

6. 環境配慮型コンクリート「BB+FA コンクリート」の概要と実施工への適用

Outline of Environment-Friendly Concrete "BB+FA Concrete" and Application to Construction Site

山崎 順二*¹ 新田 稔*¹
荒木 朗*¹ 宇井 衛*¹

要 旨

地球温暖化対策として 2050 年のカーボンニュートラルの達成、2030 年での scope1,2 に対する自社の環境目標の達成に向け、建設材料面からの対応として、低炭素性および資源循環性が高い環境配慮型コンクリートの実験および早期の実装に向けた取組みを実施してきた。本報では、脱炭素化に寄与する技術として、ポルトランドセメント生産時に発生する二酸化炭素の発生量を削減することを考慮し、高炉セメント B 種にフライアッシュ II 種を混合した低炭素性と資源循環性をあわせもつ環境配慮型コンクリート「BB+FA コンクリート」の概要と、BB+FA コンクリートを土木工事における地下構造体に適用した事例について述べる。

キーワード：脱炭素化／高炉セメント B 種／フライアッシュ／環境配慮型コンクリート／JIS マーク品

1. はじめに

地球温暖化対策としての 2050 年のカーボンニュートラルの達成に向け、2030 年時点での scope1,2 に対する自社の環境目標の達成を目指し、当社では、建設材料面からの対応として、低炭素性および資源循環性の高い環境配慮型コンクリートの実験および早期の実装に向けた取組みを実施している。具体的には、大阪兵庫地区の生コン工場と連携し、生コン工場の現有設備で JIS マーク品として標準化することができる環境配慮型コンクリートをコンセプトとした「BB+FA コンクリート」に関する実験を、2020 年頃から実施してきている¹⁾。

2022 年 11 月に改訂された日本建築学会建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事 2022²⁾において、新たに「環境性」(2.7 節)が示されるなど、今後の建築工事においては、環境に配慮したコンクリート材料を用いた施工がこれまで以上に指向されるようになり、設計者や発注者からもそれを要求されるようになることが想定される。例えば万博会場に使用される木材を万博開期終了後にリユースする計画などに示されるように、資源循環性や低炭素性に配慮した材料を使用することが有意となりかつ SDGs の視点からも重要となる。

そこで本報では、脱炭素化に寄与する技術として、ポルトランドセメント生産時に発生する二酸化炭素の発生量を削減することを考慮し、高炉セメント B 種にフライアッシュ II 種をセメントと内割混合した、低炭素性と資源循環性の両方を併せ持つ環境配慮型コンクリート「BB+FA コンクリート」の概要と、土木工事における地下構造体への適用事例について述べる。

2. 環境配慮型コンクリートへの取組み

2.1 取組みの背景

2011 年頃から、大阪広域生コンクリート協同組合では、普通ポルトランドセメントにフライアッシュ II 種を質量比で 10%および 20%内割置換した N+FA コンクリート(強度管理材齢 28 日および 56 日)を、同組合傘下の約 40 工場において標準化(JIS マーク品)した実績がある。

本報に示す BB+FA コンクリートは、サプライヤーであるレディーミクストコンクリート工場から施工者に提案できる JIS マーク品としての環境配慮型コンクリートである。大阪兵庫生コンクリート工業組合と当社との技術連携により各種の実験を推進しており、2023 年度には同組合の約 70 工場が BB+FA コンクリートを JIS マーク品として標準化する計画のようである。標準化されれば、BB+FA コンクリートは、建築基準法 37 条第一号に適合する指定建築材料として扱うことができ、施工者は、打込み部位や養生方法に配慮しつつ普通コンクリートとほぼ同様に使用することが可能となる。

2.2 BB+FA コンクリートの概要

他産業の副産物をコンクリート用の混和材料として利用した環境配慮型コンクリートによる脱炭素のイメージを図-1 に示す。BB+FA コンクリートとは、高炉セメント B 種にフライアッシュ II 種をセメントと内割置換したコンクリートを総称したものである。図-2 には、大阪広域生コンクリート協同組合の標準配合のうち、高炉セメント B 種を使用した呼び強度 33、スランプ 21cm の建築用のコンクリートに、フライアッシュ II 種をセメント内

