

高炉スラグ微粉末を用いた 環境配慮型コンクリートの開発

Environmentally Considerate Concrete Incorporating Ground Granulated Blast-furnace Slag

河野政典* 赤星博仁** 伊藤 淳**

要 旨

普及展開が図りやすい一般流通する高炉スラグ微粉末を用いた環境配慮型コンクリートの開発を目指し、高炉スラグ微粉末の使用率等が品質に及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行った。その結果からコンクリートの調合、製造、および施工に必要なデータを整理し、高炉スラグ微粉末の使用率が10~70%の範囲におけるコンクリートの調合設計・施工マニュアルを整備した。そして、使用率70%で、品質基準強度が30N/mm²のコンクリートを実建物の基礎・地中梁に272m³適用した。本適用では、普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートに対して、61%のCO₂削減効果となった。

キーワード：高炉スラグ微粉末、環境配慮型コンクリート、現場適用

1. まえがき

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の発生量を抑えるコンクリートが着目されている。

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種が規定されており、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種として一般流通している、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。しかし、この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く、したがって、JISマーク品のコンクリートとして出荷可能な工場はさ

らに少ない。また、実現場への適用を見据えた実用的なデータも少ないため、設計者が採用し難い現状にある。時代の趨勢から、CO₂の排出量が少ない実用的な環境配慮型コンクリートの開発が待たれている。

そこで、現実的で普及展開が進めやすい製造方法として、一般流通するBFを用い、それを生コン工場で混入する方法をターゲットとし、開発に着手した。開発目標としたコンクリートの仕様を表-1に示す。BF使用率は10~70%とし、JIS R 5211を参考に使用率に応じて3クラスに分けた。設計基準強度は、普通コンクリートの強度範囲である18~36N/mm²とした。現場への適用に向けては、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る。そこで、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い、マニュアル整備のデータを収集した。また、このコンクリートの普及展開を進

表-1 開発目標としたコンクリートの仕様

BFの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
使用するBF	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	18~36N/mm ²
計画供用期間の級	短期、標準、長期

*技術研究所企画・管理グループ **技術研究所建築研究グループ

めるうえでは、実現場への適用性を実証し、実績を示すことも重要となるため、実建物への適用を試みた。

2. 室内実験

2.1 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-2に示す要因と水準で、表-3の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。

2.2 使用材料および調査

コンクリートの水結合材比（以下、W/B）は、表-1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4290~4390cm²/gであった。目標スランブは、W/Bが55、65%では18cmとして化学混和剤にはAE減水剤を使用し、W/Bが35、45%では21cm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砕石を、セメントには普通ポルトランドセメントを使用した。

コンクリートの調査は表-2の要因と水準の組合せで、全40調査とし、単位水量は各調査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。

2.3 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-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0.3cm³/cm²以下であることから、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-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

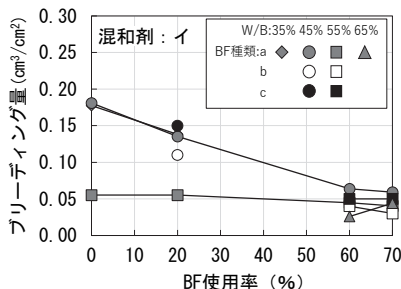


図-1 BF 使用率とブリーディング量

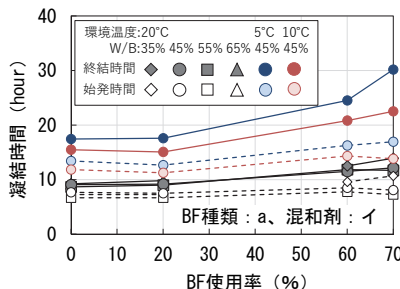


図-2 BF 使用率と凝結時間

表-2 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)
	三酸化硫黄(SO ₃)量	約2%、4% (無水せっこうの添加量により調整)
化学混和剤種類	イ、ロ、ハ (3メーカー)	
環境温度	20℃、10℃、5℃	

注) 実験では、___の水準を基本とした。

表-3 試験項目

試験項目	方法	
フレッシュ	スランブ	JIS A 1101
	空気量	JIS A 1128
	ブリーディング	JCI-S-015 φ150×300mm 容器
	凝結時間	JIS A 1147 環境温度 20、10、5℃
強度	断熱温度上昇	φ400×400mm 鋼製型枠、BF70、W/B45%
	圧縮強度	JIS A 1108 標準養生供試体
耐久性	静弾性係数	JIS A 1149 材齢 28、91 日
	長さ変化	JIS A 1129 (乾燥収縮試験) W/B45、55%
	中性化抵抗性	JIS A 1153 (促進中性化試験)
	耐凍害性	JIS A 1148 (凍結融解試験) W/B45%

