

高層鉄筋コンクリート造建物に供する コンクリートの基本性状

地濃 茂雄* 五十嵐 賢次** 斉藤 純一***

(平成10年10月31日受理)

Basic Property of Concrete using in a Highrise Reinforced Concrete Building

Shigeo CHINO* , Kenji IGARASHI ** and Jun-ichi SAITO***

In this study, we aim to develop concrete using in a 30-storied reinforced concrete building above the ground.

That is, we experimentally investigated basic property (both aging variation and compressive strength of fresh concrete classified by season) to discover the concrete which satisfies the 30-42 N/mm² of specified design strength at columns, beams and floor slabs.

Key words : reinforced concrete building, compressive strength

1. はじめに

建築物の高層化や高品質化において、その具現化のためのコンクリート技術の開発は要件の一つである。本研究は地上30階建ての鉄筋コンクリート造建物を想定し、それに使用するコンクリートを開発することを目的としたものである。

すなわち、柱・梁・床スラブの設計基準強度30~42 N/mm²を満足するコンクリートを見いだすための基本性状について実験研究した。

実験には、この種高層建物の施工期間が長期に及ぶこと、また柱部材断面が1×1 m程度になることなどを鑑み、季節別 [冬季 (環境温度: 10℃相当)、春秋 (20℃相当)、夏季 (30℃相当)] の基本性状のほか柱モデルによる実験も試みた。本報はこれらの実験結果をとりまとめたものである。

なお、コンクリートの製造・運搬は、実施工を考慮してレディーミクストコンクリート工場の実機によった。

この想定が実現すれば、地上90m30階建てのコンクリート技術に供されることになるが、想定した実大規模の実験体 (1~2階部分の一部) をPhoto 1に示す。柱スパンは 5.5m、断面は1×1 m。梁断面は0.65×1 m。階高4 mである。

* 建築学科 教授

** (株) 福田組 技術部

*** (株) 福田組 技術部 次長

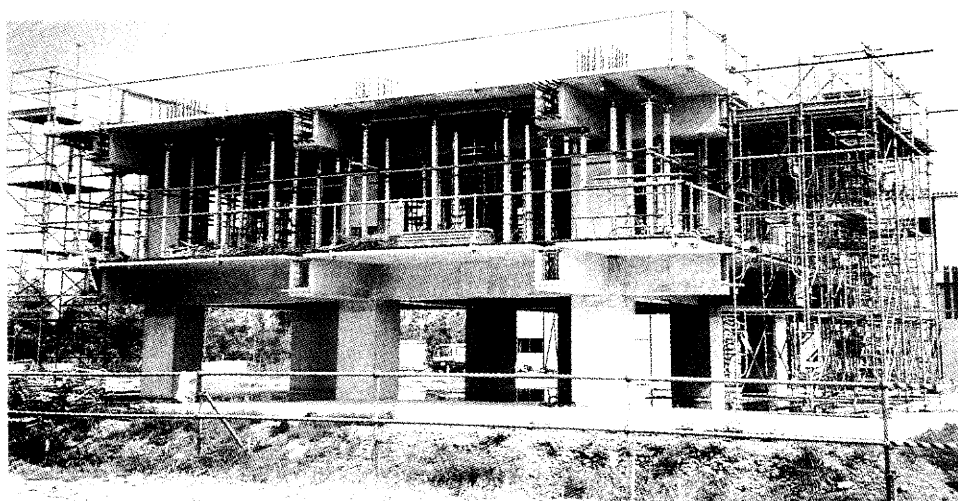


Photo 1 Full-scale experimental body

Table 1 Used material of concrete

セメント	普通ポルトランドセメント (比重3.16)
細骨材	胎内川産川砂(表乾比重2.58、粗粒率2.60)
粗骨材	荒川産砕石(表乾比重2.62、粗粒率6.69 最大骨材寸法20mm)
混和剤	高性能A E減水剤 低空気量タイプ 冬季、春秋(ホリカルボソ酸エーテル系の複合体) 夏季(ホリカルボソ酸エーテル系と架橋ポリマー複合体)
練混ぜ水	上水道水

Table 2 Rate of rock type coarse aggregate

花崗岩	砂岩	凝灰岩	珪岩	斑禰岩	合計
35.1	20.5	19.7	6.8	5.3	100.0
頁岩	閃緑ハソ	流紋岩	泥岩	長石	
5.1	2.6	2.1	1.5	1.3	

