環境配慮型コンクリート（高炉セメントA種相当コンクリート）の開発

Development of environment-conscious concrete (concrete equivalent to blast furnance cement type A)

長井　智哉*　　木村　仁治*
Tomoya Nagai　　Yoshiharu Kimura
中村　雄太*　　ポンマハーサイ　パラミ**
Yuta Nakamura　　Phommahaxay Palamy

要　約

地球温暖化の対策として二酸化炭素排出量を抑制した混合セメントの利用促進が日本国内で図られていることを受け，普通ポルトランドセメントと高炉セメントB種を混合させて製造する環境配慮型コンクリート（高炉セメントA種相当コンクリート）を開発した．室内実験および実機実験を通して得られた結果より，本開発のコンクリートは，Nセメントと同等の強度性状・耐久性状を有していることを確認し，また，実際の生コン工場で製造するにあたっては，工場で採用しているBBセメントの強度採用式，標準偏差を採用することで，本開発のコンクリートにも対応可能ということを明らかにした．

目　次
§1. はじめに
§2. 環境配慮型コンクリートの概要
§3. 室内実験
§4. 実機実験
§5. 計量ばらつき実験
§6. まとめ

§1. はじめに

近年の地球温暖化などの気候変動への対策として,「混合セメントの利用拡大」が掲げられている[1)]．混合セメントは，セメントの一部を高炉スラグやフライアッシュなどの副産物を置換させて製造したセメントであり，普通ポルトランドセメントに比べエネルギー起源による二酸化炭素の排出量が小さくなる．このような背景のもと，混合セメントの利用拡大に向け，特に高炉スラグを使用した環境配慮型のコンクリートの開発・実用が進められている．

そこで，昨今の社会情勢へ対応していく為に，高炉スラグを使用した環境配慮型コンクリートとして，同じ2種類のセメントを混合して製造した高炉セメントA種相当の環境配慮型コンクリート（以下BAコンと略記）を開発した．本報では，室内実験および実機実験を通して得られたBAコンの諸性状について報告する．

§2. 環境配慮型コンクリートの概要

高炉スラグを使用した高炉セメントは，**表―1**に示すように，セメント内に含まれる高炉スラグ微粉末の分量により，JIS R 5211ではA～C種に，日本建築学会（AIJ）指針[2)]ではA種相当～C種相当に分類される．高炉セメントB種およびC種は，強度発現性の遅延や中性化による耐久性能の低下が懸念され，建築分野では地下構造物への適用に限定されることが主である．一方，高炉セメントA種についてはNセメントと同等の強度特性を有することが知られており，地上部分へ高炉セメントを適用させるために，高炉セメントA種相当のコンクリートの開発，実用化が増えている[3)]．ただし，このコンクリートは高炉スラグ微粉末を混和材として用いており，一部の生コン工場では，専用のサイロを確保できないなど，設備的な制約から製造に制限が生じる恐れがある．この対策として，金子ら[4)]により，一般に生コン工場に常備している普通ポルトランドセメント（以下Nと略記）と高炉セメントB種（以下BBと略記）の異なるセメント

表―1　高炉セメントの分類

種類	規格	混和材の分量（%）		
		A種（A種相当）	B種（B種相当）	C種（C種相当）
高炉セメント	JIS R 5211	5を超え30以下	30を超え60以下	60を超え70以下
	AIJ指針[2)]	20以上30以下	40以上50以下	60以上70以下

* 技術研究所建築技術グループ
** 技術研究所建築技術グループ
（現：関東建築（支）虎ノ門3丁目（出））

を混合することにより製造した高炉セメント A 種相当のコンクリートについて検討がなされている．

そこで，地上部分へ高炉セメントを適用させるため，本開発の BA コンについては，金子らが検討している製造方法を参考に，一般的に生コン工場に常備されている N セメントと BB セメントを混合させることによって環境配慮型コンクリートを製造させる．本開発のコンクリートのメリットとして，以下 2 点が挙げられる．

① N セメント単体と比べ約 20％の CO_2 排出量の削減が可能となり，地下構造物においては高炉セメント C 種相当コンクリート[5] を適用（例えば地上：地下＝7：3 の体積比の建物の場合）することで，建物全体で約 40％の CO_2 排出量の削減が図れる．（**図―1**）