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-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。

2.4 強度試験結果

図-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

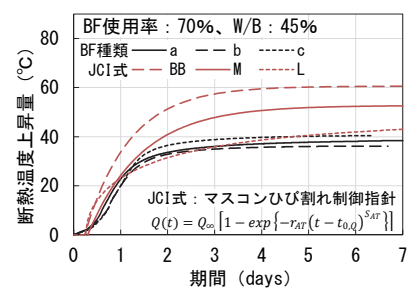


図-3 断熱温度上昇量

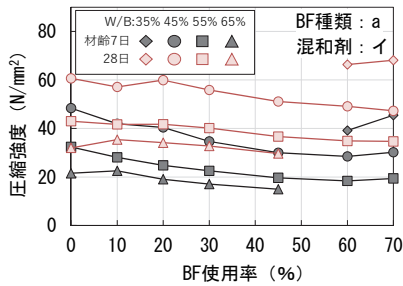


図-4 BF使用率と圧縮強度

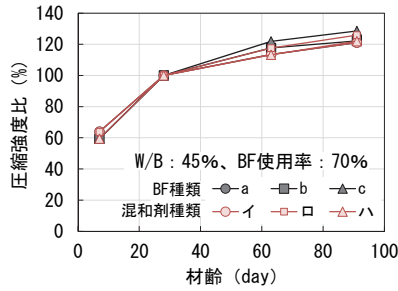


図-5 材齢28日を基準とした圧縮強度比

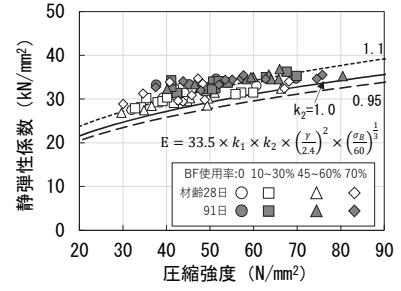


図-6 圧縮強度と静弾性係数

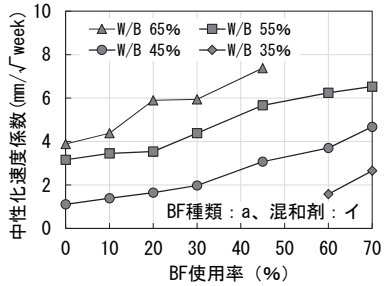


図-7 BF使用率と中性化速度係数

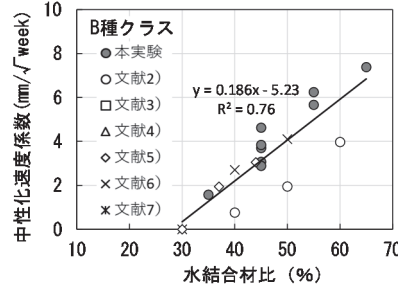
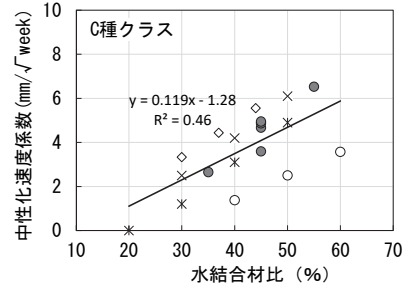


図-8 水結合材比(W/B)と中性化速度係数



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-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-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k₂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。

2.5 耐久性試験結果

a. 中性化抵抗性と耐久設計強度

図-7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-8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-8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-4に示す。A種およびB種クラスは、JASS5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を上乗せした値となった。

b. 乾燥収縮

図-9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

表-4 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

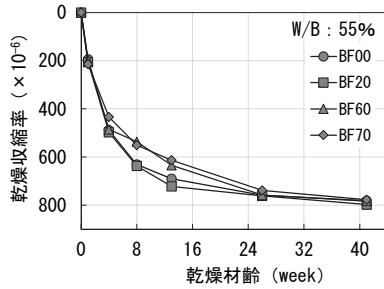


図-9 乾燥材齢と乾燥収縮率

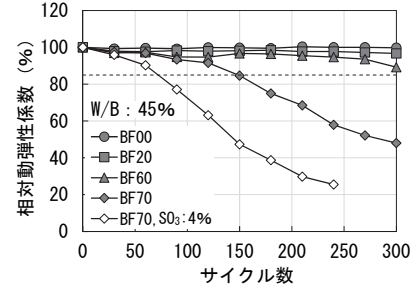


図-10 サイクル数と相対動弾性係数

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。

2.6 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-5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。

3. 実機実験

3.1 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) で実機実験を実施した。実験の組合せは表-6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。

