

高炉スラグ微粉末の使用率を変化させた環境配慮型コンクリートの基本性能 —CEL B I Cの開発—

Basic performance of environmentally conscious concrete with varying mixing ratio of ground granulated blast-furnace slag
—Development of CELBIC—

古川 雄太*1、金子 樹*2、河野 政典*3、高橋 祐一*4

1. はじめに

近年、環境負荷低減の観点から、コンクリート分野においてセメントの一部に混和材を用いた技術の開発・実用化が進められている。中でも、高炉スラグ微粉末（記号：BF）を用いる方法は、他産業の副産物の活用であるため資源の有効利用になること、およびBFの製造に起因する二酸化炭素の排出量が少ないことなどから、環境負荷低減の効果が大きく、有効な対策の一つとされている。

高炉スラグ微粉末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、高炉スラグ微粉末の分量により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、高炉スラグの分量が40～45％程度の高炉セメントB種は全国的に流通し、JISマーク品のコンクリートとして取り扱うレディーミクストコンクリート工場（以下、生コン工場）も多い。しかし、建築分野においては中性化の進行が速いとされることから、地下構造物へ使用されることが多いのが実情である。また、高炉スラグの分量が40～45％以外のB種やA種、C種の製造、流通は極めて少なく汎用的とは言いがたい。

そのため、コンクリートに求められる性状に応じた任意の分量で高炉スラグ微粉末を使用するには、BFを生コン工場に混入する方法が現実的となるが、BFを用いてコンクリートを製造・出荷した実績のある工場は少ない。したがって、このようなコンクリートでは、JISマーク品のコンクリートとして取り扱いが可能な工場は極めて少なく、また、実現場への適用を見据えた実践的なデー

タも少ないため、設計者が採用し難い現状にある。そこで、本報告では、普通ポルトランドセメント（記号：N）にBFを10％から70％までの範囲で変化させて使用したコンクリートについて行った実験について報告する。

なお、本報告で検討するコンクリートは、CEL B I C（セルビック）と称し、表-1に示す筆者らを含むゼネコン13社で構成するCEL B I C研究会で実験を実施したものである。CEL B I C研究会では、建築分野におけるコンクリート構造物に求められる所要の品質を確保しつつ、循環型社会の形成と地球環境問題の改善に寄与することを目的に、表-2の概要でCEL B I Cの調査設計・施工のマニュアルを整備し、2021年に建設材料技術性能証明

表-1 CEL B I C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-2 CEL B I Cの概要

種類と BF 使用率	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 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	18～36N/mm ²
計画供用期間の級	短期、標準、長期

*1 FURUKAWA Yuta : 東急建設株式会社 技術研究所

*2 KANEKO Tatsuki : 株式会社長谷工コーポレーション 技術研究所

*3 KONO Masanori : 株式会社奥村組 技術研究所

*4 TAKAHASHI Yuichi : 五洋建設株式会社 技術研究所

(GBRC 材料証明 第20-04号)を取得した。なお、本報告は文献1)を再構成したものである。

2. フェーズⅠ 室内実験

2.1 室内実験の概要

室内実験では、BF使用率や使用するBF、化学混和剤などの使用材料の違いがコンクリートの諸性状に及ぼす影響を確認するため、表-3に示す要因と水準で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。なお、本報告ではBF使用率に応じて、表-2のように例えばBF使用率10%以上、30%以下を「A種クラス」と表記している。これは、各BF使用率においてJIS R 5211の高炉セメントの種類および高炉スラグ微粉末の分量の関係と対応することを示している。また、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」(以下、高炉指針)では、BF使用率により、例えばBF使用率20%以上30%以下を「高炉セメントA種相当」と定義しているが、これとは一致していない。

表-3 室内実験の要因と水準

要 因	水 準
BF 使用率 (BF10~BF70)	N : 0% A 種クラス : 10%、20%、30% B 種クラス : 45%、60% C 種クラス : 70%
水結合材比	45%、55%、65% (BF 使用率 0~45%) 35%、45%、55% (BF 使用率 60~70%)
BF 種類	a、b、c
三酸化硫黄量	約 2%、4% (無水せっこうの添加により調整)
混和剤種類	イ、ロ、ハ
環境温度	20℃、10℃、5℃
試験項目	スランプ、空気量、ブリーディング、凝結時間、断熱温度上昇、圧縮強度、静弾性係数、長さ変化、促進中性化、凍結融解

