論文　環境配慮型 CFT 充填コンクリートの基本特性に関する実験検討

笠井　浩[*1]・依田　和久[*1]・全　振煥[*2]・淺岡　茂[*3]

要旨:環境負荷低減の代表的な建設材料である高炉セメント B 種コンクリートは,設計基準強度(Fc)42 N/mm^2 を超えるような高強度レベルでは粘性が高くなり，また強度補正値 mSn が大きくなるため，その適用例は少ない。これらの課題を解決すべく，普通ポルトランドセメントに低発熱タイプの高炉スラグ微粉末と石灰系混和材を混合した新しい環境配慮型セメントを開発し，CFT 充填コンクリートへの適用を目的に基本特性実験を行った。その結果，本コンクリートの粘性や mSn は高炉セメント B 種コンクリートよりも小さいことが確認され，Fc36～70 N/mm^2 の範囲における CFT 充填コンクリートの適用に関する基礎資料が得られた。

キーワード：環境配慮，CFT 充填コンクリート，粘性，強度補正値，CO_2 排出量

1. はじめに

地球環境への環境負荷低減の観点から二酸化炭素（CO_2）排出量の削減技術の開発に対する社会的要請が高まっている。環境負荷低減の代表的な建設材料である高炉セメント B 種は，普通セメントに比べ CO_2 排出量を約 40%削減可能である。しかし，高炉セメント B 種を用いたコンクリートは，設計基準強度(Fc) 42N/mm^2 程度を超えるような強度レベルでは粘性が高くなり，また標準養生強度と構造体コンクリートの強度の差である強度補正値 mSn が大きくなるため，その適用例は少ない。これらの課題を解決すべく，普通ポルトランドセメントに低発熱タイプの高炉スラグ微粉末と石灰系混和材をブレンドした新しい環境配慮型セメント（KKC セメント）を開発した。このセメントを CFT 充填コンクリートに用いれば，鋼管内はコンクリートが封緘されているため，一般に高炉セメントの課題とされる中性化や乾燥収縮の懸念が払拭される。また，コンクリートの水和熱の低減や膨張性を有している石灰系混和材の添加による施工性の改善が期待される。本報告では，Fc36～70N/mm^2 を対象に,環境配慮型セメントを用いた CFT 充填 (KKC) コンクリートの適用を目的に，フレッシュ時の粘性，自己収縮，mSn 値を中心に基本特性に関する実験を検討した結果について述べる。

2. KKC セメントの物理的性質

セメントの物理的性質を**表－1** に示す。KKC セメントの密度は，高炉セメント B 種に比して同等であるが，その比表面積は約 5%小さい。これは，KKC セメントの水和発熱量を抑制することを目論見,KKC セメントに含まれる高炉スラグ微粉末の比表面積（約 3000cm^2/g）を小さくしたためである。この影響もあり，KKC セメントの材齢 7 日や 28 日におけるモルタル圧縮強さは，高炉セメント B 種よりも小さい傾向を示している。

3. KKC コンクリートの粘性と自己収縮の把握実験

3.1 実験目的

CFT 鋼管内に打設されるコンクリートは，確実に充填されなければならないため，充填性が高いものが求められる。しかし，Fc36～70N/mm^2 を対象としたコンクリートは，中庸熱などポルトランドセメントを用いており，単位セメント量が約 500～750kg/m^3 と極めて富調合なため，コンクリートの粘性が高くなり充填性に懸念がある。さらに，富調合のコンクリートは，一般的に自己収縮が大きくなる傾向を示し，品質上好ましくない。

本章では，KKC コンクリートの粘性や自己収縮を主とした基本特性の把握を目的に実験検討を行った。

3.2 実験計画

(1) 実験概要

実験要因を**表－2** に示す。実験はシリーズ 1：粘性実験およびシリーズ 2：自己収縮実験に大別し，室内実験を行った。

a) 実験シリーズ 1：粘性実験では，水セメント比を一定とし，セメントおよび混和剤の種類を変え,回転翼型粘度計を用いて見掛けの塑性粘度を算出し各種コンクリートの粘性を評価した。

b) 実験シリーズ 2:水セメント比を 3 水準(23%, 28%, 35%）変化させた KKC コンクリートの自己収縮を日本

表－1　セメントの物理的性質

種　類	スラグ混入量 (%)	密度 (g/cm^3)	比表面積 (cm^2/g)	凝結(h-m)		圧縮強さ(N/mm^2)		
				始発	終結	3日	7日	28日
KKC	40	3.03	3670	2-40	4-00	21.5	31.6	50.5
高炉B種	42	3.04	3830	3-40	4-29	21.9	37.1	63.8

