

高炉スラグ微粉末を用いた環境配慮型コンクリート ゼネコン 13 社による CELBIC の共同開発

河野 政典・金子 樹・高橋 祐一・古川 雄太

広く普及展開が図りやすく、CO₂の排出量を抑制しつつも、コンクリート構造物に求められる品質を確保したコンクリートを開発コンセプトとし、一般流通する高炉スラグ微粉末を広範囲の使用率で使い分ける環境配慮型コンクリートをゼネコン 13 社の共同で開発することとした。開発にあたり、高炉スラグ微粉末の使用率等が品質におよぼす影響を把握する室内実験、およびフレッシュコンクリート性状の時間変化や構造体強度の特性を確認する実機実験を実施し、その結果に基づき、結合材の質量に対する高炉スラグ微粉末の使用率が 10～70% の範囲における環境配慮型コンクリート～CELBIC～の調合設計・施工マニュアルを整備し、第三者評価機関による技術性能証明を取得した。本稿では、この取組みで実施した室内実験、および実機実験の結果を示すことで、開発したコンクリートの特徴を紹介する。

キーワード：環境配慮型コンクリート、高炉スラグ微粉末、使用率、調合設計、CO₂削減率

1. はじめに

近年、環境負荷低減の観点から、コンクリート業界では、セメントの一部を銑鉄の製造工程で生成される高炉スラグ微粉末（以下、BF）に置き換えて CO₂ の排出量を抑えるコンクリートが着目されている¹⁾。

BF をセメント工場で混合した高炉セメントは、JIS R 5211（高炉セメント）において、結合材の質量に占める BF の割合（以下、BF 使用率）により A～C 種が規定され、それぞれコンクリート性状が異なることが知られている。このうち、高炉セメント B 種として一般流通する、BF 使用率が 40～45% のものについては、多くの生コン工場において調合が標準化され、JIS A 5308（レディーミクストコンクリート）への適合性が評価機関で認証された、いわゆる JIS マーク品のコンクリートとして取り扱われている。しかしながら、中性化の進行が速いとされることから、建築では地下構造物への使用に留まっているのが実情である。

高炉セメント A 種や C 種、および BF 使用率が 40～45% 以外の B 種については、流通が極めて少ない。そのため、コンクリートに求められる品質に応じた使用率で BF を使用するには、BF を生コン工場で混入する方法が現実的となる。そこで、普及展開を想定し、一般流通する BF を生コン工場で混入する方法で製造する環境配慮型コンクリートの開発に着手することと

した。このコンクリートを実用化し、現場適用を行うためには、使用する部材条件に応じたコンクリートの調合設計、施工方法のマニュアル整備が必要であり、加えて、実建物の構造部材へ適用するためには、監理者から承認を得る必要がある。

BF を生コン工場で混入する方法でコンクリートを製造、出荷した実績のある工場は少ないため、JIS マーク品として取り扱われているコンクリートも少ない。建築工事においては、JIS マーク品でない場合、監理者から承認が得られないことも多く、実現場への適用が容易ではない。このような場合において、監理者から承認を得る手段としては、第三者評価機関による技術性能証明の取得が有効となる。

以上から、本開発では、環境配慮型コンクリートの調合設計、施工方法のマニュアル整備、および技術性能証明の取得を目指し、BF 使用率や BF 種類の違いがコンクリートの諸性状におよぼす影響を把握するための室内実験、および現場適用を想定したフレッシュコンクリート性状の時間変化や、構造躯体に打ち込まれたコンクリートの強度特性を確認するための実機実験を行った。

この取組みにより開発したコンクリートを CELBIC（セルビック、Consideration for Environmental Load using Blast furnace slag In Concrete）と称し、取組みについては、広く普及展開が図れるよう、表 1 に示す筆者らを含むゼネコン 13 社で構成した CELBIC

表一 1 CELBIC 研究会の構成会社

青木あすなろ建設	浅沼組	安藤ハザマ
○奥村組	熊谷組	鴻池組
○五洋建設	銭高組	鉄建建設
○東急建設	東洋建設	矢作建設工業
◎長谷工コーポレーション		(◎:主査 ○:幹事)

