

# 論文 セメント混合による高炉セメント A 種相当のコンクリートに関する実験的研究

金子 樹\*1・関 新之介\*1・大倉 真人\*1・榊田 佳寛\*2

**要旨**：環境配慮型のコンクリートとして開発されているコンクリートの多くは、混合セメント C 種に相当するものであり、これらについては初期の強度発現の遅延や耐久性の低下、製造における生コン工場への負担が課題とされている。本研究では、汎用的な環境配慮型コンクリートの検討を目的とし、一般的な生コン工場で常備されている普通ポルトランドセメントおよび高炉セメント B 種を混合した高炉セメント A 種相当のコンクリートについて実験を行った。その結果、セメント混合により、普通コンクリートと同等な強度発現および耐久性状で、かつ二酸化炭素の削減効果を有することを明らかにした。

**キーワード**：環境配慮型コンクリート、セメント混合、圧縮強度、中性化、二酸化炭素削減

## 1. はじめに

近年、環境配慮型コンクリートとして、さまざまな研究が行われているが、そのほとんどは混合セメント C 種や相当する混和材料を添加したものである。

混合セメントは、セメント中の混合物（混和材料）の量により A～C 種に分類される。また、混合セメントにおいては、混合物のエネルギー起源による二酸化炭素の排出量がポルトランドセメントよりも小さいことからコンクリートの低炭素化となる。そのため、混合物の量が多すぎる混合セメント C 種においては、高炉セメントで 60% 超の二酸化炭素の削減が可能となる。

しかし、混合セメント C 種では、初期の強度発現の遅延や中性化による耐久性能の低下などから、建築分野においては地下構造物への使用に限定されることがほとんどである。また、C 種ほどではないものの B 種においても同様な理由で地上構造物への使用はほとんど見られない。一方で、現在では製造・販売されている混合セメントは、そのほぼ全てが B 種であり、A 種や C 種の市場への流通は一般的ではない。そのため、これらの混合セメントやセメントに混和材料を添加したコンクリートを製造しようとする場合には、生コン工場に特別なサイロを確保する必要がある。

このように、環境配慮型のコンクリートの普及においては、製造および施工性能や適用箇所などにおいてさまざまな制限が生じることが実状である。

このような背景のもと、本研究では、汎用的な環境配慮コンクリートとして、上部構造物への適用が可能な高炉セメント A 種相当のコンクリートについて検討を行った。高炉セメント A 種を用いたコンクリートは、セメント中の高炉スラグの量は少ないものの、普通ポルトランドセメントコンクリートと同等な性能を有するとされて

いる。しかし、前述のとおり、現在では製造・販売はほとんどないため生コン工場にも整備されていない。

そこで、本論文では、いずれも全国の生コン工場の 98% 以上が常備しているとのアンケート調査<sup>1)</sup>も報告されている、普通ポルトランドセメントと高炉セメント B 種を混合し、高炉セメント A 種相当としたコンクリートについてその諸性状を実験的に検討した。

## 2. 実験の概要

本研究では、普通ポルトランドセメント（以下、NP と略記）と高炉セメント B 種（以下、BB）を混合した高炉セメント A 種相当（以下、BA）のコンクリートについて、NP と BB の混合率および BB や BB に含まれる高炉スラグ微粉末（以下、BF）における品質の変動が、強度発現性および耐久性状におよぼす影響について、表 1 に示す水準で実験を行った。

実験は、市販品の NP と BB を混合した「C 混合シリーズ」と NP に BF を内割りで置換した「BF 混合シリーズ」について、いずれも水セメント（結合材）比 40～60% で実施した。

C 混合シリーズでは、セメント中の高炉スラグ量について、NP では JIS R 5210「ポルトランドセメント」により、セメント中の少量混合成分として質量の 5% 以下で用いられる可能性があることから 2%、BB では各セメン

表 1 実験の要因と水準

要因	水準
BF 混入率	2% (N), 10%, 20%, 30%, 42% (BB)
BF 比表面積*	BF3000, BF4000, BF6000
結合材中の SO <sub>3</sub> 量*	2.0% 以下, 2.2% (市販品相応), 3.0%
W/C (W/B)	40%, 50%, 60%

\* BF 混合シリーズのみ

\*1 (株)長谷工コーポレーション 技術研究所 (正会員)

\*2 宇都宮大学 名誉教授 (正会員)