Table 3 List of mix proportion

環境条件	W/C (%)	S/a (%)	単体量(kg/m ³)				
			水	セメント	細骨材	粗骨材	高性能A E減水剤(C×%)
冬季	30	42.1	165	550	674	942	0.60
	35	44.3	165	471	738	942	0.55
	40	45.9	165	413	787	942	0.60
	45	47.0	165	367	824	942	0.70
春秋	30	42.1	165	550	674	942	0.90
	35	44.3	165	471	738	942	0.80
	40	45.9	165	413	787	942	0.75
	45	47.0	165	367	824	942	0.90
夏季	30	42.1	165	550	674	942	1.00
	35	44.3	165	471	738	942	1.00
	40	45.9	165	413	787	942	1.20
	45	47.0	165	367	824	942	1.30

2. 実験方法

設計基準強度30~42N/mm²を満足するコンクリートを開発するには、低水セメント比でかつ良好なワーカビリティを有するコンクリートが要件となり、高性能A E減水剤の使用は不可欠であると考えた。

使用材料をTable. 1に示す。骨材は新潟県内で一般的に使用されているものとした。粗骨材は高強度のコンクリートを得るために、川砂利を砕石2005の粒度分布範囲内に砕いたものを使用した。その成分割合をTable. 2に示す。高性能A E減水剤はスランプの保持性

Table 4 Aging variation of both slumps and air content

環境条件	W/C (%)	受入日 H9	気温 (°C)	コンクリート 温度 (°C)	スランプ(cm)					空気量(%)				
					0分 (練混)	30分 (荷卸)	60分	90分	120分	0分 (練混)	30分 (荷卸)	60分	90分	120分
冬季	30	2/12	6.0	9.0	23.0	23.5	24.0	23.0	21.5	4.8	4.2	3.2	3.9	3.9
	35	3/4	6.0	9.5	22.0	21.5	19.5	19.0	16.5	5.5	4.6	3.6	3.6	3.8
	40	2/5	3.0	7.0	21.5	21.5	20.0	19.5	18.5	4.8	5.1	5.8	6.4	7.0
	45	2/25	11.0	10.0	21.5	21.0	19.0	18.5	15.0	4.9	4.6	5.1	5.7	5.4
春秋季	30	6/2	24.0	24.5	23.0	22.0	21.0	19.0	15.0	4.1	4.0	4.2	4.9	4.5
	35	6/23	25.0	26.0	21.5	18.5	12.0	9.0	5.0	5.1	4.6	4.6	4.5	4.3
	40	5/19	18.0	20.0	21.5	20.0	19.0	17.5	13.5	4.4	4.0	3.7	3.5	3.1
	45	6/16	21.0	23.0	22.5	21.0	19.0	19.0	17.0	4.6	4.7	4.2	4.0	3.8
夏季	30	8/5	27.0	29.0	21.5	21.0	20.0	19.0	16.0	4.0	4.2	4.4	4.8	5.0
	35	8/26	28.0	30.5	22.5	22.0	20.5	20.5	19.0	4.2	3.8	4.0	4.3	4.2
	40	7/29	29.0	30.0	22.5	21.0	20.0	19.5	18.5	4.8	4.9	5.2	5.2	5.9
	45	8/19	31.0	30.5	22.0	22.0	20.5	19.5	18.0	4.2	4.0	4.4	4.7	5.0

を考慮して環境条件によって2種のものを使い分けた。なお、骨材との相性から低空気量タイプのものを用いた。

調合条件は水セメント比：30%、35%、40%、45%の4水準として、単位水量と単位粗骨材料を一定とした。レディーミクストコンクリート工場で2 m³の実機を用いてコンクリートを練混ぜ、大型アジテータ車で約30分間、運搬することとし、アジテータ車からの荷卸し時の目標スランプは21±1.5cm、空気量は4.0±1.0%とした。

3. フレッシュコンクリート

各条件下での調合の結果をTable. 3に示す。目標とするスランプと空気量を得るための高性能A E減水剤の添加量は、環境温度に大きく依存し、特に冬季の場合には混和剤メーカーの添加量推奨範囲の最小値であるセメント量の0.5%に近い添加量となった。

スランプおよび空気量の経時変化をTable. 4に示す。その一例として水セメント比40%のスランプの経時変化をFig. 1に図示した。春秋季の場合、概して経時によるスランプ低下が大きいことがうかがえる。

冬季の場合の空気量の経時変化をFig. 2に示す。概ね4.0±1.0%の範囲に収まっているものの、冬季の場合にはやや不安定な傾向が見られる。これは高性能A E減水剤の添加量に起因したものと考えられる。