*1 鹿島建設(株)技術研究所　建築生産グループ　上席研究員　博士（工）　(正会員)
*2 鹿島建設(株)技術研究所　建築生産グループ　主任研究員　博士（工）　(正会員)
*3 鹿島建設(株)東京建築支店　品質監理部次長　(正会員)

コンクリート工学会（JCI）超流動コンクリート研究委員会「高流動コンクリートの自己収縮試験方法」に準じて測定した。なお，本実験に先立ち，同一レディーミクストコンクリート工場の使用材料を用い水セメント比24%の中庸熱コンクリートの自己収縮測定を行っているので，比較用として付加した。

(2) 使用材料および調合

実験シリーズ 1 およびシリーズ 2 の使用材料を**表－3**に，調合を**表－4** に示す。

(3) 試験項目および方法

実験シリーズ 1，シリーズ 2 の試験項目および方法を**表－5**に示す。

スランプフロー，空気量，沈降量およびブリーディング量の目標値は，CFT コンクリートで要求される基準値[1]を示す。コンクリート温度は今回の室内試験では 20℃を目標としているため，その許容値として 20℃±3℃を設定している。

粘性試験で用いたコンクリート用回転翼型粘度計の測定は既往の文献[2]に従った。試験は所定の容器に詰めたフレッシュコンクリート中に回転翼型円筒を挿入後，回転させ，粘度計の回転数とトルクを測定した。見掛けの塑性粘度は，フレッシュコンクリートをビンガム流体と考えた場合，回転数とトルクの関係からその傾きを算出することにより得られる。なお，表中の粘性目標値は文献[3]を拠り所とした圧入施工を可能とする上限である。

自己収縮試験で用いた供試体の型枠は内径 10×10×40cm である。供試体中心部には予め温度測定機能を持つ埋込み型ひずみ計（標点距離 10cm）を設置し，コンクリートの自己収縮ひずみを測定している。なお，供試体は材齢 1 日脱型後直ちに全面をアルミ箔製シールで被覆し，環境温度 20℃室内に静置し，封かん養生にて測定している。なお，KKC コンクリートの自己収縮の目標値は比較用に実施した中庸熱コンクリートと同等程度とした。

3.3 実験結果

(1) フレッシュ性状，ブリーディング量，沈降量

実験シリーズ 1 および実験シリーズ 2 ともにスランプフロー（65～71cm），空気量（0.9～1.7%），ブリーディング量（全て $0cm^3/cm^2$）および沈降量（0.4～0.8mm）は，目標値を満足したものが得られている。コンクリート温度は 20～22℃の範囲であった。

(2) 粘性実験

各種セメントを用いたコンクリートの塑性粘度の実験結果を**図－1** に示す。これより，同一の水セメント比およびほぼ同一のスランプフロー値において，KKC コンクリートの塑性粘度は中庸熱や高炉 B 種のコンクリートよりも小さい傾向を示している。これは，KKC セメントに含まれる石灰系混和材が粘性の低減に寄与してい

表－2 実験概要

実験名	W/C (%)	セメント種類	混和剤種類	フレッシュ[1]	粘性	ブリーディング，沈降	自己収縮
シリーズ1. 粘性実験	28.0	中庸熱	A社：SP剤[2]	○	○	○	—
		高炉B種					
		KKC					
			B社：SP剤				
シリーズ2. 自己収縮実験	35.0	KKC	A社：SP剤	○	—	○	○
	28.0						
	23.0						
	24.0	中庸熱					

1）スランプフロー，空気量，コンクリート温度　2）SP剤：高性能AE減水剤

表－3　使用材料

材料	種類	記号	銘柄・物性など
セメント	中庸熱	M	T社製，密度3.21g/cm^3
	高炉B	BB	D社製，密度3.04g/cm^3
	KKC	KKC	D社製，密度3.03g/cm^3
細骨材*	砕砂（石灰砕砂）	S1	栃木県佐野市，表乾密度2.60g/cm^3，粗粒率2.32，吸水率2.61%
	山砂	S2	千葉県市原市，表乾密度2.64g/cm^3，粗粒率3.64，吸水率1.68%
粗骨材	砕石（石灰砕石）	G	栃木県佐野市，表乾密度2.69g/cm^3，粗粒率6.82，吸水率0.62%
混和剤	高性能AE減水剤	SP-A	A社製，ポリカルボン酸塩，密度1.06g/cm^3
		SP-B	B社製，ポリカルボン酸塩，密度1.09g/cm^3