注) 実験では、下線の水準を基本とした。

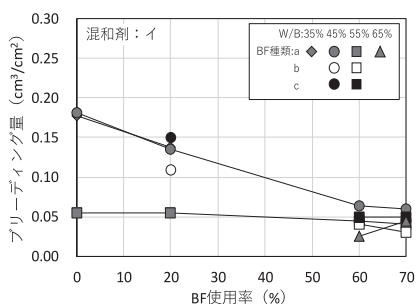


図-1 BF使用率とブリーディング量

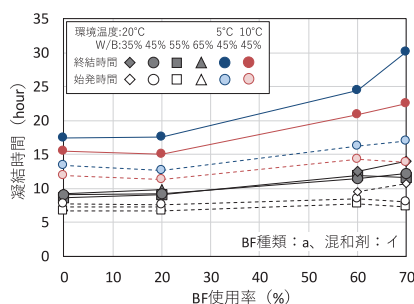


図-2 BF使用率と凝結時間

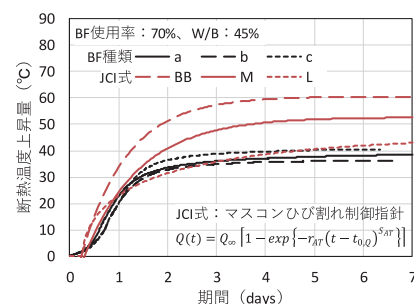


図-3 断熱温度上昇量試験結果

2.2 使用材料および調査

コンクリートに使用したBFはメーカーの異なる3種類で、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に適合し、比表面積は4290~4390 cm²/g、三酸化硫黄 (SO₃) 量は1.92~2.07%、塩基度は約1.80~1.89であった。化学混和剤は3メーカーで、水結合材比 (以下、W/B) 55、65%ではAE減水剤を、35、45%ではBF使用率に応じて対応可能な高性能AE減水剤を使用した。骨材は混和剤メーカーが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使用しているものを用い、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、セメントには同一ロットのNを使用した。

コンクリートの調査は、表-3の要因と水準の組合せで、全40調査とした。調査方針は、各材料の組合せで標準的な単位水量とし、原則としてAE減水剤を使用する場合はスランプ18 ± 2.5 cm、粗骨材かさ容積0.60 m³/m³とし、高性能AE減水剤を使用する場合は前者を21 ± 2.0 cm、後者を0.58 m³/m³とした。なお、空気量はいずれも4.5 ± 1.5%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プ、空気量を満足しており、材料分離などは見られずに良好であった。

図-1にBF使用率とブリーディング量の関係を示す。ブリーディング試験は、JCI-S-015に準拠してφ150 × 300 mmの小型容器で行った。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種類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であると考えられる。

図-2にBF使用率と凝結時間との関係を示す。凝結試験はJIS A 1147に準じて行い、環境温度20℃のほか、10℃および5℃の低温環境下でも行った。20℃における凝結の始発時間は、W/B35%を除き、BF使用率や

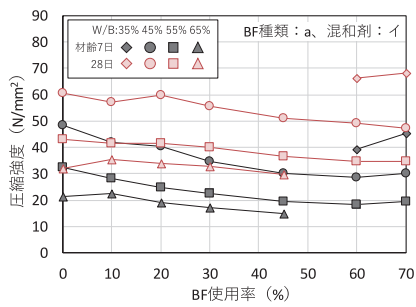
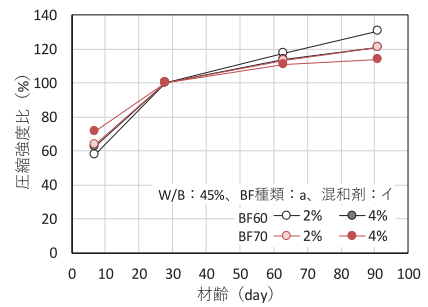
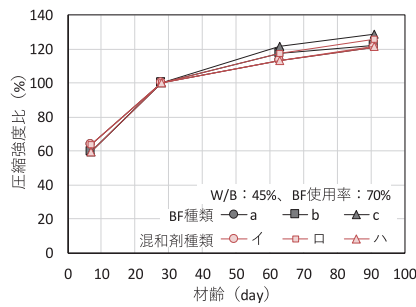


図-4 BF使用率と圧縮強度

図-5 材齢28日を基準とした圧縮強度比 (左：使用材料の比較、右：SO₃量の比較)

