

超高層 RC 集合住宅に適用する高強度コンクリートの製造と品質管理の方法

橋 大介 井上 清司 藤本 登志雄 秋山 文生 山崎 庸行
(技術研究所) (神戸支店) (神戸支店) (建築本部) (技術研究所)

Manufacturing and Quality Control Procedures of High-Strength Concrete Applied to Constructing High-Rise RC Buildings

by Daisuke Tachibana, Kiyoshi Inoue, Toshio Fujimoto, Fumio Akiyama and Nobuyuki Yamazaki

Abstract

High-strength concrete with a design compressive strength of 60 N/mm² has been first applied to constructing a high-rise building in Kobe, and moreover, this building was first constructed according to the new JASS 5 specification drastically revised in 1997. The supplying system of ready mixed concrete in this district is different in comparison with suppliers in other districts. These are the features of this construction. In this research, we have conducted a field survey on ready mixed concrete plants, laboratory experiments and field experiments at three selected ready mixed concrete plants. We proposed new manufacturing and quality control procedures of high-strength concrete from these test results. High-strength concrete used in construction of this building satisfied the specified requirements and could be economically manufactured. We could also have useful information on the additional strength adjustments of mSn and nSn newly specified in the JASS 5 specification.

概 要

設計基準強度 $F_c=60 \text{ N/mm}^2$ までの高強度コンクリートを使用した超高層 RC 造集合住宅を神戸地区で初めて施工した。同工事の特徴は、1997年に大幅に改定された JASS 5 規準に準拠した初めての建物施工であるとともに、レディーミクストコンクリートの供給に関する地域の特殊性などが挙げられる。本開発では、現地調査、室内試験、実機試験を行い、①品質、経済性、施工条件などに留意してセメントの種類を使い分けること、②コンクリートの発注方式を従来の呼び強度発注方式から水セメント比発注方式に変えること、③水セメント比発注に伴い、高周波加熱乾燥法により水セメント比を管理すること、④現場にコンクリート品質管理試験室を設置し、コンクリート主任技術者を常駐されることなどを提案・実施した。その結果、所要の品質を有する高強度コンクリートを経済的に製造することができた。また、新たに仕様書に盛り込まれた強度補正值 mSn, nSn に関する有用な知見なども併せて得られた。

§ 1. はじめに

集合住宅を高強度コンクリートを使用した高層鉄筋コンクリート (RC) 造建物にすることで、①建物振動の少ない快適な居住性が確保できる、②建物質量の低減により、地震応答力や基礎支持力の低減が図れるなどの利点がある。著者らは、高層 RC 造建物に高強度コンクリートを適用するために、1987年から高強度コンクリートに関する開発を実施してきた。その結果、これまでに、高強度コンクリートの使用材料選定方法、調合方法、諸物性、施工性などに関する有用な知見を得るとともに、その成果を適宜発表してきた^{1)~25)}。最近、首都圏では地価の下落や人口一極集中の

緩和などの社会的現象が認められるが、高層 RC 造建物の建設ニーズは低下する傾向を示していない。そればかりか、さらに地方大都市を中心に、高層 RC 造建物の建設計画が進められるようになってきた。そのような中、神戸地区で初めて設計基準強度 60 N/mm^2 までの高強度コンクリートを使用した超高層 RC 造集合住宅を建設することになった。31階建ての同建物は、神戸市東部新都心地区計画区域の住居ゾーン「灘・日出町 O 地区 (A-1 棟)」に建設され、震災復興のシンボルとなるツインタワーとして、33階建ての N 地区 A-2 棟とほぼ同時期に施工された。施工中の建物全景を写真-1 に示す。本開発では、1997年に大幅に改定された建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄

筋コンクリート工事に準拠した方法を本工事で初めて適用することやレディーミクストコンクリートの供給に関する当該地区の特殊性などを踏まえ、主に高強度

コンクリートを施工する際の製造方法と品質管理のポイントについて実験・検討したので、それらの結果に関して報告する。



写真一 1 施工中の建物全景

§ 2. 工事概要

建物概要を表一に示す。躯体の鉄筋コンクリート工事は、水平および鉛直部材を分離して場所打ちする

工事名称	(仮称) 灘・日出町団地O地区建設工事
建設地	神戸市灘区日出町
発注者	住宅・都市整備公団関西支社
設計	住宅・都市整備公団関西支社 (基本設計) 清水建設(株) (実施設計)
施工	清水・石原建設工事共同企業体
工期	平成9年3月29日～平成11年6月1日
用途	共同住宅
敷地面積	14614.08 m ² (A-1棟, A-2棟, 商業棟 合計)
建築面積	1163.67 m ²
延べ床面積	28449.47 m ²
構造	RC造地下1階地上31階 S造塔屋4階
建物高さ	軒高96.25m 最高高さ108.75m

