

各種使用率で高炉スラグ微粉末を混和材として用いた 環境配慮型コンクリートの調合設計および耐久性に関する検討

唐沢 智之*1・川又 篤*1

概 要

建設業界におけるエネルギーの消費量や二酸化炭素の排出量は大きく、取り分けセメント産業の二酸化炭素排出量は国内全体の約 4%を占めている。経済産業省でも、非エネルギー起源の二酸化炭素削減のため、混合セメントの利用拡大の方策を示している。そこで、高炉スラグ微粉末を幅広い使用率で混和材料として用いたコンクリートについて、各種性状を把握し、建築物への汎用的な適用に関する実験・検討を行った。

本研究では、普通ポルトランドセメントに高炉スラグ微粉末を 10～70%の範囲で使用した環境配慮型コンクリートに関して、以下の項目について検討した。(1) コンクリートの調合設計手法、(2) 構造体強度補正值 $_{28}S_{91}$ 、(3) 構造体コンクリートの耐久性および養生、(4) 二酸化炭素の排出量の削減効果。そして、これらの検討結果から、環境配慮型コンクリートの適用のための基礎的なデータを収集した。

キーワード：環境配慮型コンクリート、高炉スラグ微粉末、混和材料、調合設計、耐久性

STUDY ON MIX DESIGN AND DURABILITY FOR ENVIRONMENTALLY FRIENDLY CONCRETE USING GRANULATED BLAST-FURNACE SLAG IN VARIOUS USAGE RATES AS A MINERAL ADMIXTURES

Tomoyuki KARASAWA*1, Atsushi KAWAMATA*1

Abstract

Energy consumption and carbon dioxide emissions in the construction industry are large, and in particular, carbon dioxide emissions in the cement industry account for about 4% of the total country. The Ministry of Economy, Trade and Industry has also shown measures to expand the use of mixed cement in order to reduce carbon dioxide emission from non-energy sources. Therefore, we grasped various properties of concrete using granulated blast-furnace slag as a mineral admixture at a wide range of usage rates, and conducted experiments and studies on general-purpose application to buildings.

In this study, regarding environmentally friendly concrete using ordinary Portland cement with granulated blast-furnace slag in the range of 10 to 70%, and the following items are examined, (1) Concrete mix design method, (2) Structural strength correction value $_{28}S_{91}$, (3) Durability and curing of structural concrete, (4) Effect of reducing carbon dioxide emissions. And from these examination results, we acquired the fundamental data of the application of environmentally friendly concrete.

Keywords: Environmentally friendly concrete, Granulated blast-furnace slag, Mineral admixture, Mix design, Durability

*1 Material Group, Research & Development Center, Construction Technology General Center

各種使用率で高炉スラグ微粉末を混和材として用いた 環境配慮型コンクリートの調合設計および耐久性に関する検討

唐沢 智之*1・川又 篤*1

1. はじめに

建設業界における二酸化炭素の排出量は、産業別に見ても大きな割合を示し、建築分野に限定しても住宅やオフィスビルの建設では国内全体の約 10%の二酸化炭素を排出するとも試算されている。また、セメント産業では同様に約 4%の二酸化炭素の排出量を占めており、構造材料として最も使用量が多いコンクリート分野において、二酸化炭素排出量の削減は、重要な課題であると考えられる。

経済産業省では、非エネルギー起源の二酸化炭素削減のため、混合セメントの利用拡大の方策を示し、混合セメントの利用率を 2013 年度の 22.1% から 2030 年度には 25.7% とすることを目標としている¹⁾。混合セメントの一つである高炉セメントは JIS R 5211 でセメント中の高炉スラグの分量に応じて A~C 種に分類されている。高炉スラグ微粉末(以下、BF と記す)の構成材料における二酸化炭素の排出量の原単位が、ポルトランドセメントの 772kg-CO₂/t に対して 35.6kg-CO₂/t と小さいこと²⁾から、高炉セメントでは、高炉スラグの分量が多くなるほど二酸化炭素排出の削減量も大きくなる。一方、日本建築学会では、建築工事標準仕様書 JASS 5 鉄筋コンクリート工事³⁾(以下、JASS 5 と記す)において、それぞれの高炉セメントの特性が示されており、A 種は普通ポルトランドセメントと同様な性質を持つことから上部構造物への適用を、B 種や C 種では杭や地下構造物への適用を提案しているものの、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難い。それ故に近年、高炉セメント C 種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

用に関する研究^{4),5)}が行われており、これらはいずれも、BF などの混和材料をセメントの代替として使用している。

しかし、セメントや混和材料の種類や量などの仕様が異なると、レディーミクストコンクリート工場(以下、生コン工場と記す)においては、材料の手配やサイロ・貯蔵ビンの確保、調合設計といった煩雑な管理が必要となり、それらが負担となる面もある。従って、各種の高炉セメントの使い分けでなく、BF を混和材料として幅広い使用率で用いた環境配慮型コンクリートは、使用率に応じて各部位に求められる性能を満たすことができ、かつ、生コン工場におけるサイロや流通といった材料管理の負担も最小限にすることができると考えられる。

そこで、筆者らは、BF を混和材料として用いた環境配慮型コンクリートについて、各種性状を把握し、建築物への汎用的な適用に関する実験・検討を行ってきた^{6)~8)}。本研究では、普通ポルトランドセメントに BF を 10~70% の範囲で使用した環境配慮型コンクリートについて以下の検討を行った。

