

## 超高層RC造集合住宅の施工 その2 高強度高流動コンクリートの調合と管理

東京建築支店 伊藤博通, 佐藤秀孝, 中瀬博一  
札幌支店 横井知也

概要：現在，呼び強度が40N/mm<sup>2</sup>以上のコンクリートを使用する場合，法37条第二項の規定により国土交通省告示（平成12建告示第1446号）で定める技術的基準に適合するものとして国土交通省の認定を得なければならない．本工事においてもそれに該当する範囲のコンクリートがあるため実験を行って調合を決定し，「普通ポルトランドセメントを主な材料とした設計基準強度33N/mm<sup>2</sup>，36N/mm<sup>2</sup>及び中庸熱ポルトランドセメントを主な材料とした設計基準強度39N/mm<sup>2</sup>～60N/mm<sup>2</sup>のコンクリート」について，(株)東京菱光コンクリートと連名で平成14年1月に認定を取得した．本報は，調合計画と本工事における施工及び品質管理の結果について，報告するものである．

キーワード：高強度高流動コンクリート，中庸熱ポルトランドセメント

### 1. はじめに

その2では，認定を取得した設計基準強度 36～48N/mm<sup>2</sup> のコンクリートについて，調合計画から施工及び品質管理について報告する．

### 2. 調合計画

調合計画に際し，まず使用するセメントを検討した．高強度コンクリート（F<sub>c</sub>60N/mm<sup>2</sup>以下）に普通ポルトランドセメントを使用した場合，単位セメント量の増加にともなう施工性の悪化，水和熱により構造体強度の増進が阻害されることによる強度補正值の増加などが課題となる．一方，この領域に低熱ポルトランドセメントを適用した場合には，施工性は改善されるものの強度発現性が鈍いため，標準養生の材齢 28 日強度で構造体強度を管理する場合には強度補正值が負となり，不経済な調合設計を強いられる場合がある．そこで，熱的性質や強度発現性が普通ポルトランドセメントと低熱ポルトランドセメントの中間的な位置付けにある中庸熱ポルトランドセメントを適用した．セメント決定後，小型ミキサによる試し練りの結果を踏まえて，水セメント比を 37.9，33.6，29.3%（記号：A，B，Cとする）とし，標準期，夏期，冬期の3シーズンで実機の試し練りを実施した．表-1に使用材料，表-2にコンクリートの計画調合を示す．

表 - 1 使用材料

使用材料	種類および物性
セメント	宇部三菱中庸熱ポルトランドセメント 密度：3.21g/cm <sup>3</sup> ，比表面積：3600cm <sup>2</sup> /g
粗骨材	鳥形山産石灰石砕石 表乾密度：2.70g/cm <sup>3</sup> ，吸水率：0.29%
細骨材	君津産山砂 表乾密度：2.60g/cm <sup>3</sup> ，吸水率：1.60%，粗粒率：2.65
混和剤	高性能AE減水剤（ポリカルボン酸系）

表 - 2 コンクリートの計画調合

記号	W/C (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				混和剤 (C×%)
			W	C	S	G	
A	37.9	52.4	165	436	926	873	1.3
B	33.6	51.2	165	492	881	873	1.2
C	29.3	49.5	165	564	822	873	1.2

#### (1) 実機試し練りの結果

図-1及び2にフレッシュコンクリートの経時変化を示す．スランプフローは，現場到着時（30分を想定）でAは55±5cm，



伊藤博通  
建築事業部  
工事第一部



佐藤秀孝  
建築事業部  
工事第一部



中瀬博一  
建築事業部  
工事第一部



横井知也  
建築工事部  
工事第一部

Bは  $60 \pm 5\text{cm}$  , Cは  $65 \pm 5\text{cm}$  を目標とし, 空気量は現場到着時で 2.0%以下を目標とした. スランプフローは3調合3シーズンとも 90分までは目標値を満足したが, 120分ではAの標準期と冬期で若干目標値を下回った. 空気量は全て目標値の範囲内で推移した.