3.2 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、BF 70 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。

3.3 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。スランブは、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±2.5cm、呼び強度 42 では 21±2.0cm を管理範囲

表-5 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。

表-6 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、60	BF70
	冬期: W	BF15	BF70	BF30、BF60
呼び強度	21、33、42			

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。

3.4 試験項目および方法

フレッシュコンクリート試験では、スランブ、空気量、コンクリート温度の測定を練上がりから 0、30、60、90 分および 120 分で実施した。圧縮強度試験は、標準養生、柱模擬試験体 (1000×1000×1000mm) より採取したコアで実施した。供試体の採取および模擬試験体の打ち込みは、練上がりから 60 分で行った。

3.5 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 のスランブの時間変化を示す。スランブは時間経過とともに低下する傾向で、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、スランブと同様に BF 使用率に関わらず、60 分で 4.5±1.5% の管理値を満足した。

3.6 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見ると、いずれのBF使用率、生コン工場においても採用した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などの方法により、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 (28S91)

標準養生材齢28日の圧縮強度と構造体コンクリートの材齢91日の圧縮強度の差である構造体強度補正值28S91の標準値については、建設省告示第1102号およびJASS5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28S91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28S91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。

3.7 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28S91は、建設省告示第1102号およびJASS5の標準値である3または6N/mm²と同等であった。

4. 現場適用

4.1 現場適用の概要

現場適用した建物は、RC造と鉄骨造が複合する2階建ての当社技術研究所(茨城県つくば市内)の室内環境実験棟で、その基礎・地中梁にBF使用率70%のコンクリートを272m³打設する計画とした。品質基準強度が30N/mm²で、打設が夏期のため、構造体強度補正值28S91を6N/mm²とし、調査管理強度を36N/mm²とした。

コンクリートの調査と使用材料を表-7に示す。W/Bは実機実験を行い、生コン工場の高炉セメントB種の強度算定式を参考に決定した。目標スランプは18cm、空気量は4.5%、許容差をそれぞれ±2.5cm、±1.5%とし、

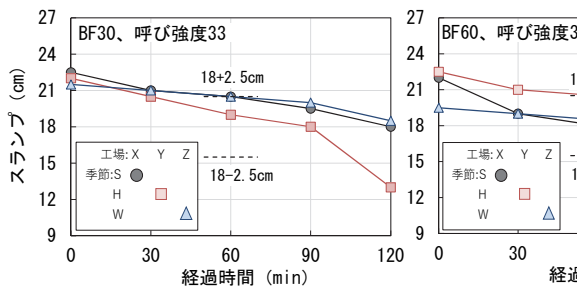


図-11 スランプの時間変化

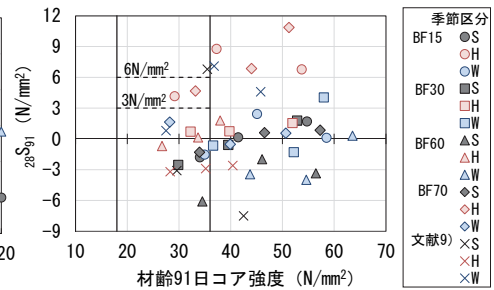
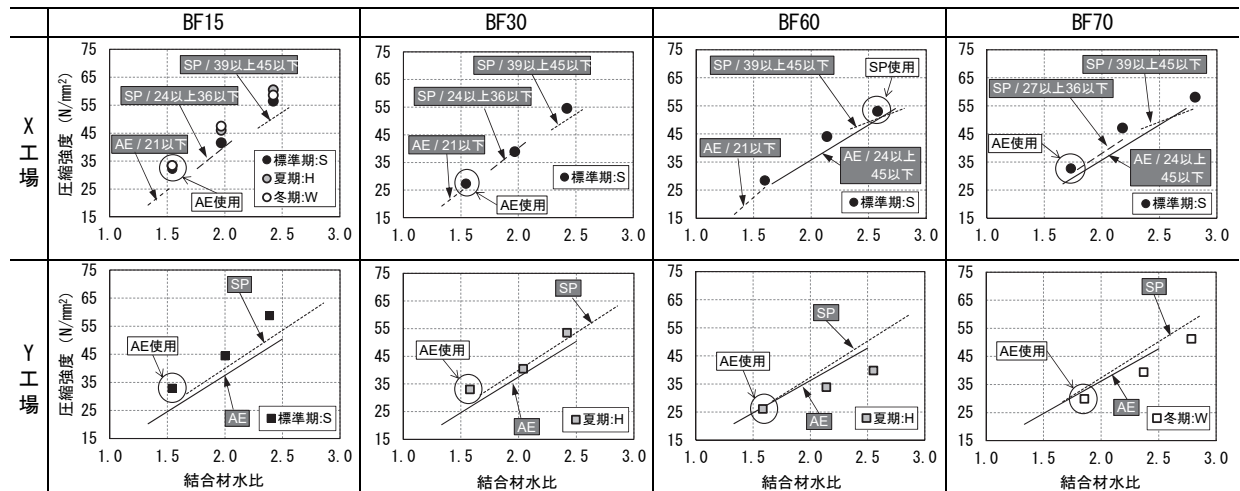