② 生コン工場に常備している材料，既存の生産設備を用いる為，一般的なコンクリートと同等のコストで供給が可能である．

§3. 室内実験

3―1　実験概要

2 種類のセメントを混合させる際のセメント混合比率を検証すること，また，BA コンの練り上がり性状，強度性状および耐久性状を確認することを目的として室内実験を実施した．

3―2　実験計画

使用材料を**表―2** に，コンクリートの調合を**表―3** に，試験内容を**表―4** に示す．一般に，セメント中の高炉スラグ微粉末（以下 BF と略記）の混入率として，N では少量混合成分で 0～5％，BB では 40～45％が混入されている．ここでは，製造ロッド毎の BF 混入率の特定は困難であることから，実験に用いた N と BB は，それぞれ同じ 3 社の銘柄を等量混合して使用した．BA コンは JIS R 5211 に準拠し，セメント混合率を高炉セメント A 種相当の BF 混入率となる 3 水準とした．

3―3　実験結果

(1)　ブリーディング

ブリーディング試験の結果を**図―2** に示す．N 調合と BB 混入調合とは概ね同等の結果が得られたことから，BB 混合率によるブリーディング量の影響は小さいと考えられる．

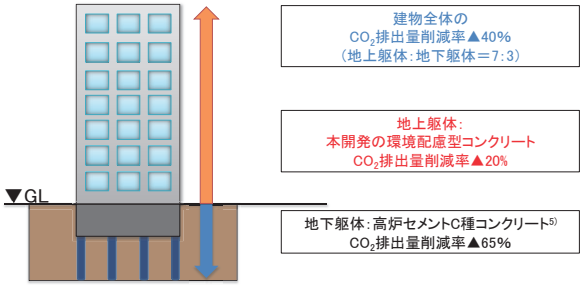
(2)　凝結性状

凝結時間の測定結果を**図―3** に示す．N 調合と BB 混入調合とは概ね同等の結果が得られ，BB 混合率による凝結時間の影響は小さいと考えられる．

(3)　圧縮強度・静弾性係数

圧縮強度試験結果を**図―4** に示す．材齢 7，28 日では BB 混合率の増加に伴い，圧縮強度の低下傾向が見られたが，材齢 56 日以降では高炉スラグによる潜在水硬性の影響により，N より圧縮強度が大きく現れ，既往研究[3, 4] と同様の傾向が確認された．

圧縮強度と静弾性係数の関係を**図―5** に示す．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に沿って推移した．全ての値が推定式より大きく，N,



図―1　環境配慮型コンクリート適用効果の概要

表―2　室内実験　コンクリート使用材料

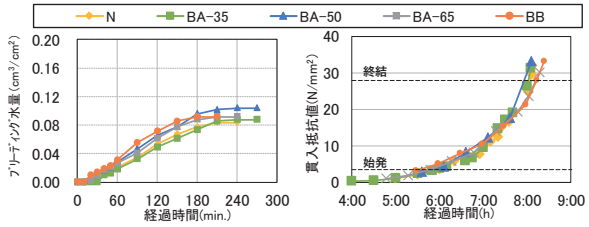
材　料	記号	産地・銘柄	密度(g/cm³)	備考
水	W	水道水	1.00	
セメント	N	普通ポルトランドセメント(OPC)	3.16	A社
			3.16	B社
			3.15	C社
	BB	高炉セメントB種	3.04	A社
			3.04	B社
			3.04	C社
細骨材	S1	陸砂	2.58	粗粒率2.62、
	S2	硬質砂岩砕砂	2.60	粗粒率2.75、
粗骨材	G	硬質砂岩砕石	2.63	粗粒率6.70、実積率60.9%
混和剤	SP	高性能AE減水剤標準形 I 種	1.00	ポリカルボン酸系

表―3　室内実験　コンクリート調合

NO.	調合記号	高炉スラグ微粉末混入率(%)	セメント混合率 N	セメント混合率 BB	W/C (%)	品質目標 スランプ(cm)	品質目標 空気量(%)	s/a (%)	単位量(kg/m³) W	N	BB	S1	S2	G	スランプ(cm)	空気量(%)
1	N	0～5	100	0	50	18	4.5	48.2	170	340	0	591	259	913	19.0	4.9
2	BA-35	14～19	65	35				48.2	170	221	119	589	259	913	20.5	4.7
3	BA-50	20～25	50	50				49.0	170	170	170	599	262	897	19.0	4.9
4	BA-65	26～31	35	65				48.9	170	119	221	596	262	897	20.5	4.8
5	BB	40～45	0	100				48.8	170	0	340	594	262	897	18.5	4.3