*砕砂と山砂の混合比＝40：60%（質量比）

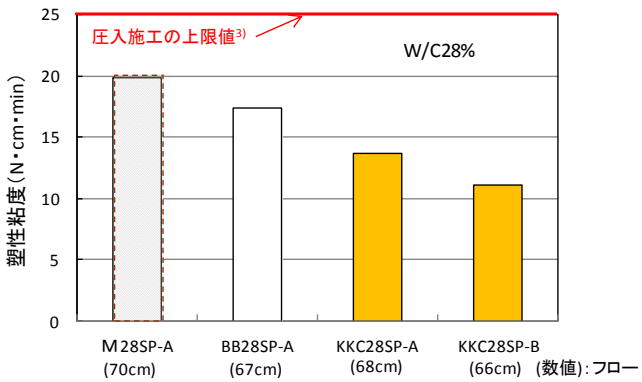
表－4　調合

実験名	記号	W/C (%)	単位量（kg/m^3） 水	セメント	砕砂	山砂	砕石	混和剤種類
シリーズ1	M28SP-A	28.0	170	608	296	443	916	SP-A
	BB28SP-A		170	608	285	426	916	
	KKC28SP-A		170	608	286	427	916	
	KKC28SP-B		170	608	286	427	916	SP-B
シリーズ2	KKC35	35.0	170	486	328	486	916	SP-A
	KKC28	28.0	170	608	285	427	916	
	KKC23	23.0	170	740	240	357	916	
	M24	24.0	170	740	236	354	916	

注）SP（高性能AE減水）剤はセメント量の1.0～2.0%を水の内割りとして添加

表－5　試験項目および方法

試験項目	方法	目標値
スランプフロー	JIS A 1150	65±10cm
空気量	JIS A 1128	2.0±1.5%
コンクリート温度	JIS A 1156	20±3℃
粘性	回転翼型粘度計	見掛の塑性粘度 25N・cm・min以下
ブリーディング量	JIS A 1123	0.1cm^3/cm^{2}以下
沈降量	JASS 5T-503	2mm以下
自己収縮	埋込み型ひずみ計	—



図－1　各種コンクリートの粘性実験結果

るものと考えられる。また，混和剤 SP－A と SP－B の比較において，SP－B の方が塑性粘度は小さい傾向を示し，コンクリートの塑性粘度は混和剤の種類による影響もあるといえる。以上のことより，KKC コンクリートの粘性は，他のコンクリートに比し小さいのが特徴であることが明らかになった。

(3) 自己収縮実験

KKC コンクリートの自己収縮の実験結果を**図－2** に示す。KKC コンクリートの自己収縮ひずみの挙動は，水セメント比にかかわらず，材齢 1～2 日に膨張側でピークに達し，それ以降徐々に収縮側に移行し収束する傾向を示している。初期にひずみが膨張するのは，石灰系混和材の影響によるものと考えられる。

また，KKC コンクリートの自己収縮ひずみは水セメント比が大きくなると，小さくなる傾向を示している。特に，W/C35%の場合，ほとんど生じていない。さらに，W/C23%の KKC コンクリートの自己収縮ひずみは，ほぼ同一水セメント比 M24%の中庸熱コンクリートと同等程度であると考えられる。

4. KKC コンクリートの強度補正値の検討実験

4.1 実験目的

KKC コンクリートの CFT コンクリートとしての特性や調合設計を行う際に必要となる強度補正値 Sc を把握することを目的に実験検討を行ったものである。

4.2 CFT コンクリートの調合強度式

CFT コンクリートの調合強度式は，(1) 式および (2) 式からなる。

$$Fm = Fc + Sc \quad \cdots\cdots (1)$$

$$Sc = mSn + Sd \quad \cdots\cdots (2)$$

ここで，

Fm：調合管理強度（呼び強度）（N/mm^2）

Fc：設計基準強度（N/mm^2）

Sc：強度補正値（N/mm^2）

mSn：標準養生した供試体の材齢 m 日（ここでは，m＝28 日）における圧縮強度と構造体コンクリートの材齢 n 日（ここでは，n＝91 日）における圧縮強度との差による強度補正値（N/mm^2）

Sd：ダイアフラム近傍のばらつきを考慮した強度補正値（N/mm^2）

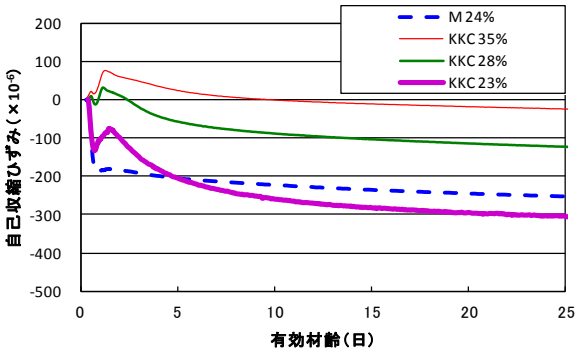
4.3 実験計画

(1) 実験概要

実験概要を**表－6** に示す。実験は 0（標準期），Ⅰ（夏期），Ⅱ（標準期）およびⅢ（冬期）と季節ごとに実施した。特に，実験Ⅱの標準期では，Sd 値を取得するために，**図－3** に示すような，鋼管模擬柱試験体を 2 体作製した。この実験では標準値が技術基準 [1)]で Fc60N/mm^2 まで示されていることから，Fc60N/mm^2 を超える水セメント比も考慮して 2 水準（W/C28，23%）とした。