表一 1 建物概要



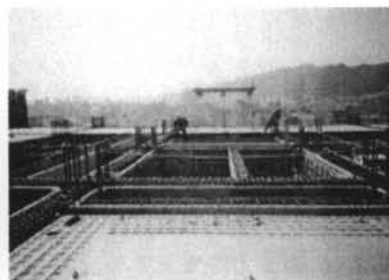
① 墨出し
柱ユニコラム型枠建込み
柱コンクリートの打設



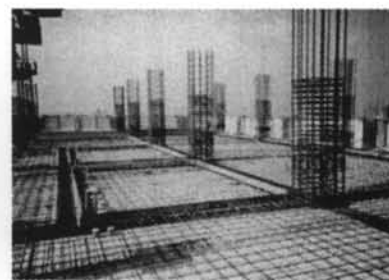
② 地組はり筋の吊り込み
はり鉄筋の継手処理



③ システム型枠建込み
PCa小ばりの吊り込み



④ 合成床版のハーフプレキャスト
ト板の取付け
バルコニー PCa 板の取付け

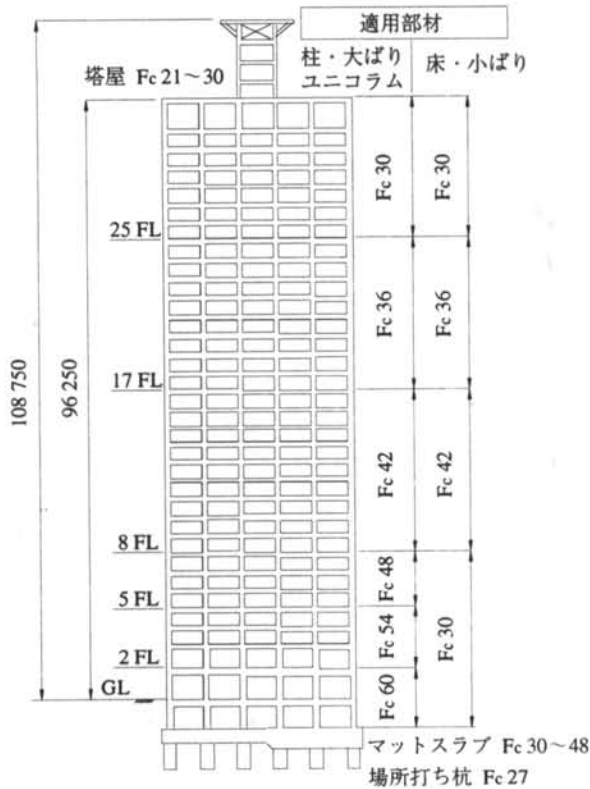


⑤ 地組柱筋の建込み・接合
床筋配筋



⑥ はりと床のコンクリート打設

写真一 2 基準階の施工手順



図一 1 建物のコンクリート強度区分

VH工法とプレキャストコンクリート(PCa)工法を併用したRC積層工法によって行った。基準階の施工手順を写真一2に示す。すなわち、①埋込み型枠である柱ユニコラム型枠の建込みおよび柱コンクリートの打設(2.5m³バケツ打ち)、②地組はり筋の吊り込みおよびはり鉄筋の継手処理、③はりシステム型枠の建込みおよびPCa小ばりの吊り込み、④合成床版のハーフプレキャスト板およびバルコニーPCa板の取付け、⑤地組柱筋の建込みおよび接合、床筋配筋、⑥はりと床のコンクリート打設(2.5m³バケツ打ち)の順にしたがい、1階当り6日のサイクル工



