

報告

[1045] 設計基準強度600kgf/cm<sup>2</sup>のコンクリートの実構造物への適用

竹内博幸\*1・山影久尚\*2・山口憲司\*3・岩井隆彰\*4

1. はじめに

1988年から開始された建設省総合技術開発プロジェクト「鉄筋コンクリート造建築物の超軽量・超高層化技術の開発（略称New RC）」も昨年終了し、設計基準強度（Fc）600kgf/cm<sup>2</sup>級のコンクリートが実用段階に大きく近づいた。最近では実構造物にこの領域のコンクリートを適用する例も幾つかみられ、今後さらに増加することが予想される。しかしながら、この領域のコンクリートは構造体コンクリート性状に関するデータが未だ十分とは言えず、施工方法に関しても幾つかの課題が残されているのが現状である。

筆者らは、Fc=600kgf/cm<sup>2</sup>級のコンクリートを実用化することを最終目的の一つとして、室内から実大規模段階に至る一連の実験を行ってきた。本報では、Fc=600kgf/cm<sup>2</sup>のコンクリートについて現在課題とされている構造体コンクリート性状および施工方法を中心に検討を行い、その結果に基づき実構造物への適用を図ったので、ここに報告するものである。

2. 予備実験 I（室内実験）

2. 1 実験概要

過年度の実験結果より、Fc=600kgf/cm<sup>2</sup>近傍のコンクリートの性状について、多くのデータを集積することができたため、その調合を最適化することを目的として室内実験を行った。使用材料を表-1に示す。また、表中には適用の対象となった実験についても示している。なお、結合材には、混和材を用いず、普通ポルトランドセメント単味で一連の実験を行った。

表-1 使用材料

使用材料	種類	物性および成分	適用対象		
			予備 I	予備 II	実施工
セメント	普通ポルトランドセメント	比重3.15 比表面積3,300cm <sup>2</sup> /g	○	○	○
細骨材	葛生産砕砂	表乾比重2.62 吸水率2.22% 粗粒率3.09	○	○	
	鹿島産陸砂	〃 2.61 〃 1.37% 〃 2.59	○	○	
	上河内産川砂	〃 2.61 〃 2.31% 〃 2.77	○	○	○
粗骨材	葛生産硬質砂岩系砕石	表乾比重2.68 吸水率0.68% 粗粒率6.49	○	○	○
	段戸産石英片岩系砕石	〃 2.63 〃 0.50% 〃 6.60		○	
混和剤	高性能AE減水剤（K社製）	ナフタリン系 比重 1.15	○	○	○
	徐放剤（SC剤）	比重 1.22	○	○	○

2. 2 実験方法

予備実験 I における実験条件を表-2に示す。実験は、温度20℃、湿度60%の環境下で、水平2軸式強制練りミキサ（容量100l）を用いて行った。また、W/C=27.5%を基準として、打設時期の変動を考慮した W/C=24、31%の計3調合について試し練りを行った。さらに、経時変化に十分対応できるように、W/C=27.5%の調合に対して、スランプロス抑止に効果があるとされている徐放剤（SC剤）を標準量の1.0および1.25倍添加した試験を行った。

- \* 1 五洋建設（株）技術研究所 第一研究開発室（正会員）
- \* 2 同 上 第三研究開発室
- \* 3 同 上 第一研究開発室（正会員）
- \* 4 同 上 第一研究開発室

## 2. 3 実験結果

フレッシュコンクリートの試験結果を表-3に示す。いずれの設定においても良好なフレッシュコンクリートを得ることができた。材齢と圧縮強度の関係を図-1に示す。初期材齢においてはW/C=24%のものが27.5%のものより大きい値を示しているが、材齢が大きくなるに従い、その関係は逆転あるいは同程度となった。W/C=25%近傍で強度の伸びが鈍くなる傾向は過年度においてもみられ、これは、W/C=25%を下回る領域では、特にセメント単味の場合、今回使用しているミキサでは、練り混ぜが十分ではないために生じたものと考えられる。

表-2 実験条件 (予備実験 I)

番号	W/C (%)	目標スランジ (cm)	目標空気量 (%)	単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )	細骨材率 (%)	細骨材の種類
1	31	24	3	155より条件に応じ適宜調整する	43より	葛生産砕砂 + 鹿島産陸砂
	27.5				40.5より	
	24				38.5より	
2	27.5	24	3	1の結果に基づき適宜調整する	1の結果に基づき適宜調整する	上河内産川砂