トメーカがセメント試験成績表でいずれも高炉スラグの分量を 40～45%と明記していることから 42%と仮定し、混合後のセメント中の高炉スラグ量が 10% (BA10), 20% (BA20) および 30% (BA30) となるよう実施した。

BF 混合シリーズでは、一般的に高炉セメントが NP と BF の混合により製造されることから、主に BB の強度発現性に影響するとされる BF の比表面積および BB の SO<sub>3</sub> 量を変動要因とした。なお、BB の強度発現については、BF の塩基度も影響するとされているが、国内で製造される BF の塩基度が概ね 1.8 以上<sup>2)</sup>であり、1.8～2.0 においては圧縮強度におよぼす影響が小さい<sup>3)</sup>との報告より、本実験の要因からは除外した。

### 3. コンクリートの使用材料

セメントは、同一メーカーで製造され、関連 JIS に適合し、一般に流通している NP (密度: 3.16g/cm<sup>3</sup>, 比表面積: 3300cm<sup>2</sup>/g, SO<sub>3</sub> 量: 2.10%) および BB (密度: 3.04g/cm<sup>3</sup>, 比表面積: 3810cm<sup>2</sup>/g, SO<sub>3</sub> 量: 2.20%) を用いた。

BF は、JIS A 6206「コンクリート用高炉スラグ微粉末」に適合するものとし、一般的な 4000 クラス (記号: BF4000, 比表面積: 4300cm<sup>2</sup>/g) のほか、3000 クラス (BF3000, 3170cm<sup>2</sup>/g) および 6000 クラス (BF6000, 6440cm<sup>2</sup>/g) を用い、これらは同一のメーカー、工場で製造され、せつこうの添加がないものとした。

そのため、BF 混合シリーズにおいては、SO<sub>3</sub> 量の調整として無水せつこう (記号: CS, 粉末度: 3640cm<sup>2</sup>/g, SO<sub>3</sub> 量: 58.0%) を使用した。

骨材は、表-2 に示す品質の君津産陸砂と児玉産山砂の混合砂および青梅産硬質砂岩碎石を使用した。

化学混和剤は、W/C (W/B) 60%では AE 減水剤 (高機能タイプ、標準形) を、40 および 50%では高性能 AE 減水剤 (標準形) を使用し、練混ぜ水は上水道水とした。

### 4. コンクリートの調合および試験方法

コンクリートの調合は、いずれも目標スランプ 18±1.5cm, 目標空気量 4.5±1.0%とし、化学混和剤の使用量はセメント質量×0.8%で一定、粗骨材かさ容積は W/C (W/B) 40 および 50%では 0.60m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>, 60%では 0.59m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>とした。コンクリートの計画調合の例として代表的なものを表-3 に示す。本研究では、C 混合シリーズで 25 調合、BF 混合シリーズで 22 調合の計 47 調合を行った。

なお、BF 混合シリーズにおける SO<sub>3</sub> 量の 2.0%以下については、結合材に CS を添加しないものとし、計算値による SO<sub>3</sub> 量は、BA10 では 1.93%、BA20 では 1.72%、BA30 では 1.51%となる。

コンクリートは、温度 20℃, 湿度 60%R.H.の恒温恒湿室において、容量 100L の水平パン型ミキサーを用いて、

表-2 実験の要因と水準

種類	岩種	混合率 (wt%)	最大寸法 (mm)	絶乾密度 (cm <sup>3</sup> /g)	吸水率 (%)	実積率 (%)	粗粒率
細骨材	陸砂	50	5	2.56	1.57	66.5	2.33
	山砂	50	5	2.56	1.77	66.0	2.39
	混合	—	5	2.56	1.67	66.3	2.36
粗骨材	硬質	50	20	2.65	0.50	60.4	7.13
	砂岩	50	13	2.63	0.66	59.3	6.24
	混合	—	20	2.64	0.58	59.9	6.67

表-3 コンクリートの計画調合

・C 混合シリーズ									
記号	C 混合率 (%)		W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				
	NP	BB			W	NP	BB	S	G
NP-50	100	0	50	47.6	165	330	0	850	954
BA10-50	80	20	50	47.8	163	261	65	856	954
BA20-50	55	45	50	47.9	161	177	145	862	954
BA30-50	30	70	50	48.0	160	96	224	864	954
BB-50	0	100	50	47.6	160	0	320	861	954
・BF 混合シリーズ (BF4000, SO <sub>3</sub> 量 2.2%)									
記号	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						CS*
			W	NP	BF	S	G		
BA20-40	40	45.9	161	330	72	795	954	3.32	
BA20-50	50	47.9	161	264	58	862	954	2.65	
BA20-60	60	49.0	171	234	51	883	938	2.35	