表一 2 環境配慮型コンクリート「CELBIC」の概要

BF 使用率とクラス分け	A 種クラス：10%以上, 30%以下 B 種クラス：30%超, 60%以下 C 種クラス：60%超, 70%以下
適用部位・部材	A・B 種クラス：地下および地上構造物 C 種クラス：地下構造物または直接外気と接しない部位・部材, かつ, 厚さが 200 mm 以上
使用する BF の種類	高炉スラグ微粉末 4000 (JIS A 6206 適合品, せっこう添加あり)
設計基準強度	18 ~ 36 N/mm ²
計画共用期間の級*	短期, 標準, 長期

*計画共用期間の級に対する期間
：短期はおよそ 30 年, 標準はおよそ 65 年, 長期はおよそ 100 年

研究会で実施した。環境配慮型コンクリート「CELBIC」の概要を表一 2 に示す。BF 使用率 10 ~ 70% の範囲とし, CO₂ の排出量を抑制しつつも, コンクリート構造物に求められる品質を確保したコンクリートの開発を進めた。本稿では, この取組みで実施した室内実験, および実機実験の結果を示すことで, 開発したコンクリートの特徴を紹介する。

2. 室内実験

(1) 室内実験の概要

室内実験では, BF 使用率や BF 種類, 化学混和剤種類などの違いがコンクリートの諸性状におよぼす影響を確認するため, 表一 3 に示す要因と水準で, 表一 4 に示すフレッシュコンクリート, 強度および耐久性試験を行った。

(2) 使用材料および調合

コンクリートの水結合材比 (以下, W/B) は, 表一 2 に示す設計基準強度の範囲を網羅するよう, BF 使用率 45% までは W/B 45 ~ 65%, BF 使用率 60 ~ 70% は W/B 35 ~ 55% とした。BF 種類は一般流通する 3 メーカーで, いずれも JIS A 6206 (コンクリート用高炉スラグ微粉末) の高炉スラグ微粉末 4000 に適合するもので, 比表面積は 4290 ~ 4390 cm²/g であった。目標スランブは, W/B が 55, 65% では 18 cm と

表一 3 室内実験の要因と水準

要因	水準
BF 使用率	0%, A 種クラス:10%, 20%, 30% B 種クラス:45%, 60%, C 種クラス:70% [記号:BF00 ~ BF70]
水結合材比 (W/B)	45%, 55%, 65% (BF 使用率 0~45%) 35%, 45%, 55% (BF 使用率 60~70%)
BF 種類	a, b, c (3 メーカー)
BF 三酸化硫黄 (SO ₃) 量	約 2%, 4% (無水せっこうの添加により調整)
化学混和剤種類	イ, ロ, ハ (3 メーカー)
環境温度	20°C, 10°C, 5°C

注) 実験では, ____ の水準を基本とした。

表一 4 試験項目

試験項目	方法	
フ	スランブ	JIS A 1101
レ	空気量	JIS A 1128
ッ	ブリーディング	JCI-S-015 φ 150 × 300 mm 容器
シ	凝結時間	JIS A 1147 環境温度 20, 10, 5°C
ユ	断熱温度上昇	φ400×400 mm 鋼製型枠, BF70, W/B45%
強	圧縮強度	JIS A 1108 標準養生供試体
度	静弾性係数	JIS A 1149 材齢 28, 91 日
耐	長さ変化	JIS A 1129 (乾燥収縮試験) W/B45, 55%
久	中性化抵抗性	JIS A 1153 (促進中性化試験)
性	耐凍害性	JIS A 1148 (凍結融解試験) W/B45%

して化学混和剤には AE 減水剤を使用し, W/B が 35, 45% では 21 cm とし, BF 使用率に応じて高性能 AE 減水剤を使用した。なお, 化学混和剤は 3 メーカーとした。

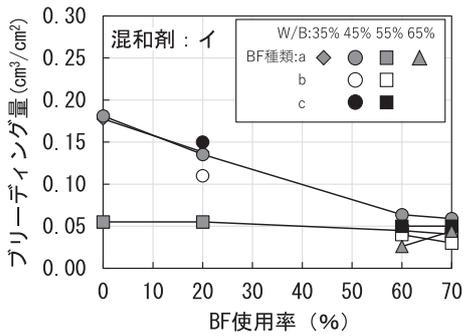
骨材は JIS A 6204 (コンクリート用化学混和剤) のコンクリート試験に用いる品質に適合するもので, 細骨材には砂 (山砂または陸砂), 粗骨材には硬質砂岩碎石を, セメントには普通ポルトランドセメントを使用した。

コンクリートの調合は表一 3 の要因と水準の組合せで, 全 40 調合とし, 単位水量は各調合で標準的な単位量を採用した。なお, 目標空気量はいずれも 4.5% とした。