表-3 フレッシュコンクリート試験結果 (予備実験 I)

実施調査							フレッシュコンクリート試験結果		
W/C (%)	s/a (%)	単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )	混和剤 WH-X (セメント%)	空気量調整剤 (セメント%)	徐放剤 (10.15% = 1.0%)	経時	スランジ (cm)	スランジフロー (cm)	空気量 (%)
27.5	40.5	155	2.4	0.040	—	0	25.8	62×64	1.3
	41.5		2.3	0.040	—	0	26.3	70×70	4.1
	41.5		1.7	0.024	—	0	24.6	57×58	2.8
31	43	155	1.5	0.016	—	0	24.5	58×58	2.7
24	38.5	155	2.5	0.024	—	0	26.5	68×68	1.9
27.5	44.5	167.5	1.725	0.040	1.0	0	25.9	63×62	3.3
						30	23.3	48×47	1.9
						60	15.6	—	1.7
27.5	44.5	167.5	1.95	0.032	1.25	0	24.8	57×57	3.5
						30	26.0	64×64	3.2
						60	24.5	55×53	2.7

## 3. 予備実験 II

### 3. 1 実験概要

予備実験 II は、予備実験 I を含む過年度の実験結果に基づき決定した調査 (表-4) によりコンクリートを製造し、実大規模の試験体に打設することにより構造体コンクリートと施工性について検討することを目的とする。

### 3. 2 実験方法

試験体は、実施工予定の構造体の一部を切り出したものを作製した。試験体の形状およびその配筋状況を図-2に示す。試験体には、熱電対を取り付け、内部温度を計測した。練り混ぜは実機 (水

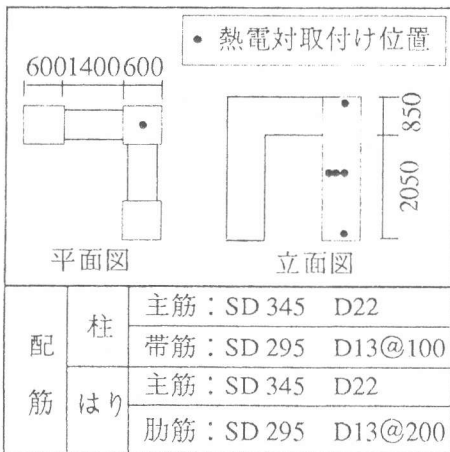


図-2 試験体概要図

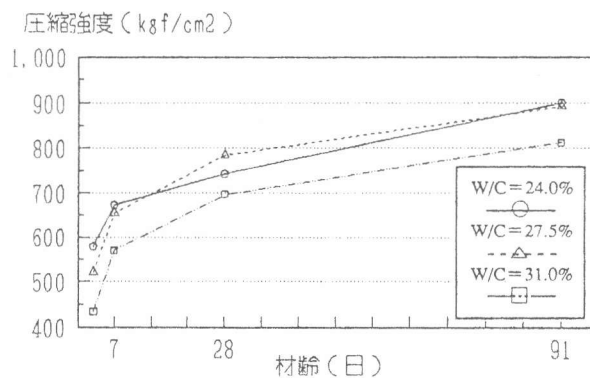


図-1 材齢と圧縮強度 (予備実験 I)

表-4 決定調査 (予備実験 II)

番号	設定条件		実施調査					練り混ぜ時間(s)		
	スランジ [フロー] (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )	混和剤 (C×%)	徐放剤 (対標準量倍率)	空練り	モルタル練り	コンクリート練り
1	24 [60]	3	27.5	44.5	167.5	1.725	1.0	30	150	90
2						1.95	1.25	30	150	90

平2軸式強制練り、容量2m<sup>3</sup>)により行い、練り混ぜ量は1バッチ1.5m<sup>3</sup>ずつとした。試験・測定項目を表-5に示す。硬化コンクリートについては管理用供試体を作製し、標準、現場水中、現場封緘、温度追従養生を行い、それぞれの対応をみた。構造体コンクリート性状については、試験体より採取したコア供試体により確認した。

### 3. 3 実験結果

スランプフローと空気量の経時変化を図-3に示す。予備実験Iとは異なり、徐放剤使用量が標準添加量に対し1.0倍の方が、1.25倍の方よりも経時変化が少ないという結果となった。いずれも60分後まではスランプフローを保持していた。空気量は、両者とも変動は少なく、3%前後と安定した値を示していた。