\* CS は BF の内割り置換とした

モルタルを 60 秒練り混ぜた後、粗骨材を投入し 90 秒練り混ぜた。

練り混ぜ後のコンクリートは、フレッシュコンクリート試験として、スランプ (JIS A 1101), 空気量 (JIS A 1128) およびコンクリート温度 (JIS A 1156) を実施し、各種試験体の採取を行った。また、一部の調合については凝結試験 (JIS A1147) を実施した。

硬化コンクリート試験は、強度試験として圧縮強度 (JIS A 1108) および静弾性係数 (JIS A 1149) を、耐久性試験として促進中性化試験 (JIS A 1153) を実施した。

圧縮強度試験は、供試体の寸法を φ10×20cm とし、標準養生および 20℃封かん養生で、それぞれ材齢 7, 28, 56, 91 日に実施し、静弾性係数試験は、材齢 28 日以降の圧縮強度試験時に実施した。

また、促進中性化試験は、供試体の寸法を 10×10×40cm とし、コンクリートの打込み時に側面となる 2 面を試験面とした。促進試験は、前養生を標準 4 週+20℃気中 4 週とし、温度 20℃, 湿度 60%R.H., 二酸化炭素濃度 5%の促進環境下で促進期間 4, 8, 13 および 26 週に JIS A 1152 に準じて中性化深さを測定した。

## 5. 試験結果および考察

### 5.1 フレッシュコンクリート

フレッシュコンクリートの性状は、いずれの調合においても目標スランプ  $18 \pm 1.5\text{cm}$ 、目標空気量  $4.5 \pm 1.0\%$  を満足し、目視においても良好な状態であった。

#### (1) 単位水量とスランプ

図-1 に C 混合シリーズにおける BF 混入率と単位水量およびスランプの関係を示す。本実験では、化学混和剤の使用量を一定としていることから、同程度のスランプとするための単位水量は、BF 混入率の増加に伴い連続的に小さくなり、BB においては NP よりも  $5 \sim 10\text{kg/m}^3$  減であった。また、BF 混合シリーズにおいても、同様の傾向を示しており、BF の比表面積や結合材中の  $\text{SO}_3$  量にかかわらず、同一の BF 混入率であれば同じ単位水量で同程度のスランプであった。

#### (2) 凝結時間

C 混合シリーズにおける W/C 50% の経過時間と貫入抵抗値の関係を図-2 に示す。凝結の始発時間はセメント

の種類にかかわらず同程度であった。一方で、終結時間は NP、BA10 および BA20 では同程度であったものの、BA30 および BB ではセメント中の BF 混入率が増加するに伴い遅延した。

また、表-4 に示すように、BF 混合シリーズでは、同一の水セメント比においては BF 混入率や結合材中の  $\text{SO}_3$  量、BF の比表面積にかかわらず、始発・終結時間ともに同程度であった。

### 5.2 圧縮強度

#### (1) C 混合シリーズ

一般に流通する NP および BB を混合した C 混合シリーズについて、セメント中の BF 混入率と圧縮強度の関係を図-3 に示す。標準養生における圧縮強度は、NP に比べて BA10 から BA30 では、材齢 7 日では BF 混入率の増加に伴い低下したものの、28 日では同程度、材齢 91 日では大きくなり、高炉スラグ微粉末による潜在水硬性の影響が見られた。また、このような圧縮強度の発現性

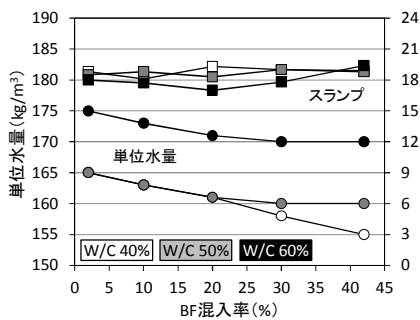


図-1 BF 混入率と単位水量およびスランプ (C 混合シリーズ)