*¹ 技術研究所 建築材料研究グループ



図-1 他産業の副産物を利用した環境配慮型コンクリートによる脱炭素のイメージ

割置換により混合した環境配慮型コンクリートの二酸化炭素排出量の抑制効果を試算した結果を示す。インベントリデータは文献³⁾に基づき試算 (N : 772kg-CO₂/t, BB : 437kg-CO₂/t, FA : 29.0kg-CO₂/t) している。図には、普通ポルトランドセメント (N) を使用したコンクリートに対して、N にフライアッシュ II 種 (FA) を 20% 内割置換した N+FA20, 高炉セメント B 種 (BB) に FA を 20% 内割置換した BB+FA20, FA を 30% および 40% 内割置換した場合を想定した BB+FA30 および BB+FA40 についても、二酸化炭素 (CO₂) 排出量の削減率を併せて示した。

現時点では、BB+FA40 については養生期間に対する強度発現性や中性化抵抗性や凍結融解抵抗性など耐久性に関する懸念点もあり、供用条件によっては現実的ではないかもしれないが、CO₂ 排出量の抑制効果が 60% を超える JIS マーク品としての環境配慮型コンクリートであり、今後の検討と技術的対応により、適材適所への供用が期待される。

図-3 に、BB+FA20 の水結合材比と強度発現の関係を示す。図中には、既に JIS マーク品として標準化されている N+FA の材齢 28 日および 56 日における水結合材比-圧縮強度式をそれぞれ示している。一連の実機実験の結果は、文献¹⁾ に詳細が述べられているので参照されたい。

BB+FA20 の強度発現性は、同一材齢における N+FA20

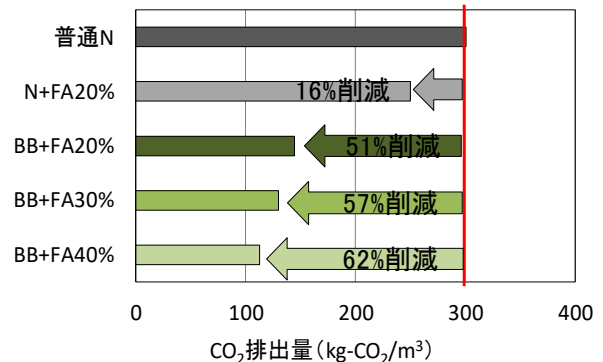


図-2 FA II 種による CO₂ 排出量抑制効果の試算

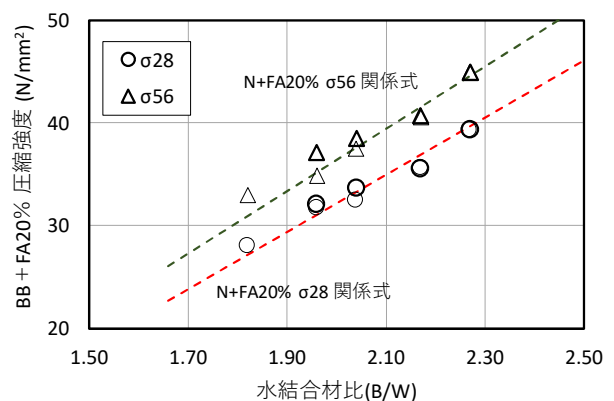
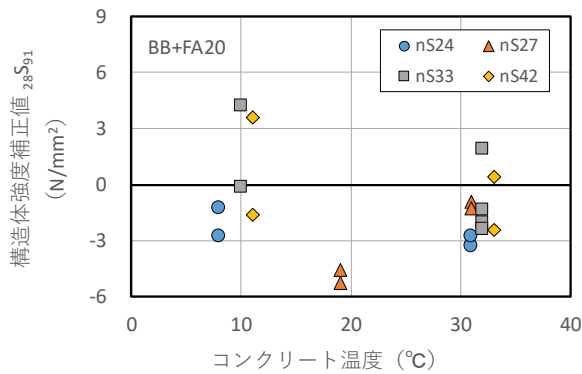
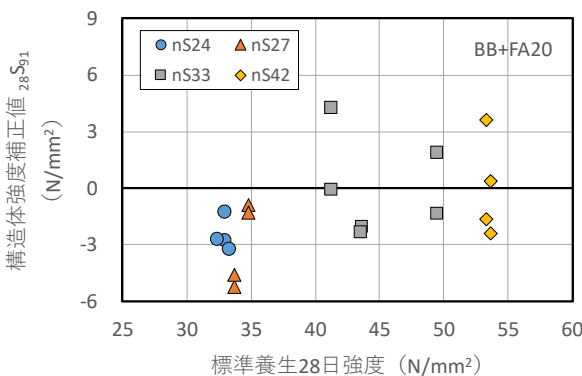


