

西日本地域における Fc60 超級コンクリートの実用化

岡田 圭司* 瀬尾 正幸*
 阿部 哲良** 井戸 勇二*
 山浦 一郎*

要 旨

一般に西日本地域は骨材事情が悪く、東日本地域に比べ同一スラブのコンクリートを得るための単位水量が 10 kg/m³ 程度多く必要であると言われている。特に中国地方では西日本地域の中でも、スラブ 12 cm および 18 cm のコンクリートに必要な単位水量が多い地方という報告がある¹⁾。

中国地方において地上 43 階建ての超高層 RC 建物の計画があり、平成 10 年 7 月 27 日付で(財)日本建築センターの評定を取得している。本計画では下層階に設計基準強度 60N/m² 級の高強度コンクリートを適用する計画となっており、骨材事情の悪い中国地方においてこの強度領域のコンクリートの製造、品質確保が可能であることを確認する必要があった。このような背景から、現地材料を用いた高強度コンクリートの実用化を目指し、実験を実施した。実験により現地骨材を使用した高強度コンクリートの製造が可能であり、所定の品質を確保していることを確認し、調合および施工管理方法を決定する資料を得ることができた。

1. はじめに

今回、中国地方で計画された超高層 RC 建物に用いられる高強度コンクリートの設計基準強度(以下、Fc)を表 - 1 に示す。

一般に中国地方は骨材事情の悪い地方であると言われており、広島でこの強度領域のコンクリートの製造および品質確保が可能であることを確認する必要があった。本報は、現地材料を用いた Fc42 ~ 60 およびさらなる部材の高強度化に対応すべく、Fc80 級の高強度コンクリートについて実施した各種実験について報告するものである。

表 - 1 設計基準強度一覧

使用箇所	設計基準強度 : Fc (N/m ²)
棟 屋	30
41 階柱 ~ R 階梁・スラブ	30
38 階柱 ~ 41 階梁・スラブ	36
24 階柱 ~ 38 階梁・スラブ	42
19 階柱 ~ 24 階梁・スラブ	48
10 階柱 ~ 19 階梁・スラブ	54
1 階柱 ~ 10 階梁・スラブ	60
1 階梁スラブ	54
地下 1 階柱壁	54、36
基 礎	36

2. 実験概要

2. 1 実験の構成

実験は、Fc42 ~ 60 を対象としたシリーズ および Fc80 を対象としたシリーズ で構成される。各シリーズとも表 - 2 に示すように室内実験および実機実験の 2 段階で構成し、室内実験においてフレッシュ性状、硬化性状等の基礎性状および水セメント比(以下、W/C)と圧縮強度の関係を把握した上で、設定した調合による実機実験を実施した。実機実験のうち模擬部材打設実験は、季節変動を把握するため夏期(1998 年 9 月)、冬期(1999 年 1 月 ~ 2 月)の 2 シーズン実施している。

表 - 2 実験の構成

実験名		確認項目	実験場所	
シリーズ	室内実験	室内試し練り	・基礎性状の把握 ・W/C と強度の関係把握 ・実機へ展開する調合の設定	・現地生コン工場 A、B ・五洋建設技術研究所
	実機実験	実車運搬・ポンプ圧送	・実車運搬、ポンプ圧送の影響把握 ・圧送性把握	・現地生コン工場 A、B ・現地実験現場
		模擬部材打設実験	・構造体コンクリート強度把握 ・硬化過程での温度特性把握	・現地生コン工場 A、B ・現地実験現場
シリーズ	室内実験	室内試し練り	・基礎性状の把握 ・W/C と強度の関係把握 ・実機へ展開する調合の設定	・五洋建設技術研究所
	実機実験	模擬部材打設実験	・構造体コンクリート強度把握 ・硬化過程での温度特性把握	・現地生コン工場 A、B ・現地実験現場

表 - 3 実験実施時期

時期	シリーズ		シリーズ
	実車運搬・ポンプ圧送	模擬部材打設実験	模擬部材打設実験
夏期	1998 年 9 月	1998 年 9 月	-
冬期	-	1999 年 1 月	1999 年 2 月

* 技術研究所 ** 九州支店

2.2 使用材料

実験に使用した材料の一覧を表-4に示す。材料は、全て現地生コン工場（A、B 2つの工場）で使用しているものとし、当社技術研究所（以下、技研）で実施した実験では各工場から材料を取り寄せた。セメントのうちシリカフェームセメントは、低熱系セメントに超微粒球状のシリカフェームを10%（重量比）添加したもので、New RC高強度コンクリート用セメントの品質基準（案）²⁾に準ずるものである。

表-4 使用材料一覧

工場	材料	種類、産地 (記号)	緒元
A	セメント	普通ポルトランドセメント (O)	比重3.16、比表面積3300c m ² /g
	細骨材	大分県津久見産石灰岩砕砂 (S1)	表乾比重2.67、F M2.74
		愛媛県才原産加工砂 (S2)	表乾比重2.57、F M2.79
		大分県津久見産石灰岩砕石 (G)	表乾比重2.70、F M6.63、実績率61.0%
B	セメント	普通ポルトランドセメント (O)	比重3.16、比表面積3270c m ² /g
	低熱ポルトランドセメント (L)	比重3.22、比表面積3500c m ² /g	
	シリカフェームセメント (SFC)	比重3.08、比表面積5580c m ² /g	
	細骨材	大分県津久見産石灰岩砕砂 (S1)	表乾比重2.67、F M2.86
		広島県蒲刈産加工砂 (S2)	表乾比重2.55、F M2.81
		大分県津久見産石灰岩砕石 (G)	表乾比重2.70、F M6.50、実績率57.9%
共通	混和剤	高性能A E減水剤 (SP)	ポリカルボン酸系

[注] S1とS2の混合率70:30(容積比)

3. 室内実験

3.1 概要

実験は、試験室試練りにおけるコンクリートのフレッシュ性状、硬化性状等の基礎性状およびW/Cと圧縮強度の関係を把握し、実機実験へ展開する調査を設定することを目的として実施した。

3.2 実験方法

3.2.1 調査

調査は表-5に示すものとし、セメントは普通ポルトランドセメント(O)、低熱ポルトランドセメント(L)、シリカフェームセメント(SFC)および普通ポルトランドセメントとシリカフェームセメントの混合(SFN、重量比50:50)の4種類を用いた。

表-5 実施調査および目標管理値一覧

工場	調査No	調査								目標管理値	
		W/C (%)	S/a (%)	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	S (kg/m ³)	G (kg/m ³)	SP (C×%)	芯径 (cm)	空気量 (%)	
シリーズ A	O-25	25.0	44.7	175	700	675	856	1.70	60±10	3.0 ± 0.5	
	O-30	30.0	47.0	175	584	757	872	1.30			
	O-35	35.0	49.3	175	500	829	872	1.00			
	O-40	40.0	52.1	165	413	927	872	1.00			
	O-45	45.0	53.1	165	367	966	872	1.00			
	O-50	50.0	53.9	165	330	997	856	0.90			
シリーズ B	L-25	25.0	45.2	175	700	688	873	1.30	60±10	3.0 ± 0.5	
	L-30	30.0	47.4	175	583	767	873	1.15			
	L-35	35.0	49.5	175	500	835	856	1.05			
	L-22	22.0	46.8	160	727	715	856	1.80			
シリーズ B	SFC-19	19.0	42.2	160	842	592	856	2.05	65±5	2.0 ± 0.5	
	SFC-22	22.0	45.9	160	727	688	856	1.80			
	SFC-25	25.0	48.4	160	640	761	856	1.75			
	SFN-19	19.0	42.6	160	842	601	856	1.90			
	SFN-22	22.0	46.2	160	728	696	856	1.50			
	SFN-25	25.0	48.6	160	640	768	856	1.40			