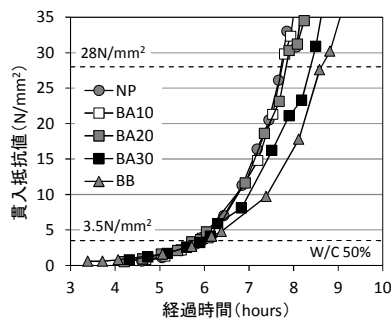


図-2 経過時間と貫入抵抗値 (C 混合シリーズ)

表-4 凝結時間 (BF 混合, W/B 50%)

結合材	結合材 $\text{SO}_3$ 量 (%)	BF 比表面積 ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )	凝結時間 (h-min)	
			始発	終結
BA10	2.2	BF4000	6-16	8-05
BA20	2.2	BF4000	5-53	8-05
BA30	2.2	BF4000	5-38	7-59
BA20	2.0 以下	BF4000	5-48	7-45
BA20	3.0	BF4000	5-43	8-02
BA20	2.2	BF3000	5-51	8-05
BA20	2.2	BF6000	5-55	7-52

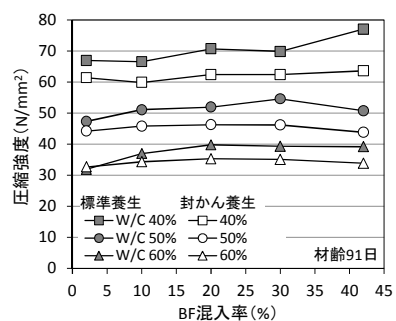
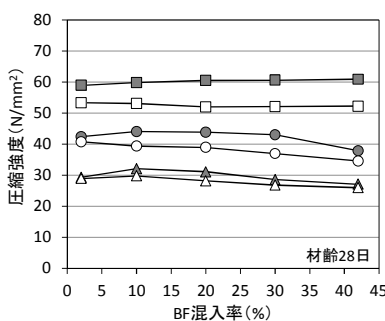
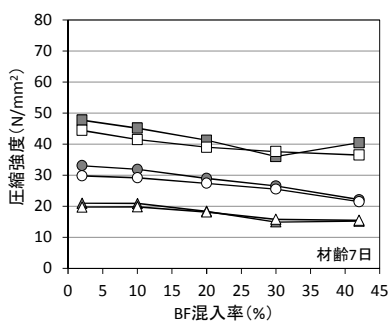


図-3 BF 混入率と圧縮強度 (C 混合シリーズ, 左から材齢 7 日, 28 日, 91 日)

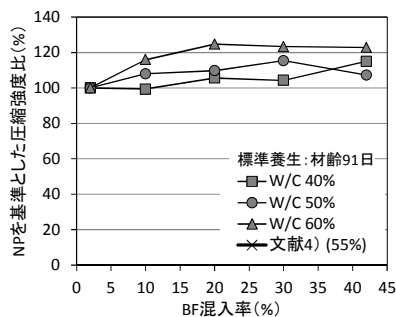
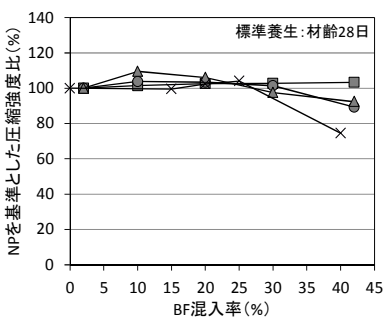
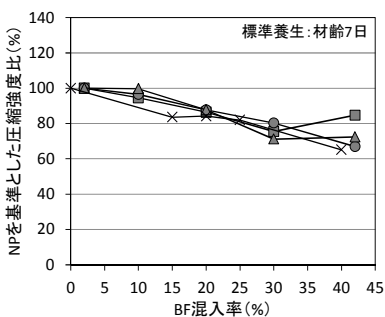


図-4 BF 混入率と NP を基準とした圧縮強度比 (C 混合シリーズ, 標準養生, 左から材齢 7 日, 28 日, 91 日)

は、いずれの水セメント比や材齢においても BF 混入率の増加に伴い連続的であり、セメント単体である NP と BB の中庸であった。

各材齢における NP を基準とした圧縮強度比でみると、**図-4** のように、材齢 7 日および 28 日においては、BF 混入率の増加に伴う圧縮強度の変動は、水セメント比による影響は小さく、本実験結果は齋藤ら<sup>4)</sup>による既往の報告とも同程度であった。