図-3に構造体コンクリート強度確認用模擬柱(900×900×1100mm)と簡易断熱養生供試体(練上り後ビニール封緘し, 発泡スチロール製の容器(850×750×600mm)で7日間養生し, 以降は試験材齢まで現場封緘養生)のコンクリート温度履歴を示す. 模擬柱の中心最高温度は夏期ではいずれの調合においても 60~80, 標準期で 65 以下, 冬期では 50 以下であった. 各期での温度上昇量は外気温が高いほど大きく, 最高温度到達時間も早かった. また, 最高温度は簡易断熱養生では模擬柱よりも低く, その傾向は, 夏期, 標準期で顕著であった. また, 降下速度はいずれの季節においても簡易断熱養生は模擬柱と比較して遅い傾向にあった.

図-4に標準養生強度とコア強度の材齢による推移を示す. 材齢 28日強度は標準養生の場合 60~85N/mm<sup>2</sup>, コアの場合 45~70N/mm<sup>2</sup> が得られた. 材齢 7日では標準養生強度とコア強度はほぼ同等で, その後はコア強度が標準養生強度の約 80%で推移した.

図-5に材齢 91日コア強度と構造体強度補正值  $S_{91}$  の関係を示す. 構造体強度補正值  $S_{91}$  は New RC<sup>1)</sup>による推奨値よりも小さかった. コア強度 60N/mm<sup>2</sup> 近傍での S 値は 2~5N/mm<sup>2</sup>, コア強度レベルの高い 70~80N/mm<sup>2</sup> においても 10N/mm<sup>2</sup> 以下となった.

