論文　高炉スラグ高含有セメントを用いた高強度コンクリートの基礎物性

辻　大二郎[*1]・小島　正朗[*2]・黒田　萌[*3]・坂田　昇[*4]

要旨：本論文では高炉スラグ微粉末（粉末度 6000㎠/g 級）を 60%程度含有するセメントを用いたコンクリートに対して，高強度領域での分散性と流動保持性を改善させた化学混和剤を開発し，この混和剤を用いたコンクリートの高強度領域でのフレッシュ性状，標準養生圧縮強度，簡易断熱養生圧縮強度，自己収縮，乾燥収縮，中性化，圧縮クリープ等の基礎物性を実験的に検討した。その結果，水セメント比の低減に伴って圧縮強度は 100N/㎟程度まで増大できること，セメント量を増加させても発熱が小さいこと，高強度化することで初期強度，収縮性能，中性化抵抗性が著しく向上することが確認された。

キーワード：二酸化炭素，高炉スラグ，高炉スラグ高含有セメント，高強度コンクリート，圧縮強度

1. はじめに

近年，地球環境保護の観点からエネルギーと二酸化炭素排出の発生量を抑制するための有効な手段として高炉セメントの利用拡大が期待されている。しかし初期強度，収縮や中性化の問題から高炉セメントの利用は高炉スラグ微粉末の含有量が40～45重量%の高炉セメントＢ種に限られ，使用用途も普通強度域に限定されてきた。

筆者らの研究グループはこれまで高炉セメントＢ種よりも更にクリンカーの使用量を減少させ，より高い CO_2 削減効果を得ることを目的として高炉スラグ微粉末を60%以上と多く含有するセメントを開発してきた [1)]。そして混合する高炉スラグ微粉末の粉末度を高めることやセメント中の SO_3 量を適切に選択することで，コンクリートの初期強度や収縮性能などの課題を改善できることを報告している [2)]。

本研究は，このような高炉スラグ高含有セメントを用いたコンクリートを高強度化し，将来の低炭素型高強度 RC 構造物や高強度 CFT 構造物へ適用していくための諸特性に関する基礎データを得ることを目的としている。

実験１では，まず低水セメント領域での練混ぜに適した高炉スラグ高含有セメント用の化学混和剤についての検討を行った。従来品を用いるとコンクリート練上り後から急速に流動性が失われる課題が想定されたため，流動保持性を改良した試作品を開発し，その効果について検討した。次に実験２では，開発された混和剤を用いたコンクリートのフレッシュ特性や硬化コンクリートの基礎物性を把握した。水セメント比の低減がコンクリートの圧縮強度，自己収縮，乾燥収縮，中性化に及ぼす影響について実験的に検討した。また，高強度領域での発熱特性とクリープ特性の基礎データを取得した。２つの実験を通して得られた高炉スラグ高含有セメントの高強度領域でのコンクリート特性について報告する。

2. 実験概要

実験１（混和剤の検討）および実験２（コンクリート基礎物性の検討）に共通で用いたセメントや化学混和剤などの使用材料，コンクリート調合，練混ぜ方法，試験項目について以下に記す。

2.1 使用材料

(1) セメント

実験に使用したセメントの物理的性質と化学成分を表－１に示す。高炉スラグ高含有セメント（以下，ECM）

表－1　セメントの物理的性質と化学成分

セメント記号	名称	混合した高炉スラグ微粉末		セメントの物性と化学成分							
		比表面積 (cm²/g)	混合量 (mass%)	密度 (g/cm³)	比表面積 (cm²/g)	化学成分 (%)					
						SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3
ECM	高炉スラグ高含有セメント（スラグ粉末度6000級）	6240	60～65	2.98	5190	27.88	10.93	1.28	49.11	4.55	3.59
N	普通ポルトランドセメント（市販品）	-	-	3.16	3390	21.08	5.47	3.21	63.69	2.00	2.28
BB	高炉セメントB種（市販品）	-	-	3.04	3900	26.13	9.25	1.88	53.86	3.68	2.22

*1　（株）竹中工務店　技術研究所　建設材料部門　研究主任　工修　(正会員)
*2　（株）竹中工務店　技術研究所　建設材料部門　主任研究員　工修　(正会員)
*3　竹本油脂（株）　第三事業部　研究開発部　コンクリートグループ　研究員　工修
*4　鹿島建設(株)　土木管理本部 土木技術部長　博士（工学）　(正会員)