(3) フレッシュコンクリート試験結果

フレッシュコンクリートの状態は, いずれも目標のスランブ, 空気量を満足し, 良好であった。

図一 1 に, BF 使用率とブリーディング量の関係を示す。ブリーディング量は, BF 使用率の増加に伴い減少した。また, BF メーカーによるブリーディング量の違いは小さく, いずれの条件でも 0.3 cm³/cm² 以下

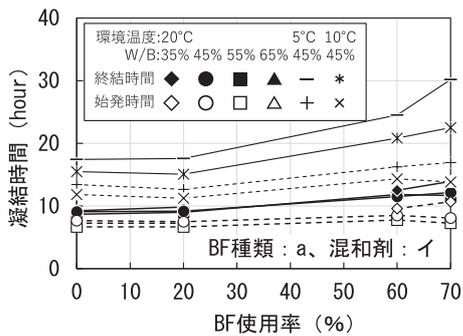


図一1 BF使用率とブリーディング量

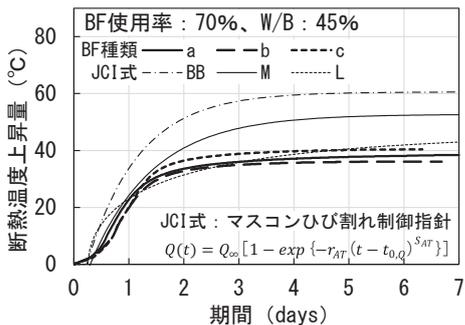
であることから、BFの使用によるブリーディングへの特段の配慮は不要と判断できる。

図一2に、BF使用率と凝結時間の関係を示す。20℃における凝結の始発時間は、W/B35%を除き、BF使用率やW/Bによる違いは小さいが、終結時間は、BF使用率60%（以下、BF60）およびBF70では、BF00やBF20よりも約3時間遅延した。また、環境温度による影響はさらに大きく、BF00やBF20でも20℃より遅延するものの、BF60およびBF70ではBF20に比べ、10℃では始発で約3時間、終結で6～7時間、5℃では始発で約4時間、終結で7～13時間の遅延となった。なお、環境温度にかかわらずSO₃量2%と4%の違いは見られなかった。

図一3に、各BFを用いたコンクリートの断熱温度上昇の試験結果を示す。各BFメーカーによる断熱温度上昇量は同程度だった。また、図中に併記した日本コ



図一2 BF使用率と凝結時間



図一3 断熱温度上昇量

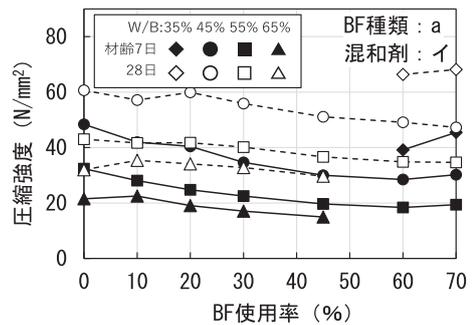
ンクリート工学会「マスコンクリートのひび割れ制御指針 2016」の予測式（JCI式）との関係では、低熱ポルトランドセメント（L）の予測値と3.5日以降の温度上昇量が近い傾向を示すものの、初期の温度勾配はLより大きく、そのため材齢1～3.5日程度の期間では温度上昇量が大きい。中庸熱ポルトランドセメント（M）の予測値を用いることで、安全側の評価となる。

(4) 強度試験結果

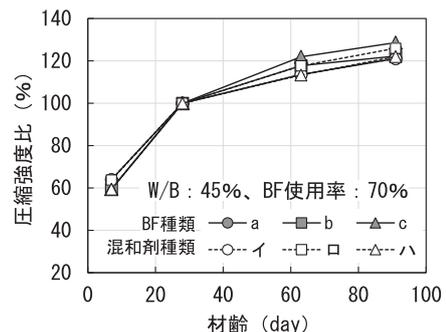
図一4に、BF使用率と材齢7日、28日の圧縮強度の関係を示す。圧縮強度は、材齢7日においてBF使用率が増加するほど低下したが、BF70の圧縮強度はBF60よりも大きかった。材齢28日では、BF使用率0～30%まで同程度の圧縮強度を有しているが、30～70%では使用率の増加に伴い緩やかに低下した。