3.2.2 練り混ぜ

練り混ぜは環境温度20とした試験室内で行い、現地生コン工場では60リットル強制二軸ミキサを用い、フレッシュコンクリート試験用バッチ50リットル、供試体採取用バッチ30リットルとし、技研では100リットル強制二軸ミキサを用い、1バッチ70リットルとした。

3.2.3 試験項目

試験項目は、表-6に示すものとし、各シリーズにて表-7に示す項目について実施した。凝結試験、断熱温度上昇試験以外のフレッシュコンクリート試験（以下、フレッシュ性状確認試験）は、練り上がり直後、30分後、60分後および90分後に試験を実施し、乾燥収縮、自己収縮以外の硬化コンクリート試験（以下、強度試験）用供試体を実施する養生および試験実施材齢は表-8に示すものとした。シリーズで実施している簡易断熱養生は、図-1に示す発泡スチロール製の簡易断熱養生槽を用いて試験日まで養生を行った。

表-6 試験項目一覧

種類 (記号)	試験項目および試験方法	
フレッシュコンクリート試験	フレッシュ性状確認試験 (フレッシュ)	・スランプフロー：JASS 5T-503 ・フロー流動時間 (50cm到達および停止) ・Vロート流下時間 ・空気量：JIS A 1128 ・単位容積質量 ・コンクリート温度
	凝結試験 (凝結)	JIS A 6204 付属書 1
	断熱温度上昇試験 (断熱)	簡易断熱温度上昇装置
硬化コンクリート試験	強度試験 (強度)	・圧縮強度試験：JIS A 1108 ・静弾性係数 (圧縮強度試験時に測定) ・引張強度試験：JIS A 1113 ・曲げ強度試験：JIS A 1106
	乾燥収縮 自己収縮 (収縮)	JCI案

表-7 各シリーズにおける試験項目

実施場所	フレッシュコンクリート試験			硬化コンクリート試験					
	フレッシュ	凝結	断熱	強度				収縮	
				圧縮強度	静弾性係数	引張強度	曲げ強度	乾燥収縮	自己収縮
シリーズ 現地工場	-	-	-	-	-	-	-	-	-
シリーズ 技研	1	2						1	2
シリーズ 技研	3	3						3	3

[注] : 全調査で実施、 : 一部の調査で実施、 - : 実施せず
一部の調査は、 1 : O-25、35、45、L-25、35
2 : O-25、L-25
3 : L-22、SFC-19、25、SFN-22

表-8 強度試験実施材齢と養生方法一覧

実施場所	試験項目：上段（養生方法）、下段（試験実施材齢）			
	圧縮強度試験	静弾性係数	引張強度	曲げ強度
シリーズ 現地工場	標準養生 3、7、28、56、91日	-	-	-
シリーズ 技研	標準養生 7、28、56、91日	標準養生 28、91日	標準養生 28日	標準養生 28日
シリーズ 技研	標準養生、簡易断熱養生*1 7、28、56、91日	標準養生 28、91日	標準養生 28日	標準養生 28日

[注] *1 簡易断熱養生は、L-22、SFC-19、25およびSFN-22で実施

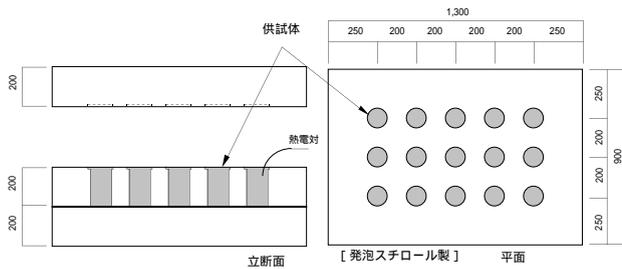


図 - 1 簡易断熱養生槽

表 - 9 試験結果一覧

調合No	フレッシュ							凝結			
	スラブ厚 (cm)	70流動時間 (秒)	停止 (秒)	Vロート流下時間 V65 (秒)	V75 (秒)	空気量 (%)	単位容積質量 (t/m ³)	コンクリート温度 (°C)	始発	終結	
シリーズ	O - 25	61.0	6.6	28.9	20.6	-	3.0	2.44	25.5	6:35	8:45
	O - 30	64.0	4.6	24.9	15.5	-	3.0	2.42	24.5	-	-
	O - 35	63.5	4.9	24.2	13.4	-	3.0	2.40	23.5	5:05	6:50
	O - 40	55.0	7.5	19.2	15.0	-	3.2	2.40	24.0	-	-
	O - 45	51.0	11.0	20.2	31.4	-	2.9	2.38	23.0	5:50	7:50
	O - 50	43.0	-	12.7	45.5	-	3.2	2.37	22.5	-	-
	L - 25	66.5	4.9	37.3	14.1	-	2.9	2.45	24.5	5:25	8:20
	L - 30	65.0	3.2	31.6	8.3	-	3.1	2.41	24.5	-	-
	L - 35	64.0	3.1	30.9	6.1	-	3.1	2.37	25.0	6:00	8:15
シリーズ	L - 22	67.0	14.1	84.5	61.4	37.5	2.0	2.49	23.5	6:50	8:45
	SFC - 19	67.5	4.2	55.8	17.9	14.0	2.0	2.48	22.3	12:15	14:00
	SFC - 22	65.5	3.6	34.2	11.5	10.1	2.1	2.45	21.4	-	-
	SFC - 25	64.5	3.5	28.4	10.0	6.6	2.0	2.44	21.2	10:20	11:50
	SFN - 19	65.5	12.8	76.7	47.2	35.5	1.7	2.50	22.5	-	-
	SFN - 22	70.0	5.4	48.2	24.1	20.5	2.1	2.46	22.1	4:00	6:00
	SFN - 25	70.0	3.9	39.3	12.9	12.1	2.3	2.44	22.3	-	-

[注]・フレッシュ性状確認試験結果は、練り上がり直後の値
 ・シリーズのフレッシュ性状確認試験結果は、現地生コン工場における値

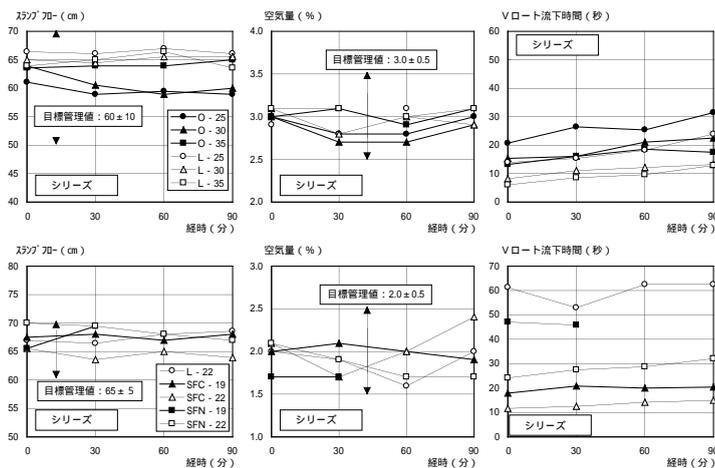


図 - 2 フレッシュ性状確認試験結果

3.3 実験結果と考察

3.3.1 フレッシュコンクリート試験

(1) フレッシュ性状確認試験

試験結果を表 - 9、図 - 2 に示す。練り上がり直後の試験結果は、全ての調合において目標管理値を満足しており、90分後まで管理値内での変動であった。同一W/Cにおけるセメント種類の比較をした場合、シリーズではLがOに比べ、W/Cの低い領域においてもスランプフロー保持性能が優れており、Vロート流下時間が小さい結果を示した。シリーズにおいてはVロート流下時間に明確な差異が見受けられ、SFCがその他に比べ小さい値を示した。フロー流動時間およびVロート流下時間から推測されるコンクリートの粘性は、同一W/CにおいてはSFC < SFN < L < Oの順に大きくなった。