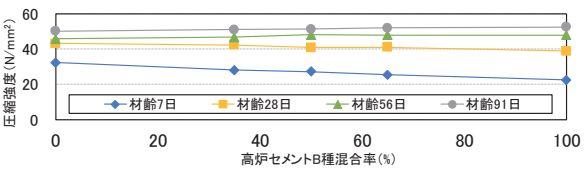
表―4　室内実験　試験内容

試験項目		試験方法
フレッシュ	スランプ	JIS A 1101
	空気量	JIS A 1128
	コンクリート温度	JIS A 1156
	単位体積質量	JIS A 1116
	ブリーディング	JIS A 1123
	凝結時間	JIS A 1147
硬化	圧縮強度、静弾性係数	JIS A 1108、JIS A 1149　標準養生　材齢7, 28, 56, 91日　計12本
	長さ変化率	JIS A 1129-1 コンパレータ法(N=3)
	自己収縮ひずみ	JCI「高流動コンクリートの自己収縮試験方法」による (N=2)【養生：材齢91日まで封緘養生】
	促進中性化試験	JIS A 1153（養生：水中4週＋気中4週）　促進材齢（週）：1,4,8,13,26
	凍結融解試験	JIS A 1148　A法　（養生：水中4週）



図―2　ブリーディング試験結果

図―3　凝結試験結果



図―4　圧縮強度試験結果

BA，BB とも概ね推定値＋20％に近い値となり，既往研究と同様に N と同等の静弾性係数であった．

⑷　自己収縮ひずみ

材齢 140 日までの自己収縮ひずみの結果を**図―6** に示す．材齢 140 日での自己収縮ひずみは，-150～-175×10^{-6} 程度となり，BB 混合率による大きな違いはなかった．

⑸　長さ変化率

乾燥材齢 26 週までの長さ変化率を**図―7** に，長さ変化率と質量減少率の関係を**図―8** に示す．乾燥材齢 26 週での長さ変化率は，N が最も大きく，BB が最も小さく，BA コンはその中間であった．長さ変化率と質量減少率の関係は，いずれの調合による大きな違いは見られず，ほぼ同様の関係であることから，高炉スラグにより供試体内部に緻密な構造が作られ，水分の蒸発が抑制され，長さ変化率が小さくなったと考えられる．

⑹　中性化抵抗性

促進材齢 26 週までの中性化深さを**図―9** に示す．促進材齢 26 週の中性化深さは，N が最も小さく 11.8 mm，BB が最も大きく 21.4 mm，BA コンはその中間となった．BB の混合率が多くなるにつれ，中性化深さが深くなる傾向となった．

鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針・同解説[6] によると，温度 20℃，湿度 60％ RH の大気中の中性化深さは，以下の式⑴で表される．

$$C = A\sqrt{CO_2/5.0}\cdot\sqrt{t} \qquad (1)$$

ここに，C：中性化深さ（mm）

CO_2：CO_2 濃度（％）

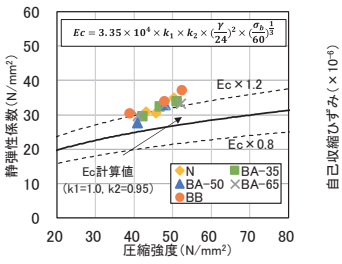
A：中性化速度係数（mm/√週）

t：材齢

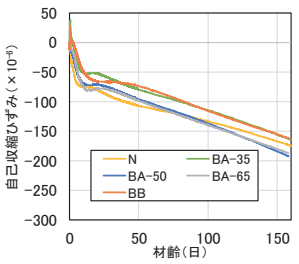
また，中性化に対する設計劣化外力として，CO2 濃度の標準値を，屋内 0.1％，屋外 0.05％としている．標準工事標準仕様書・同解説 JASS5[7] では，標準～超長期における柱・梁等で仕上げ無しの場合の最小かぶり厚さを，屋内で 30 mm，屋外で 40 mm としている．そこで，各調合において，式⑴から求めた中性化速度係数と，室内での中性化深さが最小被り厚さ 30 mm に達する年数をまとめると**表―5** のようになる．中性化が 30 mm に達する年数は，N で 161 年であるのに対し，BA50 では 99 年，BB では 49 年となった．