なお、封かん養生における圧縮強度の発現性は、**図-3** のとおり標準養生と比べて、材齢 7 日以降の強度増進が小さいものの、おおよその傾向は同様であった。

### (2) BF 混合シリーズ

NP に各種 BF および CS を混合した BF 混合シリーズにおける圧縮強度は、C 混合シリーズと同様な傾向を示し、材齢 7 日では BF 混入率の増加に伴い連続的に小さくなった。また、同一の材齢、BF 混入率および水セメント（結合材）比における C 混合シリーズと BF 混合シリーズの圧縮強度の関係は、**図-5** に示すように標準養生ではおよそ 1:1 の関係であり、その差は±10%以内であった。また、この関係は封かん養生においても同様であり、全データの回帰による傾きは、標準養生で 0.98、封かん養生で 0.96 と僅かに C 混合シリーズの方が小さいものの、大きな差は見られなかった。すなわち、一般的に流通しているセメントである NP と BB を混合し高炉セメント A 種相当とした場合には、NP に BF を添加した場合との強度発現性に違いは見られなかった。

また、圧縮強度におよぼす BF の比表面積および結合材中の SO<sub>3</sub> 量の影響を**図-6** および**図-7** にそれぞれ示す。BA30 の標準養生では BF の比表面積の増加に伴う圧縮強度が増加する傾向が見られたものの、その他の要因においては明確な傾向は見られず、いずれの条件においても圧縮強度は同程度であった。したがって、BB におけるこれらの品質が想定される範囲内で変動しても、NP と混合して高炉セメント A 種相当とした場合には、圧縮強度におよぼす影響は小さいものと考えられる。

### 5.3 静弾性係数

C 混合シリーズにおける圧縮強度と静弾性係数の関係を**図-8** に示す。なお、図中には式 (1) に示す静弾性係数の推定式である RC 構造計算規準式を併記し、計算において  $\gamma$  は実験値から 2.33t/m<sup>3</sup> とした。

$$E = 33.5 \times k_1 \times k_2 \times \left(\frac{\gamma}{2.4}\right)^2 \times \left(\frac{\sigma}{60}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

ここに、E：コンクリートの静弾性係数 (kN/mm<sup>2</sup>)、 $\gamma$ ：コンクリートの単位容積質量 (=2.33t/m<sup>3</sup>)、 $\sigma$ ：コンクリートの圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)、 $k_1$ ：粗骨材の種類により定まる修正係数 (=1.0)、 $k_2$ ：混和材の種類による修正係数