は，高炉スラグ微粉末，普通ポルトランドセメントおよび無水石膏を構成成分として，比表面積 6240cm^2/g（スラグ粉末度 6000 級）の高炉スラグ微粉末を 60～65%混合した試作セメントである。高炉セメント C 種の JIS 規格に適合するセメントであるが，初期強度および収縮性能を改善するために普通ポルトランドセメントと無水石膏の混合によりセメント中の SO_3 量を 3.59%まで高めている。比較用セメントとして市販品の普通ポルトランドセメント（以下，N）および高炉セメント B 種（以下，BB）を用いた。

(2) 化学混和剤

使用した混和剤を表－２に示す。表中には実験１と実験２に分けて，さらに使用したセメントと W/C に応じて使用した混和剤を記している。ECM に用いた混和剤（SP1-N，SP2-N，SP3-N）は，スラグ混合量が多い場合に生じる流動保持性が急速に失われる問題に対して分散性および保持性を改善させた開発品（試作品）である。N，BB には一般用の減水剤（SP2～SP3）を使用した。また ECM には有機塩酸の流動保持剤（FR）を用いた。

(3) 細骨材，粗骨材，水

その他の共通で用いた使用材料について表－３に示す。

2.2 コンクリートの配（調）合

コンクリートの配（調）合を表－４に示す。ECM は W/C=50～22%の範囲，N，BB は W/C=50～30%の範囲とした。実験１は No.3 と No.4 の調合のみ，実験２では全ての調合で実施した。

2.3 練混ぜ方法

コンクリートの練混ぜは 20℃の室内試験室で行い，W/C=50%，40%は容量 100L のパン型ミキサーを使用し，W/C=30%，22%では容量 100L の強制 2 軸ミキサーを使用した。1 バッチの練混ぜ量を 60～100L とした。

2.4 試験項目

試験項目を表－５に示す。実験１および実験２で測定した試験項目を同表中に○印で記した。

3. 実験１（混和剤の検討）

3.1 実験の詳細

高炉スラグ含有量が多いセメントに既存の混和剤を使用すると，同じ流動性を得られるための混和剤使用量が普通ポルトランドセメントや高炉セメント B 種に用いた場合より少なくなり，流動性が急速に失われる。筆者らは，上記の問題を高炉スラグ含有量が多い場合に生じる特有の課題であると考え，一般強度領域の W/C=50～40%において流動保持性を改善させた SP3-N（開発品）を開発し，その流動保持性の効果について報告している [3)]。

さらに水セメント比が小さい W/C=30%や W/C=22%の高強度領域のコンクリートにおいても同様の課題が想定されたため，混和剤の分子構造（セメントへの吸着点数や側鎖の長さ）を調整することで流動保持性を高めるための改良を行い，W/C=22%用に SP1-N ，W/C=30%用に SP2-N を新たに開発品として試作した。

実験１ではこれらの開発品（SP1-N，SP2-N）の効果を検証することを目的に，コンクリートのフレッシュ時の経時変化と圧縮強度について比較実験を行った。従来品と開発品の比較と併せて，さらに流動保持性を高める目的で開発品に保持剤を加えた水準を追加して実施した。

表－２　化学混和剤

分類	実験No.	対象セメント	対象W/C	記号	概要	
混和剤	実験1	ECM	22%	SP1	従来品	一般用　高性能減水剤
				SP1-N	開発品	ECM用　高性能減水剤
			30%	SP2	従来品	一般用　高性能AE減水剤
				SP2-N	開発品	ECM用　高性能AE減水剤
			共通	FR	-	流動保持剤（有機酸塩）
	実験2	ECM	22%	SP1-N	開発品	ECM用　高性能減水剤
			30%	SP2-N		ECM用　高性能AE減水剤
			40%	SP3-N		ECM用　高性能AE減水剤
			50%			
			共通	FR	-	流動保持剤（有機酸塩）
		N，BB	30%	SP2	従来品	一般用　高性能AE減水剤
			40%			
			50%	SP3		一般用　AE減水剤

表－３　使用材料

分類	記号	名称	概要
細骨材	S	千葉県君津産山砂	表乾密度：2.62g/cm^3，吸水率：1.28% 実積率：68.0%，FM：2.62
粗骨材	G	東京都八王子産硬質砂岩砕石	表乾密度：2.67g/cm^3，吸水率：0.72% 実積率：59.9%，FM：6.63
水	W	上水道水	－