(2) 使用材料および調合

使用材料は**表－3** において，セメントの種類は KKC セメントであり，細骨材や粗骨材は同じものを用いている。また，調合を**表－7** に示す。混和剤の種類は何れの実験も基本は SP-A であり，実験Ⅲの W/C28%の調合のみ比較のため SP-B も使用している。



図－2　コンクリートの自己収縮実験結果

表－6　実験概要

実験	W/C (%)	フレッシュ[1)]	ブリーディング，沈降	圧縮強度 テストピース	圧縮強度 コア
0（標準期）	35.0	○	○	○ 標準養生，簡易断熱養生	×
	30.0				
	28.0				
	23.0				
Ⅰ（夏期）	35.0	○	○	○ 標準養生，簡易断熱養生	○ 角柱試験体
	28.0				
	23.0				
Ⅱ（標準期）	28.0	○	○	○ 標準養生 簡易断熱養生	○ 模擬柱試験体
	23.0				
Ⅲ（冬期）	35.0	○	○	○ 標準養生，簡易断熱養生	○ 角柱試験体（W/C28%のみ）
	28.0				
	23.0				

1）スランプフロー，空気量，コンクリート温度

表－7　調合

記号	W/C (%)	単位量(kg/m^3) 水	セメント	砕砂	山砂	砕石	混和剤の種類
KKC35	35.0	170	486	328	486	916	SP-Aが基本 実験Ⅲの KKC28で比較用 にSP-B使用
KKC30	30.0	170	567	296	443	916	
KKC28	28.0	170	608	285	427	916	
KKC23	23.0	170	740	240	357	916	

注）SP（高性能AE減水）剤はセメント量の1.0～2.0%を水の内割りとして添加

表－8　試験項目および方法

試験項目	方法	目標値
スランプフロー	JIS A 1150	65±10cm
空気量	JIS A 1128	2.0±1.5%
コンクリート温度	JIS A 1156	5～35℃
ブリーディング量	JIS A 1123	0.1cm^3/cm^{2}以下
沈降量	JASS 5T-503	2mm以下
圧縮強度	JIS A 1108*1，JIS A 1107*2	Fc 36～70N/mm^2

*1φ 10×20cm供試体，*2コア供試体

(3) 試験項目および方法

試験項目および方法を**表－8** に示す。コンクリートの目標値は，練上りから 30 分後（荷卸相当）でスランプフロー65±10cm，空気量 2.0±1.5%とした。また，模擬柱試験体と角柱試験体の概要を**図－3** に，試験体の外観を**写真－1** に示す。断面 0.6m×0.6m×高さ約 4.8m の鋼管製の模擬柱試験体は 3 分割し，ダイアフラム近傍部と一般部とした。模擬柱試験体のコンクリート打設は圧入工法とし，5B(φ125mm)管を用いて圧送距離 20m，圧入速度 1m/分以下で施工した。角柱試験体の寸法は，1m×1m×1m であり，試験体の上下面は発砲スチロール製の断熱材で材齢 28 日まで覆った。圧縮強度試験は，模擬柱試験体が材齢 28 日と 91 日，角柱試験体が材齢 28 日，56 日，91 日において中心部と端部からコア供試体を採取して実施した。さらに，JASS 5T-606 に従い簡易断熱養生供試体を採取した。