(1) コンクリートの調合設計手法

フレッシュコンクリートおよび圧縮強度の制御における生コン工場の強度算定式を用いた一般的な調合設計手法の適用性。

(2) 構造体強度補正值²⁸S₉₁

建設省告示第 1102 号および JASS 5 に示される普通ポルトランドセメントまたは高炉セメント B 種の標準値との比較。

(3) 構造体コンクリートの耐久性および養生

BF を多量に使用することによる中性化抵抗性への影響および型枠存置期間、湿潤養生の打切り

*1 建設技術総合センター 研究開発センター 材料グループ

時期の検討。

(4) 二酸化炭素の排出量の削減効果

同一呼び強度の普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートとの二酸化炭素の排出量の比較。

なお、本研究は、長谷工コーポレーション、青木あすなろ建設、浅沼組、安藤・間、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、矢作建設工業の13社で組織された共同研究「環境配慮型コンクリートの諸性状および評価方法研究会」において「CELVIC 環境配慮型 BF コンクリート」の開発として実施し、建設材料技術性能証明(GBRC 材料証明 第20-04号)を取得したものである。

2. 実機実験の概要

2.1 実験の組合せ

実機実験の組合せを表-1に示す。混和材としてセメントの一部を置換するBFの使用率は、15%および30%(A種クラス)、60%(B種クラス)、70%(C種クラス)の計4水準とした。ここでは、BF使用率に応じて、例えばBF使用率10%を超え30%以下を「A種クラス」と表記することとした。これは、各BF使用率をJIS R 5211の高炉セメントの種類およびBFの分量と対応させたためである。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²⁾(以下、高炉指針と記す)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」と定義しており、本研究におけるA種クラスのBF使用率とは一致していない。打込み時期は、標準期(S)、夏期(H)および冬期(W)の3シーズンとした。対象とした生コン工場は、東京都内の臨海部に位置する3工場(X, Y, Z)とし、各工場異なる銘柄のBF(a, b, c)を使用した。目標とする呼び強度(以下、目標呼び強度と記す)は、21, 33および42の3水準とした。

2.2 使用材料および調合

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、セメントの種類は普通ポルトランドセメント(以下、Nと記す)とした。使用したBFの物性値を表-2に示す。BFと化学混和剤の組合せは各工場で異なり、BFの3銘柄(a, b, c)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同一ロットの製品ではないが、いずれも各銘柄の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、呼び強度33および42では高性能AE減水剤を使用し、BF使用率が60%、70%ではBF高含有に対応できるものとした。

製造したコンクリートの調合例を表-3に示す。コンクリートの水結合材比は、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 A 5308の強度算定式との関係を確認して決定した。各目標呼び強度に対して、BF使用率15%および30%はNの強度算定式、60%は高炉セメントB種(以下、BBと記す)の強度算定式を用い、70%はBBの強度算定式に対して切片を3または6N/mm²減じた式を用いた。

表-1 実験の組合せ

項目	工場:X	工場:Y	工場:Z
BF 銘柄	c	b	a
混和剤メーカー	イ	ロ	ハ
打込み時期	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		

表-2 使用したBFの物性値

銘柄	種類	密度 (g/cm ³)	比表面積 (cm ² /g)	強熱減量 (%)
a	高炉スラグ微粉末	2.89	4370	0.32
b	4000	2.86	4290	1.24
c	(せっこう添加タイプ)	2.89	4390	0.63

表-3 調合の例(X工場, 標準期, 呼び強度33)

記号	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)						Ad (B×wt.%)
			W	C	BF	S1	S2	G	
BF15	50.8	46.0	170	285	50	328	490	989	0.875
BF30	50.8	45.9	170	235	100	326	487	989	1.05
BF60	46.8	48.7	181	155	232	330	493	894	1.10
BF70	45.7	47.8	170	111	260	336	503	918	0.975

C(セメント):普通ポルトランドセメント, 密度3.16g/cm³

S1(細骨材 1):市原産山砂, 表乾密度2.60g/cm³

S2(細骨材 2):佐野産砕砂, 表乾密度2.66g/cm³

G(粗骨材):佐野産2005砕石, 表乾密度2.70g/cm³, 実積率60.0%

Ad(混和剤):ポリカルボン産系高性能AE減水剤

3. 試験項目および方法

3.1 フレッシュコンクリート試験

フレッシュコンクリートの試験は、スランブ (JIS A 1101), 空気量(JIS A 1128), コンクリート温度(JIS A 1156)とし、練混ぜ 0, 30, 60, 90 分および 120 分後に実施した。なお、各試験時間まではアジテータ車を低速回転して待機させた。

3.2 圧縮強度試験

圧縮強度試験は、管理用供試体(JIS A 1108)およびコア供試体(JIS A 1107)により行った。管理用供試体は標準養生(材齢 28 日)および現場封かん養生(材齢 1, 3, 5, 7, 28 日)とし、コア供試体は図-1 に示す模擬試験体より採取した。現場封かん養生した供試体は、模擬試験体と同様の場所に保管し、材齢 5 日までの試験材齢は BF 使用率や打込み時期により材齢 1 日と 3 日または 3 日と 5 日とした。また、各供試体および模擬試験体は、練混ぜ 60 分後に採取および打込みを行った。模

擬試験体は、寸法 1000mm×1000mm×1000mm とし、コア供試体は、材齢 28 日, 56 日および 91 日において模擬試験体の端部および中心部から採取し、縦方向におよそ 200mm 間隔で切断した。コア強度は、端部および中心部の各 4 本の合計 8 本の平均値とした。