表－４　コンクリートの配（調）合

No.	記号	W/C (%)	セメント	目標スランプ【フロー】(cm)	目標空気量 (%)	粗骨材かさ容積 (m^3/m^3)	単位量 (kg/m^3)			
							W	C	S	G
1	ECM-50	50	ECM	18±2.5	4.5±1.5	0.58	170	340	860	913
2	ECM-40	40					170	425	785	913
3	ECM-30	30		【50±10】		0.56	170	567	692	880
4	ECM-22	22		【60±10】	2.0±1.0	0.54	185	841	508	850
5	N-50	50	N	18±2.5	4.5±1.5	0.58	170	340	877	913
6	N-40	40					170	425	807	913
7	N-30	30		【50±10】		0.56	170	567	720	880
8	BB-50	50	BB	18±2.5	4.5±1.5	0.58	170	340	866	913
9	BB-40	40					170	425	793	913
10	BB-30	30		【50±10】		0.56	170	567	702	880

表－５　試験項目

フレッシュコンクリート			
試験項目	試験方法	実験1	実験2
スランプ	JIS A 1101		○
スランプフロー	JIS A 1150	○	○
スランプフローの経時変化	練上り後0分、45分、90分で実施	○	
空気量	JIS A 1128	○	○
コンクリート温度	JIS A 1156	○	○
凝結	JIS A 1147（n=1体）		○
ブリーディング	JIS A 1123（n=1体）		○
自己収縮	日本コンクリート工学協会，超流動コンクリート研究員かい報告書（Ⅱ）（仮称）高流動コンクリートの自己収縮試験方法（n=1体）		○
硬化コンクリート			
試験項目	試験方法	実験1	実験2
圧縮強度	JIS A 1108 （n=3体）	○	○
乾燥収縮	JIS A 1129-2 （n=2体）		○
中性化	JIS A 1153 （n=2体）		○
圧縮クリープ	JIS A 1157 （n=2体）		○
簡易断熱温度	JASS5T-606：2005に準拠 簡易断熱養生箱内の熱電対による測定		○

3.2 実験結果と考察

(1) フレッシュ試験結果

フレッシュ試験結果を表－６に示す。またスランプフロー経時変化試験結果について W/C=30%を図－１の(a)に，W/C=22%を図－１の(b)に示す。どちらの水セメント比でも従来品を用いた場合は時間の経過と共にスランプフローが大きく損なわれるのに対し，開発品を用いると練上りから 90 分までスランプフローの保持性が向上した。W/C=30%では，開発品（SP2-N）を用いると，経過 45 分時点で一旦スランプフローが増大する傾向を示し，経過 90 分まで保持剤を用いることなくスランプフローが目標値内に保持されることが確認された。一方 W/C=22%では，開発品（SP1-N）だけでなく保持剤（FR）を併用することでスランプフローが目標値内に保持されること，および保持剤の添加量を調整することでスランプフローの保持性を制御可能であることを確認した。

(2) 圧縮強度試験結果

標準養生の圧縮強度試験結果を図－２に示す。開発品や保持剤を用いると，スランプフローの保持性が良好なほど材齢 1 日強度が低い傾向が見られたが，材齢 7 日以降は強度発現が良好で，28 日強度は従来品と比較して 5～11%程度増加する傾向を示した。この理由として，分散剤種類と添加量の違いによって ECM の凝結時間や初期の水和反応速度に違いが生じたことが，その後の圧縮強度発現性に影響していると推測している。しかし，詳細は定かではないため，今後の検討課題としたい。

3.3 実験１のまとめ

以上，高炉スラグ高含有セメント（ECM）を用いた高強度領域のコンクリート（W/C=30%，W/C=22%）において，改良開発された混和剤（SP2-N，SP1-N）を用いること，更には保持剤（FR）を併用することで，従来品よりも良好なスランプフローの保持性（流動保持性）と強度発現性を確保できることを確認した。

4. 実験２（コンクリート基礎物性の検討）

4.1 実験の詳細

開発された混和剤を使用して，高炉スラグ高含有セメント（ECM）を用いたコンクリートを 20℃環境下にて水セメント比 50～22%の範囲で練り混ぜ，フレッシュ性状および硬化コンクリートの諸特性について検討した。W/C＝50～30%の範囲では，従来品の混和剤を使用して練混ぜた N，BB のコンクリートとの比較を行った。