W/Bによる違いは大きくないが、終結時間は、BF使用率60%および70%では0%や20%よりも3時間程度遅延した。また、環境温度による影響はさらに大きく、BF使用率0%や20%でも20℃よりは遅延するものの、60%および70%では20%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4%のものは、前述の2%のコンクリートと同様な傾向であった。

図-3に断熱温度上昇量の試験結果を示す。断熱温度上昇量は、3種類の各BFを用いたBF使用率70%、W/B 45%のコンクリートに対し、φ400×400mmの鋼製型枠を用いて、空気循環式の装置を用いて測定した。断熱温度上昇量は、BF種類による違いは小さく同程度だった。また、図-3中に併記した本会「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)による予測値と近い傾向を示した。しかし、材齢1日~3.5日程度の期間では、予測値の方が実測値よりも小さくなる傾向があり、中庸熱ポルトランドセメントによる予測値を用いることで、安全側の評価ができると考えられる。

2.4 強度試験結果

BFを用いたコンクリートの強度性状を確認するため、圧縮強度(JIS A 1108)および静弾性係数(JIS A 1149)試験を行った。供試体はいずれも標準養生とし、静弾性係数は材齢28日および91日の圧縮強度試験時に行った。

図-4に標準養生における材齢7日および28日の圧縮強度とBF使用率の関係を示す。圧縮強度は、材齢7日においてBF使用率の増加に伴い連続的に低下したが、BF使用率70%の圧縮強度は60%よりも大きかった。材齢28日においては、BF使用率0~30%まで同程度の圧縮強度を有しているが、BF使用率45~70%ではBF使用率の増加に伴い緩やかに低下した。BF使用率の大きい調合における各種要因と材齢28日の圧縮強度を基準とした圧縮強度比との関係を図-5に示す。BF種

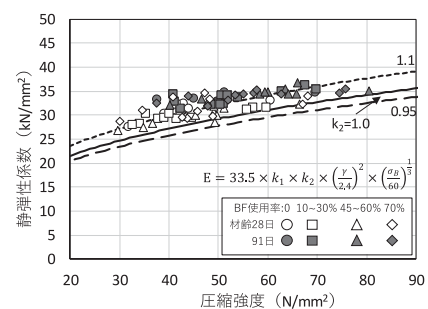


図-6 圧縮強度と静弾性係数

類および混和剤メーカーの違いによる強度発現性への影響は小さく、いずれも同様な強度発現性を示した。一方で、SO₃量の違いでは、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は低下した。

図-6に静弾性係数と圧縮強度の関係を示す。静弾性係数は、圧縮強度の増加に伴い増加し、図中に併記した推定式(RC規準式)に従って推移した。推定式では、BFを用いる場合、混和材の種類により定まる修正係数k₂に0.95を用いるとしているが、本実験では、いずれのBF使用率においてもk₂はNに対して0.97~1.02となり、BFを使用しないNと同程度の静弾性係数であった。

2.5 耐久性試験結果

耐久性試験として、促進中性化(JIS A 1153)、長さ変化および凍結融解(JIS A 1148)試験を行った。長さ変化試験は、JIS A 1129に基づくものの、長さ測定にはレーザ変位計による非接触方式で行った。

図-7にBF使用率と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。また、図-8に示すように、中性化速度係数は、SO₃量の違いによる差は見られないが、BF種類により若干の違いが見られた。この差の要因としては、BFのスラグの活性度指数との関係(b<a<c)と対応することから、スラグの活性度指数が中性化抵抗性に影響を及ぼしていることが推察される。