材齢と圧縮強度の関係を図-4に示す。初期材齢において、温度追従養生によるものが大きな値を示したが、材齢が進むにつれその伸びは鈍くなった。標準養生と現場水中養生によるものは、材齢28日の時点で800kgf/cm<sup>2</sup>前後の圧縮強度を示していた。

内部温度測定結果を図-5に示す。最高温度は柱中央部で記録され、打設開始後約15時間で63℃まで達し、打設終了後3日程で安定した。型枠取り外し後の表面観察によるひびわれ等はみられなかった。

図-6に試験体により採取したコア供試体の圧縮強度とヤング係数の関係について示す。日本建築学会の「高強度コンクリートの技術の現状」に示されているヤング係数を算定する式に、実測したコア供試体の表乾比重の平均(2.42)を代入したものと実測値とを比較したところ、全体的にこの式に近似した値を示していることがわかった。

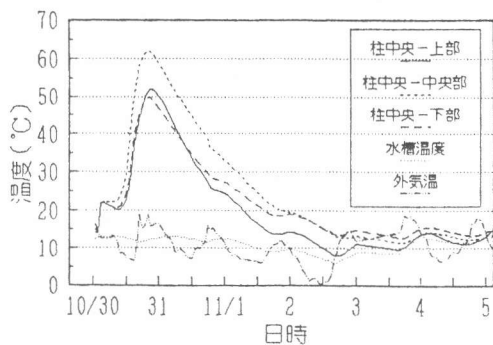


図-5 内部温度測定結果

表-5 試験測定項目(予備実験II)

試験の対象	試験項目	試験・測定方法
フレッシュ コンクリート	スランプ(フロー)	JIS A 1101
	空気量	JIS A 1128
	コンクリート温度	アルコール温度計
	流動時間	ストップウォッチ計時
硬化 コンクリート	単位容積重量	電子秤
	圧縮強度	JIS A 1108
構造体 コンクリート	比重	ノギス、電子秤
	圧縮強度(コア)	JIS A 1107
	ヤング係数	抵抗線歪みゲージ法
内部温度	比重(コア)	ノギス、電子秤
	内部温度	熱電対
	ひび割れ発生状況	試験体目視観察
	圧縮強度(コア)	JIS A 1107