3.3 促進中性化試験

促進中性化試験は、X 工場の標準期における BF15, BF30 および BF70 の各呼び強度を対象に実施し、供試体は 100mm×100mm×400mm の角柱供試体とした。供試体は打込み後に湿潤養生を行い、BF15 および BF30 は材齢 1, 3, 7 日, BF70 は材齢 3, 5, 7 日に脱型し、脱型後は 20°C の恒温室に保管し材齢 56 日で JIS A 1153 の促進条件で試験を開始した。中性化深さの測定は、促進試験開始前と、促進材齢 1, 4, 8, 13 週および 26 週に JIS A 1152 に準拠して実施した。中性化深さは、1 側面 5 箇所での測定値のうち上下両端を除く 3 点, 2 側面の合計 6 箇所の平均値とした。

4. 試験結果および考察

4.1 コンクリートの調合設計手法

(1) フレッシュ性状

スランブおよび空気量は実際の運搬時間を想定し、練混ぜ 60 分後に管理値を満足することを目標とした。スランブの管理値は BF 使用率に関わらず呼び強度 21 および 33 では 18.0±2.5cm, 呼び強度 42 では 21.0±2.0cm とし、空気量の管理値はいずれも 4.5±1.5%に設定した。呼び強度 33 の練混ぜ 60 分後のフレッシュ性状を表-4 に、フレッシュ性状の経時変化の例(BF60, 呼び強度 33)を図-2 に示す。スランブは、時間の経過とともに低下する傾向であり、特に、夏期では練混ぜ

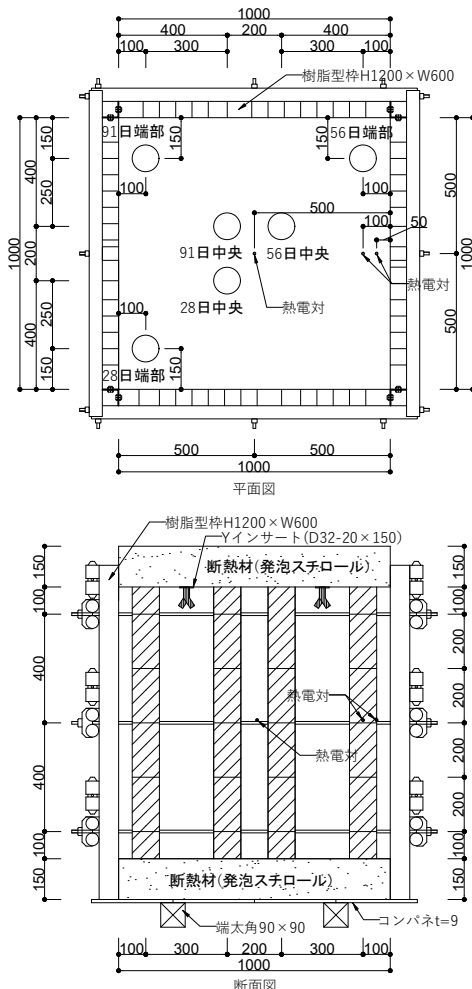


図-1 模擬試験体の概要

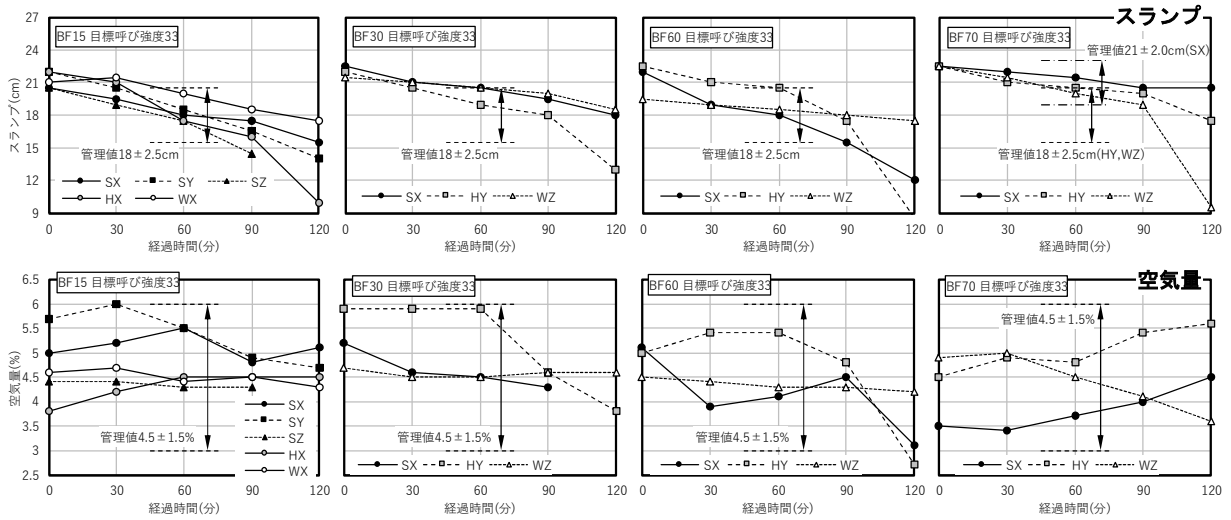
表-4 経時 60 分でのフレッシュ性状(呼び強度 33)

工場	BF15		BF30		BF60		BF70	
	スランブ (cm)	空気量 (%)	スランブ (cm)	空気量 (%)	スランブ (cm)	空気量 (%)	スランブ (cm)	空気量 (%)
X	18.0(S)	5.5(S)	18.0(S)	4.5(S)	18.0(S)	4.1(S)	21.5(S)	3.7(S)
	17.5(H)	4.5(H)						
	20.0(W)	4.4(W)						
Y	18.5(S)	5.5(S)	20.5(H)	5.9(H)	20.5(H)	5.4(H)	20.5(W)	4.8(W)
	17.5(S)	4.3(S)						
	20.5(W)	4.5(W)						
Z	18.5(W)	4.3(W)	18.5(W)	4.3(W)	20.0(H)	4.5(H)		