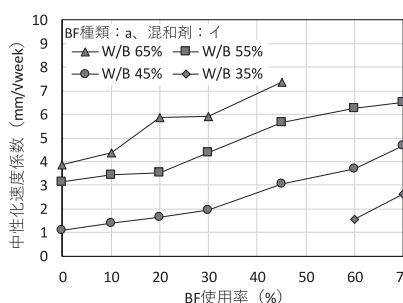


図-7 BF使用率と中性化速度係数

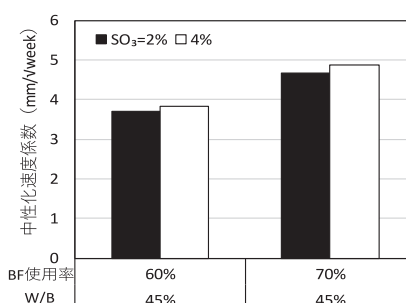
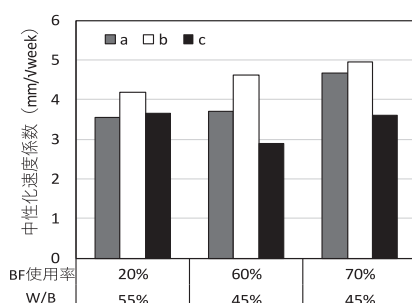
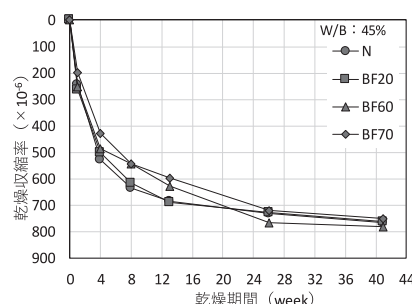
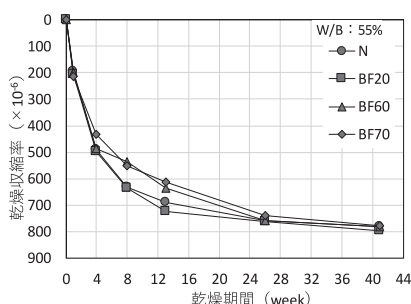
図-8 各種要因による中性化速度係数の比較 (左から、BF種類、SO₃量)

図-9 乾燥期間と乾燥収縮率

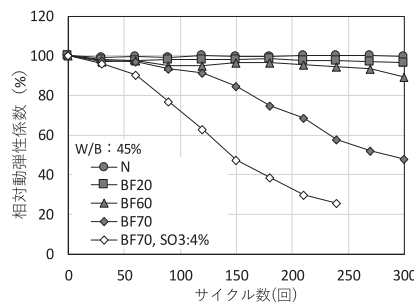


図-10 サイクル数と相対動弾性係数

図-9に乾燥期間と乾燥収縮率の関係を示す。長さ変化は、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、乾燥期間41週まで試験を実施した。同一のW/Bでは、乾燥期間4～13週においてBF使用率60%、70%の乾燥収縮率が0%、20%よりも $50 \sim 100 \times 10^{-6}$ 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、55%ともに同様であった。

図-10に凍結融解試験におけるW/C45%のサイクル数と相対動弾性係数の関係を示す。なお、コンクリートの空気量はいずれも $4.5 \pm 1.5\%$ であり、最小で4.2%であった。BF使用率20、60%では、大きく変動することではなくNと同様の傾向であったが、BF使用率70%では相対動弾性係数85%を大きく下回った。BF使用率が高い場合には、本結果と同様、相反の両者の報告があり、より詳細な検討の必要がある。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。

3. フェーズⅡ 実機実験

3.1 実機実験の概要

実機実験では、実際の生コン工場におけるプラントで、BFを用いたコンクリートの製造および施工性を検討するため、東京都内の臨海部に位置する3工場(記号:X、Y、Z)で実施した。実機実験の組合せは表-4に示すとおりで、3つの生コン工場それぞれにおいて室内実験で用いた3種類のBFおよび混和剤メーカーのものを組合せて

表-4 実機実験の組合せ

項目	工場：X	工場：Y	工場：Z
BF種類	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
	夏期：H	BF15	BF30、60
	冬期：W	BF15	BF70
呼び強度	21、33、42		

使用した。コンクリートの調合は、BF使用率をA種クラスで15(記号：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の関係

コンクリートのW/Bは、事前に各工場で試し練りを実施し、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、BF使用率15%および30%は普通ポルトランドセメントの式を、60%は高炉セメントB種の式を、70%は高炉セメントB種の強度算定式から3または6N/mm²切片をマイナス側に平行移動した式を用いて、目標とする呼び強度21、33および42となるように設定した。

3.3 使用材料および調査

コンクリートに使用したセメント、練混ぜ水、骨材は各工場で通常使用しているもので、セメントはNとした。BFの3種類はJIS A 6206に適合するせっこう添加タイ

プで、一連の実機実験を通してロットが異なるものがあるが、いずれも成績書では大きな品質の違いはなかった。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、BF使用率が60、70%ではBF高含有に対応できるものとした。

コンクリートの割合は前述のとおり設定したW/Bから、生コン工場の標準割合に対して、セメント量を結合材量としてBF使用率に応じて内割でBFを置換した。

3.4 試験項目および方法

フレッシュコンクリート試験は、スランプ、空気量、コンクリート温度、塩化物含有量、単位水量、および単位容積質量とし、練り上がりから0分、30分、60分、90分および120分で実施した。圧縮強度試験は、標準養生、現場封かん養生、簡易断熱養生および柱模擬試験体(1000×1000×1000mm)より採取したコアで実施した。なお、現場封かん養生においては材齢1～5日といった若材齢でも実施し、これらの供試体および模擬試験体は、練り上がりから60分で採取した。