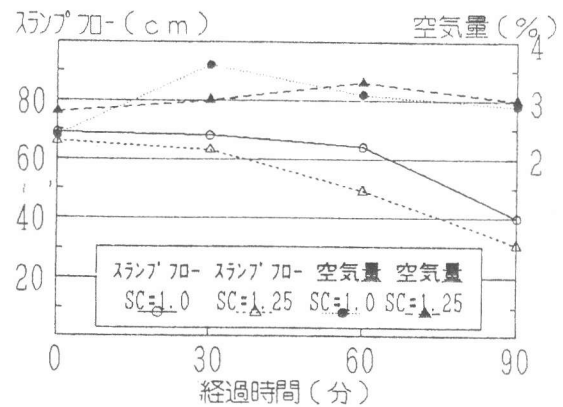


図-3 スランプおよび空気量の経時変化

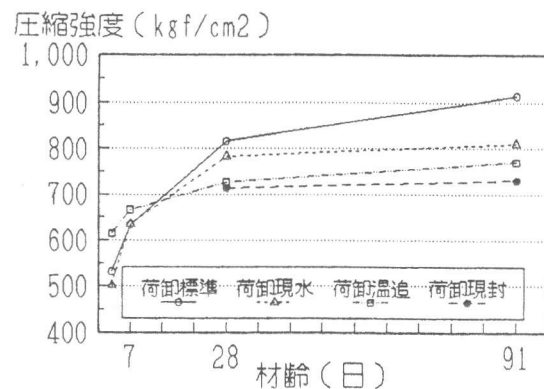


図-4 材齢と圧縮強度の関係

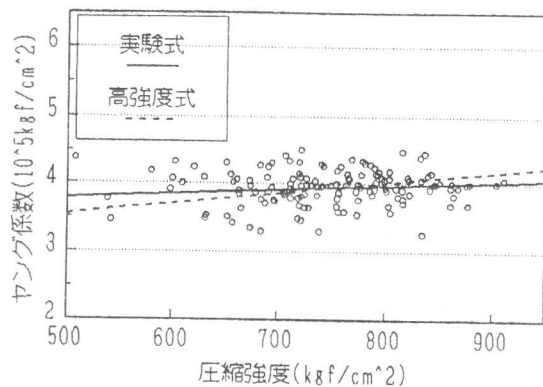


図-6 圧縮強度とヤング係数

#### 4. 実構造物への適用

##### 4. 1 施工概要

###### (1) 施工対象構造物

図-8に打設対象となる構造物の概要を示す。対象構造物は、柱、はり、スラブからなるRC構造で、打設は一体同時打設とした。また、構造体コンクリートの強度等の性状を確認するために、同じ断面の柱を模した試験体を作製した。また、熱電対を構造体および模擬柱試験体の両方に埋め込み、内部温度の計測を行った。

###### (2) 施工方法

予備実験Ⅱと過年度の実験結果を用いて、表-6に示す計算式と項目から強度の標準偏差、正規偏差を設定し、これに基づいて調合強度、W/Cを算出した。その結果、調合強度は、797kgf/cm<sup>2</sup>、W/Cは26.5%となった。得られた調合を表-7に示す。コンクリートの打込みは、最大吐出量110m<sup>3</sup>/hのブーム式ポンプ車を用いて行った。柱の締固めは、コンクリートの天端の上昇に合わせて2本の棒形振動機(φ50)を上方に移動させて行った。はり、スラブの締固めには、3本の棒形振動機(φ50)を用い、1本は筒先とともに移動し、2本はその後を追って締め固める方法とした。養生は、翌日構造物全体に散水を行い、ひびわれ発生等の低減と温度上昇の抑制を図った。

##### 4. 2 品質管理計画

施工を実施するにあたり、フレッシュコンクリートの合否を判定する管理基準値を、表-8に示す。今までの実験結果より、このような高粘性化したコンクリートはスランプではその性状を評価しきれず、スランプフローによる評価の方が適切と考え、今回はスランプフローによりフレッシュコンクリート性状の管理を行うこととした。試験・測定項目は、表-5と同様とした。

構造体コンクリートの管理用としては、管理材齢28日の標準養生供試体を用い、参考のために現場水中、現場封緘、温度追従養生による供試体も用いた。また、構造体コンクリートの圧縮強度は、New RCにより示されている、構造体コンクリートから採取したコア供試体の材齢91日における圧縮強度とした。

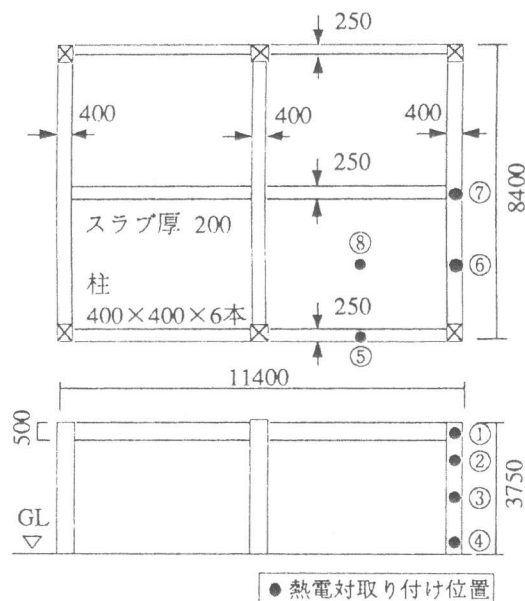


図-8 構造物概要

表-6 調合計算式

$$F_{28} \geq F_c + S_o + K \sigma_o \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$F_{28} \geq 0.9 (F_c + S_o) + 3 \sigma_o \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここで  $K = 1.64 \sigma / \sigma_o \quad \dots \dots \dots (3)$

$F_{28}$  : 調合強度 (材齢28日)  
 $F_c$  : 設計基準強度 (600kgf/cm<sup>2</sup>)  
 $S_o$  : 構造体コンクリート強度と標準養生供試体の管理材齢28日における圧縮強度の差 (過年度の実験値  $S_o = 90 \text{ kgf/cm}^2$ )  
 $\sigma_o$  : 標準養生供試体の標準偏差 (同上  $\sigma_o = 45 \text{ kgf/cm}^2$ )  
 $\sigma$  : 構造体コンクリートの標準偏差 (同上  $\sigma = 65 \text{ kgf/cm}^2$ )  
 $K$  : 構造体コンクリート強度の管理用供試体による圧縮強度の許容不良率に応じた正規偏差 (3)式より  $K = 2.37$ )