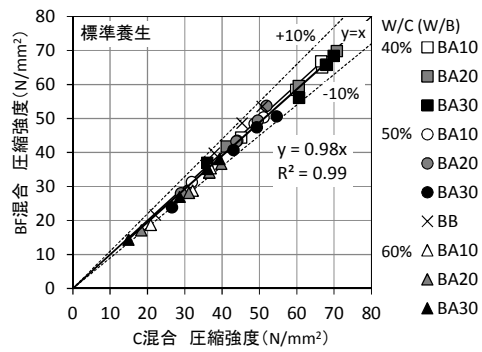


図-5 C 混合と BF 混合シリーズの圧縮強度の関係

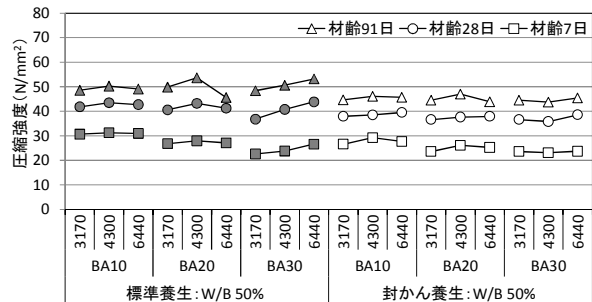


図-6 圧縮強度におよぼす BF の比表面積の影響

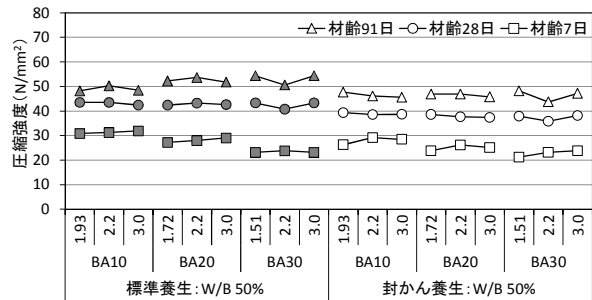


図-7 圧縮強度におよぼす結合材中の SO<sub>3</sub> 量の影響

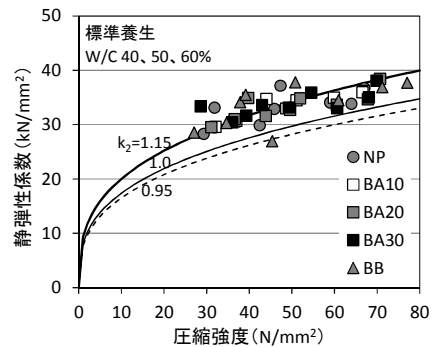


図-8 圧縮強度と静弾性係数 (C 混合シリーズ)

表-5 静弾性係数の推定式における k<sub>2</sub> の値

セメント	k <sub>2</sub> (NP を基準)		
	標準養生	封かん養生	平均
NP	1.14 (1.00)	1.16 (1.00)	1.15 (1.00)
BA10	1.13 (0.99)	1.13 (0.98)	1.13 (0.99)
BA20	1.15 (1.01)	1.15 (0.99)	1.15 (1.00)
BA30	1.15 (1.01)	1.15 (0.99)	1.15 (1.00)
BB	1.13 (0.99)	1.15 (0.99)	1.14 (0.99)

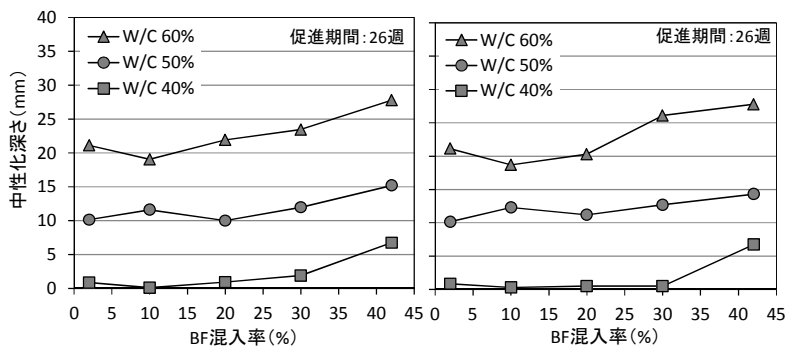


図-9 BF 混入率と中性化深さ (左 : C 混合, 右 : BF 混合シリーズ)

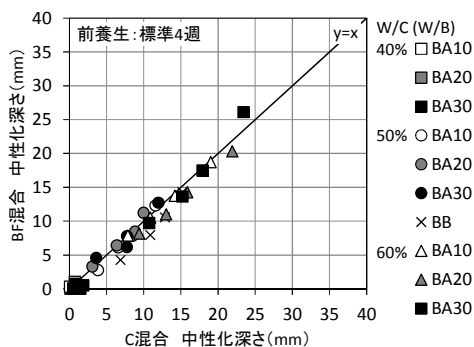


図-10 C 混合と BF 混合の中性化深さ

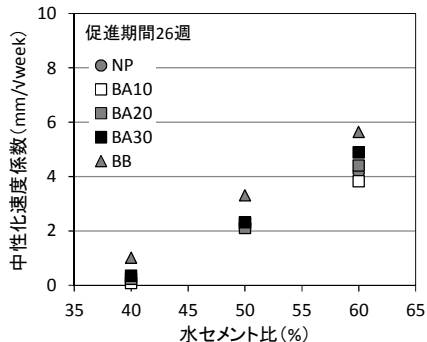


図-11 W/C と中性化速度係数 (C 混合シリーズ)

表-6 中性化速度係数の回帰式

セメント	回帰式 : $A=a \cdot W/C+b$		
	a	b	R <sup>2</sup>
NP	0.203	-7.875	0.999
BA10	0.187	-7.287	0.990
BA20	0.209	-8.182	0.996
BA30	0.226	-8.805	0.994
BB	0.231	-8.249	1.000