※数字後ろ()内の記号は打込み時期を示す。

90 分後、120 分後で管理値を外れるものも見られており、練混ぜ後 90 分から 120 分にかけての低

下が大きかった。空気量は BF 使用率に関わらず練混ぜ 60 分後で管理値を満足したが、BF60 の夏



凡例：打込み時期 S:標準期, H:夏期, W:冬期, 生コン工場種別 X, Y, Z 以下共通

図-2 フレッシュ性状の経時変化の例(BF60, 呼び強度 33)

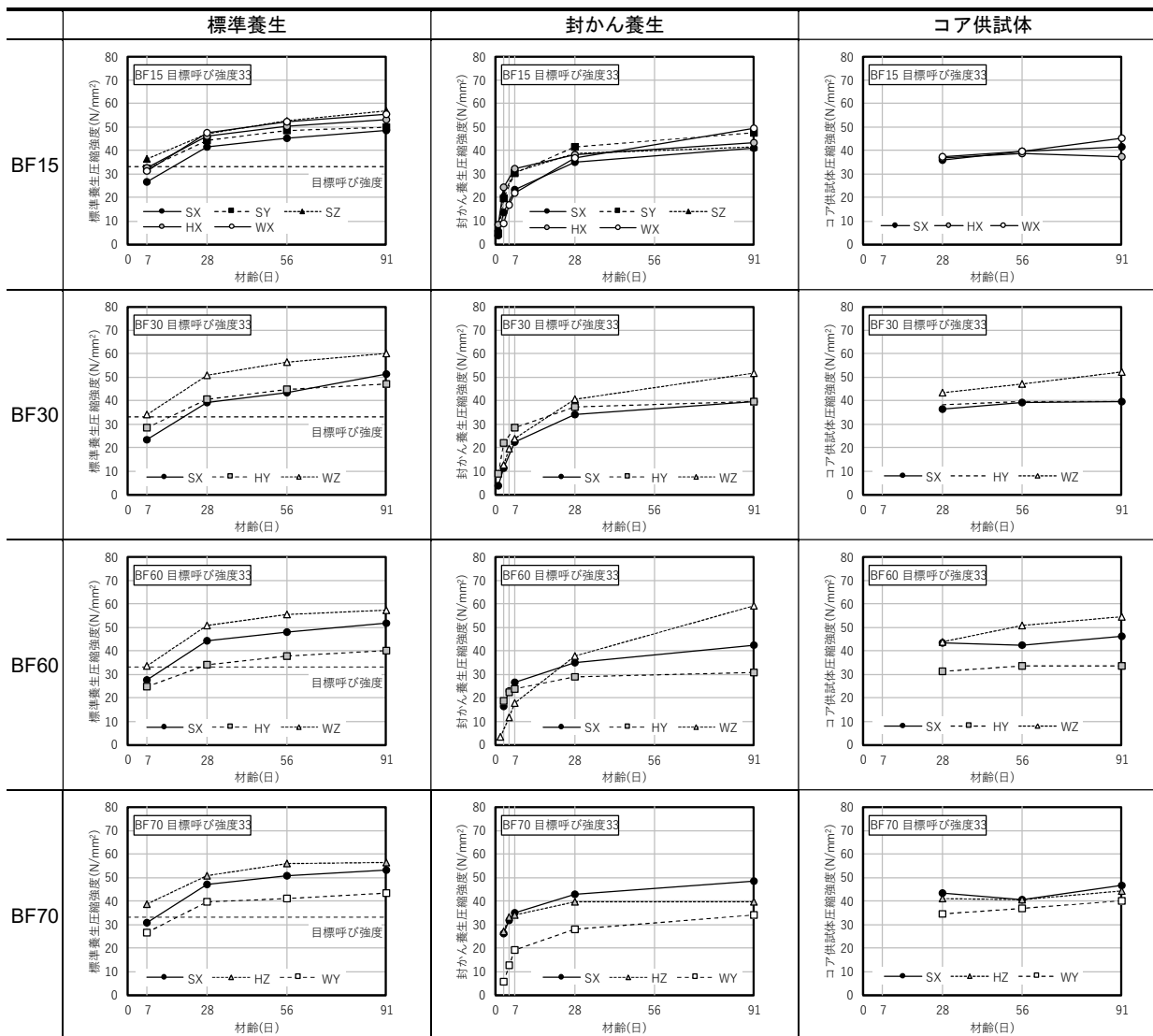
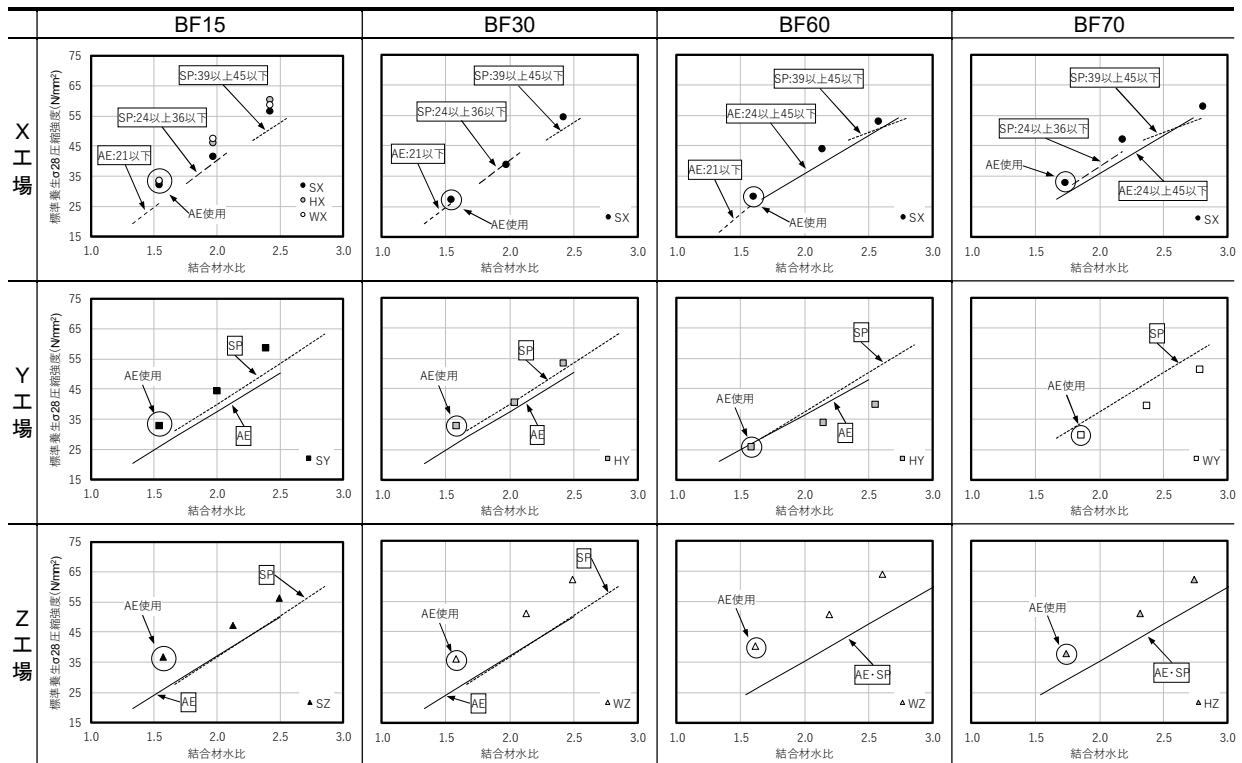