3.5 フレッシュ試験結果

実機プラントで製造したコンクリートについて、単位

水量は計画割合に対して $-9.7\sim 8.8\text{kg/m}^3$ 、塩化物含有量は 0.07kg/m^3 以下であった。

図-11に呼び強度33におけるスランプの経時変化を示す。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 $18\pm 2.5\text{cm}$ 、呼び強度42では $21\pm 2.0\text{cm}$ を目標に実際の運搬時間を想定し、経時60分で満足することとした。スランプは、時間の経過とともに低下する傾向であり、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。

図-12に呼び強度33における空気量の経時変化を示す。空気量は、スランプと同様にBF使用率に関わらず、荷卸し時を想定する60分で $4.5\pm 1.5\%$ の目標値を満足した。空気量は、BF15では時間の経過に伴う変化は少ないが、BF使用率が増加した場合にばらつくものも見られた。

3.6 圧縮強度試験結果

図-13に呼び強度33における標準養生の材齢と圧縮強度の関係を示す。標準養生においては、同一の呼び強度、BF使用率であっても生コン工場や季節による強度に違いも見られ、材齢28日においては呼び強度の強度値に近い値を示すものも見られた。

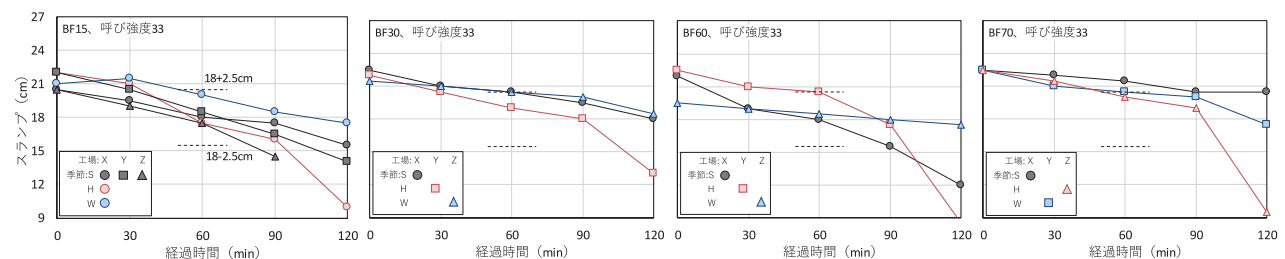


図-11 スランプの経時変化 (呼び強度33)

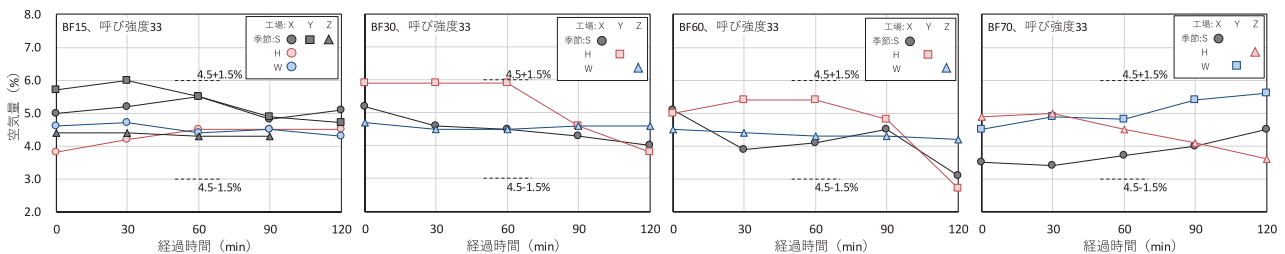


図-12 空気量の経時変化 (呼び強度33)

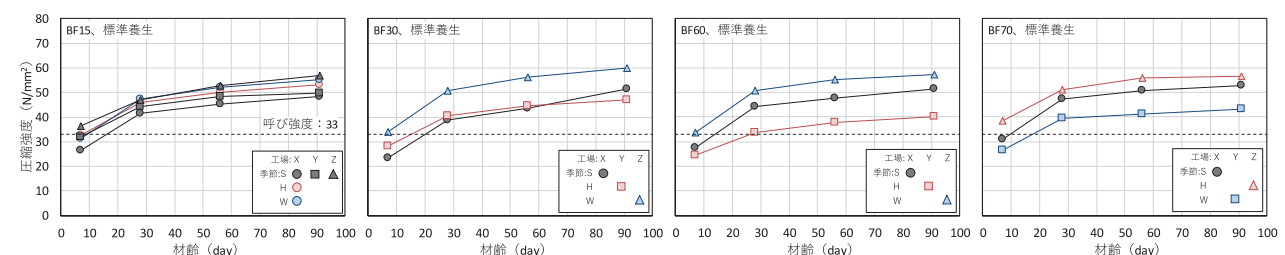


図-13 標準養生における材齢と圧縮強度 (呼び強度33)