表-7 決定調合

設定条件		実施調合							
スランプ [フロー] (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位置 (kg/m <sup>3</sup> )				混和剤 (セメント%)	徐放剤 (対標準 量倍率)
				水	セメント	細骨材	粗骨材		
24 [60±7.5]	3±1	26.5	44.5	165	623	703	905	1.8	1.0

表-8 管理基準値

スランプフロー値	60±7.5cm
空気量	3.0±1.0%
圧縮強度	$F_{28} = 797 \text{ kgf/cm}^2$

#### 4. 3 品質管理試験結果

##### (1) フレッシュコンクリート

表-9 に運搬車別の現場到着時におけるフレッシュコンクリート試験結果を示す。空気量に関してはいずれも管理基準値を満足していたが、スランプフローについては、各運搬車ごとに大きな差が生じた。打設当日は途中から降雨となり、スランプフロー試験値がかなり伸びる結果となった。材料分離を生じていたものは、廃棄処分として一時打設を中止した。

コンクリート内部温度計測結果を図-8および9に示す。柱については、打ち始めから14~16時間経過後に、柱中央部で最高温度72℃を記録し、打設より3日後には外気温と同程度になった。はり、スラブについては、柱とほぼ同様の経過を示しているが、部材厚が柱に比べて薄いことから、最高温度は、はり⑥の65℃にとどまった。コンクリートの打込み温度が26~28℃と高かったことも、内部温度が高くなった一因であると考えられる。

##### (2) 硬化コンクリート

図-10 に材齢と各養生別圧縮強度の関係について示す。標準養生と現場水中養生についてみると全材齢にわたり、ほとんど強度の差はみられなかった。これは、打設の時期が夏期であったことから現場養生と標準養生の積算温度に大きな差異がなかったためと考えられる。圧縮強度は、材齢28日で両者とも900kgf/cm<sup>2</sup>近くに達しており目標強度を十分に満足していた。温度追従養生についてみると、材齢1日で590kgf/cm<sup>2</sup>の強度を示していたが、材齢3日で他養生のものと同様となり、それ以降は伸びがみられなかった。しかし、材齢28日、91日強度はそれぞれ784、822kgf/cm<sup>2</sup>を示しており、コア強度はこれを上回っていることから構造体コンクリート強度の管理に充分適用できるものと考えられる。なお、コア供試体は、同時に打設した構造体コンクリート模擬柱試験体から採取した。その採取位置を図-11に示す。図-12にコア圧縮強度と高さの関係について示す。模擬柱試験体から採取したコア供試体の圧縮

表-9 フレッシュコンクリート試験結果

車No.	スランプ (cm)	スランプフロー (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (℃)	合否
1	24.8	57	3.1	28.5	○
2	26.3	68	2.8	28.0	○
3	27.0	70	2.8	27.0	○
4	27.0	71	3.3	25.5	○
5	27.4	76	3.3	26.0	×
6	27.5	78	3.3	26.0	×
7	27.0	68	3.7	26.5	○
8	25.6	64	3.4	26.0	○

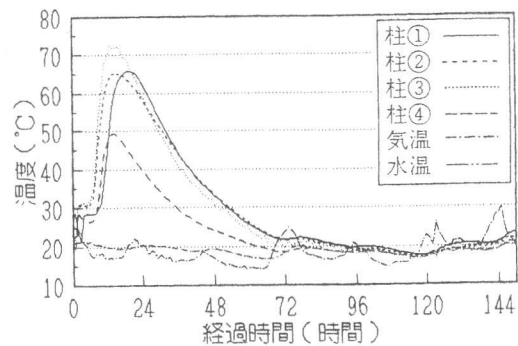


図-8 内部温度計測結果 (柱)

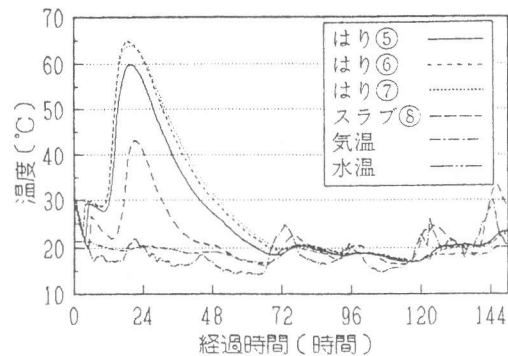


図-9 内部温度計測結果 (はり,スラブ)