4.2 フレッシュコンクリートの試験結果と考察

フレッシュ試験結果を表－７に示す。スランプ（スランプフロー），空気量とも目標値内の結果を得た。

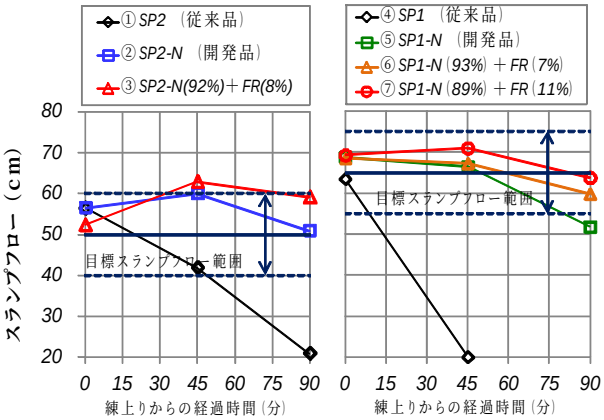
(1) 凝結 ，ブリーディング

凝結試験結果を図－３に示す。凝結時間への影響を考

表－６　フレッシュ試験結果

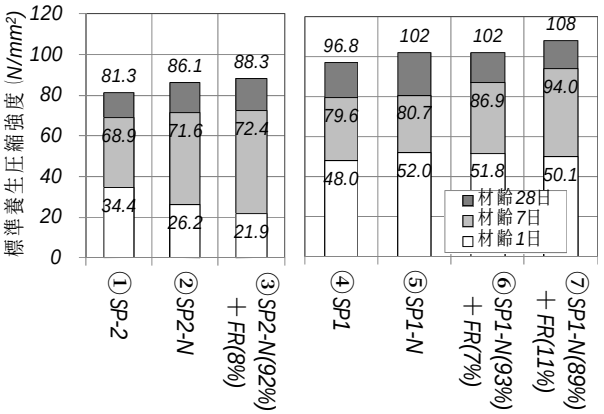
W/C (%)	セメント	No	混和剤	添加量 (C×%)	経過時間 (分)	スランプフロー(cm)	空気量 (%)
30	ECM	①	SP2 （従来品）	0.85	0	56.5	3.5
					45	42.0	2.4
					90	21.0	1.6
		②	SP2-N （開発品）	1.30	0	56.5	3.4
					45	60.0	2.8
					90	51.0	2.7
		③	SP2-N(93%) +FR (7%) ※1	1.54	0	52.5	3.6
					45	63.0	3.3
					90	59.0	3.5
22	ECM	④	SP1 （従来品）	0.68	0	63.5	2.3
					45	-	1.9
		⑤	SP1-N （開発品）	0.65	0	69.0	2.5
					45	66.5	2.0
					90	52.0	2.0
		⑥	SP1-N(93%) +FR (7%)※1	0.72	0	68.5	2.6
					45	67.5	2.0
					90	60.0	1.7
		⑦	SP1-N(89%) +FR (11%)※1	0.75	0	69.5	2.2
					45	71.0	1.8
					90	64.0	1.8

※1：保持剤（FR)は併用する開発品と同じ固形分に調製して内割添加量を示した。



（a）W/C=30%　　（b）W/C=22%

図－１　スランプフローの経時変化試験結果



（a）W/C=30%　　（b）W/C=22%

図－２　圧縮強度試験結果

表－７　フレッシュ試験結果

No.	セメント	W/C (%)	混和剤種類	保持剤(FR)の有無	混和剤＋保持剤添加量(C×%)	フレッシュ試験結果 CT (℃)	空気量 (%)	スランプまたは【スランプフロー】(cm)	ブリーディング量 (cm^3/cm^2)
1	ECM	50	SP3-N	○	0.55	18.0	4.8	18.0	0.08
2		40		○	0.72	18.5	4.7	17.5	0.08
3		30	SP2-N	-	1.10	21.0	5.0	【46.0】	0.00
4		22	SP1-N	○	0.65	22.0	2.6	【65.5】	0.00
5	N	50	SP3	-	1.15	20.0	5.1	17.0	-
6		40	SP2	-	0.65	20.5	4.9	18.5	-
7		30		-	1.18	21.5	4.5	【40.5】	0.00
8	BB	50	SP3	-	0.70	20.5	4.3	20.5	-
9		40	SP2	-	0.47	20.0	4.0	18.5	-
10		30		-	0.68	20.0	4.8	【43.0】	0.00