図-3 BB+FA20 の水結合材比と強度発現性



図－４ 28S91 とコンクリート温度の関係



図－５ 28S91 と標準養生 28 日強度の関係

の水結合材比－強度の関係式と良く一致した結果が得られていることが認められる。これは、使用部位や仕上材に配慮して監理者の承認を得ることで、施工者は、CO₂排出量を約 50%削減した BB+FA コンクリートを、JIS マーク品のコンクリートの発注と同様の手法で使用できることを示唆している。なお、生コン工場が標準化するまでは JIS 適合品となり、公共建築工事標準仕様書（建築工事編）による種別がⅡ類となるコンクリートとなる。

BB+FA20 の構造体強度補正值 28S91 とコンクリート温度の関係を図－４に、28S91 と標準養生 28 日強度との関係を図－５にそれぞれ示す。構造体強度補正值 28S91 は、コンクリートの打込みから材料 28 日までの予想平均気温により定まる値であるが、図に示した実機実験における温度範囲および圧縮強度の範囲内では、全ての 28S91 値が JASS 5²⁾ に標準値として示されている 6N/mm² 以下となっている。JASS 5²⁾ の値を参考にして 28S91 値を設定することで、発注する呼び強度が設定でき、材齢 91 日において所要のコンクリート強度が得られることになる。BB+FA コンクリートは、環境配慮型の施工に大いに貢献できる JIS マーク品としての低炭素性の環境配慮型コンクリートであり、環境配慮材料としての CO₂ 排出量の明示などと共に、施工者としても今後の有効活用が期待できる。

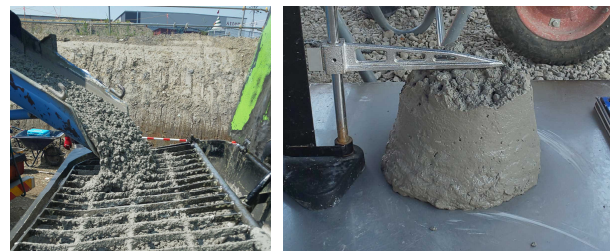
3. BB+FA コンクリートの実施工

当社では、環境配慮に資する持続可能な技術的取組みの一つとして、SDGs を事業理念として掲げている事業主の承認を得て、生コン工場および大阪広域生コンクリート協同組合と協働し、BB+FA コンクリートを、大阪府下の土木工事作業所において実施工に供した。

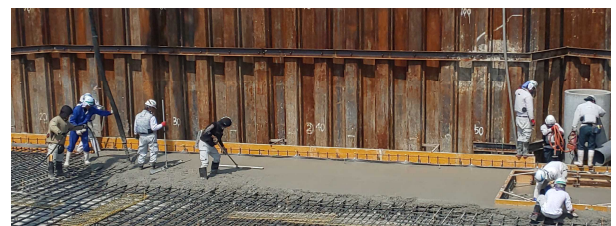
実施工に供した BB+FA コンクリートは、高炉セメント B 種にフライアッシュⅡ種をセメント質量の 20% の割合で内割置換したことにより、普通ポルトランドセメントのみを使用したコンクリートと比較してセメント由来の CO₂ 排出量が約 50%削減できるコンクリートである。JIS に適合した製品であり、生コン工場の現有設備と保有材料で容易に製造できるものである。

実施工前に、これまでの実験結果に基づく配合を提案し、室内試し練りおよび実機試験練りによる品質確認を行った。打込み時期は 2022 年 6 月初旬であった。

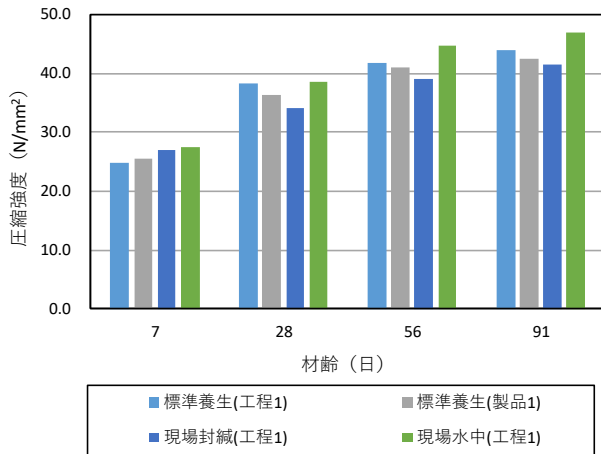
実施工に供した BB+FA コンクリートの配合は、設計基準強度 24N/mm² に対して水結合材比 W/B を 49% に設定（呼び強度 27 相当）し、設計スランブを 12cm とした。打込み量は 125m³ であった。運搬時間約 35 分後の荷卸し地点でのスランブは 13cm～14cm、空気量は 3.7%～4.2%、コンクリート温度は 27℃～29℃の範囲であり、良好なフレッシュ性状が確保されていた。受入れ後にポンプで圧送したが、フレッシュコンクリートのまとまりが良く、圧送性も良好であり、適度なワーカビリティを有するコンクリートであることが、ポンプ筒先においても確認できた。写真－１に BB+FA コンクリートの荷卸し時のフレッシュコンクリートの状況を、写真－２に施工状況を示す。