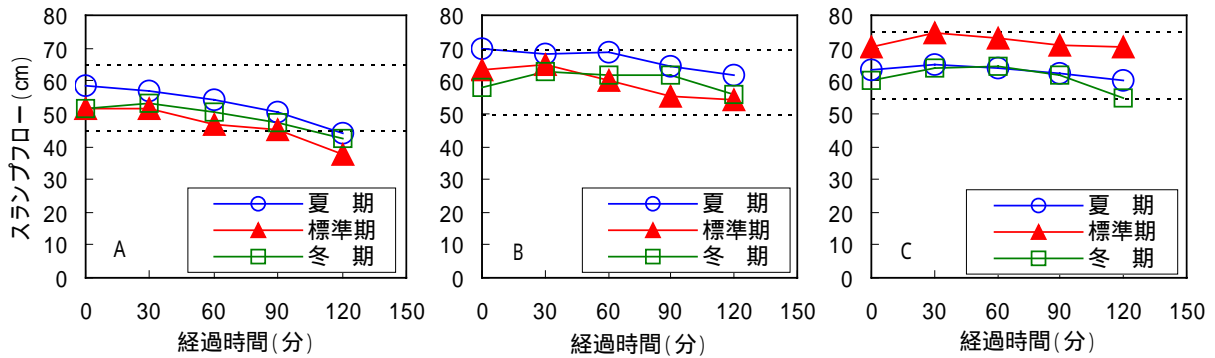


図-1 スランプフローの経時変化

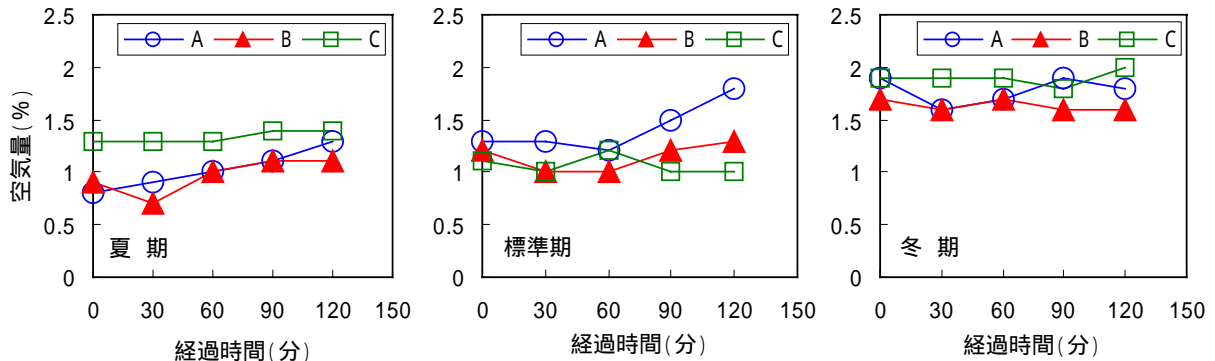


図-2 空気量の経時変化

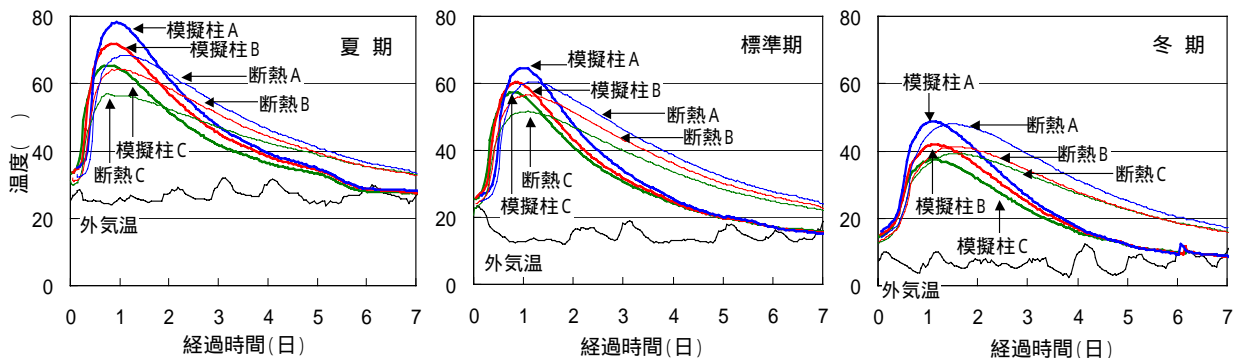


図-3 模擬柱及び簡易断熱養生の温度履歴

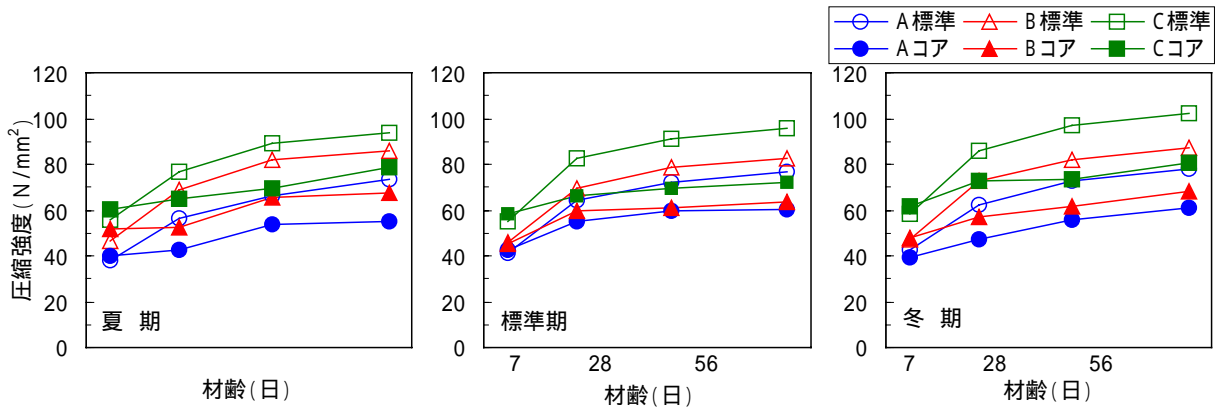


図 - 4 季節毎の強度推移

(2) 調査決定

実機試験練りのその結果から、構造体コンクリート強度としての材齢 91 日コア強度と材齢 28 日標準養生強度との差 ( $_{28}S_{91}$ ) を求め、以下の条件で下式により調査強度を算定し、表 - 3 に示す様な計画調査とした。

調査条件

単位水量 : 165kg/m<sup>3</sup>

調査強度管理材齢 (m日) : 28 日

構造体コンクリート強度管理材齢 (n日) : 91 日

水セメント比 (W/C) : 実機試験練り結果から得られた F - C/W の関係より求める。原則として、実機試験練りの範囲 (中庸熱が「ポルトセメント」29.3 ~ 37.9%) を越えないように設定する。ただし、信頼できる資料がある場合はこの限りではない。

$$_{28}F = F_q + _{28}S_{91} + 2 \quad (\text{N/mm}^2) \dots \text{式}$$

$$_{28}F = 0.9(F_q + _{28}S_{91}) + 3 \quad (\text{N/mm}^2) \dots \text{式}$$

$_{28}F$  : 材齢 28 日におけるコンクリートの調査強度 (N/mm<sup>2</sup>) .