えて保持剤を添加しない W/C=30%の水準で比較を行った。ECM の 20℃での始発時間，終結時間は N よりも 2~3 時間程度，BB よりも 1~2 時間遅延する傾向であった。但し，使用した混和剤種類と添加量が異なるためセメント間の比較は行えなかった。ブリーディング量測定結果を表－７中に示した。ECM の W/C=50%と 40%の水準のみブリーディングが生じたが 0.30cm^3/cm^2 以下 [4]を満足した。W/C=30%以下ではいずれの水準もブリーディングを生じず，分離抵抗性に優れたコンクリートが得られた。

(2) 自己収縮

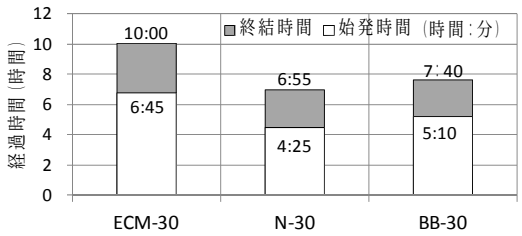
自己収縮試ひずみ測定結果を図－４に示す。10×10×40cm 試験体に埋め込んだ低弾性ひずみゲージにより材齢 28 日まで測定した。ECM の W/C=50~22%および比較用に N，BB の W/C＝30%を記した。ECM は SO_3 量が 3.59%と通常のセメントよりも大きく，水和の初期に膨張性のエトリンガイトが生成し硬化組織の骨格を形成するため，膨張挙動を示す。W/C=50～40%ではその効果により 100 時間前後までプラス側の挙動を示すことでその後の自己収縮が抑制されている。一方，高強度領域である W/C=30～22%においても ECM は同様に 10～100 時間の間に僅かではあるが一旦膨張のピークが生じており，その後の自己収縮の低減に影響している可能性がある。しかし，どの程度影響を及ぼしているかは明確でないため今後の検討課題としたい。W/C=30%での比較では N，BB の 28 日の自己収縮ひずみは 200μとほぼ同値を示した。一方，ECM は 300μ程度と 100μ程度大きかった。自己収縮が N, BB よりも大きい要因の一つとして，ECM が含有する高炉スラグ微粉末の粉末度が 6000cm^2/g 級と BB に使用されている 4000cm^2/g 級よりも細かいことが推察された。ECM の W/C=22%での 28 日の自己収縮ひずみはおよそ 600μであり，文献値 [5]による W/C=22%の普通セメントの自己収縮ひずみの値と同程度であることを確認した。

4.3 硬化コンクリート試験結果と考察

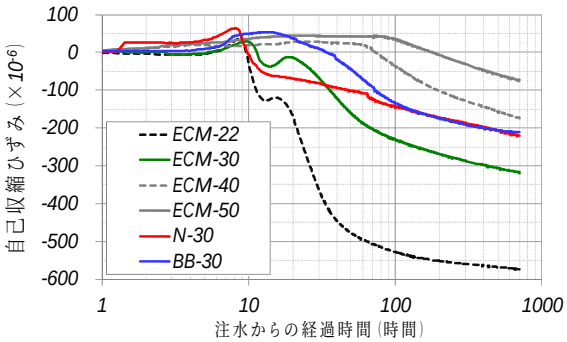
(1) 圧縮強度

圧縮強度試験結果を図－５に示す。圧縮強度は，標準養生試験体の 1，3，7，28，91 日および JASS5T-606：2005 に準拠して採取した構造体コンクリート強度推定用の簡易断熱養生試験体の 7，28，91 日の材齢で測定した。

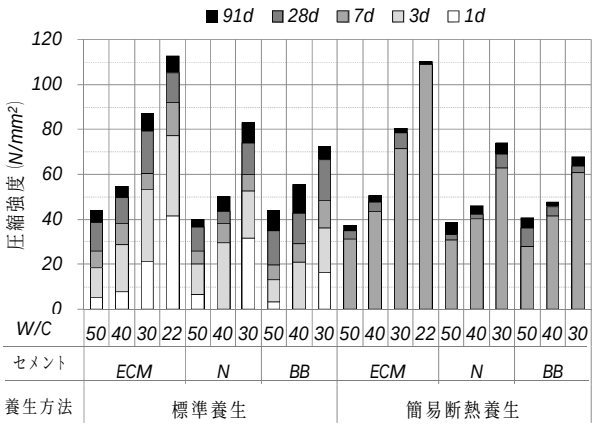
20℃での ECM の標準養生の強度発現は，28 日以降では同じ水セメント比での N や BB よりも若干高いことが分かる。高炉スラグセメントの課題である初期強度については，ECM の W/C=30%での 1 日強度は 20N/mm^2 以上を発現しており，N より小さいが BB よりは大きい値を示した。また，W/C の低減によって初期強度が大きく改善されることが確認された。また簡易断熱養生では，ECM は 7 日以降の強度増進が低減される一般的なセメントと同様の傾向を示した。図－６に，セメント水比（C/W）と 28 日の標準養生圧縮強度の関係を示す。ECM の標準養生圧縮強度はセメント水比と高い相関があり，N, BB と同様にセメント水比の増加に伴って線形的に強度が増進する傾向が確認された。ECM の強度発現性状は N，BB よりも若干大きい傾向を示し，W/C=22%では