図-3 材齢と圧縮強度の関係(呼び強度 33)



凡例：図中の線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-4 標準養生材齢28日の圧縮強度試験結果の比較

期については練混ぜ120分後で管理値から外れており、スランプと同様に練混ぜ後90分から120分にかけての低下が大きかった。以上の結果より、あらかじめ運搬時のフレッシュ性状の変化を見込むなどの調整を行うことで、現場荷卸し時に所要のフレッシュコンクリートの性状を満足することが確認できた。一方、夏期では、練混ぜから打込み完了までの時間管理が重要であることがわかった。

(2) 強度設計

目標呼び強度33における材齢と圧縮強度の関係を図-3に示す。BF15については、標準養生供試体、封かん養生供試体、コア供試体ともに打込み時期や工場の違いによらず概ね同様の強度発現性状を示した。一方、BF30については標準養生供試体、封かん養生供試体、コア供試体ともにWZの圧縮強度がSX、HYと比べて高い傾向を、BF60についてはWZ、SX、HYの順に圧縮強度が低くなる傾向を、BF70についてはWYの圧縮強度がSX、HZと比べて低い傾向を示しており、BF使用率の違いにより強度発現性に違いが

みられた。全体的には、BF使用率が増加すると打込み時期や工場間での圧縮強度の違いが大きくなる傾向であった。

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-4に示す。実機実験にあたって採用した強度算定式は前述した通り、生コン工場が運用するNとBBの強度算定式を基に、事前実施した試し練りの結果を考慮して決定している。結合材水比と圧縮強度の関係は、いずれのBF使用率、生コン工場で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た。本実験では、原因が定かではないものの、Y工場のBF60、BF70で管理用供試体の圧縮強度が強度算定式を下回った。そのため、実物件への適用にあたっては、採用されるBF使用率を考慮して今回のような手順で実機実験を実施した上で、生コン工場の強度算定式に対して切片を3または6N/mm²減じるなどの対策を講ずることにより、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。

(3) 圧縮強度の標準偏差

X工場のBF15の実機実験における3シーズンの実験から得られた標準水中養生材齢28日の圧縮強度の標準偏差を図-5に示す。本実験における圧縮強度の標準偏差は、いずれの水結合材比においても図中に併記したX工場のNの実績に基づく標準偏差を下回っており、A種クラスにおいてはBFを使用することによる影響は小さいと判断できる。B種クラスやC種クラスにおいては、本実験の範囲では十分な検討ができないものの、生コン工場では強度設計にあたりNとBBで同様の標準偏差を用いることから、強度算定式と同様に、これらの標準偏差を用いることができるものと考えられる。

示第1102号およびJASS5でそれぞれ3または6N/mm²と規定されているが、結合材の種類として高炉セメントA種およびC種については規定がない。一方、高炉指針ではA種相当~C種相当に該当する結合材種類に応じて₂₈S₉₁の標準値について示されており、本検討範囲においても高炉指針と同様に整理できるものと考えて検討を行