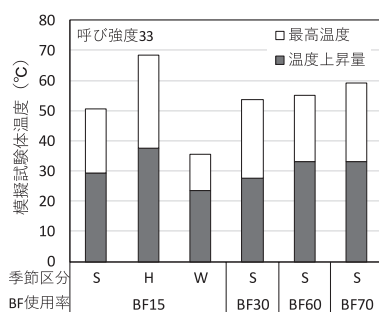


図-14 柱模擬試験体の最高温度および温度上昇量

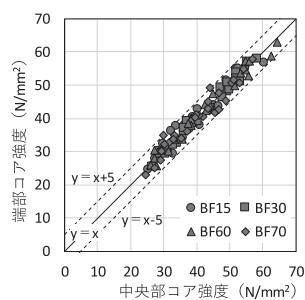


図-15 中央部と端部のコア強度の関係

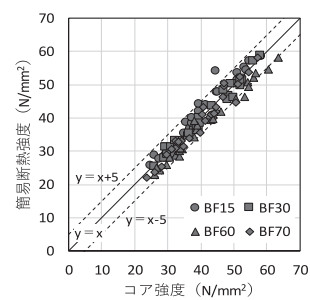
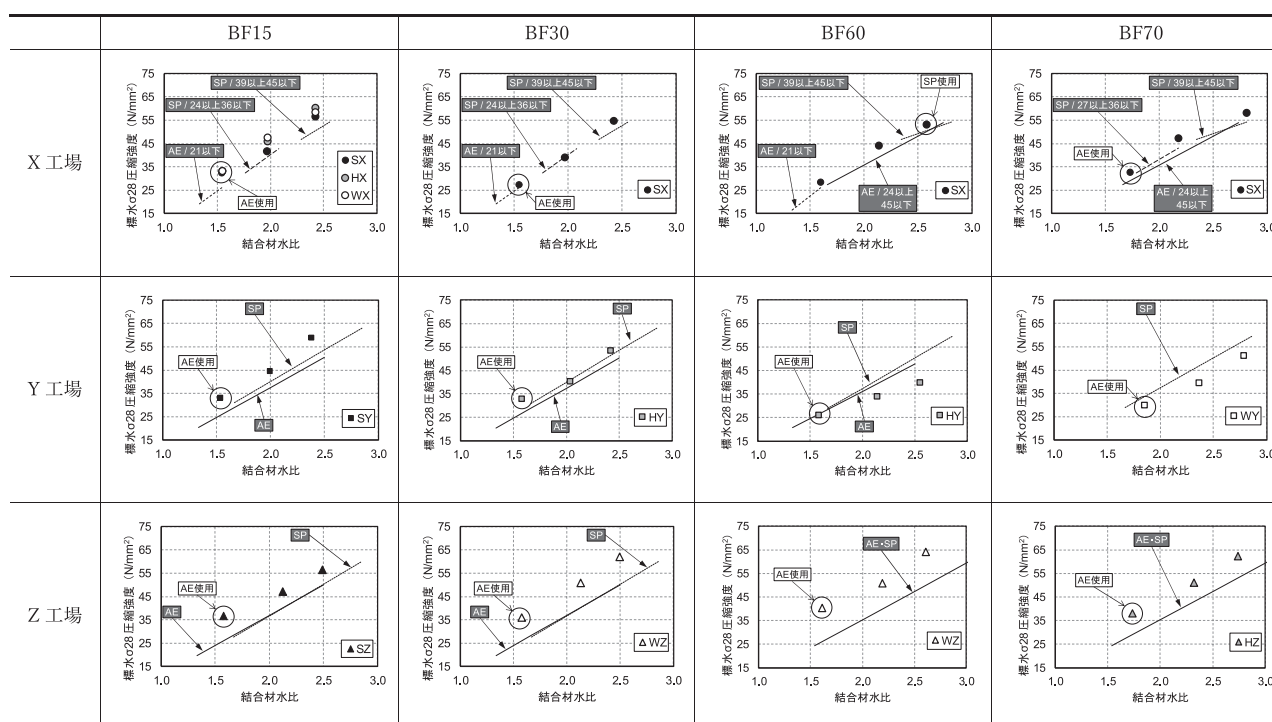