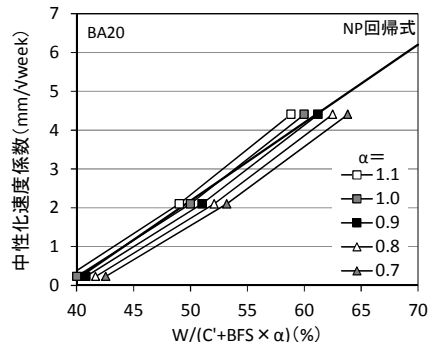


図-12 中性化抵抗性の寄与率  $\alpha$  を変化した場合の例

表-7 中性化抵抗性の寄与率  $\alpha$  の一覧

セメント (結合材)	水セメント比 (水結合材比) (%)			
	40	50	60	平均
BA10	0.97	1.11	1.21	1.10
BA20	0.99	0.95	0.93	0.96
BA30	0.97	0.90	0.88	0.91
N+BF(30%) <sup>5)</sup>	1.04	1.06	1.07	1.06
BB	0.78	0.76	0.75	0.76
N+BF(50%) <sup>5)</sup>	0.84	0.84	0.83	0.84

圧縮強度と静弾性係数の関係では、静弾性係数は推定式の上側に分布したものの、推定式に従って推移した。

推定式では、混和材の種類により定まる修正係数 ( $k_2$ ) として、BF を用いる場合は 0.95 としているが、C シリーズにおける  $k_2$  を算出すると表-5 のようになり、いずれの BA および BB においても、標準養生および封かん養生ともに NP との違いは見られなかった。

#### 5.4 中性化

図-9 に促進期間 26 週における BF 混入率と中性化深さの関係を示す。C 混合シリーズにおける中性化深さは、BF 混入率の増加に伴い増大する傾向を示したが、BA10 および BA20 では NP と同程度であり、BB では BA よりも顕著に大きくなった。

またこのような傾向は BF 混合シリーズにおいても同様であり、図-10 に示すように、C 混合シリーズと BF 混合シリーズの中性化深さの関係はおおよそ 1:1 であり、圧縮強度と同様に大きな差は見られなかった。

一般に、中性化深さと材齢の関係は、式 (2) で表され、コンクリートにおける中性化のし易さは中性化速度係数として示される。

$$C = A\sqrt{t} \quad (2)$$

ここに、C : 中性化深さ (mm)、A : 中性化速度係数 (mm/√week)、t : 期間 (week)

C 混合シリーズにおける水セメント比と中性化速度係数の関係を図-11 に、また、この関係における回帰式を表-6 にそれぞれ示す。いずれのセメントにおいても両者の関係には直線的な強い相関が見られた。

この関係から、辻ら<sup>5)</sup> は混和剤を添加したコンクリートについて、混和材が NP の代替として中性化抵抗性に寄与する割合を「中性化抵抗性の寄与率  $\alpha$ 」として、「結合材量 = NP 量 +  $\alpha$  × 混合物 (混和材) 量」のように定めている。

ここで、中性化抵抗性の寄与率  $\alpha$  が図-12 に例として BA20 の場合を示すように、任意の水セメント (結合材) 比における NP の回帰式との交点を持つ  $\alpha$  を逆算することで求められる。本実験結果より求められた中性化抵抗性の寄与率  $\alpha$  は、表-7 に示すように、辻らの報告<sup>5)</sup> より小さいものの、セメント中の BF 混入率が大きくなるに伴い、その値は小さくなった。

住宅の品質確保の促進等に関する法律 (以下、品確法

表-8 高炉セメントの使用による二酸化炭素の削減量\*1と品確法上の水セメント比の試算

普通ポルトランドセメント			高炉セメント A 種相当 (BF 混入率 10%)		高炉セメント A 種相当 (BF 混入率 20%)		高炉セメント B 種 (BF 混入率 42%)	
呼び強度	W/C (%)	セメント量*2 (kg/m <sup>3</sup> )	品確法上の W/C*3(%)	CO <sub>2</sub> 削減量 (%)	品確法上の W/C*3(%)	CO <sub>2</sub> 削減量 (%)	品確法上の W/C*3(%)	CO <sub>2</sub> 削減量 (%)
27~30	55	318	56	8.7	58	19.5	63	43.4
33	50	350	51		53		57	
36~40	45	389	46		48		51	
50	40	425	41		42		46	

\*1 セメントのインベントリデータ<sup>6)</sup>は、NP：771.7kg-CO<sub>2</sub>/t、BB：437.1kg-CO<sub>2</sub>/tとした。