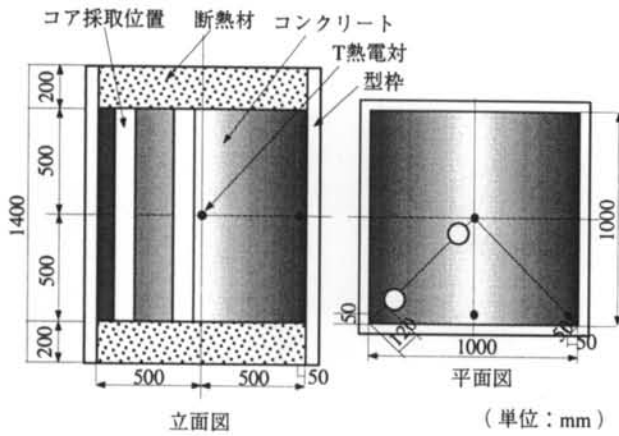
写真一3 水セメント比の管理(高周波加熱乾燥法)程で躯体を構築した。

§ 3 . コンクリート工事の課題と特徴

本コンクリート工事の課題を列挙すると、①図一1に示すように、設計基準強度 $F_c = 42, 48, 54, 60 \text{ N/mm}^2$ の4種類の高強度コンクリート(いずれの割合も単位水量 $W=175 \text{ kg/m}^3$ 一定)を製造・施工する、②当該地区では、高強度コンクリートの施工例は少なく、かつ震災復興事業の繁忙さと相まって、実績を作るため数社のレディーミクストコンクリート工場からの出荷を生コンクリート協同組合から要請された、③当該地区では、共販制度によって呼び強度が同じ場合、各工場の割合(水セメント比)が同一になるなどである。これらに対して、①品質および経済性に留意して、設計基準強度に合わせて、普通セメントおよびセメント鉱物組成中のピーライト量を多く含有した低熱セメントを合理的に使い分けることにした(表一2 使用材料一覧表参照)、②現地調査を実施して、高品質

工場 材料	N 工場	S 工場	M 工場
セメント	普通: 比重=3.16 低熱: 比重=3.22, C ₂ S量=56%	普通: 比重=3.15 低熱: 比重=3.23, C ₂ S量=56%	普通: 比重=3.16 低熱: 比重=3.24, C ₂ S量=60%
細骨材	安山岩砕砂および海砂 (砕砂:海砂=3:7)	安山岩砕砂および海砂 (砕砂:海砂=3:7)	流紋岩砕砂および海砂 (砕砂:海砂=3:7)
粗骨材	安山岩砕石および石灰岩砕石 (安山岩:石灰岩=7:3)	安山岩砕石	流紋岩砕石
混和剤	高性能AE減水剤:ポリカルボン酸系		

表一2 使用材料一覧表



図一 製作した模擬試験体

質の高強度コンクリートの製造が可能なレディーミックスコンクリート工場を3社(N社、S社、M社)選定した、③コンクリートの発注方式を従来の呼び強度発注方式から水セメント比発注方式に変え、品質が過剰な調合にならないようにした、④水セメント比発注にしたことに伴い、写真一3に示すように、高周波加熱乾燥法(電子レンジによるモルタルの加熱乾燥法)により水セメント比を管理した、⑤経済的に確実な品質管理を実施するために、現場にコンクリート品質管理試験室を設置し、コンクリート主任技術者(派遣)を常駐させたことが大きな特徴と言える。

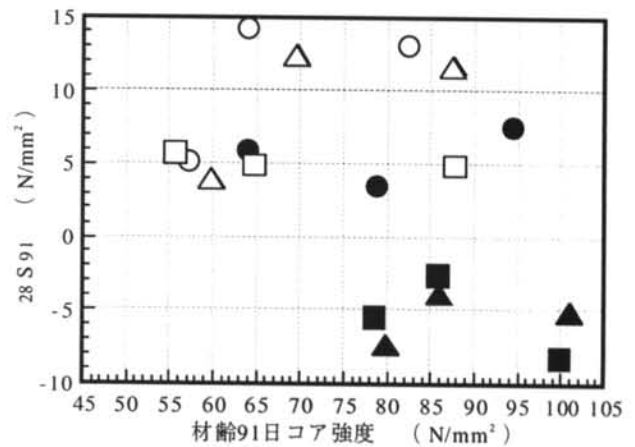
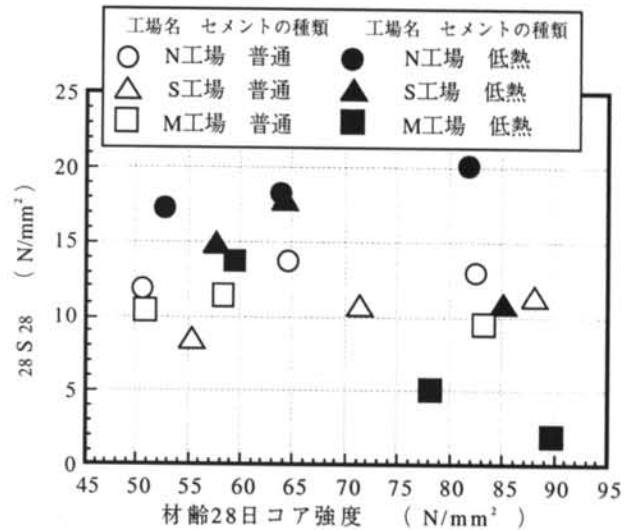
なお、高強度コンクリートの製造ならびに品質管理は、新たに改定されたJASS5「19節 高強度コンクリート」に準拠した方法を適用した。同仕様書では、材齢m日の標準養生供試体の強度と材齢n日の構造体コンクリート強度(推定値)との差 mS_n が、高強度コンクリートではとりわけ大きくなるため、強度補正值として調合強度算定時などに mS_n の値を上乗せしたのが大きな特徴であり、この点が旧JASS5および土木学会コンクリート標準示方書と異なる点と言える。