図-16 コア強度と簡易断熱養生強度の関係



注) 図中の線形は生コン工場の強度算定式 (AE:AE 減水剤、SP: 高性能 AE 減水剤) を示す

図-17 各生コン工場の強度算定式と実機実験による標準養生28日圧縮強度との関係

3.7 柱模擬試験体の試験結果

図-14にX工場で作製した柱模擬試験体の最高温度と温度上昇量を示す。BF15においては、コンクリートの最高温度、温度上昇量ともに季節に応じて変化し、夏期で大きく、冬期で小さくなった。また、BF使用率において最高温度および温度上昇量に大きな差はみられないが、BF70では全体的に最高温度が高かった。

図-15に柱模擬部材における中央部と端部のコア強度の関係を示す。コア強度においては、中央部と端部に明確な違いはなく、いずれも同等の強度であった。

また、コア強度と簡易断熱による供試体の圧縮強度の関係を図-16に示す。同条件におけるコアと簡易断熱供

試体の強度はおよそ1:1の関係で、BFを用いたコンクリートにおいても、簡易断熱養生により構造体コンクリートの強度を推定することができると考えられる。

3.8 BFを使用したコンクリートの圧縮強度に関わる調合設計

BFを使用したコンクリートにおける圧縮強度に関わる調合設計について、実機実験の結果から以下のように検討を行った。

(1) 強度算定式

各生コン工場の強度算定式と実機実験による標準養生材齢28日の圧縮強度試験結果の比較を図-17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ている。一方で、BF60、BF70では、X工場、Z工場では同様に強度算定式と同等か上回るが、Y工場では強度算定式を下回る結果となった。また、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採用した強度算定式と同等の傾きであることが確認できる。

今回の結果においてY工場のBF60、BF70で強度算定式を下回った原因は定かではないが、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、室内のみでなく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を把握し、必要に応じて切片を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。

(2) 構造体強度補正值 ($_{28}S_{91}$)

標準養生した材齢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 $_{28}S_{91}$ 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/mm^2 と示されている。高炉セメントA種およびC種についての規定はないものの、高炉指針ではA種相当～C種相当では同じく3または 6N/mm^2 の標準値が $_{28}S_{91}$ として示されている。

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-18に示す。また、告示第1102号の根拠資料となった実験結果²⁾を併記した。全体的な傾向として、季節区分およびBF使用率が同条件であれば、実強度であるコアの圧縮強度が大きくなるほど $_{28}S_{91}$ 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、普通強度となる設計基準強度 $18\sim 36\text{N/mm}^2$ の範囲ではおおむね3または 6N/mm^2 を満足していた。

4. BFを使用したコンクリートの耐久設計

JASS 5では供用期間の級に応じて、耐久性を確保するための圧縮強度として、耐久設計基準強度を示しており、これは実暴露による中性化速度係数との関係より求められている。また、高炉指針では、促進中性化試験による中性化速度係数との関係より、高炉セメントA種・A種相当からC種・C種相当の範囲で耐久設計基準強度が規定されているが、本報告とはBF使用率の範囲が異なる。

そこで、ここでは2.5節で示した室内実験における促進中性化試験の結果から、本報告の範囲のA種～C種クラスに応じた耐久設計基準強度の検討を行う。また、検討にあたり、妥当性を確認する目的で、BF使用率 $10\sim 75\%$ の既往の研究結果^{3)～8)}を含めることとした。

図-19にW/Bと中性化速度係数の関係を示す。図-19より、文献3)の中性化速度係数が小さい傾向であるが、中性化速度係数とW/Bの関係は全体的には直線的であり、本報告の試験値は特異な値ではないことが確認できる。

構造体コンクリートの耐久性については、本来、実暴露による中性化の進行より求めることが望ましいが、BFを使用したコンクリートの実暴露による中性化試験の実績が乏しいことから、図-19の関係式により評価することとした。この関係式より、屋外 (CO_2 濃度: 0.05%) および屋内 (0.10%) とした鉄筋腐食確率 20% となるW/Bと呼び強度の関係から求められる、耐久設計基準強度は表-5となる。これは、A種クラスおよびB種クラスではJASS 5で示される耐久設計基準強度と同値となり、C