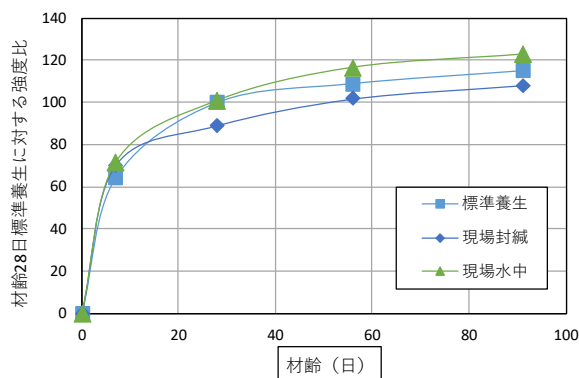
写真－１ BB+FA コンの排出状況とスランブ試験



写真－２ BB+FA コンの圧送による打込み状況



図－6 実施工における BB+FA コンの強度発現性



図－7 材齢 28 日標準養生強度に対する強度比

図－6 に実施工時の BB+FA コンクリートの各養生方法における圧縮強度の発現性を示す。凡例に示す(工程 1)とは、コンクリートの出荷前の工程検査において作製した供試体を、(製品 1)は、生コン工場から荷卸し地点にコンクリートを運搬して採取した供試体を示している。

圧縮強度の発現性は、材齢 7 日において設計基準強度の 90%程度に達し、材齢 28 日までは、現場封かん養生供試体においても設計基準強度を十分に超えていることが分かる。図－7 に、材齢 28 日標準養生強度に対する各養生方法による強度比を材齢ごとに示す。外気温が 25℃を超えている期間であり現場水中養生強度が最も高くなっているが、材齢 56 日以降の強度発現性は高炉スラグ微粉末の潜在水硬性とフライアッシュのポゾラン反応の効果もあり、標準養生に対して材齢 91 日で 108%~123%の強度増進が得られていることを確認した。

4. まとめ

低炭素性と資源循環性の両方をあわせもつ BB+FA コンクリートを開発し、土木工事における地中構造体に適用した。フライアッシュの効果もあり低スランプのコンクリートでもワーカビリティや圧送性が良く、また初期強度発現の遅れなどの問題もなく、スムーズに施工することができた。

BB+FA コンクリートは現時点でも JIS 適合品であることから、大阪兵庫地区での標準化ののち、建築工事においてさらに利用しやすい環境配慮型コンクリートとなり、脱炭素化を指向した当社の環境配慮型施工に大いに貢献できる材料である。今後の有効活用が期待される。

5. おわりに

2024 年に JIS A 5308 が改正され、セメントを含む粉体系材料の累加計量が許容される。この改正により、これまで計量器を複数保有しないために対応できなかった生コン工場においても、既存の設備のままで、複数の粉体を使用した各種の環境配慮型コンクリートの製造が可能となる。

今後の需要増が見込まれる環境配慮型コンクリートについて、BB+FA コンクリートは、生コン工場が品質管理体制を整えて標準化すれば、JIS マーク品として出荷することができる。サプライヤーである生コン工場が JIS 製品として整備することで、施工者は環境配慮型材料としてそれらを採用しやすくなる。SDGs に資するコンクリート材料として今後の標準化と利用促進が望まれる。

[謝辞]

BB+FA コンクリートの開発に関する一連の実験と実施工に関する実機試験については、大阪兵庫生コンクリート工業組合技術委員会リサイクル WG の皆様のご支援と協力を得ました。ここに記して感謝の意を表します。

[参考文献]

- 1) 新田稔・山崎順二：高炉セメントにフライアッシュを混合した環境配慮型コンクリートの開発，浅沼組技術研究報告 No.34，2022
- 2) 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，2022.11
- 3) 日本建築学会：高炉セメントまたは高炉スラグ微粉末を用いた鉄筋コンクリート造建築物の設計・施工指針〈案〉・同解説，p.164-165，2017.9