$F_q$  : コンクリートの品質基準強度 (N/mm<sup>2</sup>) . ここでは、コンクリートの設計基準強度とする

$_{28}S_{91}$  : 標準養生した供試体の材齢 28 日における圧縮強度と構造体コンクリート強度 (材齢 91 日) との差 (N/mm<sup>2</sup>) . ただし、0 以上とする。

: 使用するコンクリートの強度の標準偏差 (  $= 0.1(F_c + F)$  とする) .

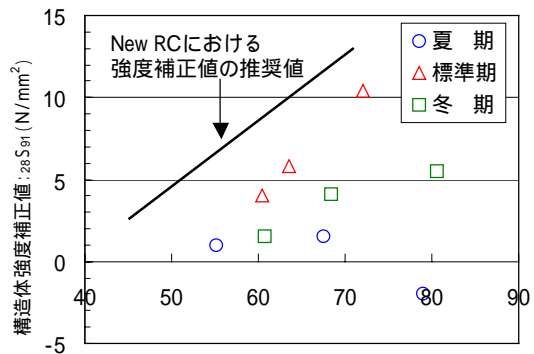


図 - 5 構造体強度補正値 :  $_{28}S_{91}$

表 - 3 コンクリートの計画調査

圧縮強度の基準値 $F_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	補正値 $_{28}S_{91}$	管理強度の基準値 $F_c + _{28}S_{91}$ (N/mm <sup>2</sup> )	標準偏差 $0.1(F_c + _{28}S_{91})$	打設時期	X min $0.9(F_c + S)$	X $F_c + S + 1.05$	調査強度 $_{28}F$ (N/mm <sup>2</sup> ) $F_c + _{28}S_{91} + 2$	C/W <sup>*1</sup>	W/C <sup>*2</sup> (%)	使用予定部位
39	3.0	42.0	4.2	夏期	37.8	46.4	50.4	2.47	37.9	13F柱 ~ 17F梁スラブ
	0.0	39.0	3.9	標準期	35.1	43.1	46.8	2.04		
	0.0	39.0	3.9	冬期	35.1	43.1	46.8	2.22		
42	2.5	44.5	4.5	夏期	40.1	49.2	53.4	2.59	37.9	4F柱 ~ 13F梁スラブ
	0.0	42.0	4.2	標準期	37.8	46.4	50.4	2.20		
	0.0	42.0	4.2	冬期	37.8	46.4	50.4	2.34		
48	1.5	49.5	5.0	夏期	44.6	54.7	59.4	2.83	35.4 37.2 37.7	1F柱 ~ 4F梁スラブ
	3.0	51.0	5.1	標準期	45.9	56.4	61.2	2.69		
	1.5	49.5	5.0	冬期	44.6	54.7	59.4	2.65		

\*1 C/Wは C/W - 標準養生材齢28日実験回帰式より安全を考慮し、5%低く設定した以下の式により求めた。

夏期 :  $_{28}F = 25.3(C/W) - 12.2$

標準期 :  $_{28}F = 22.4(C/W) + 1.1$

冬期 :  $_{28}F = 29.4(C/W) - 18.5$

\*2 W/Cの範囲は実機の範囲 (W/C = 37.9 ~ 29.3%) とした。

### 3. 施工結果

#### (1) 柱コンクリートの打設結果

写真 - 1 に柱コンクリート打設状況を示す。コンクリートはバケットを用いて3層に分けて連続的に打設を行い、高周波棒形振動機（40mm）で主筋の内側四隅の締固めを行った結果、豆板やジャンカの無い密実なコンクリートが得られた。また、ブリーディングがないため、コンクリートの沈降も目視では認められなかった。