総合的に見て、コンクリートの練混ぜから打込み終了までの時間限度は、スランプ18cmを目標とした場合、90分が妥当といえる。

なお、基本的性状の把握の観点から単位水量を一定として実験を行ったが、冬季の場合の添加量が少ないことは単位水量が多いことでもある。従って、高性能A E減水剤の添加

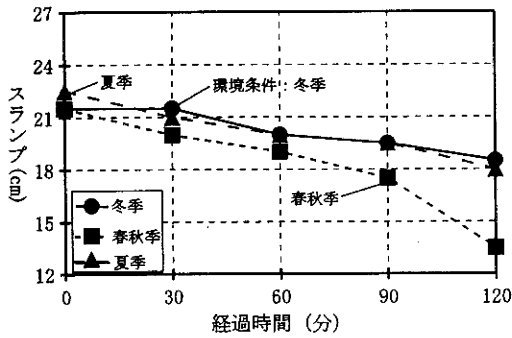


Fig.1 Aging variation of slumps (W/C = 40%)

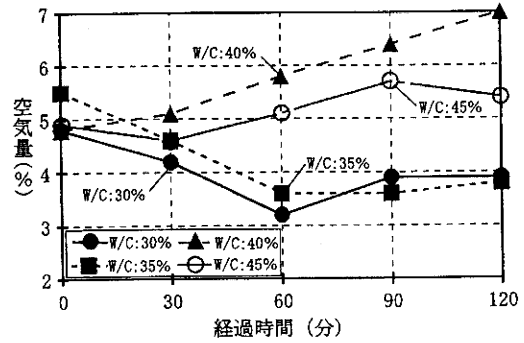


Fig.2 Aging variation of air content (Environmental condition: winter)

量を増やすことで単位水量の低減を図り、フレッシュコンクリートの経時変化を安定させることができるものと考えられる。

4. 圧縮強度

荷卸し時のコンクリートを想定した柱のモデル型枠に打込み、この試験体から圧縮強度用のコア抜き供試体を得ることと、中心部に熱電対を埋め込んで、温度履歴を求めるとした。柱モデルの寸法をFig. 3に示す。

同時に標準養生、現場水中養生、簡易断熱養生用の供試体 (φ100×200cm) を作成した。簡易断熱養生箱の寸法をFig. 4に示す。以下、実験結果について述べる。

まず、柱モデル中心部の温度履歴における最高温度をTable. 5に示し、温度履歴の一例をFig. 5に示す。

Table. 5によれば、冬季の場合の水セメント比40%と45%で最高温度の傾向が、他の季節の傾向と相違している。この相違は打込み時の気温に支配された結果といえる。春秋季および夏季の場合では、水セメント比が小さいほど最高温度は高く、夏季では80℃を越すものも見られる。部材が大きいことで、水和熱が蓄積した影響といえよう。

一方、最高温度に到達する時間は、水セメント比よりも気温の影響が大きいことが指摘される。すなわち、冬季の場合は打込み終了から約36時間、春秋季の場合は約24時間、夏季の場合は約18時間であった。また、中心部のコンクリート温度が外気温と等しくなるのに要した時間はおよそ5日間であった。

次に、圧縮強度試験結果をTable. 6に示す。また、各材齢の28日に対する圧縮強度比をTable. 7に示す。

柱モデルのコア抜きの圧縮強度に注目すると、環境条件により強度発現傾向が相違している。とりわけ冬季の場合、水和熱の影響を受け初期強度は促進されている。特に低水セメント比になるほどその傾向が顕著である。そして材齢28日に至っては環境条件に関わらず標準養生供試体の圧縮強度を下回り、調合強度を算定する場合の補正値が必要となるのがわかる。また、簡易断熱養生供試体は圧縮強度がコア抜きの供試体と概ね近い値であ

高層鉄筋コンクリート造建物に供するコンクリートの基本性状

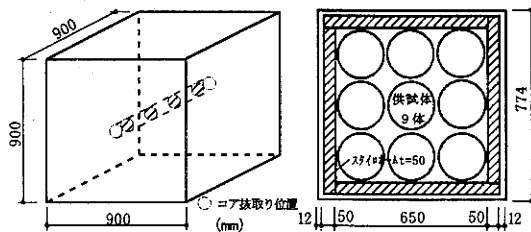


Fig. 3 Model test specimens of columns

Fig. 4 Simple curing box with heat insulation

Table 5 The highest temperature of concrete

環境条件	冬季				春秋季				夏季			
水セメント比 (%)	30	35	40	45	30	35	40	45	30	35	40	45
最高温度 (°C)	41	41	24	34	80	76	60	59	83	82	78	70