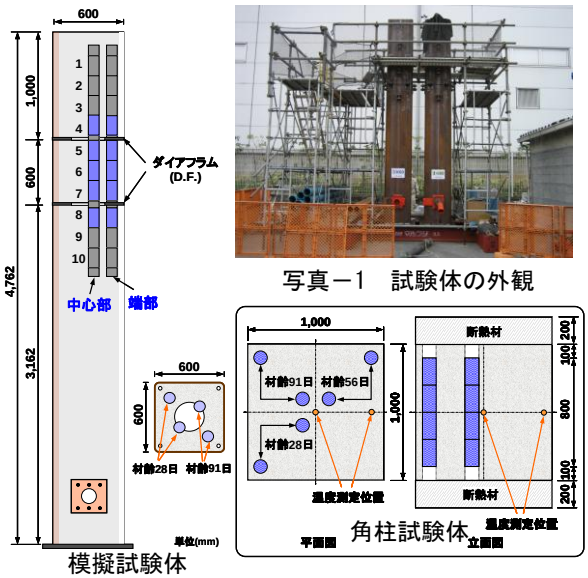
4.4 実験結果及び考察

(1) フレッシュ性状，ブリーディング量，沈降量

各種コンクリートのフレッシュ性状，ブリーディング量，沈降量の試験結果をまとめて**表－9** に示す。フレッシュ性状は，荷卸相当である経時 30 分の値を示している。各種コンクリート共に目標値を満足していた。コンクリート温度は実験 0 では 21～23℃，実験Ⅰで 31～33℃，実験Ⅱで 25～26℃，実験Ⅲで 9～12℃であった。ブリーディング量はほぼ 0 であり，沈降量は 0.4～0.7mm の範囲を示し，基準値を満足していた。ここで，W/C28%におけるスランプフローと空気量の経時変化を**図－4** に示す。なお，実験の都合上，実験 0 は経時 30 分までの測定のため図示していない。また，実験Ⅰ とⅡは経時 120 分までしか測定していない。実験Ⅰのスランプフローは 30～60 分で最大となり，それ以降は経時とともにフローロスしているが目標値を満足している。実験Ⅱの場合は練上り時が最大であり，それ以降は経時とともに直線的にフローロスし，120 分では目標値から 2cm 小さい値を示した。実験Ⅲ（KKC28 の調合）と実験Ⅲ－B（KKC28－B の調合）との比較では，実験Ⅲのスランプフローは 30～60 分で最大となり，それ以降は緩やかにフローロスしている。実験Ⅲ－B のスランプフローの経時変化も実験Ⅲの場合と同様な傾向を示し，両者ともに経時 180 分まで目標値を満足し良好であった。ここで，実験Ⅱのスランプフローの経時変化だけは,他の実験の経時変化と異なっていたが，その理由としては，混和剤の中に含まれるスランプフローを保持するための成分割合が異なっていたためと思われる。

一方，空気量は経過時間とともに増加する傾向を示している。特に，実験Ⅱの空気量はほかの実験のものに比べ，経時 60 分以降急激に増加する傾向にあった。これは，上述したように実験Ⅱに使用した高性能 AE 減水剤は，実験Ⅰ，Ⅲで使用したものとタイプが異なるためと考えられる。実験Ⅲと実験Ⅲ－B との比較では，実験Ⅲ－B の空気量は目標空気量 2%程度を推移しており良好であった。実験Ⅲの空気量は目標空気量よりも約 1%低い値で推移しているが，目標空気量 2±1.5%を満足していることから，特に問題はないと考えられる。

経時におけるスランプフローや空気量の安定性は高性能 AE 減水剤の性能が大きく影響すると考えられ，今後も検討を進める予定である。



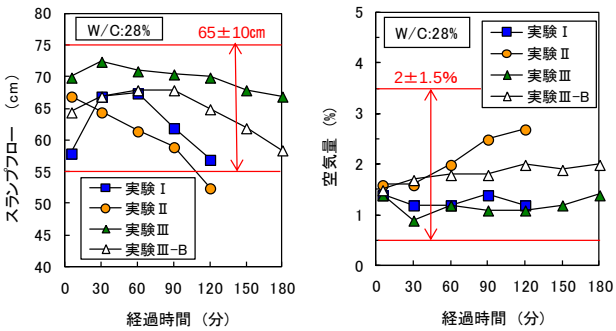
写真－1　試験体の外観

図－3　模擬柱試験体と角柱試験体の概要

表－9　各種コンクリートの試験結果

実験	記号	W/C (%)	スランプフロー (cm)	空気量 (%)	温度 (℃)	ブリーディング (cm^3/cm^2)	沈降量 (mm)
0	KKC35	35	63.5	2.1	21.0	0.01	0.6
	KKC30	30	69.5	1.6	21.0	0	0.4
	KKC28	28	71.5	1.6	21.0	0	0.4
	KKC23	23	68.0	1.7	23.0	0	0.4
Ⅰ	KKC35	35	67.0	1.2	32.0	0	0.7
	KKC28	28	67.0	1.2	31.0	0	0.5
	KKC23	23	69.5	1.3	33.0	0	0.5
Ⅱ	KKC28	28	64.5	1.6	25.0	0	0.7
	KKC23	23	64.0	1.0	26.0	0	0.5
Ⅲ	KKC35	35	69.5	1.5	9.0	0	0.7
	KKC28	28	72.0	0.9	10.0	0	0.7
	KKC28-B*	28	67.0	1.7	10.0	0	0.7
	KKC23	23	71.5	1.1	12.0	0	0.6