BFおよび混和剤メーカーの違いによる強度発現傾向については、材齢28日の圧縮強度を基準とした圧縮強度比との関係から検討した。BF使用量の多い調査としてW/B45%、BF70における圧縮強度比を図一5に示す。各メーカーの違いによる強度の差は小さく、いずれも同様な強度発現性を示した。なお、SO₃量の違いによる強度については、SO₃量4%では材齢7日の初期強度は大きい、長期材齢での強度増進が低下した。

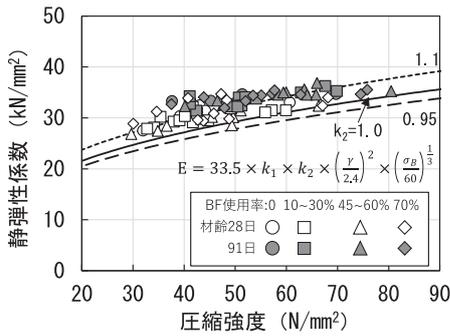
図一6に、圧縮強度と静弾性係数の関係を、日本建築学会「建築工事標準仕様書・同解説 鉄筋コンク



図一4 BF使用率と圧縮強度



図一5 材齢28日を基準とした圧縮強度比



図一6 圧縮強度と静弾性係数

リート工事 JASS5」(以下, JASS5) に示されている推定式と併せて示す。静弾性係数は, 圧縮強度の増加に伴い推定式に沿い, 大きくなる傾向を示した。推定式の混和材の種類による係数 k_2 は, BF を用いる場合, 0.95 と示されているが, 本実験では BF00 に対して 0.97 ~ 1.02 となり, 混和材を使用しない場合と同程度の静弾性係数であった。

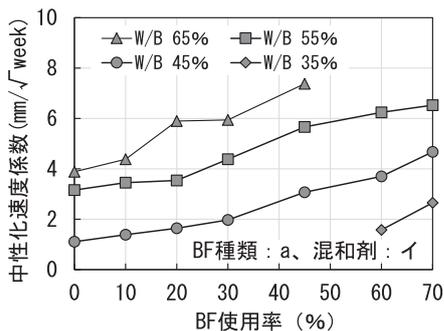
(5) 耐久性試験結果

(a) 中性化抵抗性と耐久設計強度

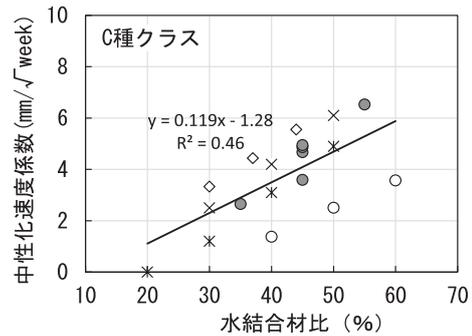
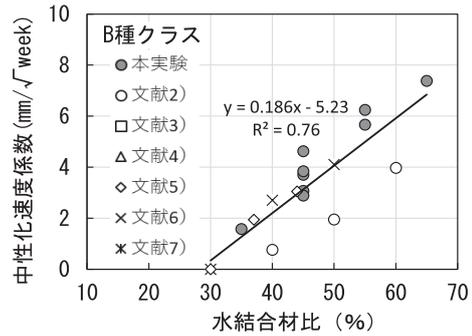
図一七に, BF 使用率と促進中性化試験の結果から得られた中性化速度係数の関係を示す。いずれの W/B でも BF 使用率の増加に伴い, 中性化速度係数は大きくなることから, W/B および BF 使用率から中性化深さを評価できると考えられる。

中性化試験の結果から, A ~ C 種クラスに応じた耐久設計基準強度の検討を行った。検討にあたっては, 妥当性を確認する目的で, BF 使用率 10 ~ 75% の既往の研究結果^{2) ~ 7)}を含めた。図一八に, B 種, C 種クラスの W/B と中性化速度係数の関係を示す。既往研究とは使用材料の品質が必ずしも一致せず, また, BF 使用率の範囲に幅があるものの, 得られたデータは既往のデータの範囲内にあることが確認できる。A 種の結果も同様であった。

図一八に示す近似式より, 日本建築学会「鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針・同解説」(以