⑺　凍結融解抵抗性

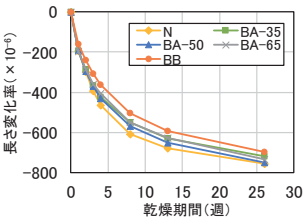
凍結融解試験による相対動弾性係数の測定結果を**図―10** に，質量減少率の測定結果を**図―11** に示す．いずれの調合も 300 サイクルでの相対動弾性係数は 90％を超えており，また，質量減少率は 1～2％程度となった．フレッシュ試験の結果から，各調合の空気量に大きな違いはないため，BB 混合率による凍結融解抵抗性への影響は小さいと考えられる．



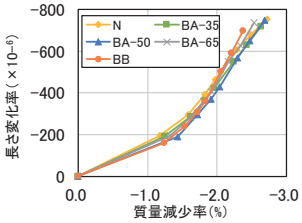
図―5　圧縮強度と静弾性係数



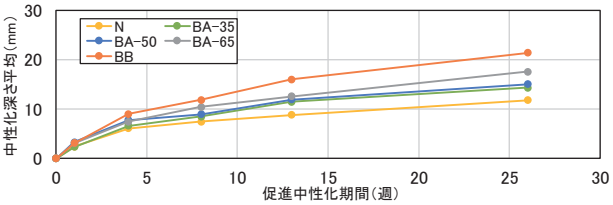
図―6　自己収縮ひずみ測定結果



図―7　長さ変化試験結果



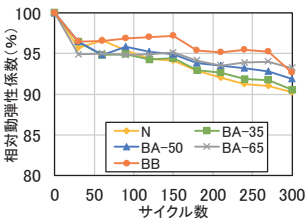
図―8　質量減少率(長さ変化試験)



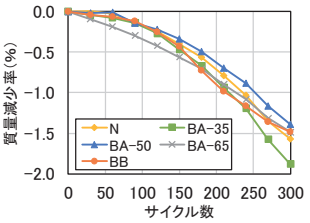
図―9　促進中性化試験結果

表―5　中性化深さ 30 mm に達する年数

調合	定数A（mm/√週）	中性化深さ30㎜に達する年数
N	0.33	161
BA-35	0.4	110
BA-50	0.42	99
BA-65	0.49	73
BB	0.59	49



図―10　凍結融解試験結果



図―11　質量減少率（凍結融解試験）

§4.　実機実験

4―1　実験概要

本開発の BA コンの練上がり性状，強度性状および耐久性状を室内実験で確認した．次に，実際の生コン工場の設備により，BA コンの製造，フレッシュコンクリートの経時変化および模擬試験体を含む各種養生条件における強度発現性について検討した結果を報告する．

4―2　実験計画

⑴　コンクリート調合

コンクリートの調合を**表―6** に示す．室内実験で使用したセメントメーカー 3 社を使用している生コン工場をそれぞれ選定した．BA コンのセメント混合率について