柱のせき板は所定のコンクリート強度が得られたことを確認した後、7日後に脱型した。



#### (2) 梁スラブコンクリートの打設結果

写真 - 2 に梁スラブコンクリート打設状況を示す。本工事において高強度高流動コンクリートを打設する最高高さは17Fスラブ（高さ約50m）で圧送距離は水平+鉛直で約110mであった。普通コンクリートを圧送する際には、圧送負荷を算定するのに必要な水平管内圧力損失は従来使用されてきた標準値を用いて圧送計画を行うが<sup>1)</sup>、今回のような特殊なコンクリートを使用する場合には試験圧送を行って水平管内圧力損失を確認する必要があるため、事前に管内圧力を計測してコンクリートのポンプ圧送性を確認した（三菱建設技報9号参照）。表 - 4 に使用したポンプ車の仕様を示す。ポンプの配管は、施工階の1階下までは高圧用管を、そこから施工階までは通常圧用を用いて、ELVホールを利用して立ち上げた。先送り材は1:3モルタルを使用し、施工階に準備した生コンホッパー（1.5m<sup>3</sup>）で受け、健全なコンクリートが筒先から吐出してきたのを確認するまでは、アジテータトラックに返却した。

コンクリートの打設量は平均24 m<sup>3</sup>/hで、目視による筒先のコンクリートの品質は若干スランプフローの低下は認められたものの施工性は良好であった。

高強度高流動コンクリートの仕上げはブリーディングがほとんどないため、表層部のみ急激に乾いて中は固まっていない状態となり、プラスチックひび割れを生じやすいため、打設直後に合成樹脂エマルジョン系膜養生剤を散布して金ゴテ押えを行った後、2～3時間散水養生を行った。金ゴテ仕上げに要する時間は3時間程度と短いため、金ゴテ1回押え460m<sup>2</sup>、金ゴテ仕上げ90m<sup>2</sup>の作業に左官工事作業員平均8名と通常より多くの人員が必要となった。左官工事には高流動高強度コンクリートの仕上げの経験がある作業員を選出するか、事前に十分な教育を行う必要があると考えられる。

#### (3) コンクリートの品質管理結果

図 - 6 にフレッシュ及び硬化コンクリートの試験結果を示す。フレッシュコンクリートの品質は気温等に大きな影響を受けるため、プラントと密に連絡を取り合い管理を行った。このため、荷卸し時のスランプフローは管理値60±10cmを、空気量は管理値2±1.5%を全て満足した。また、骨