図一七 BF 使用率と中性化速度係数



図一八 水結合材比 (W/B) と中性化速度係数

下, 耐久指針) に倣い, 屋外の CO₂ 濃度を 0.05%, 屋内を 0.10% とし, 鉄筋腐食確率 20% となる W/B を求め, 同会「コンクリートの調査設計指針・同解説」に示されている呼び強度に対する水セメント比の調査データと, 求めた W/B を照らし合わせ, W/B が確保される呼び強度から耐久設計基準強度を導いた。その結果を表一五に示す。A 種および B 種クラスは, JASS 5 に示される耐久設計基準強度と同値となった。すなわち, 普通ポルトランドセメントのコンクリートと同じ耐久設計基準強度を満足する調査であれば, 同等の耐久性を有するコンクリートとして使用できることが確認された。なお, C 種は 3 または 6N/mm² を上乘せした値となった。

(b) 乾燥収縮

図一九に, 長さ変化試験の結果として W/B55% の乾燥材齢と乾燥収縮率の関係を示す。長期材齢においても乾燥収縮が進行すると考えられたため, JIS の測定期間よりも長い 41 週まで測定を行った。同一の W/B では, 乾燥材齢 4 ~ 13 週において BF60, BF70 の乾燥収縮率が BF00, BF20 よりも 50 ~ 100 × 10⁻⁶ 程度小さくなるものの, 26 週以降でいずれも同程度

表一五 計画供用期間の級と耐久設計基準強度 (N/mm²)

計画供用期間の級	A 種クラス	B 種クラス	C 種クラス
短期	18	18	24
標準	24	24	27
長期	30	30	33

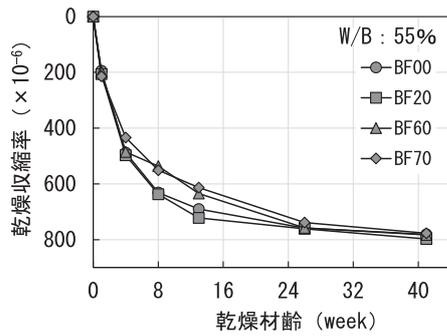


図-9 乾燥材齢と乾燥収縮率

の乾燥収縮率に収束し、この関係は W/B45% も同様であった。

(c) 耐凍害性

図-10 に、凍結融解試験における W/B45% のサイクル数と相対動弾性係数の関係を示す。BF20, BF60 では、大きな変動はなく BF00 と同様の傾向であったが、BF70 では、耐久指針で維持管理限界状態の相対動弾性係数である 85% を大きく下回った。BF 使用率が高い場合、本結果と同様の報告とそれとは異なる報告⁸⁾ の両者があるので、凍結融解作用を受ける場所に使用する場合には、より詳細な検討が必要である。また、SO₃ 量 4% では、2% よりもさらに相対動弾性係数の低下は顕著であった。

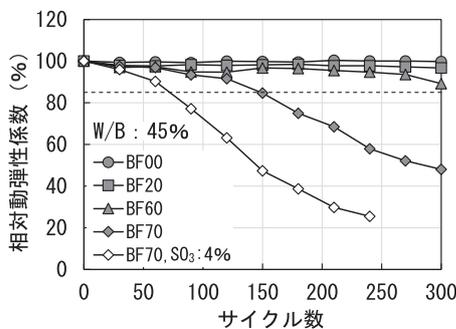


図-10 サイクル数と相対動弾性係数

(6) 室内実験のまとめ

室内実験で得られた BF 使用率と各種コンクリートの性状は表-6 のとおりとなる。A 種クラスでは BF00 と同等程度の品質を有する。B 種および C 種については耐久設計基準強度などの設定により所定の品質が確保されることを確認した。

3. 実機実験

(1) 実機実験の概要

フレッシュコンクリート性状の時間変化および構造体強度を確認するため、3 工場 (記号: X, Y, Z) で

表-6 室内実験のまとめ

項目	クラス・BF 使用率 (%)					
	A 種		B 種		C 種	
	10	20	30	45	60	70
ブリーディング	-	同等	-	-	減少	
凝結時間	-	同等	-	-	遅延	
凝結時間 (低温)	-	同等	-	-	著しく遅延	
温度上昇量	-	-	-	-	-	減少
圧縮強度	7日	BF 使用率の増加に伴い低下				
	28日	同等		BF の増加に伴い低下		
	91日	同等		BF の増加に伴い低下		
静弾性係数	同等					
乾燥収縮	-	同等	-	-	同等	
中性化抵抗性	BF 使用率の増加に伴い低下					
耐凍害性	-	同等	-	-	微低	低下