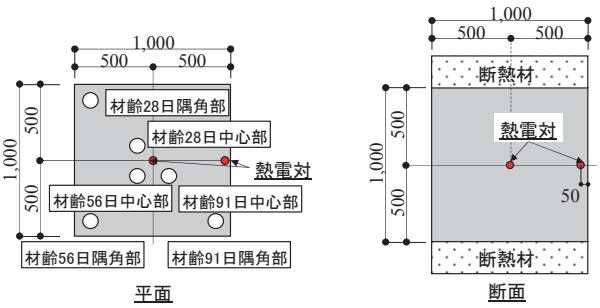
表―6　実機実験　コンクリート調合

調合[1]	工場	セメント混合率(%)		高炉スラグ微粉末混入率(%)	品質目標		W/C(%)	s/a(%)	単位量(kg/m³)							Ad(C×%)		
		N	BB		スランプ(cm)	空気量(%)			W	N	BB	S1	S2	G1	G2	冬期	標準期	夏期
A-N-50	A工場	100	0	0～5	18±2.5	4.5±1.5	50	49.0	170	340	-	867	-	932	-	0.65	0.95	1.00
A-BA-60		50	50	20～25			60	50.5	170	141	142	916	-	923	-	0.85	1.15	1.35
A-BA-50							50	49.0	170	170	170	861	-	932	-	0.70	1.10	1.30
A-BA-34.5							34.5[2]	44.5	170	246	247	726	-	940	-	0.60	1.00	1.15
B-N-50	B工場	0	100	0～5	18±2.5	4.5±1.5	50	47.3	170	340	-	838	-	288	672	0.75	0.95	1.10
B-BA-60		50	50	20～25			60	49.5	170	142	142	901	-	283	661	0.85	1.10	1.25
B-BA-50							50	47.1	170	170	170	833	-	288	672	0.75	1.00	1.15
B-BA-37					21±2.0		37[2]	44.0	175	237	236	723	-	283	661	0.80	1.05	1.15
C-N-50	C工場	0	100	0～5	18±2.5	4.5±1.5	50	49.5	170	340	-	523	356	923	-	0.80	0.85	0.85
C-BA-60		50	50	20～25			60	50.6	170	141	142	549	372	923	-	0.75	0.83	0.68
C-BA-50							50	49.3	170	170	170	520	354	923	-	0.70	0.75	0.70
C-BA-37							37[2]	45.3	170	229	230	450	306	940	-	0.65	0.80	0.65

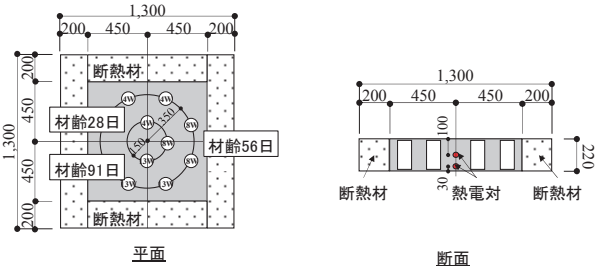
1)凡例：A-N-50　①：工場、②：コンクリート種類、③：水セメント比　　2)低W/Cは各工場の呼び強度45の実績による

は，N と BB をそれぞれ 50%で統一し，水セメント比を 3 水準とした．

試験内容については，フレッシュコンクリートの試験を関連 JIS に準拠して実施し，BA コンの 3 調合については練上がりから 120 分まで 30 分間隔で経時変化を確認した．なお，練混ぜから 60 分後を現場到着時間と想定し，運搬によるスランプおよび空気量のロスを見込んで練混ぜを行った．圧縮強度は JIS A 1108 に準拠し，全調合において標準養生（材齢 7,28,56,91 日），W/C50%の N，BA コン調合において現場水中養生（材齢 1,7,14,28 日）および現場封緘養生（材齢 28,56,91 日）を実施した．また，BA コン調合におけるコア強度推定を目的に，柱模擬試験体，床模擬試験体および簡易断熱養生試験体を作製し，材齢 28,56,91 日に圧縮強度試験を実施した．柱模擬試験体および床模擬試験体の概要図を**図―12，13** に示す．いずれの圧縮強度試験体は，実際の現場到着時間を想定である練り混ぜから 60 分後において，フレッシュコンクリートの試験が品質管理値の範囲内であることを確認してから試験体の採取を行った．



図―12　柱模擬試験体　概要図

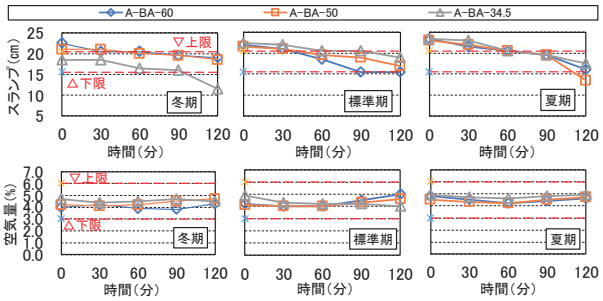


図―13　床模擬試験体　概要図

4―3　実験結果

(1)　フレッシュコンクリート

A 工場のフレッシュコンクリートの試験結果を**図―14** に示す．冬期の W/C34.5%の BA コンのみ経時 120 分でスランプが品質管理値から外れたが，概ねの BA コンについて経時 120 分まで品質管理値の範囲内であった．また，夏期の練混ぜからの運搬時間の許容値である 90 分までにおいても，全配合においてスランプ，空気量ともに品質管理値の範囲内であった．フレッシュコンクリートの経時変化の傾向は，B 工場および C 工場も同様であった．