\*2 セメント量は、単位水量を呼び強度27~40では175kg/m<sup>3</sup>、50では170kg/m<sup>3</sup>として算出した。

\*3 品確法上のW/Cはポルトランドセメントのセメント量を基に算出した。

と略記)では、劣化対策等級が定められているが、ここでは混合セメントを用いる場合に、高炉セメントではセメント中の混合物(混和材料)の10分の3を除いた部分をセメント量としてコンクリートの水セメント比を求めるとされている。これは、混合セメントの使用による中性化抵抗性の低下を補うためであり、これにより集合住宅などの建築においてはBBであっても合理的・経済的な調査設計が難しいのが実状である。

また、品確法における混合物の10分の3の除外とは、中性化抵抗性の寄与率 $\alpha=0.7$ と同義である。すなわち、本実験で求められたBAの中性化寄与率 $\alpha$ は、平均で0.91~1.10であるため、BAにおいては品確法による耐久性確保のための水セメント比の算出方法は過剰であると考えられる。なお、中性化の寄与率 $\alpha$ が1.0より大きいものも見られるが、いずれも10%以内程度の範囲であり、結果には実験のばらつきが影響していると考えられる。

## 6. 二酸化炭素の削減効果

NPおよびBBを混合したBAコンクリートにおける二酸化炭素の削減効果と品確法上の水セメント比を表-8に示す。セメントに起因する二酸化炭素の削減量は、セメント中のBF混入率が10%では8.7%、20%では19.5%となり、日本建築学会の高炉スラグコンクリート指針<sup>7)</sup>ではCO<sub>2</sub>削減等級の等級1または等級2にあたいする。

また、品確法による水セメント比の算出においても、BAではNPに対しても僅かに大きくなるのみである。

このように、セメント混合によるBAコンクリートは、汎用的に適用できる可能性があり、かつ二酸化炭素の削減効果を得ることができるものと考えられる。

## 7. まとめ

普通ポルトランドセメントに高炉セメントB種を混合した高炉セメントA種相当のコンクリートについてまとめると以下のとおりとなる。

- 1) 同程度のスランプとする単位水量はBF混入率の増加に伴い低減し、BF混入率が20%以下ではコンクリートの凝結時間は始発・終結ともにNPと同程度である。

- 3) 圧縮強度は、NPと比べて、BF混入率の増加に伴い材齢7日では低下、28日では同程度、91日では大きくなる。
- 4) 中性化の抵抗性は、BF混入率が10~20%ではNPと同程度であり、中性化抵抗性の寄与率 $\alpha$ はBF混入率が小さくなるに伴い大きくなった。
- 5) セメントを混合したコンクリートの強度性状および中性化抵抗性は、高炉スラグ微粉末を混和材として用いたコンクリートと同程度であった。
- 6) BF混入率を10~20%とした場合、セメントに起因する二酸化炭素を8.7~19.7%削減できる。

## 参考文献

- 1) 田村友法, 柳田淳一, 河野政典, 竹内博幸, 若林信太郎, 加藤淳司, 松田拓: レディーミクストコンクリート工場を対象としたアンケート調査, その1 アンケート調査の概要, 日本建築学会大会講演梗概集, pp.603-604, 2013.8
- 2) セメントジャーナル社: コンクリート用高炉スラグ活用ハンドブック, p.69, 2011.2
- 3) 小林一輔, 魚本健人, 嶋文雄: コンクリート混和材としての高炉水砕スラグ微粉末の品質がコンクリートの圧縮強度ならびに乾燥収縮に及ぼす影響, コンクリート工学 Vol.17 No.5, pp.87~95, 1975.5
- 4) 齋藤尚, 西本央, 鈴木康範, 小林哲夫: 環境負荷低減のための高炉セメント使用コンクリートに関する一検討, セメントコンクリート論文集, Vol.64 No.1, pp.309~315, 2010
- 5) 辻大二郎, 榊田佳寛, 清水昭之, 今本啓一, 棚野博之, 宮内博之, 鹿毛忠継, 土屋直子: 混合セメントを用いたコンクリートの耐久性状(その7 中性化抵抗性の寄与率), 日本建築学会大会学術講演梗概集 材料施工, pp.49~50, 2016.8
- 6) セメント協会: セメントのLCIデータの概要, 2017
- 7) 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