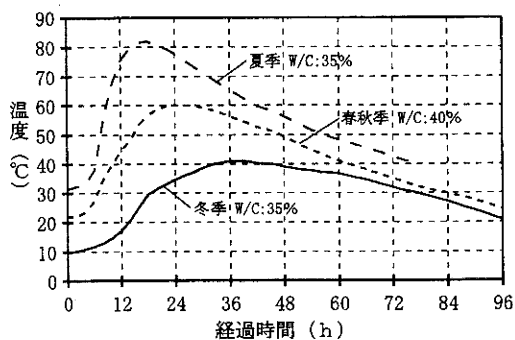


Fig. 5 Temperature history of concrete

Table 7 Ration of compressive

環境条件	W/C (%)	7日/28日				91日/28日			
		標準養生	現場水中	簡易断熱	コア抜き	標準養生	現場水中	簡易断熱	コア抜き
冬季	30	0.84	0.79	0.90	0.91	1.11	1.12	1.04	
	35	0.80	0.72	0.80	0.78				
	40	0.80	0.58	0.78	0.80				
	45	0.73	0.71	0.80	0.82				
春秋季	30	0.81	0.90	0.91	0.92	1.20	1.09	1.12	
	35	0.81	0.79	0.88	0.87				
	40	0.75	0.76	0.83	0.87				
	45	0.76	0.77	0.83	0.87				
夏季	30	0.84	0.89	0.92	0.92	1.20	1.15	1.21	
	35	0.83	0.81	0.89	0.88				
	40	0.82	0.86	0.75	0.90				
	45	0.79	0.79	0.89	0.85				

Table 6 Results of compressive strength tests

(N/mm²)

環境条件	W/C (%)	材齢7日				材齢28日				材齢91日			
		標準養生	現場水中	簡易断熱	コア抜き	標準養生	現場水中	簡易断熱	コア抜き	標準養生	現場水中	簡易断熱	コア抜き
冬季	30	58.3	49.1	55.8	57.1	69.4	62.4	61.8	62.7	69.0	69.3	65.3	
	35	51.2	40.4	43.9	44.1	63.7	56.1	55.0	56.6				
	40	38.2	24.3	27.7	31.1	48.0	41.8	35.6	38.7				
	45	36.5	30.7	30.7	33.4	49.8	43.1	38.5	40.6				
春秋季	30	54.8	55.5	51.9	49.1	67.5	61.8	57.0	53.4	74.0	62.2	59.9	
	35	43.2	43.7	39.0	40.1	53.6	55.3	44.5	46.2				
	40	34.7	33.8	30.5	34.2	46.4	44.5	36.6	39.2				
	45	29.9	28.9	25.5	27.8	39.1	37.4	30.9	32.1				
夏季	30	53.6	60.9	49.5	48.1	64.0	68.1	54.0	52.3	82.0	62.3	63.3	
	35	49.4	52.3	44.0	39.4	59.2	64.9	49.3	44.6				
	40	41.3	43.9	34.2	35.5	50.2	51.3	45.7	39.6				
	45	34.7	37.9	29.8	30.9	44.1	48.2	33.6	36.1				



Photo 2 Simple curing box with heat insulation

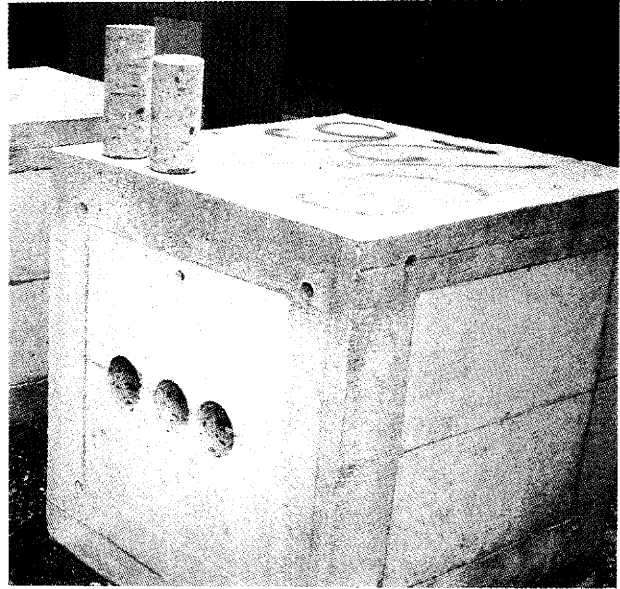


Photo 3 Model test specimens of columns

ることから、構造体コンクリートの管理用供試体として適切であるともいえる。なお、今回の実験における簡易断熱養生供試体の概況をPhoto 2に、コア抜き供試体（柱モデル）をPhoto 3に示して置く。