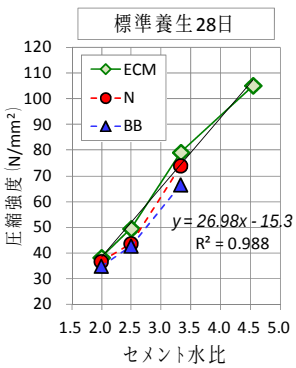
図－３　凝結試験結果（W/C=30%）



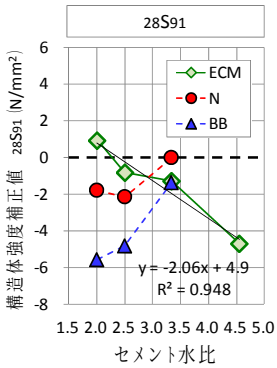
図－４　自己収縮ひずみ測定結果



図－５　圧縮強度試験結果



図－６　セメント水比と 28 日標準養生圧縮強度の関係



図－７　セメント水比と $_{28}S_{91}$ の関係

100N/mm^2 に到達する強度を得た。セメント水比と $_{28}S_{91}$（構造体強度補正値:標準養生 28 日強度と簡易断熱養生 91 日強度の差とする）を図－7 に示す。ECM の $_{28}S_{91}$ はセメント水比の増加に伴って線形に減少していく傾向を示している。

以上の結果から，標準養生 28 日強度式と $_{28}S_{91}$ の補正式の用いることで ECM を用いたコンクリートの 100N/mm^2 程度までの構造体コンクリート強度が推定でき，調合設計を行うことができることが確認された。

簡易断熱温度の材齢 6 日までの測定結果を図－8 に示す。ここでは ECM の W/C=50～22%までと比較用として N，BB の W/C=30%のみを示した。W/C=30%で比較すると ECM の最高到達温度は N よりも 15℃程度低く，BB よりも 7～8℃程度低いことが確認された。

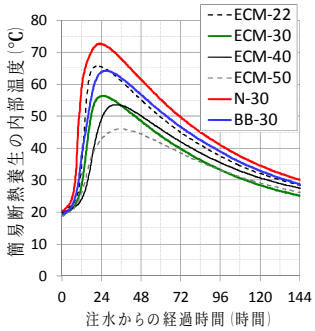
単位セメント量と簡易断熱時の温度上昇量の関係を図－9 に示す。温度上昇量は最高到達温度から練上り温度を差し引いた値とした。単位セメント量 400kg/m^3 を超える範囲では ECM は N，BB よりも低発熱であり，温度ひび割れ抵抗性に優れた性質を有していると言える。

(2) 乾燥収縮

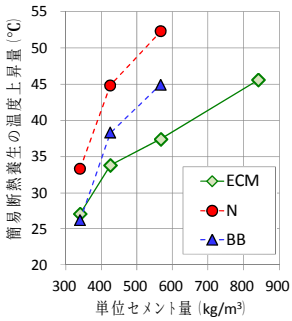
乾燥収縮ひずみおよび重量減少率の測定結果を図－10 に示す。ECM の乾燥収縮ひずみは水セメント比が小さいほど低減される傾向を示し，W/C=50%の 560μ（26 週）に対し，W/C=22%は 250μ（26 週）であり，高強度化することで半分以下にまで大幅に低減された。同水セメント比の W/C=50%および 30%の比較では，N と BB の挙動はほぼ等しく，W/C=50%で 650μ程度，W/C=30%で 430μ程度であった。一方 ECM は W/C=50%で 560μ程度，W/C=30%で 350μ程度であり，N，BB より 14~20%小さい値を示した。ECM の乾燥収縮ひずみが低減される理由として，ECM は N，BB と比較して重量減少率が小さいため，水の逸散による毛細管張力の収縮駆動力が低減されている可能性がある。ECM のコンクリート硬化組織は水が逸散しにくい水和生成物や空隙構造となっている可能性があり，詳細については今後検討したい。