(2) 断熱温度上昇特性

断熱温度上昇特性を図 - 3 に示す。シリーズにおいて同一単位セメント量で比較すると、LはOに比べ温度上昇量が少なく、温度上昇が緩やかな結果を示した。シリーズでは、同一単位セメント量で比較すると、SFNは材齢1日までに急激に温度上昇し、その後の上昇が少ないのに対して、Lは初期の温度上昇が緩やかであるもののその後も上昇し続ける傾向が見受けられた。材齢1日では14 あったSFNとLの上昇量の差が、材齢7日では3 となった。また、SFC - 19はSFN - 22に比べ単位セメント量が多いにもかかわらず温度上昇量の低い結果を示し、L - 22と比較すると材齢4日程度までは、Lの上昇量を上回っているがその後逆転し、材齢7日においては、Lの上昇量を下回っている。

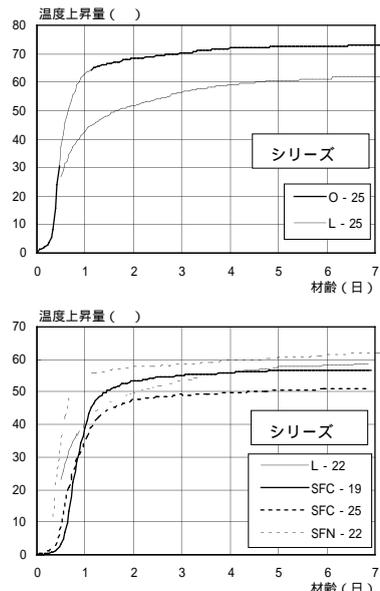


図 - 3 断熱温度上昇特性

3.3.2 硬化コンクリート試験

(1) 強度試験

強度試験結果を表 - 10 ~ 11 に、材齢と圧縮強度の関係を図 - 4 に示す。標準養生供試体 28 日強度は、シリーズの W/C=25% で 80N/mm² を超え、シリーズは全ての調合が 100N/mm² を超えた。また、同一 W/C で比較した場合、シリーズにおいて L は、O に比べ初期強度が低いものの、その後も長期的に強度増進し、材齢 56、91 日では O の値を上回った。シリーズでは、同一 W/C (W/C=22%) の材齢 28 日において最も強度発現したのは SFC であり、以下 SFN、L の順であった。L は、材齢 28 日に対する材齢 91 日の割合が最も大きく、材齢 91 日では SFN と同程度の強度であった。シリーズで実施した簡易断熱養生供試体は、標準養生供試体に比べ、材齢 7 日における強度は高いものの、その後の強度増進が小さく材齢 28 日においては、標準養生供試体を下回る結果を示した。

圧縮強度と静弾性係数の関係を図 - 5 に示す。いずれのシリーズもセメント種類による差異はなく、 $k_1=1.2$ (石灰岩碎石) $k_2=1.0$ 、単位容積質量 = 2.4 とした New RC 式³⁾ と良い相関を示した。

W/C と圧縮強度の関係を図 - 6 に示す。いずれのシリーズ、セメント種類においても圧縮強度は、C/W と一次比例関係にあり、W/C が小さく (C/W が大きく) なるに従って大きくなる結果を示した。

表 - 10 圧縮強度試験結果一覧

調合No	材齢 3 日		材齢 7 日		材齢 28 日		材齢 56 日		材齢 91 日		
	圧縮強度 (N/mm ²)	強度比較 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)	強度比較 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)	強度比較 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)	強度比較 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)	強度比較 (%)	
シリーズ	O - 25	63.9	79	72.1	89	81.2	100	86.8	107	92.9	114
	O - 30	56.1	77	63.4	87	72.9	100	78.0	107	83.9	115
	O - 35	44.7	69	55.0	85	64.4	100	69.3	108	72.6	113
	O - 40	35.0	60	48.6	83	58.8	100	61.5	105	65.1	111
	O - 45	28.3	58	39.2	79	49.3	100	52.6	107	55.8	113
	O - 50	22.7	55	32.2	77	41.6	100	43.9	105	47.2	113
	L - 25	51.0	58	63.2	72	88.0	100	96.4	110	109.0	124
	L - 30	37.1	49	50.1	65	76.7	100	86.4	113	94.3	123
	L - 35	24.0	40	35.2	58	60.6	100	72.0	119	79.8	132
シリーズ	L - 22	-	-	76.8 (95.1)	72 (92)	107.2 (103.2)	100	122.3 (109.1)	114 (106)	128.3 (120.4)	120 (117)
	SFC - 19	-	-	92.9	70	132.0	100	139.5	106	149.5	113
	SFC - 22	-	-	85.0	67	126.9	100	137.2	108	138.1	109
	SFC - 25	-	-	74.2 (88.5)	66 (92)	111.9 (96.3)	100	128.5 (102.1)	115 (106)	130.4 (101.1)	117 (105)
	SFN - 19	-	-	101.1	81	124.2	100	127.0	102	137.4	111
	SFN - 22	-	-	90.5 (94.2)	78 (96)	116.6 (98.3)	100	117.7 (98.8)	101 (101)	130.0 (103.9)	111 (106)
	SFN - 25	-	-	80.7	76	106.6	100	114.3	107	119.3	112

[注]・シリーズは、現地生コン工場における値
 ・シリーズの () 内の数値は簡易断熱養生、その他は標準養生供試体の値
 ・強度比較は、材齢 28 日を 100% とした場合の各材齢の割合を示す

表 - 11 引張、曲げ強度および静弾性係数一覧

調合No	材齢 28 日						材齢 91 日		
	圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 × 10 ⁴ (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	引張/圧縮	曲げ強度 (N/mm ²)	曲げ/圧縮	圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 × 10 ⁴ (N/mm ²)	
シリーズ	O - 25	87.2	4.52	6.3	1/14	13.6	1/6	98.8	4.67
	O - 30	75.5	4.32	4.3	1/18	11.4	1/7	85.3	4.68
	O - 35	69.7	4.62	5.2	1/13	9.8	1/7	80.1	4.39
	O - 45	50.8	3.97	3.1	1/16	9.1	1/6	57.2	4.44
	L - 25	99.7	5.25	5.6	1/18	11.2	1/9	115.6	5.28
	L - 30	75.1	3.99	4.3	1/17	10.0	1/8	96.4	4.52
	L - 35	65.8	4.05	4.6	1/14	9.4	1/7	85.5	4.37
シリーズ	L - 22	107.2	5.02	5.6	1/19	9.5	1/11	128.3	5.41
	SFC - 19	132.0	5.21	6.1	1/22	14.3	1/9	149.5	5.51
	SFC - 22	126.9	5.03	5.7	1/22	11.4	1/11	138.1	5.09
	SFC - 25	111.9	4.89	5.8	1/19	9.3	1/12	130.4	5.09
	SFN - 19	124.2	5.01	4.8	1/26	13.2	1/9	137.4	5.32
	SFN - 22	116.6	4.87	4.9	1/24	12.5	1/9	130.0	5.30
	SFN - 25	106.6	4.85	4.9	1/22	11.1	1/10	119.3	4.49