＊KKC28－Bとは，高性能AE減水剤の種類がB社のものを使用。他の調合はA社



図－4　スランプフローと空気量の経時変化

(2) コンクリート強度と補正値

KKC コンクリートの強度ならびに強度補正値 mSn や Sd の把握のために実験を行った。なお，比較用とした中庸熱セメント（記号 M）と高炉セメント B 種（記号 BB）を用いたコンクリートの調合と結果を**表－10** に示す。これらの実験は，本実験に先立ち同一レディーミクストコンクリート工場で同一の骨材を用い実験 I と同一季節（夏期）に実施した結果である。スランプフロー，空気量はそれぞれ**表－8** に示す目標値を満足しコンクリート温度は 30～34℃であった。

a）養生種類別圧縮強度（実験 I）

水セメント比および養生別材齢と圧縮強度の関係を**図－5** に示す。KKC コンクリートは材齢とともに圧縮強度が増進している。また，養生別では同一材齢において標準＞簡易断熱という傾向が見られる。セメント種類別セメント水比と圧縮強度の関係のうち，材齢 28 日標準養生のものを**図－6** に示す。図中にセメント水比と圧縮強度の線形近似による関係式の結果を示す。図中の R^2 は決定係数である。セメント水比によらず圧縮強度について，標準養生では M＞BB＞KKC の関係が見られる。

b）強度補正値 ${}_{28}S_{91}$

セメント種類別の材齢 91 日簡易断熱養生強度と ${}_{28}S_{91}$（ここでは，標準養生強度と簡易断熱養生強度の差）の関係を**図－7** に示す。KKC の ${}_{28}S_{91}$ は，M よりは大きいが，BB よりは小さい傾向が窺える。これは KKC の高炉スラグ微粉末の比表面積が BB よりも小さく，粗いことが一因していると考えられる。

コア強度と ${}_{28}S_{91}$（ここでは，標準養生強度とコア強度の差）の関係を**表－11** および**図－8** に示す。なお，コア強度については実験値に加え，簡易断熱養生強度からコア強度を(3)式により推定した[4]。

コア強度＝1.04×簡易断熱養生強度-3.69・・・・(3)

これより，コア強度が大きくなるほど ${}_{28}S_{91}$ 値は大きくなる傾向がある。季節別による違いは冬期がやや高い傾向にあるが，今後もデータを蓄積する必要がある。なお，

表－11　KKCコンクリートのコア強度と ${}_{28}S_{91}$

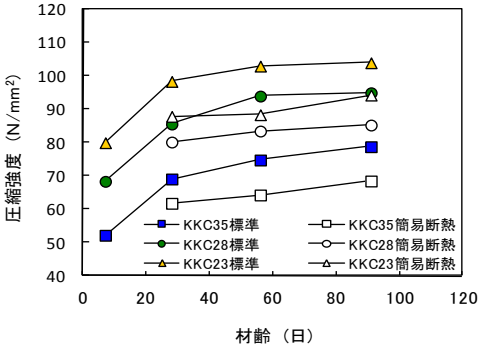
実験	W/C (%)	91日簡易断熱養生強度 (N/mm²)	推定91日コア強度※1 (N/mm²)	91日コア強度 (N/mm²)	28日標準養生強度 (N/mm²)	コア強度※2	${}_{28}S_{91}$
0（標準期）	35.0	76.0	75.4	—	71.2	75.4	-4.2
	30.0	82.2	81.8	—	83.3	81.8	1.5
	28.0	85.4	85.1	—	84.0	85.1	-1.1
	23.0	94.3	94.4	—	104.0	94.4	9.6
I（夏期）	35.0	68.5	67.6	—	69.1	67.6	1.5
	28.0	85.3	85.0	—	85.6	85.0	0.6
	23.0	94.3	94.4	—	98.4	94.4	4.0
	35.0	—	—	67.2	69.1	67.2	1.9
	28.0	—	—	81.9	85.6	81.9	3.7
	23.0	—	—	94.0	98.4	94.0	4.4
II（標準期）	28.0	84.7	84.4	—	91.0	84.4	6.6
	23.0	98.9	99.2	—	101.0	99.2	1.8
	28.0	—	—	85.1	91.0	85.1	5.9
	23.0	—	—	97.4	101.0	97.4	3.6
III（冬期）	35.0	76.0	75.4	—	77.9	75.4	2.5
	28.0	86.5	86.3	—	92.9	86.3	6.6
	23.0	95.6	95.7	—	105.0	95.7	9.3
	28.0	—	—	87.5	92.9	87.5	5.4
	28.0	—	—	88.7	93.6	88.7	4.9