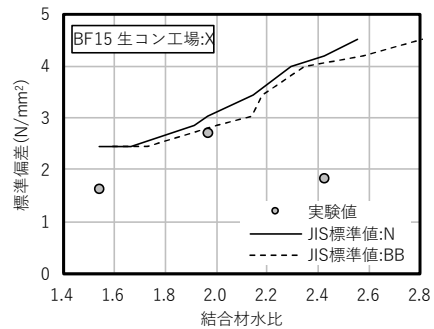


図-5 圧縮強度の標準偏差と標準値(X工場)

4.2 構造体強度補正值 ₂₈S₉₁

構造体強度補正值 ₂₈S₉₁ の標準値は、建設省告

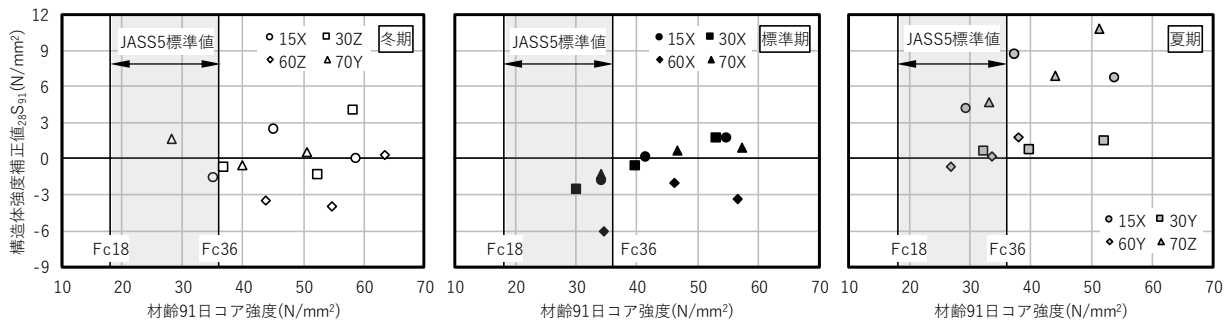


図-6 材齢91日コア強度と構造体強度補正值 ₂₈S₉₁ の関係

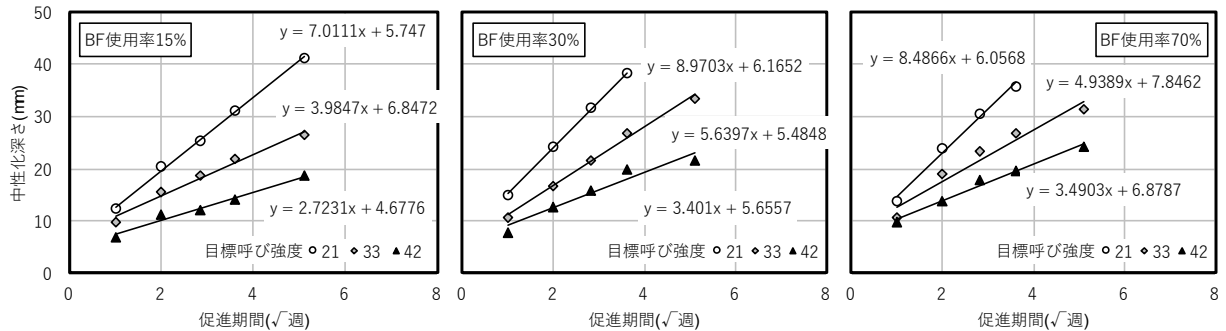


図-7 促進期間と中性化深さの関係(脱型材齢3日)

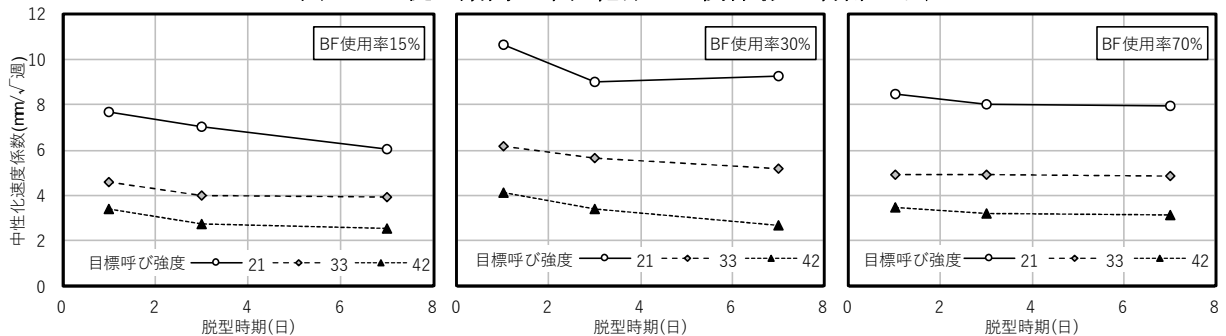


図-8 脱型時期と中性化速度係数の関係

った。実験結果から得られた材齢 91 日のコア強度と $28S_{91}$ の関係を図-6 に示す。既往の一般的な傾向と同様に、実強度であるコアの圧縮強度が高くなるほど $28S_{91}$ が大きくなる傾向が確認できた。打込み時期の影響としては、標準期が小さく、冬期、夏期の順に大きくなる傾向が認められた。また、普通強度となる設計基準強度 18~36N/mm² の範囲では概ね 3 または 6N/mm² を満足していた。

4. 3 構造体コンクリートの耐久性および養生

(1) 中性化抵抗性

促進期間と中性化深さの関係を図-7 に示す。促進期間の平方根と中性化深さには直線的な関係が認められ、BF 使用率、脱型時期、水結合材比に関わらず \sqrt{t} 則が成り立つことが確認できた。脱型時期と中性化速度係数の関係を図-8 に示す。水結合材比、BF 使用率に関わらず、脱型時期が遅くなると中性化速度係数が小さくなる傾向が認められた。また、脱型時期が 3 日から 7 日にかけては中性化速度係数の変化が小さいことから、脱型時期を 3 日以降とすれば、中性化速度係数への影響が小さいことが確認できた。