[注]・シリーズは、技研における値

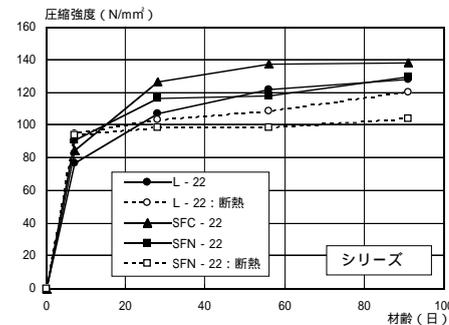
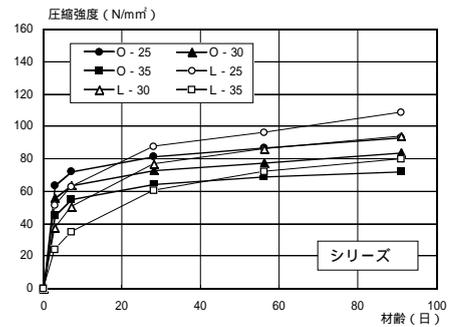


図 - 4 材齢と圧縮強度の関係

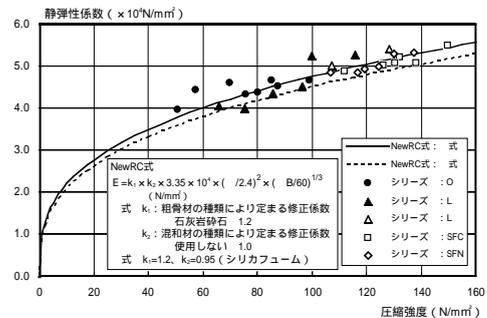


図 - 5 圧縮強度と静弾性係数の関係

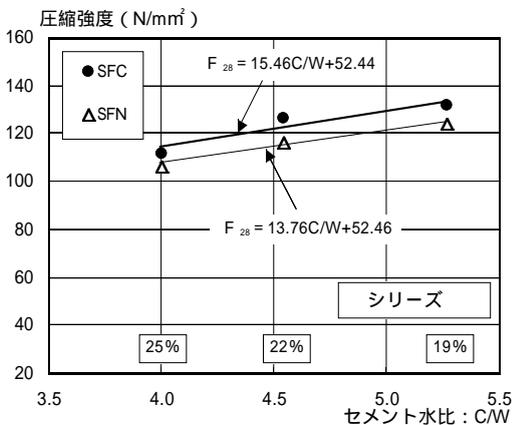
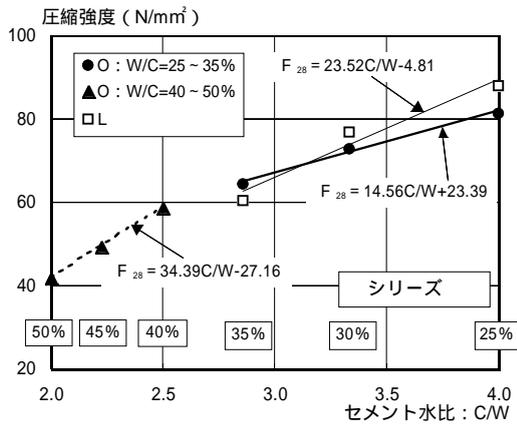


図 - 6 W/C と圧縮強度の関係

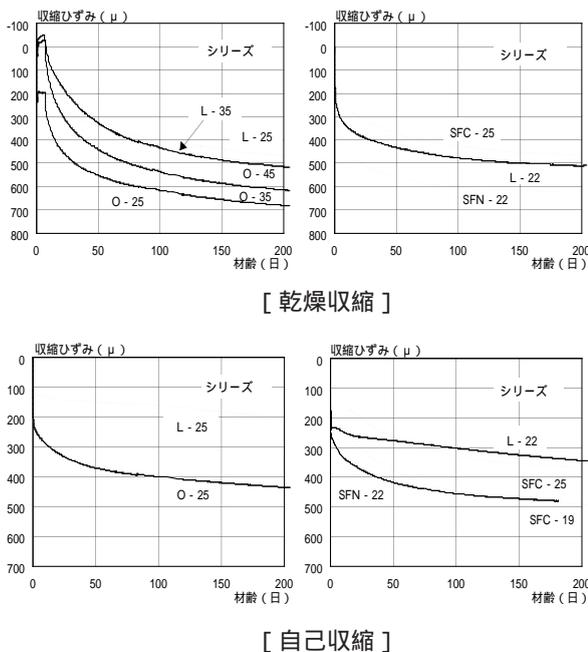


図 - 7 乾燥収縮、自己収縮

(2) 乾燥収縮、自己収縮

乾燥収縮、自己収縮の測定結果を図 - 7 に示す。乾燥収縮ひずみおよび自己収縮ひずみは、水セメント比が小さく(セメント量が多く)なるに従って大きくなる傾向を示し、同一水セメント比で比較するとシリーズにおいては、O に比べ L が小さく、シリーズでは SFN に比べ L が小さくなる結果を示した。

3.4 室内実験のまとめ

以上の実験結果より、Fc60 超級のコンクリートが製造可能であり、所定のフレッシュ性および十分な強度を確保できることを確認した。

室内実験により得られた水セメント比と圧縮強度の関係を基に、実機実験へ展開する調査を表 - 1 2 に示すものに設定した。なお、調合強度は (1) (2) 式を満足するものとした。

$$F_{28} = Fc + S + 2 \quad \dots (1)$$

$$F_{28} = 0.9 (Fc + S) + 3 \quad \dots (2)$$

ここで、 F_{28} : 調合強度 (N/m²)

Fc : 設計基準強度 (N/m²)

S : 構造体コンクリート強度と材齢 28 日における標準養生供試体の差

(New RC 報告より仮定³⁾ 以下、 S 値)

: 標準偏差 0.1 (Fc + S) と仮定

表 - 1 2 実機実験基本調査

	Fc (N/mm ²)	基本調査		
		セメント種類 (記号)	W/C (%)	単位水量 (kg/m ³)
シリーズ	60	普通ポルトランドセメント (O)	25.0	175
		低熱ポルトランドセメント (L)	27.5	175
	54	普通ポルトランドセメント (O)	29.0	175
		低熱ポルトランドセメント (L)	30.5	175
	48	普通ポルトランドセメント (O)	37.0	175
		低熱ポルトランドセメント (L)	35.0	175
シリーズ	42	普通ポルトランドセメント (O)	43.5	165
シリーズ	80	シリカフェースメント + 普通ポルトランドセメント (SFN)	22.0	160

4. 実機実験 / 実車運搬・ポンプ圧送実験

4.1 概要

実験は、各工場の実機ミキサにより練り混ぜたコンクリートを実車運搬、ポンプ圧送することによるフレッシュ性状の変化およびその施工性を把握することを目的として実施した。