※1.(3)式より算出、※2. 推定91日コア強度又は91日コア強度とする。

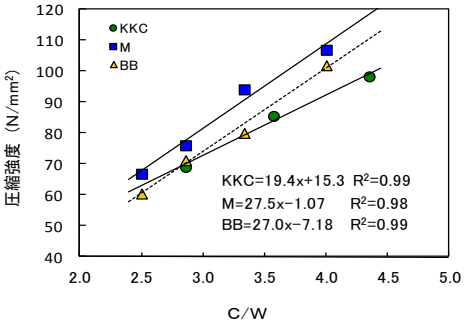
表－10　MとBBの調合とフレッシュ性状・圧縮強度結果

種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m³) 水	セメント	山砂	砕砂	砕石	フレッシュ性状 スランプフロー (cm)	空気量 (%)	温度 (℃)	圧縮強度(N/mm²) σ28 標準水中	σ91 簡易断熱	${}_{28}S_{91}$ (N/mm²)
M	40	50.0	170	425	533	356	916	65.0	2.4	30	66.9	71.4	-4.5
	35	48.6	170	486	503	336	916	67.0	1.9	32	76.1	81.4	-5.3
	30	46.5	170	567	463	310	916	68.0	1.3	33	94.2	98.0	-3.8
	25	43.4	170	680	409	273	916	68.5	1.6	34	107	106	1
BB	40	49.5	170	425	522	348	916	66.5	1.1	30	60.5	55.6	4.9
	35	47.9	170	486	490	328	916	69.0	1.4	31	71.3	62.4	8.9
	30	45.7	170	567	448	299	916	68.0	1.2	32	80.1	74.7	5.4
	25	42.2	170	680	390	260	916	67.0	1.8	33	97.7	85.2	12.5

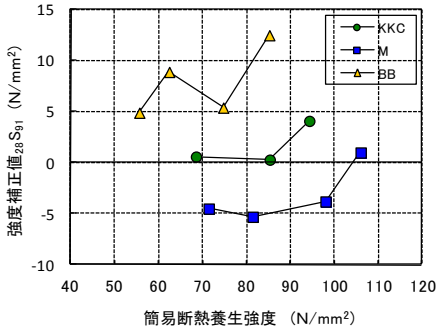
注)高性能AE減水剤はセメント量の1.75～2.10%を水の内割りとして添加



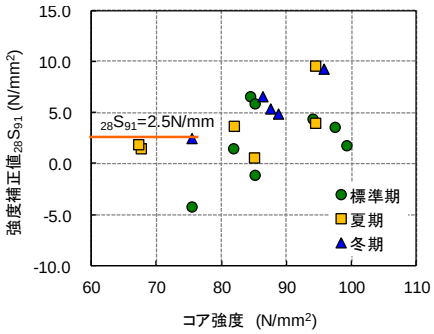
図－5　KKCコンクリートの材齢と圧縮強度(実験 I)



図－6　セメント種類別C/Wと圧縮強度（実験 I）



図－7　セメント種類別簡易断熱養生強度と ${}_{28}S_{91}$（実験 I）



図－8　KKCコンクリートのコア強度と ${}_{28}S_{91}$

コア 75N/mm^2 までの KKC の $_{28}S_{91}$ 最大値は 2.5N/mm^2 であるが，安全側を見込みその $_{28}S_{91}$ は 3 N/mm^2 と定めた。

c）模擬柱試験体のコア強度と強度補正値 Sd（実験Ⅱ）

KKC28 と KKC23 の模擬柱試験体のコア強度の分布を**図－9** に示す。材齢 91 日のコアの平均強度は KKC28 が 85.2N/mm^2 であり，KKC23 が 97.0N/mm^2 であった。これらの結果から設計基準強度 70N/mm^2 を十分満足することが可能といえる。模擬柱試験体のコア強度と Sd 値を表－12 に示す。Sd 値は，**図－9** の網かけ部のダイアフラム近傍（DF）部のコア平均強度と，それ以外（一般部）のコア平均強度の差である。KKC28 の変動係数は DF 部（1.34%）≧一般部（1.30%）であった。これらの値は過去の実験 [5] の中庸熱セメント・W/C25%の M25 の変動係数 6.6%よりもかなり小さい。また，Sd 値は KKC28 が－0.2 N/mm^2，KKC23 が 0.9 N/mm^2 であった。これは，既往の文献 [6] で示されている W/C35%の 4 N/mm^2 に比べ極めて小さい結果が得られた。本実験において変動係数や Sd が小さかったのは，既往の実験結果 [5] から，KKC セメントに含まれる膨張成分が一因として考えられる。