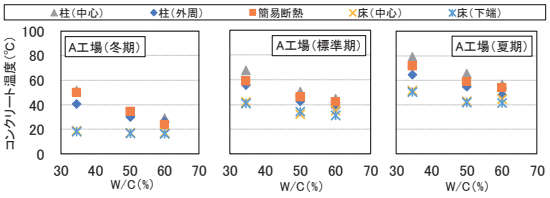
図―14　フレッシュコンクリートの試験結果
（上段：スランプ，下段：空気量）

A 工場における模擬試験体の最高温度を**図―15** に示す．いずれのシーズンにおいても，模擬試験体の最高温度は，柱の中心部で高く，床では柱よりも低かった．また W/C が小さいほど最高温度は高く，最高温度がもっとも高い夏期の W/C34.5%では約 80℃であった．この傾向は B 工場および C 工場でも同様であった．

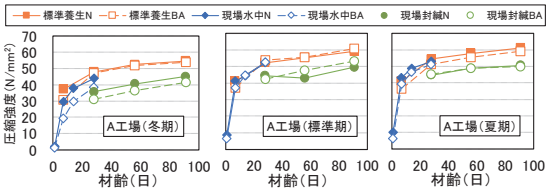
(2)　圧縮強度

A 工場における 3 シーズンの N および BA コン調合（W/C＝50%）の標準養生，現場水中養生および現場封緘養生の圧縮強度試験結果を**図―16** に示す．いずれの季節区分においても，3 工場とも若材齢時では，N より BA コンの方が圧縮強度が小さくなる傾向が見られたが，材齢 28 日以降では，BA コンの圧縮強度は N に近づく，もしくは同等となる結果となり，生コン工場での設備により製造された BA コンにおいても，室内実験の結果と同様の傾向を示すことを確認した．

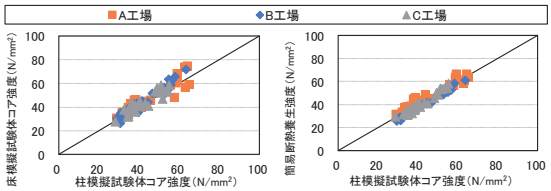
柱模擬試験体の圧縮強度と床模擬試験体および簡易断熱養生の圧縮強度の関係を**図―17** に示す．いずれの工場においても，コア強度の関係は同程度を表し，特に，床版のような薄く乾燥の影響を受けやすい部材であっても，十分な強度発現性を確認することができた．



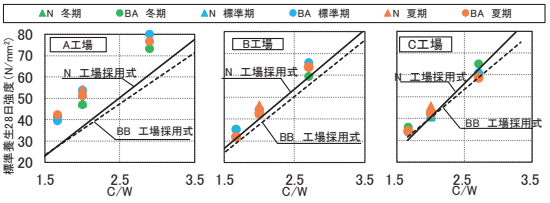
図－15　模擬試験体のコンクリート最高温度



図－16　圧縮強度試験結果（実機実験）



図－17　模擬試験体圧縮強度の関係



図－18　セメント水比と圧縮強度の関係

4—4　調合検討

(1)　強度採用式

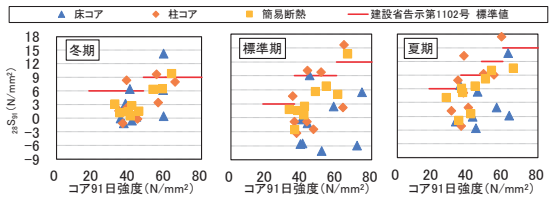
各工場における，標準養生 28 日でのセメント水比と圧縮強度の関係を**図—18** に示す．この関係は直線的であり，いずれの工場においても，標準養生 28 日の圧縮強度は，工場が保有している BB の JIS 強度採用式よりも大きく安全側であった．このことから，BA コンの製造にあたっては，各工場で保有している BB セメントの強度採用式を用いれば問題ないと考えられる．

(2)　構造体強度補正値 $_{28}S_{91}$

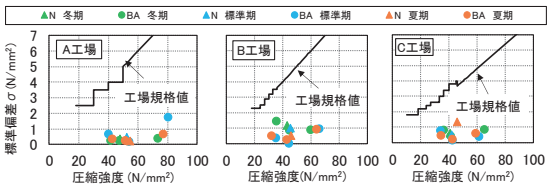
91 日コア強度と $_{28}S_{91}$ の関係を**図—19** に示す．いずれの季節区分においても，建設省告示第 1102 号および日本建築学会標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事で示されている N セメントの S 値の範囲内に概ね収まっていることから，BA コンに関しても，N セメントと同様の構造体強度補正値 $_{28}S_{91}$ を用いることができると考えられる．