4.2 実験方法

4.2.1 使用ポンプ

ポンプは、表-13に示すポンプ車(極東ピストンクリートPY21-51)を使用した。

表-13 ポンプ仕様

項目	仕様
最大吐出量 (吐出量×吐出圧力)	標準時: 100m ³ /h × 5.4MPa { 55 kgf/cm ² } 高圧時: 70m ³ /h × 7.8MPa { 80 kgf/cm ² }
コンクリートシリンダ数	2
シリンダ径ストローク	205 × 1,650mm
最大圧送距離	125A配管 水平: 750m 鉛直: 250m

4.2.2 調合

調合は、表-14に示すFc60対応の2調合(O-25、L-27.5)にて実施した。

表-14 実施調合および目標管理値一覧

工場	調合No	調合							目標管理値	
		W/C (%)	S/a (%)	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	S (kg/m ³)	G (kg/m ³)	S P (C × %)	スラブ加 (cm)	空気量 (%)
A	O-25	25.0	44.7	175	700	675	856	1.42	65 ± 5	3.0
B	L-27.5	27.5	45.8	175	636	714	873	1.25	60 ± 7.5	± 0.5

4.2.3 圧送

圧送は、図-8のように配管した水平換算長さ99.8mの5インチ高圧管を用いて行い、現着60分後のフレッシュ性状確認を終了した1.5m³のコンクリートを20、40m³/hの2種類の計画吐出量にて圧送した。

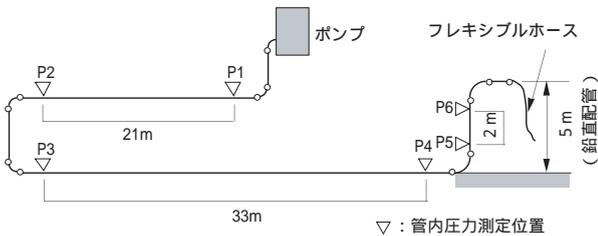


図-8 配管概要図

4.2.4 試験・計測項目

試験・計測項目は、表-15に示すものとし、フレッシュコンクリート試験は、出荷時(練り上がり直後)、現着時(練り上がり30分後)、現着30分後、60分後および各計画吐出量ごと圧送後に実施した。

表-15 試験・計測項目一覧

種類	試験・計測項目および方法
管内圧力計測	図-8に示す、6計測点にて計測
フレッシュコンクリート試験	・スランプフロー: JASS 5T-503 ・フロー流動時間(50cm到達および停止) ・Vロート流下時間 ・空気量: JIS A 1128 ・単位容積質量 ・コンクリート温度

4.3 実験結果と考察

吐出量と管内圧力損失の関係を図-9に、フレッシュ試験結果を図-10に示す。Oは、計画吐出量40m³/hの圧送は不可能であり下方修正を行った結果27.6m³/hの圧送を実施した。Oの圧送負荷は、概ね計画値程度の37.3m³/hを圧送したLに比べ吐出量が少なかったにもかかわらず、1.4倍程度となる結果を示した。これは、OがLに比べ粘性が高いことに起因するものと考えられる。管内圧力損失は、従来から言われているようにポンプ指針⁴⁾に示された普通コンクリート(スランプ21cm)を大きく上回った。

フレッシュコンクリート試験結果では、実車運搬およびその後の経時変化に大きな変化は見受けられなかったが、圧送することによりスランプフローがロスし、空気量が増加する傾向を示し、その傾向は圧送負荷の大きかったOに顕著に見受けられた。

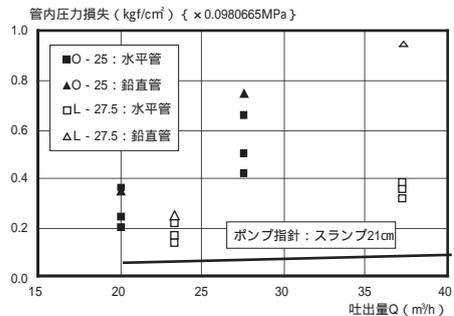


図-9 吐出量と管内圧力損失の関係

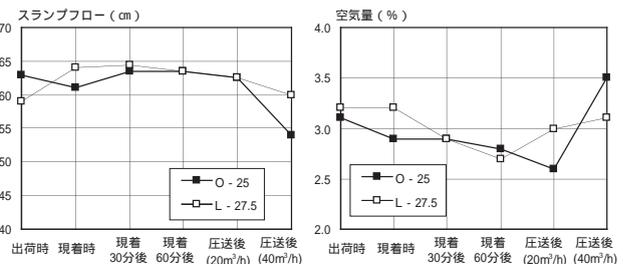


図-10 フレッシュ試験結果

4.4 実機実験 / 実車運搬・ポンプ圧送実験のまとめ
 以上の実験結果により、実機練りコンクリートのフレッシュ性状は、実車運搬および経時変化による影響は小さく、練り上がり90分後まで練り上がり直後の状態を概ね保持していることを確認した。また、今回のように水セメント比の異なる同一設計基準強度調合の場合、低熱ポルトランドセメントは、普通ポルトランドセメントに比べ、単位セメント量が少なく、粘性が小さいこともあり、吐出量を多く（打設速度を速く）することができ、圧送によるフレッシュ性状の変動も小さいことが分かった。

5. 実機実験 / 模擬部材打設実験

5.1 概要

実験は、各工場の実機ミキサにより練り混ぜたコンクリートを、柱を想定した模擬部材に打設することにより、各種養生を実施した供試体と構造体コンクリートの強度差および硬化過程における内部温度履歴を把握することを目的として実施した。

5.2 実験方法

5.2.1 調合

調合は、室内実験結果におけるW/Cと圧縮強度の関係から表-16に示すFcを満足すると考えられるW/Cによるものとした（表-12参照）。

5.2.2 試験体

試験体は、図-11に示す形状とし、夏期実験では、表

表-16 実施調合および目標管理値一覧

工場	対応Fc (N/mm ²)	調合No	調合								目標管理値	
			W/C (%)	S/a (%)	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	S (kg/m ³)	G (kg/m ³)	S/P (C × %)	スラブ厚 (cm)	空気量 (%)	
シリーズ A	60	O-25	25.0	44.7	175	700	675	856	1.40 (1.30)	65 ± 5	3.0 ± 0.5	
	54	O-29	29.0	46.5	175	604	742	872	1.20 (0.85)	57.5 ± 7.5		
	48	O-37	37.0	49.9 (51.4)	175 (165)	473 (446)	850 (900)	872	1.00 (0.85)	55 ± 7.5		
	42	O-43.5	43.5	52.8	165	380	956	872	1.05 (0.80)	55 ± 7.5		
	60	L-27.5	27.5	45.9	175	636	722	872	1.20 (1.25)	60 ± 7.5		
	54	L-30.5	30.5	47.6	175	574	774	872	1.05 (1.10)	57.5 ± 7.5		
シリーズ B	48	L-35	35.0	49.5	175	500	835	872	0.90 (1.20)	57.5 ± 7.5		
	80	SFN-22	22.0	46.0	160	728	712	856	1.30	65 ± 5	2.0 ± 0.5	

[注]・シリーズにて()記入したものは、冬期実験時の値、それ以外は、夏期、冬期共通のもの

表-17 試験体一覧 (夏期実験)

シリーズ	シリーズ													
調合No	O-25	O-25	L-27.5	L-27.5	O-29	O-29	L-30.5	L-30.5	O-37	O-37	L-35	L-35	O-43.5	O-43.5
締め固め	有	無	有	無	有	無	有	無	有	無	有	無	有	無
鉄筋	-	-	-	-	有	有	有	有	-	-	-	-	-	-
熱電対	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
コア採取														
試験体寸法	900 (W) × 900 (L) × 1,000 (H) mm													