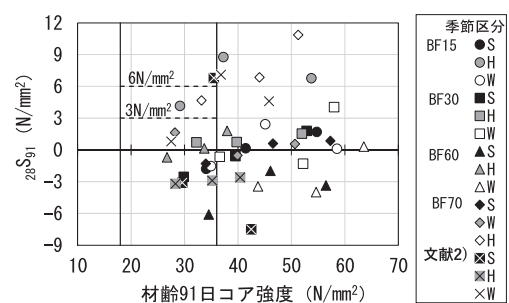


図-18 材齢91日のコア強度と構造体強度補正值 $_{28}S_{91}$

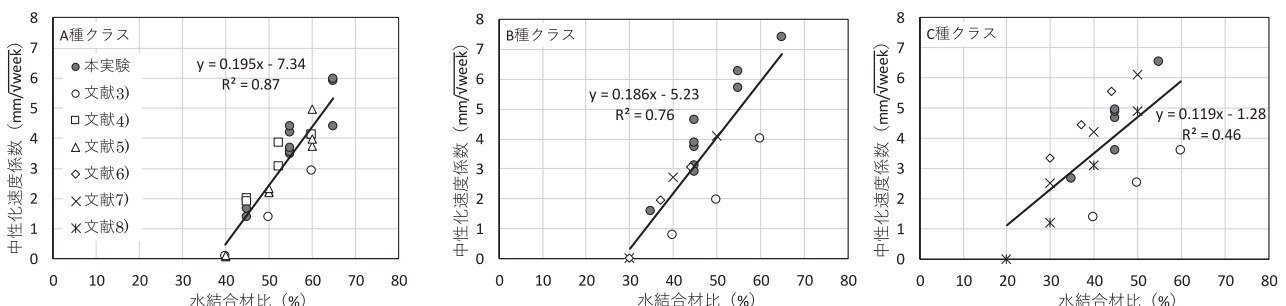
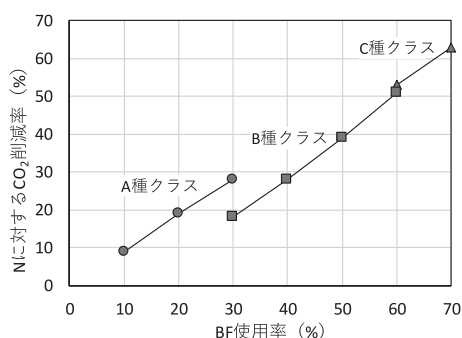


図-19 水結合材比と中性化速度係数

表-5 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
超長期	JASS 5 と同様に適用範囲外とした		

図-20 BF使用率とCO₂削減率の試算結果

種では3または6N/mm²を上乗せした値となった。

5. 二酸化炭素排出量の削減効果

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における二酸化炭素排出量の削減効果について、BF使用率とNを基準とした二酸化炭素の削減率の関係を図-20に示す。なお、各材料の二酸化炭素排出量は文献9)を参考にした。二酸化炭素排出量の削減率は、N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においても二酸化炭素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。

6. おわりに

本報告では、高炉スラグ微粉末の製造に起因する二酸化炭素の排出量が少ないことなどから、環境負荷低減の効果が大きい技術である高炉スラグ微粉末を普通ポルトランドセメントに10～70%の範囲で使用するコンクリートについて、室内および実機実験より得られた知見を紹介した。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・実用例も多く報告されている。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。

本報告で紹介したコンクリートは、同一の高炉スラグ微粉末を用いることで、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。

【参考文献】

- 金子樹ほか3名：各種の使用率で高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの諸性状および環境配慮性、コンクリート工学, Vol.59, No.3, pp.247-254, 2021.3
- 棚野博之ほか14名：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
- 辻大二郎ほか7名：混合セメントを用いたコンクリートの耐久性能（その7）, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.49-50, 2016.8
- 小林利充ほか3名：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, pp.61-62, 2017.8
- 金子樹ほか3名：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, pp.63-68, 2017.8
- 溝渕麻子ほか2名：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, pp.185-188, 2011.8
- 大岡督尚ほか2名：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, pp.79-84, 2016.8
- 辻大二郎ほか7名：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, pp.205-210, 2011.8
- 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, pp.158-168, 2017.9

【執筆者】

*1 古川 雄太
(FURUKAWA Yuta)*2 金子 樹
(KANEKO Tatsuki)*3 河野 政典
(KONO Masanori)*4 高橋 祐一
(TAKAHASHI Yuichi)