 変動係数<br>(%) |
|-------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------|
| 28日強度 | 47.9                        | 35.9                        | 40.66                      | 2.76                         | 6.79        |
| 呼び強度比 | 1.8倍                        | 1.3倍                        | 1.5倍                       | —                            | —           |
| 56日強度 | 54.1                        | 40.9                        | 46.35                      | 3.37                         | 7.27        |
| 呼び強度比 | 2.0倍                        | 1.5倍                        | 1.7倍                       | —                            | —           |

表-9 CO<sub>2</sub>削減量算定結果

|                        | Nセメント    |   | BB+FA    |
|------------------------|----------|---|----------|
| CO <sub>2</sub> 排出量(t) | 859.2(t) | → | 441.4(t) |
| 比率                     | 100%     |   | 51.4%    |

CO<sub>2</sub>排出量を試算したインベントリデータ<sup>2)</sup>は、普通ポルトランドセメントでは788.6(kg-CO<sub>2</sub>/t)、高炉セメントB種では458.1(kg-CO<sub>2</sub>/t)、フライアッシュでは19.6(kg-CO<sub>2</sub>/t)として試算した。また、結合材以外の使用材料のCO<sub>2</sub>排出量は小さく、今回は結合材のみのCO<sub>2</sub>排出量で比較を行った。総量としては、普通ポルトランドセメントを使用した場合の859.2tに対して、BB+FAの場合では441.4tと算定された。その削減量は417.8t、削減率として48.6%であることが確認できた。

## 6. まとめ

建築の作業所において、基礎部分の構造体コンクリートに大規模に採用できた初の事例として、計画段階から施工まで確認してきた。

得られた知見を以下に記す。

- (1). 組合傘下各工場において、実出荷の事例が多くないため、フレッシュ性状の変動がやや大きい日があった。単位水量の管理が出来ていても、気候の変動など外的要因に対して化学混和剤添加量の微調整が甘かったため、今後実績データの積み上げおよび管理精度の向上が必要である。
- (2). 水セメント比は、組合で標準とする目標値が定められており、工場によっては目標とする呼び強度に対して安全率が大きい結果になり得る。
- (3). 荷卸し地点および筒先で性状を確認していて、打込みに支障をきたすような性状の変化は見られなかった。
- (4). フレッシュ性状、ワーカビリティ、圧縮強度に問題が無く、環境負荷低減に資する指定建築材料として、今後適用可能な作業所を更に増やすよう検討していきたい。
- (5). 呼び27の調合を主に使用したが、普通ポルトランドセメントを使用した調合の場合と比較して、CO<sub>2</sub>削減量は417.8t、その削減率は48.6%となることが確認できた。
- (6). 現在、工組リサイクルWGと共同で、長期的な性能変化の確認や、副産物置換率の向上などの実験を続けており、今後も更なる環境負荷の低減につなげたい。

## 【参考文献】

- 1) (一社)日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事(2022), 2022.11
- 2) セメント協会：セメントのLCIデータの概要2023



写真-2 受入れ試験状況



写真-3 受入れ試験状況-2



写真-4 基礎地中梁打込み状況