- 17に示す14体、冬期実験では、表-18に示す8体とし、コンクリートは、生コン車にて実験現場へ運搬後、フレッシュコンクリート試験を実施し、スランプフローおよび空気量が目標管理値内であることを確認した上で、試験体へ打設した。夏期実験時には、振動締め固めの有無による充填状況の観察を行い、O-29、L-30.5には高密度配筋柱部材を想定した図-12に示す配筋を行った。

5.2.3 試験項目

試験項目は、表-19に示すものとし、硬化コンクリート試験で実施した圧縮強度試験では、供試体に表-20に示す養生を実施した。初期断熱3日、7日後現場封かん養生は、簡易断熱養生槽を用いて所定日数養生後、現場封かん養生へ移行した。温度追隨養生は、封かんした供試体を専用の装置により試験体中心部と常に同一温度になるよう調整した水槽内にて養生を行った。温度追隨養生7日後現場封かん養生は、7日間温度追隨養生後、現場封かん養生へ移行した。

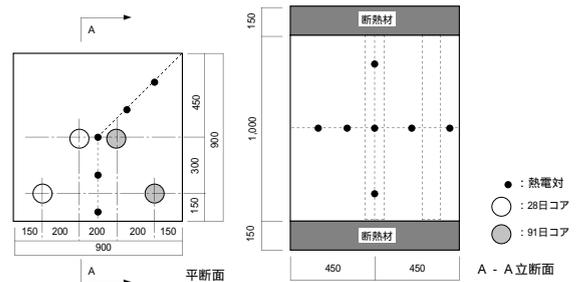


図-11 試験体形状

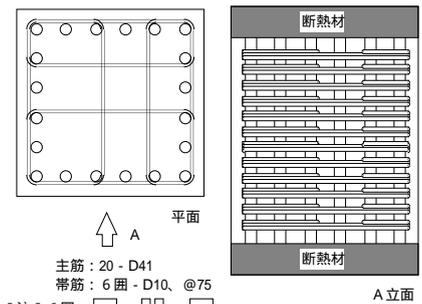


図-12 配筋概要

表-18 試験体一覧 (冬期実験)

シリーズ	シリーズ								シリーズ
調合No	O-25	L-27.5	O-29	L-30.5	O-37	L-35	O-43.5	SFN-22	
締め固め	無	無	無	無	無	無	無	無	
鉄筋	無	無	無	無	無	無	無	無	
熱電対			-	-					
コア採取									
寸法	900 (W) × 900 (L) × 1,000 (H) mm								

構造体コンクリート試験で実施したコア供試体圧縮強度試験は、図 - 1 1 に示す位置から材齢28日、91日に採取したコアから切断した供試体(100×200mm)を使用した。部材内部温度の測定は、試験体の図 - 1 1 に示す位置にセットした熱電対により、コンクリート打設後2週間の温度履歴を測定し、同時に外気温を3ヶ月間測定した。

表 - 1 9 試験項目一覧

種類	試験項目および試験方法
フレッシュコンクリート試験	・スランブロー：JASS 5T-503 ・フロー流動時間(50cm到達および停止) ・Vロート流下時間 ・空気量：JIS A 1128 ・単位容積質量 ・コンクリート温度
硬化コンクリート試験	・各種養生供試体圧縮強度試験：JIS A 1108
構造体コンクリート試験	・部材内部温度測定 ・コア供試体圧縮強度試験：JIS A 1107 ・静弾性係数(圧縮強度試験時に測定)

表 - 2 0 実施養生一覧

養生方法 (記号)	シリーズ							シリーズ
	O-25	O-29	O-37	O-43.5	L-27.5	L-30.5	L-35	
標準養生 (標準)								SFN-22
現場水中養生 (現水)								
現場封かん養生 (現封)								
初期断熱3日後現場封かん養生 (初断3日)		()			()			
初期断熱7日後現場封かん養生 (初断7日)					()			
温度追随養生 (温追)	-	-	-	-	-	-	-	
温度追随7日後現場封かん養生 (温追7日)	-	-	-	-	-	-	-	

[注]・シリーズの()は、冬期実験時のみ実施したもの、それ以外のは、夏期、冬期共通のもの

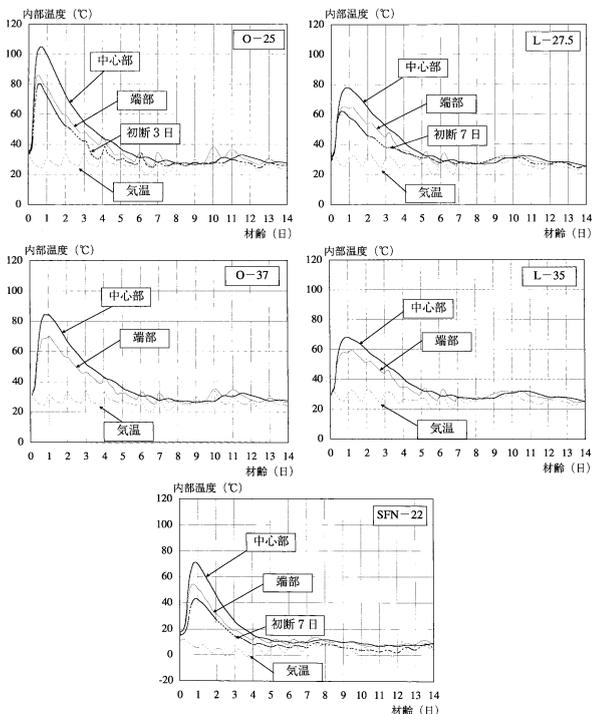


図 - 1 3 部材内部温度測定結果

5.3 実験結果と考察

5.3.1 充填状況

コンクリートの充填状況は、締め固めの有無による差異は見受けられず、締め固めを実施しなかった試験体においても帯筋の外側(かぶり部分)に十分に充填されており、良好な状況であった。

5.3.2 内部温度測定結果

夏期実験におけるシリーズ およびシリーズ の測定結果を図 - 1 3 に示す。部材内部温度は、コンクリート打設16~21時間後に最高となり、その後ゆるやかに下降し、打設7日後前後に外気温と同等となった。シリーズ において、同一Fc調合で比較すると、OとLにはW/Cの違いによる単位セメント量の差があることおよびLはOに比べ、温度上昇量が小さいことからLの部材内部温度はOに比べ低い結果を示した。

シリーズ における夏期と冬期の部材中心部の温度上昇量比較を図 - 1 4 に示す。冬期の部材中心部の温度上昇量は夏期に比べ、6~15 程度少なく、最高温度に到達する時間は3~9 時間遅い結果を示した。これは、従来から言われているように打設時のコンクリート温度が夏期に比べ低かったことに起因するものと考えられる。また、温度上昇量の差が最も大きかったO-37は、冬期の単位水量を夏期に比べ減らした結果、単位セメント量が少なくなっていることにより特に温度上昇量が抑えられているものと考えられる。このことから、所定のフレッシュ性状が確保できる範囲内で、単位水量を減らすことは、部材内部の温度を抑えるのに有効な手段であると言える。なお、実験現場における実験期間中(3ヶ月間)の平均気温は、夏期：19.2、冬期：9.8 であった。