写真 - 1 柱コンクリート打設状況



写真 - 2 梁スラブコンクリート打設状況

材の分離は認められなかった。ただし、筒先でのワーカビリティを考慮すると荷卸しで65cm程度が望ましいと考えられる。

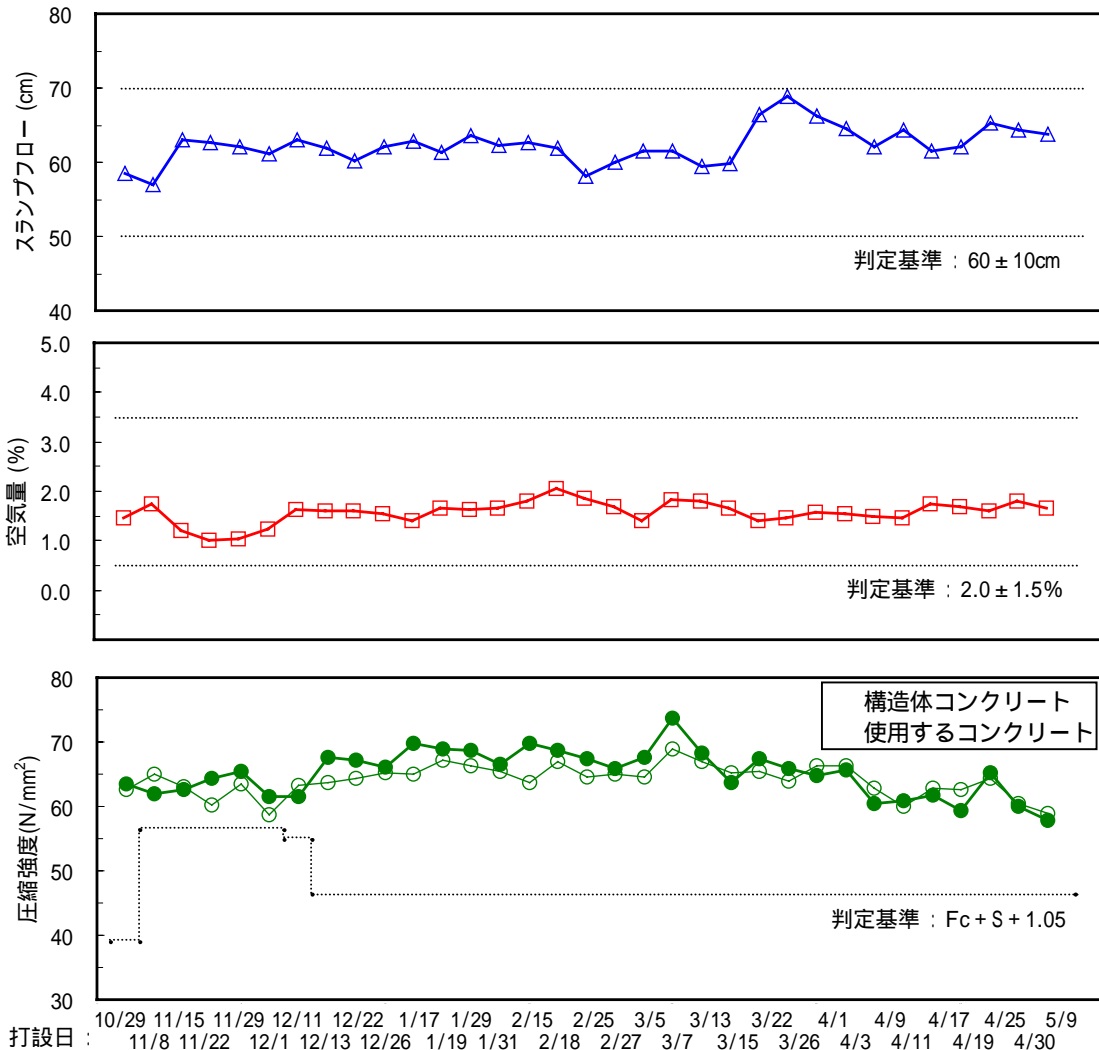
コンクリートの圧縮強度は使用するコンクリート、構造体コンクリートとも判定基準値を満足した。

図 - 7 に受入れ試験時における高周波加熱乾燥法による単位水量推定試験結果を示す。また図中にはプラントにて電位差滴定法で測定した単位水量も示した。どちらの測定においても単位水量165kg/m<sup>3</sup> ± 5%で推移した。

図 - 8 に同調合である4F柱コンクリートから17Fスラブコンクリート強度の変動を示す。平均値は構造体コンクリートが65.6N/mm<sup>2</sup>、使用するコンクリートが64.5N/mm<sup>2</sup>となり判定基準値を大幅に上回った。また、調合決定に採用した調合強度46.8, 50.4N/mm<sup>2</sup>、想定標準偏差3.9, 4.2N/mm<sup>2</sup>に対し、実施工では強度は十分に得られ、標準偏差も同等のF<sub>c</sub>である既往の文献<sup>2)</sup>と比較して小さく、良好な品質管理ができたといえる。

表 - 4 ポンプ車の仕様

製造者	三菱重工(株)
型式	A1000BDH
最大吐出量	51m <sup>3</sup> /h
最大吐出圧	120kg/cm <sup>2</sup>
シリンダー数	2個
シリンダー内径×ストローク長 (有効ストローク長)	205mm×1650mm (1500mm)
最大輸送距離 (水平×鉛直)	1,020m×280m (高圧:125A)



打設日:	10/29	11/15	11/29	12/11	12/22	1/17	1/29	2/15	2/25	3/5	3/13	3/22	4/1	4/9	4/17	4/25	5/9		
	11/8	11/22	12/1	12/13	12/26	1/19	1/31	2/18	2/27	3/7	3/15	3/26	4/3	4/11	4/19	4/30			
期間	標準期			冬期									標準期						
階数	1F	2F	3F	4F	5F	6F	7F	8F	9F	10F	11F	12F	13F	14F	15F	16F	17F		
F <sub>c</sub>	36	48		42														39	
<sub>28</sub> S <sub>91</sub>	0	3	1.5	0															