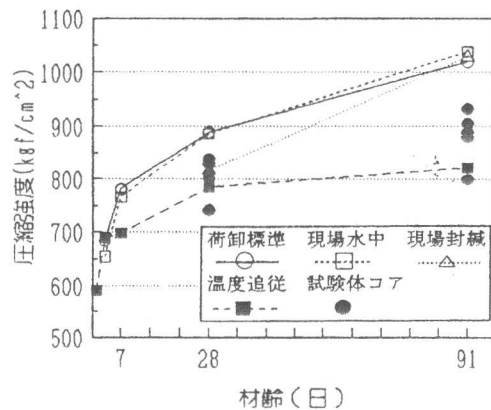


図-10 材齢と圧縮強度 (養生別)

強度は、いずれも材齢28日で600kgf/cm<sup>2</sup>を大きく上回っていたが、材齢28日、91日ともに鉛直方向への強度の分布に対して明確な傾向は見いだせなかった。

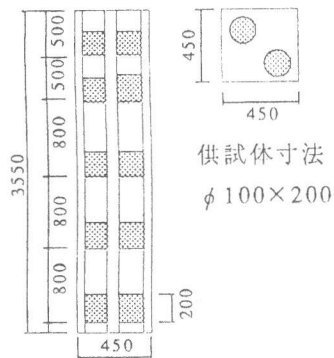


図-11 コア供試体採取位置

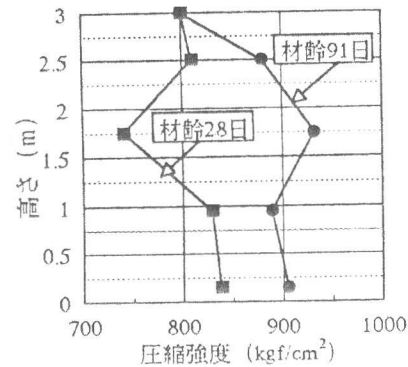


図-12 コア圧縮強度と高さの関係

#### 4. 4 施工性

今回のW/C=26.5%のコンクリートについてのポンプ圧送、締固めなどを含めた一連の打設作業は、打ち始めから打ち終わりまで順調に進み、支障なく施工を行うことができた。また、高粘性のコンクリートで難しいとされているスラブの仕上げについては、表面処理剤（左官工事用接着剤）を150cc/m<sup>2</sup>程度散布し、コンクリート表面の急激な乾燥を防ぎながら作業を行うことにより、支障なく仕上げることができた。脱型後の表面には、打足しによるコールドジョイントなどの有害な欠陥はみられず、ひびわれ等も観察されなかった。

#### 5. まとめ

超高強度コンクリートに関しての一連の実験および実施工を通してのまとめを以下に記す。

- (1) 水セメント比24~31%の領域においても、普通ポルトランドセメント単味で良好なフレッシュ性状を得ることができ、材齢28日における標準養生で700~800kgf/cm<sup>2</sup>の圧縮強度が得られることがわかった。
- (2) 高性能AE減水剤に加え、徐放剤を補助的に用いることにより、経時によるフレッシュコンクリートの性状変化を小さくすることができ、ポンプ圧送による一連の打設も無理なく行えることが確認された。
- (3) 今回の実験および実施工においては、現場水中養生供試体とコア供試体の圧縮強度の差は大きく、構造体コンクリート強度の管理として現場水中養生供試体による強度をそのまま用いることはできないものと考えられた。一方、温度追従養生供試体の圧縮強度は、コア供試体のそれに比較的近い値を示していた。
- (4) 予備実験IおよびIIにおいて室内実験と実機による練り混ぜによりそれぞれ採取した標準養生供試体による圧縮強度は近似した値を示し、混練機器の大小による強度差はみられなかった。

#### [参考文献]

- [1] 橋大介、熊谷仁志、山崎庸行、鈴木忠彦：高強度コンクリート（ $F_c=600\text{kgf/cm}^2$ ）の建築構造物への適用に関する研究、コンクリート工学論文集 Vol.2 No.2 1991
- [2] 友澤史紀ほか：高強度コンクリート実大施工実験、コンクリート工学 Vol.30 No.10 1992, 10