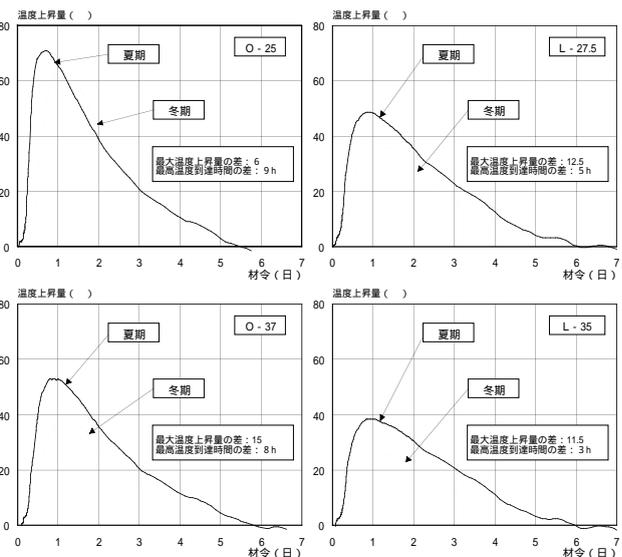


図 - 1 4 夏期と冬期の温度上昇量比較

5.3.3 各種養生供試体とコア供試体の強度差

材齢28日、91日における実験結果を表-21に示す。コア供試体材齢91日強度は、シリーズでは全ての調合がFcを超えており、シリーズではFcを若干下回ったものの同程度の結果であった。また、シリーズで同一Fc対応のOとLは、W/Cの差にかかわらずコア供試体において同等以上の強度発現をしており、内部温度測定結果と併せてLの優位性が見受けられた。

初期断熱養生および温度追従養生供試体は、現場封かん養生の有無および移行する時期にかかわらず同等の値であり、若材齢時の強度発現は高いもののその後の強度増進が少ない結果を示した(図-15参照)。シリーズにて各種養生を実施した供試体のうちコア供試体と同等の値を示したのは、初期断熱養生およびLにおける現場封かん養生であり、いずれのシーズンにおいてもかなり良い相関を示している(図-16参照)。シリーズは、材齢28日では初期断熱養生供試体がコア供試体と同程度の値を示しているものの、コア供試体の強度増進が全くなかったことにより材齢91日では、初期断熱養生がコア供試体を13~15N/m²上回る結果を示した。

構造体コンクリート強度と各種養生供試体強度の関係を図-17に、両者の差を表-22に示す。構造体コンクリート強度(コア供試体材齢91日強度)と標準養生供

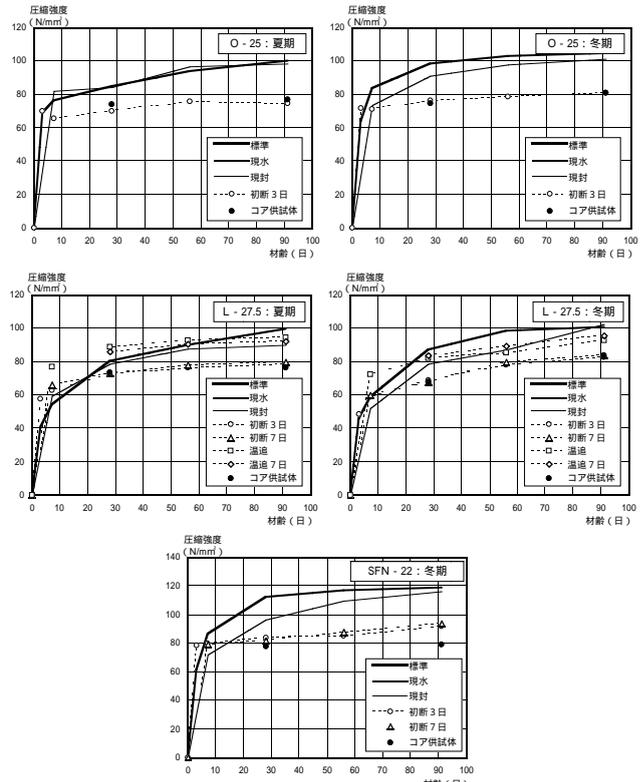


図-15 材齢と圧縮強度の関係

表-21 試験結果一覧(材齢28日、91日)

調査No	Fc (N/mm ²)	供試体種類	夏期実験				冬期実験			
			材齢28日		材齢91日		材齢28日		材齢91日	
			圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 × 10 ⁴ (N/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 × 10 ⁴ (N/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 × 10 ⁴ (N/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 × 10 ⁴ (N/mm ²)
シリーズ	O-25	標準	85.0	-	100.1	-	98.4	-	104.5	-
		現水	84.2	-	98.4	-	91.4	-	101.5	-
		現封	86.7	-	97.0	-	74.4	-	91.5	-
		初断3日	70.3	-	74.7	-	76.5	-	80.7	-
	コア	73.9	3.58	76.8	4.00	75.0	3.92	81.1	4.38	
	O-29	標準	77.9	-	92.3	-	81.6	-	86.6	-
		現水	77.9	-	87.3	-	76.1	-	90.8	-
		現封	78.8	-	85.6	-	65.5	-	74.3	-
		コア	61.9	3.68	68.7	3.76	59.7	3.37	63.6	3.44
	O-37	標準	64.1	-	72.7	-	70.4	-	74.6	-
		現水	67.1	-	69.5	-	63.0	-	75.7	-
		現封	57.4	-	64.9	-	50.1	-	61.6	-
初断3日		-	-	-	-	49.5	-	60.1	-	
コア	46.4	3.03	49.3	3.37	47.0	3.02	54.7	3.24		
O-43.5	標準	51.7	-	60.0	-	59.4	-	65.8	-	
	現水	52.1	-	55.1	-	51.9	-	63.6	-	
	現封	46.2	-	54.6	-	45.7	-	57.4	-	
	コア	38.3	3.03	42.2	2.93	40.6	3.00	45.7	3.13	
L	L-27.5	標準	80.3	-	99.4	-	87.3	-	100.8	-
		現水	78.6	-	89.8	-	78.6	-	102.5	-
		現封	70.7	-	83.7	-	66.6	-	81.0	-
		初断3日	72.6	-	78.7	-	69.3	-	82.8	-
	初断7日	73.1	-	79.8	-	68.2	-	83.8	-	
	温追	89.1	-	94.8	-	82.3	-	92.9	-	
	温追7日	86.2	-	92.5	-	84.0	-	95.9	-	
	コア	73.6	3.64	76.6	3.48	68.1	3.77	83.7	4.53	
L-30.5	標準	66.7	-	88.9	-	72.3	-	86.6	-	
	現水	74.1	-	89.7	-	67.5	-	88.4	-	
	現封	66.5	-	72.5	-	64.0	-	79.0	-	
	初断3日	-	-	-	-	60.5	-	77.2	-	
初断7日	-	-	-	-	62.9	-	73.3	-		
コア	65.2	3.39	71.9	3.27	63.0	3.20	74.7	3.69		
L-35	標準	58.8	-	80.8	-	64.2	-	75.5	-	
	現水	62.4	-	75.0	-	52.5	-	74.2	-	
	現封	54.1	-	62.7	-	53.3	-	69.8	-	
	コア	54.9	3.08	62.3	3.29	52.6	3.09	64.5	3.43	
シリーズ	SFN-22	標準	-	-	-	-	112.2	-	118.7	-
		現水	-	-	-	-	96.2	-	116.2	-
		現封	-	-	-	-	90.7	-	108.1	-
		初断3日	-	-	-	-	83.6	-	92.0	-
		初断7日	-	-	-	-	81.6	-	93.9	-
コア	-	-	-	-	78.0	3.72	79.0	3.92		