(3) 圧縮クリープ

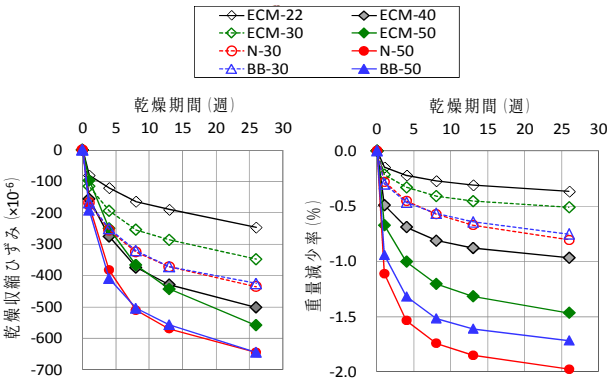
W/C=30%の水準で測定した圧縮クリープの測定結果を図－11 に示す。供試体寸法は直径 100mm，高さ 200mm の円柱試験体で行った。導入応力は 24.5N/mm^2 とし，試験開始時の圧縮強度の 1/3 倍に対し，ECM は 0.32 倍，N は 0.31 倍，BB は 0.37 倍とほぼ同程度の値であった。圧縮クリープひずみは全ひずみから無載荷時弾性ひずみおよび乾燥収縮による無載荷ひずみを差し引いた値とした。N，BB の圧縮クリープひずみはほぼ同値を示し，ECM は 60%程度と大幅に小さい。この理由は必ずしも明らかでないが，圧縮クリープの駆動力がコンクリート中の細孔水に起因するならば， ECM のコンクリート硬化組織の水が逸散しにくい特性が乾燥収縮の場合と同様に関係していると考えられる。以上のようなクリープの小さい特性は長期のたわみの低減に有効であると考えられる。



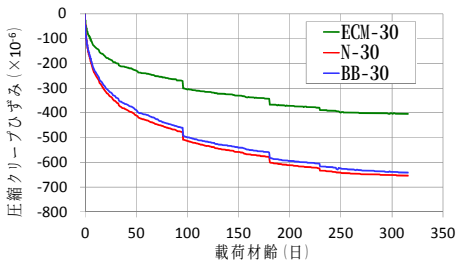
図－8　簡易断熱内部温度



図－9　単位セメント量と温度上昇量の関係



図－10　乾燥収縮ひずみと重量減少率



図－11　圧縮クリープひずみ

(4) 中性化

ECM の W/C=50～22%について，促進期間の平方根と中性化深さの関係を図－12 に示す。図中の回帰線は中性化深さ（C）が促進期間（t）の平方根に比例する $\sqrt{t}$ 則を基に $C=A\sqrt{t}$ として導いた回帰直線である。W/C=30%の中性化深さは直線とはならず，材齢 4 週まではゼロだが，その後増進する傾向を示した。

水セメント比と中性化速度係数の関係を図－13 に示す。水セメント比の低減とともに中性化速度係数が直線的に低下する強い相関が確認された。また，28 日の標準養生強度と中性化速度係数の関係を図－14 に示す。JIS 法による中性化促進試験の前養生に当たる 28 日標準養生強度の増進とともに中性化速度係数は直線的に低下した。図中に N-50 と BB-50 の中性化速度係数をプロット

した。同一水セメント比では ECM の中性化速度係数は N よりも大きかった。BB-50 の中性化速度係数 2.0mm/√週に対して，ECM の水セメント比は 40%，28 日の標準養生強度で 55N/mm^2 で同等の中性化速度係数となる。さらに低水セメント比して高強度化することで ECM を用いたコンクリートの中性化抵抗性は大幅に向上することが確認された。

4.4 実験２のまとめ

以上，高炉スラグ高含有セメント（ECM）を用いた高強度領域のコンクリートの圧縮強度特性，熱特性，乾燥収縮，自己収縮，圧縮クリープ，中性化の基礎物性を把握した。ECM を用いたコンクリートは，高強度領域まで強度発現性は良好であり，低発熱かつひび割れ抵抗性に優れた性能を有していること，また高強度化により初期強度や中性化抵抗性は大幅に向上することが確認された。