図 - 6 コンクリートの品質

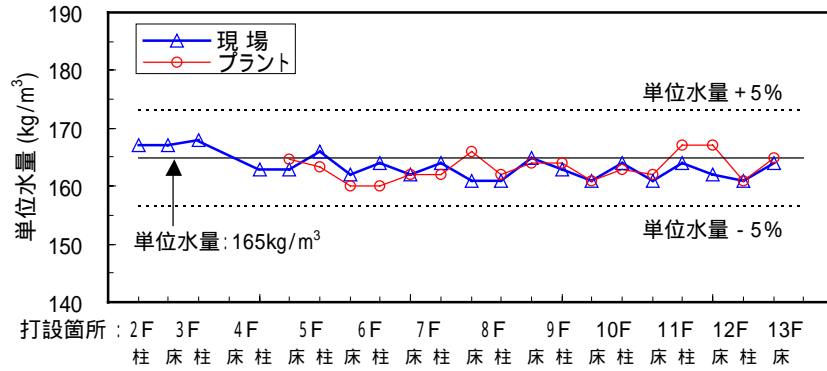


図 - 7 単位水量推定試験結果

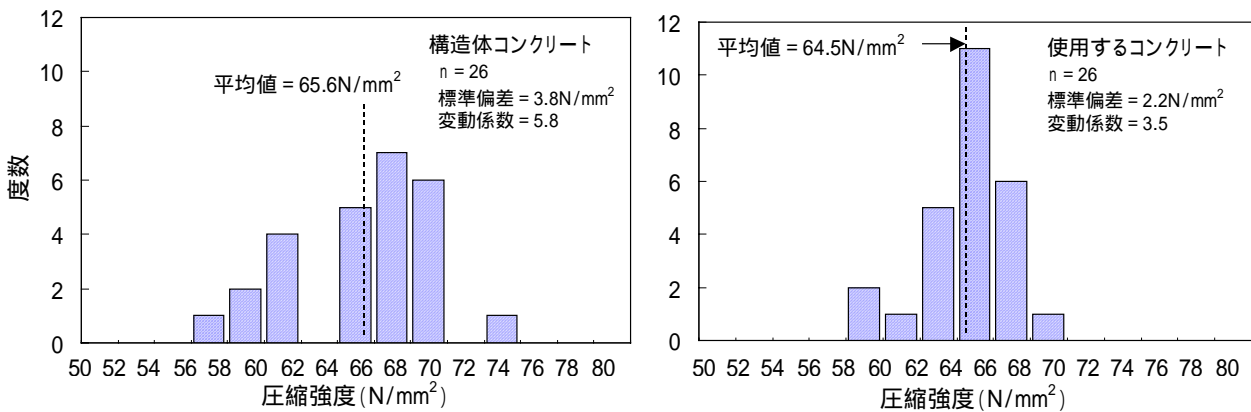


図 - 8 コンクリート強度の変動

#### 4. おわりに

今回、当社として初めて法37条第二項の規定により告示で定める技術的基準に適合するものとして中庸熱ポルトランドセメントを主な材料とした設計基準強度39～60N/mm<sup>2</sup>のコンクリートについて国土交通省の認定を受け、そのコンクリートを高層RC建築物に適用した。

そのため、事前にコンクリート品質管理責任者と品質管理者を選任し、品質管理責任者による技術的指導を受け、工事開始後は現場に常駐するコンクリート品質管理者がコンクリートの出荷から荷卸し及び硬化コンクリートの管理を行った。その結果、フレッシュコンクリートの品質及び強度ともコンクリートの要求品質を十分に満たし、高品質な構造体コンクリートを確保することができた。

本工事で得られた調査、施工及び品質管理結果を活かし、今後の工事のためにさらにデータを蓄積し、反映させていく予定である。

最後に本工事の実施にあたり、ご指導、ご協力いただいた関係各位に誌面をかりて深く感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 日本建築学会：建築工事標準仕様書JASS5鉄筋コンクリート工事，1997
- 2) 篠崎徹，寺井靖人，大野梅夫，青木誠：F c600kgf/cm<sup>2</sup>の高強度コンクリートを用いた高層RC建物の施工，コンクリート工学，pp.19～24，1997.6