5. KKC コンクリートの CO_2 排出量

Fc 60N/mm^2 の KKC コンクリートと中庸熱（M）コンクリートの CO_2 排出量を**図－10** に示す。KKC の W/C は 28%，M は 30%で,両者共に単位水量は 170 kg/m^3，単位粗骨材量は 916 kg/m^3 である。KKC セメントの CO_2 原単位は 413kg/t，M はポルトランドセメントのため 758kg/t である。なお, 材料の原単位は土木学会基準 [7] に従った。

KKC コンクリートの CO_2 排出量は 259kg/m^3 で, M コンクリートの 440 kg/m^3 に比し，約 41%削減でき，KKC コンクリートは環境に優しいといえる。

6. まとめ

本検討結果から以下のことが明らかになった。

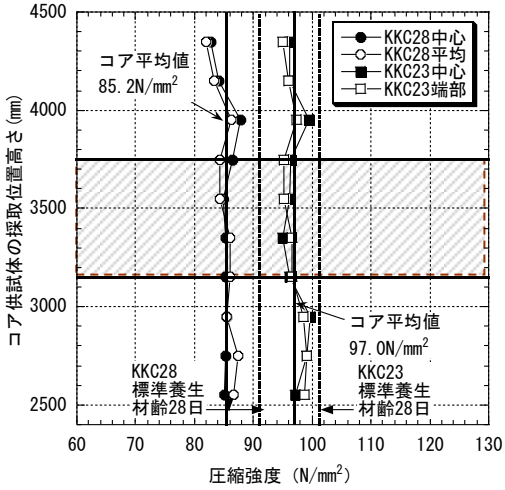
(1) KKC コンクリートの粘性は，同一水比で比較すると，中庸熱や高炉セメント B 種コンクリートよりも小さく，圧入による施工性に優れる。また，KKC コンクリートの自己収縮は，中庸熱コンクリートと同程度である。

(2) スランプフローや空気量は荷降し相当の経時 30 分では，目標値を満足していた。それ以降の経時におけるスランプフローや空気量の安定性については，混和剤の検討を今後も進める予定である。

(3) $_{28}S_{91}$ はコア強度 75 N/mm^2 までは 3 N/mm^2 と定めてよい。強度補正値 Sd は KKC28 が－0.2 N/mm^2，KKC23 が 0.9 N/mm^2 であり, 既往の値に比べて極めて小さかった。

(4) F_C 60 N/mm^2 の KKC コンクリート 1m^3 製造当りの CO_2 排出量は, 中庸熱コンクリートより約 41%削減できる。

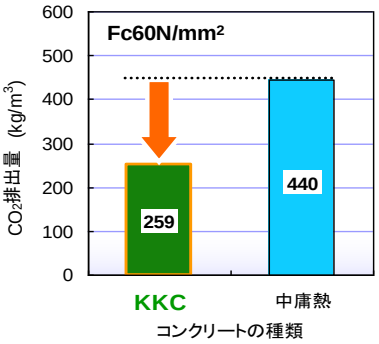
以上のことから，Fc 36～70 N/mm^2 の範囲における KKC コンクリートの適用に関する基礎資料が得られた。



図－9　模擬柱試験体のコア強度の分布（実験Ⅱ）

表－12　模擬柱試験体のコア強度とSd値

項目	KKC28		KKC23	
	一般部	DF部	一般部	DF部
平均値（N/mm^2）	85.1	85.3	97.4	96.5
標準偏差（N/mm^2）	2.09	0.78	1.27	1.29
変動係数（%）	2.46	0.91	1.30	1.34
Sd（N/mm^2）	−0.2		0.9	



図－10　コンクリートのCO_2排出量

参考文献

1) 新都市ハウジング協会編：コンクリート充填鋼管造技術基準・同解説の運用及び計算例等，2009.

2) 和美廣喜，笠井　浩ほか：回転翼型粘度計による高強度コンクリートの流動特性値測定法に関する実験的研究，コンクリート工学論文集,Vol.1,No1，pp.133-p141,1990

3) 全　振煥ほか：ＣＦＴ造高強度充填コンクリートのポンプ圧送性の評価と施工事例, 鹿島技術研究所年報, Vol.60, pp.117-p122，2012.9

4) 依田和久，笠井　浩ほか：環境配慮型 CFT 充填コンクリートの開発（その２．圧縮強度と強度補正値）日本建築学会大会梗概集，pp.319-320，2012.9

5) 依田和久ほか：コンクリート充填鋼管構造用 Fc70～120N/mm^2 のコンクリートの開発,鹿島技術研究所年報，Vol.58, pp.87-92，2010.9

6) 神代泰道ほか：CFT 柱の構造体強度に及ぼすコンクリートの調合条件の影響について，日本建築学会大会梗概集，pp.557-558，2008.9

7) 土木学会：コンクリートの環境負荷評価（その 2），2004.9