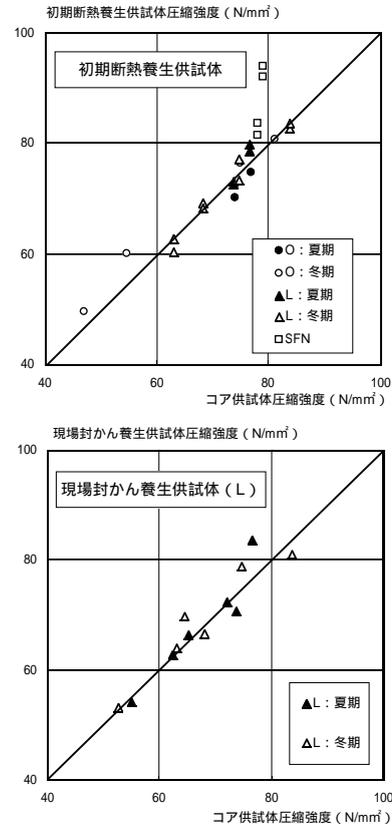


図-16 各種養生供試体とコア供試体比較

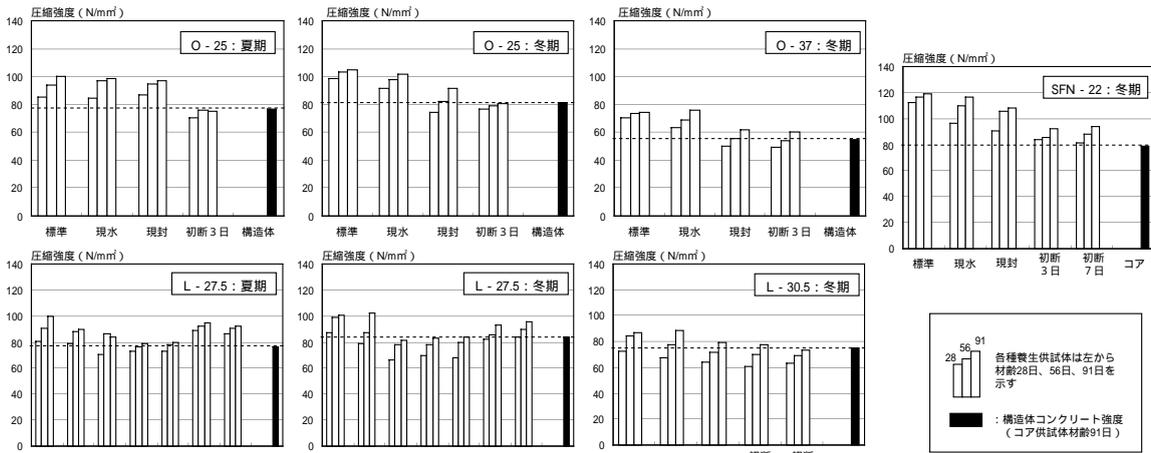


図 - 17 構造体コンクリート強度と各種養生供試体強度の関係

試体材齢28日強度の差は、SFNが33.2N/m²とかなり大きく以下、O、Lの順に小さくなった。また、シリーズにおける初期断熱養生供試体は、材齢56日から91日への強度増進が小さく、いずれも材齢56日において構造体コンクリート強度を再現している。

表 - 22 強度差一覧

シリーズ	実施時期	調査No	圧縮強度 (N/mm ²)				強度差 (N/mm ²)				
			構造体コンクリート		初期断熱3日						
			標準	現封	材齢28日	材齢91日	材齢56日	材齢91日	-	-	-
シリーズ	夏期	O - 25	76.8	85.0	97.0	75.6	74.7	8.2	20.2	-1.2	-2.1
		O - 29	68.7	77.9	85.6	-	-	9.2	16.9	-	-
		O - 37	49.3	64.1	64.9	-	-	14.8	15.6	-	-
		O - 37.5	42.2	51.7	54.6	-	-	9.5	12.4	-	-
		L - 27.5	76.6	80.3	83.7	76.4	78.7	3.7	7.1	-0.2	2.1
		L - 30.5	71.9	66.7	72.5	-	-	-5.2	0.6	-	-
		L - 35	62.3	58.8	62.7	-	-	-3.5	0.4	-	-
	冬期	O - 25	81.1	98.4	91.5	78.8	80.7	17.3	10.4	-2.3	-0.4
		O - 29	63.6	81.6	74.3	-	-	18.0	10.7	-	-
		O - 37	54.7	70.4	61.6	54.0	60.1	15.7	6.9	-	-
		O - 37.5	45.7	59.4	57.4	-	-	13.7	11.7	-	-
		L - 27.5	83.7	87.3	81.0	78.1	82.8	3.6	-2.7	-5.6	-0.9
		L - 30.5	74.7	72.3	79.0	69.7	77.2	-2.4	4.3	-5.0	2.5
		L - 35	64.5	64.2	69.8	-	-	-0.3	5.3	-	-
シリーズ	冬期	SFN - 22	79.0	112.2	108.1	85.5	92.0	33.2	29.1	6.5	13.0

5.4 実機実験 / 模擬部材打設実験のまとめ

以上の実験結果より、現地骨材を使用した高強度コンクリートが、構造体コンクリート強度としての強度を再現できることを確認した。低熱ポルトランドセメントを用いた場合、普通ポルトランドセメントに比べ水セメント比を大きくすることができる上、部材内部温度も低く抑えられることおよび構造体コンクリート強度の推定には、普通ポルトランドセメントでは初期断熱養生が、低熱ポルトランドセメントでは初期断熱養生に加え、現場封かん養生を行った供試体を用いることが有効であることが分かった。なお、普通ポルトランドセメントとシリカフェームセメントの混合は、今回の実験では、構造体コンクリート強度を推定するのに有効な供試体養生方法を特定することはできなかった。

6. おわりに

一連の実験により骨材事情の悪いとされる広島における生コン工場の使用材料を用いた高強度コンクリートの製造、施工が可能であり、所定の品質を確保していることが明らかになった。

高強度コンクリートの施工管理において特に重要とされる項目に設計基準強度の確保がある。実施工に適用する場合には、本実験結果を参考にして構造体コンクリート強度管理用供試体の養生方法およびその材齢を選定するとともに、初期断熱養生等にて常に構造体コンクリート強度を把握することにより構造体コンクリートの強度補正值⁵⁾を管理し、適宜調合強度へ反映させていくことが肝要である。

謝辞

本研究を行うにあたり、ご助言、ご協力を頂きました中国生コンクリート(株)、広島共同生コン(株)、トクヤマ(株)、宇部三菱セメント(株)、山宗化学(株)および花王(株)の皆様方に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本建築学会材料施工委員会：コンクリート用骨材をめぐる諸問題、pp.9 ~ 16、1992.8
- 2) 国土開発技術センター：平成4年度高強度コンクリート分科会報告書、pp.4-3-1 ~ 4-3-8
- 3) 国土開発技術センター：New RC 施工標準、平成4年度工法分科会報告書、pp.4-2-35 ~ 4-2-37、4-2-50 ~ 4-2-55
- 4) 日本建築学会：コンクリートポンプ工法施工指針・同解説、pp.26 ~ 43、1994
- 5) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 鉄筋コンクリート工事 JASS 5、pp.433 ~ 436、1997