注) 表内は、BF00 と比較した場合のコンクリートの性状を示す。

実機実験を実施した。実験の組合せは表-7 に示すように、3 工場それぞれにおいて室内実験で用いた 3 メーカーの BF および混和剤の組合せとした。コンクリートの調査は、BF 使用率を A 種クラスで 15% (BF15) および 30% (BF30), B 種クラスで 60% (BF60), C 種クラスで 70% (BF70) とした。

(2) 呼び強度と水結合材比 (W/B) の設定

W/B の設定では、まず各工場ですし練りを実施し、得られた圧縮強度と工場が運用する JIS の強度算定式との関係を確認した。次に、BF15 および BF30 は普通ポルトランドセメントの算定式を、BF 60 は高炉セメント B 種の算定式を、BF70 は高炉セメント B 種の算定式から 3 または 6N/mm² をマイナス側に平行移動した式を用いて、呼び強度 21, 33 および 42 相当の W/B を設定した。

(3) 使用材料および調査

コンクリートに使用した普通ポルトランドセメント、練混ぜ水、および骨材は、各工場ですべて通常使用して

表-7 実機実験の組合せ

項目	工場: X	工場: Y	工場: Z
BF メーカー	c	b	a
混和剤メーカー	イ	ロ	ハ
季節区分	標準期: S	BF15, BF30 BF60, BF70	BF15 BF15
	夏期: H	BF15	BF30, BF60 BF70
	冬期: W	BF15	BF70 BF30, BF60
呼び強度	21, 33, 42		

いるものとした。BFはJIS A 6206に適合するせっこう添加タイプを用いた。化学混和剤は、原則として呼び強度21ではAE減水剤を、呼び強度33および42では高性能AE減水剤とし、BF60、BF70ではフレッシュ性状の保持性を確保するためBF高含有タイプを用いた。スランプは、いずれのBF使用率においても、呼び強度21および33では 18 ± 2.5 cm、呼び強度42では 21 ± 2.0 cmを管理範囲とし、実際の運搬時間を想定して、練上がりから60分で目標値を満足するよう化学混和剤の添加量を調整した。

(4) フレッシュコンクリート試験結果

図-11に、呼び強度33のBF30、BF60のスランプの時間変化を示す。スランプは時間経過とともに低

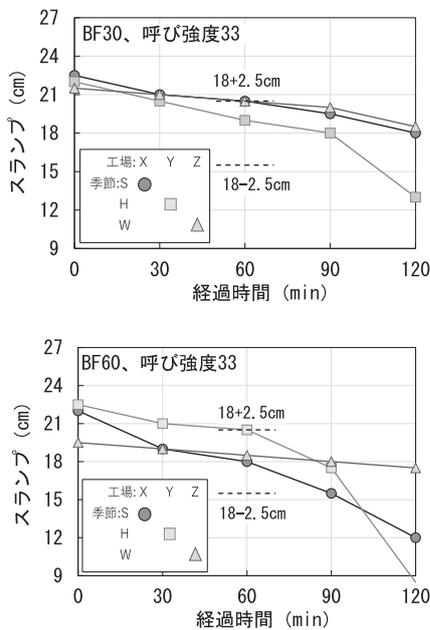


図-11 スランプの時間変化

下する傾向で、特に、夏期では90分から120分での低下が大きく、60分以降では管理値を外れるものも見られた。なお、空気量については、スランプと同様にBF使用率にかかわらず、60分で $4.5 \pm 1.5\%$ の管理値を満足した。