(3)　標準偏差

各工場の 3 シーズン実機実験により得られた強度と標準偏差の関係を**図—20** に示す．標準偏差は図中に併記している生コン工場の規格値として JIS コンクリート製造に用いる値よりも小さかった．このことから，BA コンクリートにおいても，生コン工場の規格値の標準偏差を採用すれば問題ないと考えられる．



図－19　91 日コア強度と $_{28}S_{91}$ の関係



図－20　標準偏差の結果

§5.　計量ばらつき実験

5—1　実験概要

本開発の環境配慮型コンクリートの製造工程において，N と BB の 2 種類のセメントを使用する．別々の計量機にて計量を行うことができれば問題ないが，生コン工場の設備上，セメント 2 種類を別々に計量する機械を保有している工場が少なく，計量機 1 機で累加計量を行う必要がある．しかし，JIS A 5308 では種類の異なるセメントの累加計量に関する記述がない．累加計量する場合，先行して計量するセメントの計量値または N と BB を混合させた計量値が誤差範囲内に収まるとしても，後から計量したセメントの計量値が誤差範囲外となる可能性があるため，コンクリートの性状および品質に影響を及ぼすことが懸念される．

そこで，N と BB を累加計量した場合の計量誤差がコンクリートのフレッシュ性状および強度性状に及ぼす影響について把握することを目的に，室内実験および現場実験を実施した結果を報告する．

5—2　実験計画

(1)　室内実験

コンクリートの調合を**表—7** に示す．室内実験では，計量誤差がコンクリートのフレッシュ性状および硬化性状に及ぼす影響を把握する為，セメントの計量誤差が過大に外れた場合を想定し，N セメント，BB セメントそれぞれ先行した際の計量誤差（±2.0%）の 2 水準，比較用の N，BB 単体および BA コンの計量誤差±0%の 3 水準を加えた 5 水準とした．試験内容について，フレッシュコンクリートの試験は関連 JIS に準拠して実施し，スランプおよび空気量ともに品質管理値の範囲内であった．圧縮強度試験は JIS A 1108 に準拠し，BA-3 を除いた調合で，標準養生（材齢 7, 28 日）を実施した．

(2)　現場実験

現場試験では，通常出荷時の計量誤差のばらつきを把握することを目的として，東京都内の物流倉庫の現場の捨てコンクリート部分に本開発の BA コンを適用した．

表―7　コンクリート調合（計量ばらつき室内実験）

NO.	調合記号	セメント混合率(%) N	セメント混合率(%) BB	W/B (%)	品質目標 スランプ (cm)	品質目標 空気量 (%)	かさ容積 (m³/m³)	s/a (%)	単位量(kg/m³) W	N	BB	S1	S2	G	フレッシュコンクリート試験結果 スランプ (cm)	フレッシュコンクリート試験結果 空気量 (%)
1	N	100	-	50	18	4.5	0.56	50	170	340	-	609	266	895	15.5	6.0
2	BA-1	50	50				0.56	50	170	170	170	604	266	895	17.0	5.0
3	BA-2	48	52				0.56	50	170	163	177	604	266	895	16.5	5.0
4	BA-3	52	48				0.56	50	170	177	163	604	266	895	18.0	5.8
5	BB	-	100				0.56	50	170	-	340	601	263	895	18.5	6.0

※1：計量誤差±0%想定
※2：BB先行計量とし、計量誤差BB:+2.0%、BB＋N：-2.0%を想定
※3：N先行計量とし、計量誤差N：+2.0%、N＋BB：-2.0%を想定

コンクリートの調合を**表―8** に示す．計量方法は自動計量で実施し，N を先行で計量し，その後 BB を累加計量した．トラックアジテータ車ごとにフレッシュコンクリート試験（スランプ JIS A 1101，空気量 JIS A 1128）および圧縮強度の供試体を採取し，圧縮強度試験は JIS A 1108 に準拠し，標準養生（材齢 7, 28 日）を実施した．

5―3　実験結果

(1)　室内実験

圧縮強度結果を**図―21** に示す．材齢 7 日，28 日ともに BA コン調合の圧縮強度は同等であったことから，計量ばらつきによる圧縮強度の影響は小さいと考えられる．