5. まとめ

高炉スラグ微粉末（粉末度 6240cm^2/g）を 60～65%含有する高炉スラグ高含有セメント（ECM）を使用したコンクリートの高強度領域での基礎物性に関して，本実験の範囲内で得られた知見を以下に示す。

(1) 高強度領域での良好な施工性を確保するために，新しい混和剤を開発して流動保持性を改善させた。開発した混和剤と保持剤を併用することで圧縮強度が増進する傾向を示した。

(2) 開発された混和剤を用いたコンクリートの圧縮強度はセメント水比の増加に伴って増進し，標準養生強度と構造体コンクリート強度の推定値（簡易断熱養生強度）はともに 100N/mm^2 に到達した。また，W/C を 30%以下とすることで 20°Cでの材齢 1 日の初期強度は 20N/mm^2 以上となり，大幅に増進する。

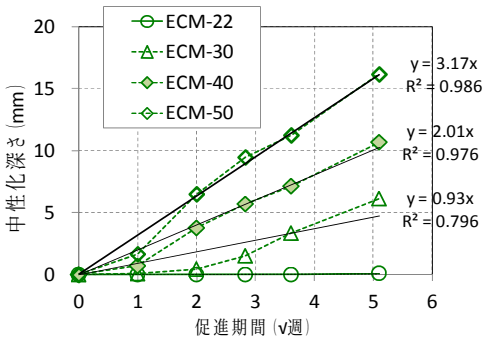
(3) 高強度領域（W/C=30%）の簡易断熱養生の最高到達温度は N より 15°C程度，BB より 8°C程度小さく，低発熱で温度ひび割れ抵抗性に優れた性能を有している。

(4) 高強度領域での自己収縮ひずみは N，BB より大きいが，SO_3 量の増加による膨張挙動によりやや低減される傾向を示した。

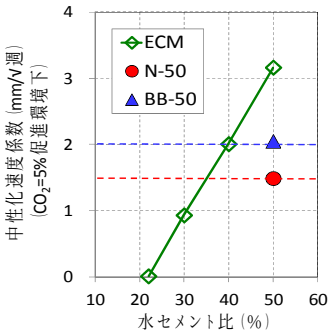
(5) 高強度領域（W/C=30%）での乾燥収縮や圧縮クリープは N や BB よりも大幅に低減される。ひび割れ抵抗性や長期のたわみの低減に有効であり，優れた性能を有している。

(6) 中性化速度係数と圧縮強度には高い相関が認められ，水セメント比を低減して高強度化することで中性化抵抗性が大幅に向上する。

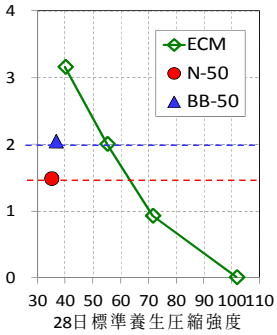
謝辞：本研究は新エネルギー・産業技術総合開発機構（ＮＥＤＯ）の助成による「省エネルギー革新技術開発事業/実用化開発/エネルギー・CO2 ミニマム（ECM）セメント・コンクリートシステムの研究開発」の一環として実施した。共同研究者である東京工業大学 坂井悦郎教授をはじめ，（株）竹中工務店，鹿島建設（株），（株）デイ・シイ，日鉄住金高炉セメント(株)，太平洋セメント（株），日鉄住金セメント（株）および竹本油脂(株)の関係各位に紙面を借りてお礼申し上げます。



図－12　促進材齢と中性化深さの関係



図－13　W/C と中性化速度係数の関係



図－14　28 日標準養生強度と中性化速度係数の関係

参考文献

1) 米澤敏男，坂井悦郎，鯉渕清，木之下光男，釜野博臣：エネルギー・CO2・ミニマム（ECM）セメント・コンクリートシステム，コンクリート工学，Vol.48，No.9，pp.69-73，2010

2) 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物性に及ぼす SO3 量の影響，コンクリート工学，Vol.17，No.5，pp.87-95，2011.5

3) 辻大二郎，和地正浩，三井健郎，米澤敏男ほか：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からその３），日本建築学会大会学術講演梗概集 2011 年度大会(関東)A-1 材料施工，pp.205-210，2011.8

4) 日本建築学会編：高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針（案）・同解説，pp.84，1991

5) (社)日本コンクリート工学協会：コンクリートの自己収縮研究委員会報告書，pp.24