(5) 圧縮強度試験結果

(a) 生コン工場の強度算定式との関係

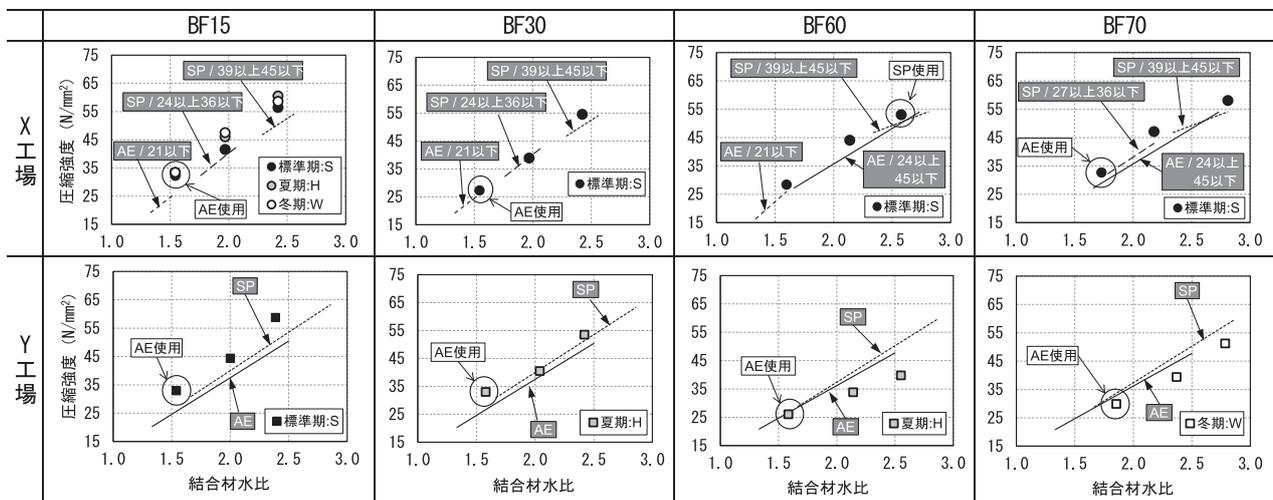
標準養生材齢28日の圧縮強度と生コン工場の強度算定式との比較の一例を図-12に示す。実機実験にあたって採用した強度算定式は前述のとおり、生コン工場が運用する普通ポルトランドセメントと高炉セメントB種の強度算定式をベースに、事前に実施した試し練りの結果を考慮して決定している。

BF15、BF30の標準28日の圧縮強度は、いずれの生コン工場においても採用した強度算定式と同等か上回る結果となった。一方で、BF60、BF70では、X工場では同様に強度算定式と同等か上回る結果であったが、Y工場では強度算定式を下回る結果となった。なお、Z工場はX工場と同様の傾向であった。結合材水比と圧縮強度の関係をみると、いずれのBF使用率、生コン工場においても強度算定式と同等の傾きである。

実物件への適用にあたっては、実際に採用されるBF使用率を考慮し、実機実験を実施したうえで、生コン工場の強度算定式の関係把握し、必要に応じて傾きを保持したまま負側に平行移動する方法により、安全を考慮した適切な強度設計ができるものと考えられる。

(b) 構造体強度補正值 ($_{28}S_{91}$)

標準養生材齢28日の圧縮強度と構造体コンクリー



図中「AE」はAE減水剤を使用した場合、「SP」は高性能AE減水剤を使用した場合、数値は呼び強度

図-12 標準養生材齢28日の圧縮強度と生コン工場の強度算定式との比較の一例

トの材齢91日の圧縮強度の差である構造体強度補正值 $_{28}S_{91}$ の標準値については、建設省告示第1102号およびJASS 5でそれぞれ3または6N/mm²と示されている。実機実験の結果から得られた材齢91日のコア強度と $_{28}S_{91}$ の関係を図-13に示す。また、建設省告示第1102号の根拠資料となった実験結果⁹⁾を併記した。全体的な傾向として、一般的に知られるように、コア強度が大きいほど $_{28}S_{91}$ が大きくなる傾向が確認できる。季節の影響としては、標準期が小さく、冬期、夏期の順に大きくなる傾向がみられる。また、設計基準強度18~36N/mm²の範囲では、おおむね3または6N/mm²を満足していた。

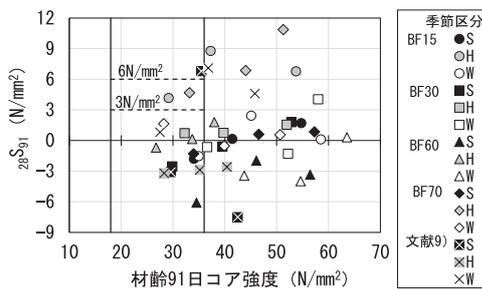


図-13 材齢91日のコア強度と構造体強度補正值 $_{28}S_{91}$

(6) 実機実験のまとめ

荷卸し60分を目標にしたフレッシュ性状は、所定の品質を満足し、通常のコンクリートと同様、出荷時にスランプ等を化学混和剤の添加量で調整することにより、現場適用可能であることが確認できた。また、調査設計は生コン工場の強度算定式をベースに算定が可能で、構造体強度補正值 $_{28}S_{91}$ は、建設省告示第1102号およびJASS 5の標準値である3または6N/mm²と同等であった。