(2) 積算温度と強度発現性

現場封かん養生した供試体の強度発現性と、期間中の外気温を用いた積算温度との関係から、所定の強度が発現する日数の目安について試算を行った。積算温度と呼び強度に対する現場封かん養生の圧縮強度比との関係を図-9 に示す。なお、検討は材齢 28 日までのデータを対象とした。積算温度と圧縮強度比は、いずれの BF 使用率においても直線的な関係を示し、図中に併記した近似式は BF 使用率によらず実測値と比較的良好な対応を示した。ここで、告示で規定されている柱、壁などのせき板を取り外すことのできる圧縮強度 5N/mm² が得られる日数を、この近似式を用いて算出した。設計基準強度毎の圧縮強度 5N/mm² を得る日数と期間中の平均気温との関係を図-10 に示す。試算の結果、BF 使用率に関わらず、いずれもほぼ同程度の材齢で所定強度に達することがわかった。本研究における室内実験の結果として材齢初期の圧縮強度は、同一水結合材比の場合 BF 使用率の増加に伴い小さくなることになっている⁹⁾。しかし、構造体強度補正値を考慮して目標呼び強度を合わせることで、BF 使用率が大きい場合には水結合材比(水セメント比)が小さくなり、せき板の取り外しや湿潤養生の打切りに必要となる圧縮強度に達する材齢は、BF 使

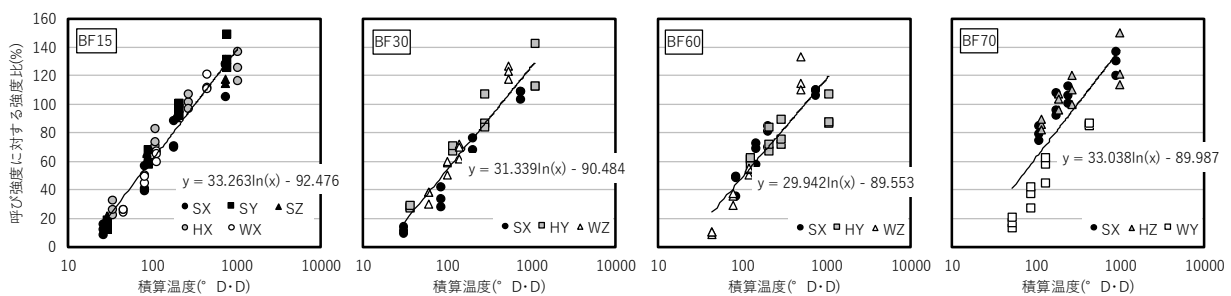


図-9 積算温度と目標呼び強度に対する強度比

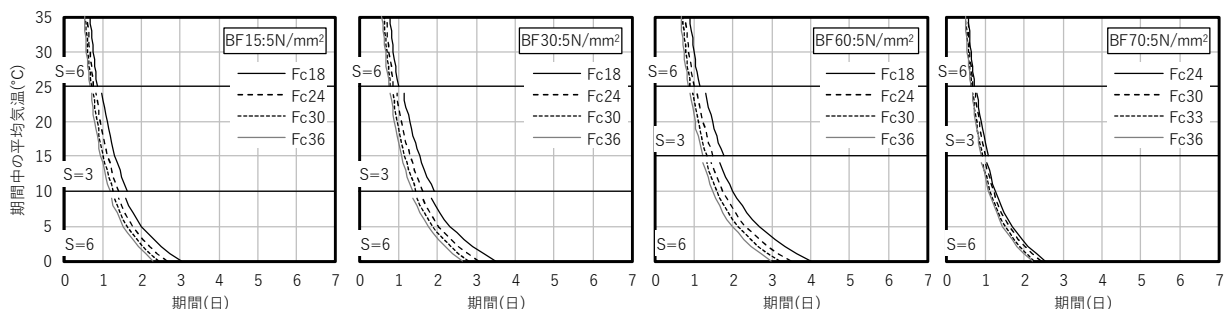


図-10 近似式より算出した柱・壁などのせき板の存置期間と期間中の平均気温

用率の違いが大きく影響しない程度となることがわかった。

(3) 湿潤養生期間の妥当性

JASS 5 では、初期の湿潤養生の期間が短いほど、かつ水和速度の遅いセメントほど中性化が早く進行するため、セメントの種類毎に湿潤養生期間の日数や湿潤養生を打ち切ることができる所定強度が規定されている。しかし、JASS 5 において湿潤養生期間の日数について規定があるのは、高炉セメントでは B 種のみである。そこで本実験の促進中性化試験結果より、湿潤養生の打ち切り(脱型)時期が中性化速度へ及ぼす影響について検討を行った。脱型時強度と材齢 7 日を基準とした中性化速度係数比の関係を図-11 に示す。また、図-11 中には JASS 5 および高炉指針において、湿潤養生期間の設定の根拠としているデータ^{9),10)}についても併記した。本実験結果に着目すると、材齢 7 日を基準とした中性化速度係数比は、脱型時強度が 10N/mm² 以上では概ね 1.1 以下の値であった。また、本実験結果は、既往の実験結果とほぼ同様の傾向を示しており、材齢 7 日で脱型した場合と比較して、それ以前に脱型した場合でも脱型時強度が 10N/mm² 以上であれば中性化速度係数の増加は 10%程度以下となる。以上より、構造体コンクリートの耐久性能は、耐久設計基準強度で確保するものとした場合、湿潤養生の打ち切り時の圧縮強度が 10N/mm² 以上であれば、湿潤養生期間 7 日とした場合と同程度を確保できると考えられる。