圧縮強度比は標準養生の場合、材齢7日では28日の約80%、コア強度はそれよりもやや高く90%程度である。材齢28日以降91日にかけての強度増進割合は全体的に1割程度である。

5. 水セメント比算定の試み

本試験結果に基づき調合強度に対応する水セメント比の算定を試みることにした。条件は春秋の設計基準強度は 42 N/mm^2 。算定方法は日本建築学会「建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事（19節 高強度コンクリート）」に準じる。

$$mF \geq Fq + mSn + 2\sigma \quad (\text{N/mm}^2)$$

mF : 材齢 m 日におけるコンクリートの調合強度

Fq : コンクリートの品質強度 42 N/mm^2

mSn : 標準養生した供試体の m 日における圧縮強度と管理用供試体による構造体コンクリートの圧縮強度 n 日における推定値との差

σ : 構造体コンクリート強度管理用供試体の圧縮強度の標準偏差
この場合 $0.1 (Fq + mSn)$ とした

管理材齢を $m = n = 28$ 日とした場合の材齢28日におけるセメント水比と圧縮強度との関係をFig. 6に示す。簡易断熱を構造体コンクリート強度管理用供試体とすると、この図よ

Table 8 List of regression formula

環境条件	養生方法	回帰式 (相関係数)
春秋季	標準養生	F28 = 25.17 C/W - 17.02 (r=0.997)
	簡易断熱	F28 = 23.52 C/W - 21.91 (r=0.998) F91 = 23.47 C/W - 16.80 (r=0.978)
	コア抜き	F28 = 18.94 C/W - 8.96 (r=0.993) F91 = 19.51 C/W - 4.07 (r=0.974)

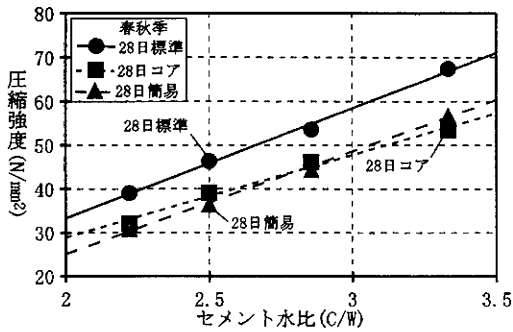


Fig. 6 Relations between compressive strength and cement-water ratio

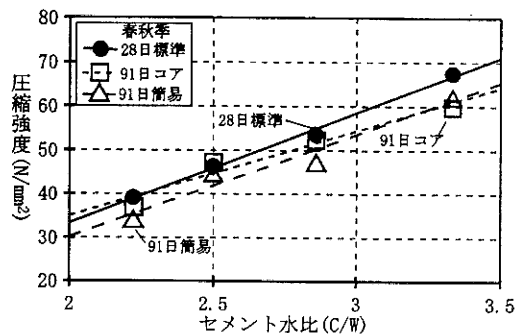


Fig. 7 Relations between compressive strength and cement-water ratio

$$mF \geq 42 + 10 + 2 \times 0.1 \times (42 + 10) = 62.4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

材齢28日の標準養生の回帰式 (Table. 8) より、 $62.4 = 25.17C/W - 17.02$ $C/W = 3.16$ 従って、 $W/C = 31.6\%$ となる。

次に、施工性などを考慮に入れて管理材齢を $m = 28$ 日、 $n = 91$ 日とした場合について算出してみる。材齢91日のコアおよび簡易断熱のセメント水比と圧縮強度との関係を Fig. 7 に示す。この図より $mSn = 5$ となる。

$$mF \geq 42 + 5 + 2 \times 0.1 \times (42 + 5) = 56.4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

材齢28日の標準養生の回帰式 (Table. 8) より、 $56.4 = 25.17C/W - 17.02$ $C/W = 2.92$ 従って、 $W/C = 34.2\%$ となる。

6. まとめ

諸々の実験から以下のことが明らかになった。

- 1) 目標とするスランプと空気量を得るために使用する高性能 A E 減水剤の添加量は気温に支配される。例えば添加量が少ない場合にはフレッシュコンクリートの経時的な性状が不安定になるので実施工には注意を要する。
- 2) コンクリートの調合計画において、今回の一連の実験結果に基づけば管理材齢を91日まで延長しても、設計基準強度は 48 N/mm^2 が上限となる。
- 3) 簡易断熱養生したコンクリートの強度は部材中心部の強度に適合し、構造体コンクリートの強度を管理する上で有効な養生方法である。