(2)　現場実験

セメント計量誤差とスランプ，空気量および圧縮強度の関係を**図―22～24** に示す．今回の試験における各々のセメントの計量誤差は，JIS A 5308 で定められている許容誤差±1%の範囲内であり，計量誤差のばらつきに関わらずスランプ，空気量ともに品質管理値の範囲内であった．また，圧縮強度に関しても．計量誤差のばらつきに関わらず，調合強度以上であった．この時の標準偏差は 0.9 N/mm² と小さく，工場規格値（3.0 N/mm²）の範囲内であった．

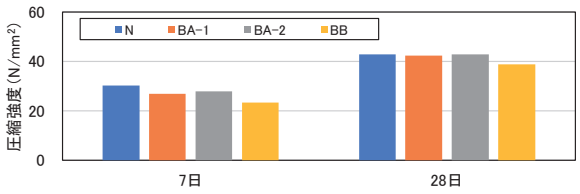
§6.　まとめ

本報では，普通ポルトランドセメントと高炉セメント B 種の 2 種類のセメントを混合することにより製造される環境配慮型コンクリート（高炉セメント A 種相当コンクリート）の開発の経緯と室内実験および実機実験を通して得られたコンクリートの性状を報告した．実出荷を想定する場合は，生コン工場で整備されている BB セメントの JIS コンクリート強度採用式，標準偏差を採用すれば問題ない．ただし，セメントの累加計量は，現状の JIS A 5308 では規定されていない為，性能技術審査証明の取得を予定している．

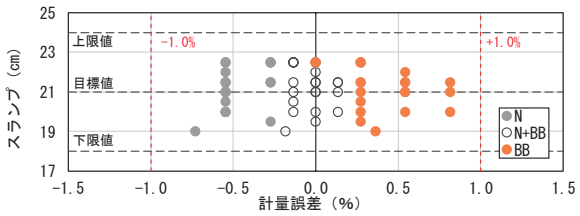
謝辞．本実験にあたり，内山アドバンス㈱浦安工場，関東宇部コンクリート工業㈱豊洲工場，東京エスオーシー㈱芝浦工場および晴海小野田レミコン㈱の皆様には多大なご協力を頂きました．ここに深く感謝の意を表します．

表―8　コンクリート調合（計量ばらつき現場試験）

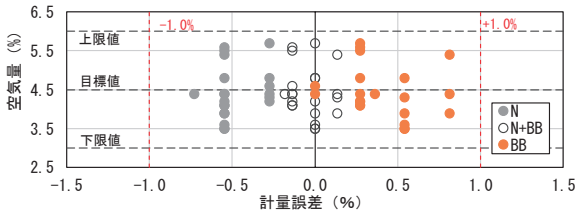
調合記号	セメント混合率（%） N	セメント混合率（%） BB	W/B (%)	品質目標 スランプ (cm)	品質目標 空気量 (%)	s/a (%)	単位量(kg/m³) W	N	BB	S	G	Ad
N	50	50	47.7	21	4.5	47.4	175	183	184	817	940	3.78



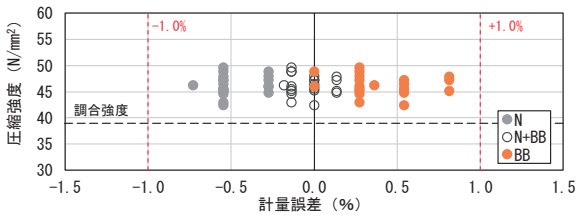
図―21　圧縮強度の結果（計量ばらつき室内実験）



図―22　セメント計量誤差とスランプの関係



図―23　セメント計量誤差と空気量の関係



図―24　セメント計量誤差と圧縮強度の関係

参考文献

1）環境省：地球温暖化対策計画，2016. 5. 13
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 年
3）並木ら：環境配慮型のコンクリートの建築構造物への全面的な適用，コンクリート工学　Vol. 55, No. 12, pp. 1049–1054, 2017. 12
4）金子ら：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 1～2，日本建築学会大会学術講演梗概集（中国），2017 年 8 月
5）椎名ら：高炉スラグ微粉末 4000 をセメント代替えとして積極利用した低炭素型コンクリート「スラグリート」の開発，西松建設技報 Vol. 40, 2017
6）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，2016
7）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