図-13 材齢91日のコア強度と構造体強度補正值28S91



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

管理値とした。生コン工場は、工事現場から運搬時間約60分の場所に位置した。

打設は2回に分け実施した。1回目の打設は115 m³で、受入れ試験、圧縮強度試験を4回行った。2回目の打設は157 m³で、受入れ試験を6回、圧縮強度試験を4回行った。

4.2 実施結果

スランプ、空気量の試験結果を図-14に示す。受入れ試験は練上がりから60~80分程度で行い、スランプ、空気量ともに管理値を満足した。なお、出荷時のスランプは22cm程度とした。受入れ時のコンクリート温度は28~31°Cであった。

圧縮強度試験結果を図-15に示す。材齢28日の圧縮強度は、いずれも調和管理強度36N/mm²を満足した。

今回用いたコンクリートのCO₂発生量の削減率は、普通ポルトランドセメントを用いた呼び強度36の生コン工場における標準配合のコンクリートに対して61%で、272m³の打設に対して削減量は48tと試算される*。

*インベントリデータは、普通ポルトランドセメントを772kg-CO₂/t、BFを35.6kg-CO₂/tとした¹⁰⁾

5. まとめ

一般流通するBFを用いた環境配慮型コンクリートの実用化を目指し、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を行った。その結果から、コンクリートの調合、製造、および施工に必要なデータを得て、BF使用率が10~70%の範囲におけるコンクリートの調合設計・施工マニュアルを整備した。そして、現場適用性を実証するため、BF使用率70%で、品質基準強度が30N/mm²のコンクリートを実建物の基礎・地中梁に272m³打設した。本適用では、普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートに対して、61%のCO₂発生量の削減効果となった。

6. あとがき

2章の室内実験および3章の実機実験は、青木あすなろ建設、浅沼組、安藤ハザマ、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、長谷工コーポレーション(主査)、矢作建設工業、および奥村組の13社で組織された「CELBIC研究会」において実施したもので、この研究会で調合設計・施工マニュアルを整備し、日本建築総合試験所より建設材料技術性能証明(GBRC材料証明第20-04号、CELBIC-環境配慮型BFコンクリート-)を取得している。この性能証明と適用実績を携え、今後、普及展開を進めていきたい。

表-7 コンクリートの調合と使用材料

W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						Ad (B×%)
		W	B		S		G	
			C	BF	S1	S2		
39.0	44.2	168	129	302	516	227	961	0.95

セメントC: 普通ポルトランドセメント 密度3.16g/cm³
 混和材BF: 高炉スラグ微粉末4000 密度2.89g/cm³
 細骨材S1: 陸砂 茨城県潮来市島須産 表乾密度2.58g/cm³
 S2: 砕砂 栃木県栃木市鍋山町産 表乾密度2.67g/cm³
 粗骨材G: 砕石2005 茨城県つくば市産 表乾密度2.70g/cm³ 実積率60.0%
 化学混和剤Ad: 高性能AE減水剤(遅延型) BF高含有用
 練混ぜ水W: 地下水

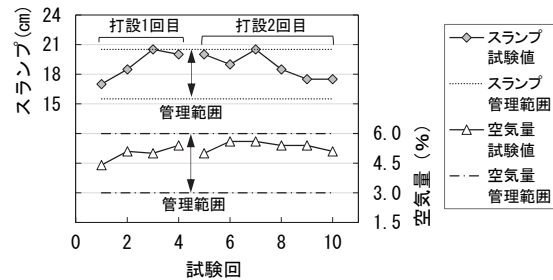


図-14 受入れ試験結果(スランプ、空気量)

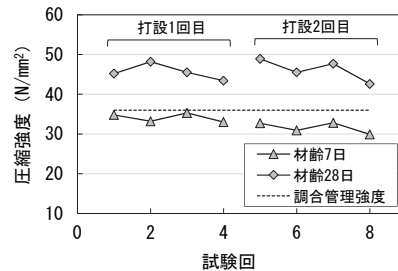


図-15 圧縮強度試験結果

【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) 溝野博之ほか、「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