4. 4 環境配慮性

実験結果に基づく調合設計で試算した呼び強度 33 の各クラスにおける二酸化炭素排出量の削減効果を表-5 に、BF 使用率と N のコンクリート調合に対する二酸化炭素の削減率の関係を図-12 に示す。A 種クラスの水結合材比は N の呼び強度 33 の水セメント比と同一、B 種クラスは BB の呼び強度 33 と同一、C 種クラスは BB の呼び強度 36 の水セメント比と同一としている。二酸化炭素排出量の削減率は、N のコンクリート調合に対して、A 種クラスで約 9~28%、B 種クラ

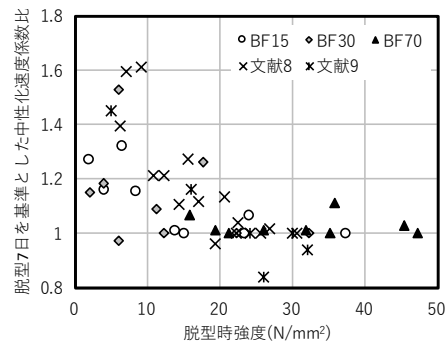


図-11 脱型時強度と脱型 7 日を基準とした中性化速度係数比

表-5 CO₂排出量の削減効果の試算

種類	N	A 種 クラス		B 種 クラス	C 種 クラス	
BF 使用率(%)	0	10	30	60	70	
水結合材比(%)	50.8	50.8	50.8	46.8	45.7	
単位量 (kg/m ³)	N	335	30.2	235	155	111
	BF	0	34	100	232	260
CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /m ³)	258.6	234.4	185.0	127.9	94.9	
CO ₂ 削減率(%)	0	9	28	51	63	

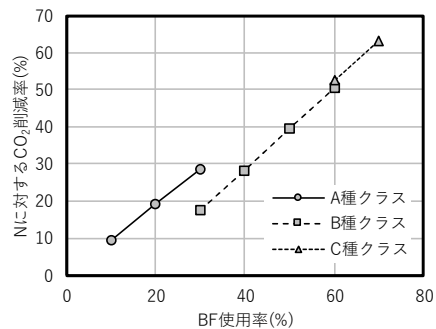


図-12 BF 使用率と N のコンクリート調合に対する CO₂ の削減率の関係

スで 18~51%、C 種クラスで 53~63%となる。なお、排出量の削減率は強度レベルによらず、概ね同様な値となる。

5. まとめ

普通ポルトランドセメントに高炉スラグ微粉末を 10~70%の範囲で使用した環境配慮型コンクリートについて、本実験で得られた知見を以下に示す。

- 1) JIS A 5308 および JASS 5 と同様な調合設計手法により、フレッシュコンクリートの性状および圧縮強度の制御が可能である。
- 2) 積算温度により現場封かん養生の圧縮強度は概ね推定が可能である。

- 3) 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 に示される普通ポルトランドセメントまたは高炉セメント B 種の標準値と同等である。
- 4) 期間中の平均気温と圧縮強度の発現性の関係から設定した湿潤養生により、所定の強度および中性化に対する耐久性を確保できる。
- 5) 普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートに比べ、同一強度における二酸化炭素の排出量は 9~63%削減できる。

謝辞

本研究の実施にあたり、東京コンクリート砂町工場、関東宇部コンクリート工業豊洲工場、晴海小野田レミコン、鐵鋼スラグ協会、フローリック、ポゾリスソリューションズ、日本シーカのご協力をいただきました。関係各位に謝意を表し、ここに記します。

参考文献

- 1) 経済産業省製造産業局住宅産業窯業建材課：セメント産業における省エネ製造プロセスの普及拡大方策に関する調査－混合セメントの普及拡大方策に関する検討－報告書，2016.3
- 2) 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
- 3) 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，2018.7
- 4) 溝渕麻子，小林利充，一瀬賢一：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(関東)，pp.185-190，2011.8
- 5) 和地正浩，米澤敏男，三井健郎，井上和政：高炉スラグ高含有セメントを用いたコンクリートの性質，コンクリート工学年次論文集，Vol.32，No.1，pp.485-490，2010.7
 - 6) 金子樹ほか：各種使用率で高炉スラグ微粉末を混和材として用いたコンクリートの性状(その1~その8)，日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)，pp.535~pp.550，2019.9
 - 7) 高橋祐一ほか：各種使用率で高炉スラグ微粉末を混和材として用いたコンクリートの性状(その9~その18)，日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)，pp.467-486，2020.9
 - 8) 唐沢智之，川又篤：各種使用率で高炉スラグ微粉末を混和材として用いたコンクリートに関する研究，鉄建技術報告，No.33，2019
 - 9) 和泉意登志，寺田謙一，横須賀誠一，松浦光男，松尾忠，大岡督尚，田中久雄，真壁深：せき板の存置期間および初期養生が構造体コンクリートの品質に及ぼす影響に関する研究，日本建築学会構造系論文報告集，No.449，pp35-45，1993.7
 - 10) 松下哲郎，辻大二郎，井上和政，閑田徹志：脱型時期が高炉スラグ高含有セメントを用いたコンクリートの圧縮強度，ヤング係数，中性化抵抗性に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.36，No.1，pp.1714-1719，2014.7