4. CO₂ 排出量の削減効果

実機実験を行った調査設計に基づき試算した呼び強度33におけるCO₂排出量の削減効果について、BF使用率と普通ポルトランドセメントを基準としたCO₂の削減率の関係を図-14に示す。CO₂排出量の削減率は、普通ポルトランドセメントのコンクリート調査に対して、A種クラスで約9~28%、B種クラスで18~51%、C種クラスで53~63%となる。また、呼び強度21および42においてもCO₂排出量の削減率は強度レベルによらず、おおむね同様な値となった。

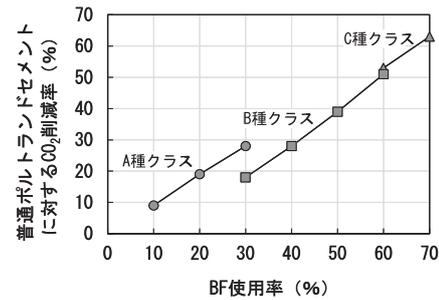


図-14 BF使用率とCO₂削減率の試算結果

5. おわりに

本稿ではBF使用率やBF種類の違いがコンクリートの諸性状におよぼす影響を把握するための室内実験と、フレッシュコンクリート性状の時間変化や構造体強度の特性を確認するための実機実験のそれぞれの結果、ならびにCO₂排出量の削減効果を示し、開発した環境配慮型コンクリート「CELVIC」の特徴を紹介した。

CELVIC研究会では、これらの実験結果に基づき、本コンクリートの調査設計・施工マニュアルを整備し、「CELVIC-環境配慮型BFコンクリート」として、(一財)日本建築総合試験所から建設材料技術性能証明(GBRC材料証明第20-04号)を取得した。

近年では、ゼネコンが主導となり、主に高炉スラグ微粉末を高炉セメントC種相当や、それ以上の分量で高含有した環境配慮型コンクリートの開発・実用例も報告されている。これらのコンクリートはいずれも、高炉スラグ微粉末などの混和材料をポルトランドセメントの代替として使用するという概念は同じものの、混和材料の種類や量などの仕様が異なり、生コン工場においては、各ゼネコンに応じた材料の手配や調査設計、サイロや貯蔵ビンの確保といった煩雑な管理が負担となる面もある。

本稿で紹介したコンクリートは、一般的に普及している同一の高炉スラグ微粉末を用いており、このようなデメリットを軽減し、高炉スラグ微粉末を幅広く適用できるものと考えられる。現在、CELVIC研究会の構成会社の各社において、整備した調査設計・施工マニュアルおよび取得した技術性能証明を携え、普及展開を進めているところである。

JICMA

《参考文献》

- 1) 日本建設業連合会, 「低炭素型コンクリートの普及促進に向けて」, 2016.4
- 2) 辻大二郎ほか, 「混合セメントを用いたコンクリートの耐久性(そ

- の7)], 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2016.8, pp.49-50
- 3) 小林利充ほか, 「高炉セメント A 種相当品を使用したコンクリートの基礎的性状に関する検討」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2017.8, pp.61-62
 - 4) 金子 樹ほか, 「セメント混合における高炉セメント A 種相当のコンクリートの諸性状 (その1~その3)」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2017.8, pp.63-68
 - 5) 溝渕麻子ほか, 「混和材を高含有したコンクリートの基礎的性状 (その1~その3)」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2011.8, pp.185-188
 - 6) 大岡督尚ほか, 「高炉スラグ微粉末を高含有した環境配慮型コンクリートの基礎物性 (その1~その3)」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2016.8, pp.79-84
 - 7) 辻大二郎ほか, 「高炉スラグ高含有セメントを用いたコンクリートの基礎物性 (その1~その3)」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2011.8, pp.205-210
 - 8) 日本建築学会, 「高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの技術の現状」, 1992
 - 9) 棚野博之ほか, 「型枠の取り外しに関する管理基準の検討」, 建築研究資料, No.168, 2016.3
 - 10) 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」, 2017.9

[筆者紹介]

河野 政典 (こうの まさのり)
 ㈱奥村組 技術研究所
 企画管理グループ
 グループ長



金子 樹 (かねこ たつき)
 ㈱長谷工コーポレーション 技術研究所
 建築材料研究室



高橋 祐一 (たかはし ゆういち)
 五洋建設㈱ 技術研究所
 建築技術開発部
 専門部長



古川 雄太 (ふるかわ ゆうた)
 東急建設㈱ 技術研究所
 構工法・材料グループ
 研究員