§ 4. 高強度コンクリートの製造および品質管理結果

4.1 実機試験(調合選定)

室内試験結果をもとに、1997年1月に各工場で実機試験練りを行い、図一2に示すような模擬柱試験体(1000×1000×1000mm)を作製して、標準養生供試体強度とコア強度の試験を実施した^{26)~27)}。

コア強度と強度補正值 $28S_{28}$ および $28S_{91}$ の関係を図一3に示す。水セメント比を25, 35, 45%とし、普通セメントを使用した場合には、 $28S_{28}$ の値は模擬試験体コアの発現強度や製造工場の相違などの影響をほとんど受けることなく9~14 N/mm²(平均値11.2 N/mm²)



図一3 コア強度と $28S_{28}$, $28S_{91}$ との関係

)の範囲の値になった。また、 $28S_{91}$ の値は4~14 N/mm²(平均値8.5 N/mm²)となり、 $28S_{28}$ の値と比較すると、ばらつき(強度補正值の振れ幅)が大きくなり、値そのものは若干小さい値になるようであったが、顕著な差ではなかった。したがって普通セメントを使用する場合、材齢28日以降の強度増進が少ないこと、品質管理の簡素化、発現強度と $28S_{28}$ との間に相関性が認められずほぼ同程度の値になることなどから、強度補正值として各工場の $28S_{28}$ の平均値を採用することにした。一方、水セメント比を25, 30, 35%とし、低熱セメントを使用した場合には、 $28S_{28}$ の値は、ばらつきが大きくなるとともに、製造工場(低熱セメントの種類)の相違によって異なった傾向を示した。 $28S_{28}$ は、2~20 N/mm²(平均値13.4 N/mm²)の範囲の値になった。また、 $28S_{91}$ の値は、製造工場の相違によって異なった傾向を示すものの、各工場においては発現強度の影響をあまり受けることなく、ばらつきは小さくなった。低熱セメントがこのような性状を示すのは、各セメント間での鉱物組成の相違などに起因すると考えられる。したがって低熱セメントを使用する場合、材齢28日以降の強度増進が多いこと、発現強度

項目	設計基準 強度 Fc (N/mm ²)	スランブ または スランブフロー (cm)	空気量 (%)	強度補正值		調合強度 mF (N/mm ²)	調合 W/C (%)	設定 W/C (%)	コア供試体 推定強度 F _{cm} ['] (N/mm ²)	標準養生 供試体 推定強度 F _{cm} ['] (N/mm ²)	m日判定 X _N (N/mm ²)	n日判定 X _n (N/mm ²)	
				mSn 28S28, 28S91 (N/mm ²)	nSn 91S91 (N/mm ²)								
N 工場	普通	42	21±1.5	3±1.5	12.9	—	65.9	41.4	40	55.0	67.6	60.7	60.7
		48	55±10	3±1.5	12.9	—	73.1	35.9	35	61.8	74.5	67.3	67.3
	低熱	54	55±10	2.5±1.5	5.6	16.5	71.5	33.9	33	69.0	85.3	65.9	77.9
		60	60±10	2.5±1.5	5.6	16.5	78.7	31.5	30	78.0	94.4	72.5	84.5
S 工場	普通	42	21±1.5	3±1.5	10.3	—	62.8	46.6	45	55.4	64.4	57.8	57.8
		48	55±10	3±1.5	10.3	—	70.0	40.2	39	62.0	71.5	64.4	64.4
	低熱	54	55±10	2.5±1.5	0 (-5.3)	9.6	64.8	38.2	38	72.3	76.7	59.7	70.3
		60	55±10	2.5±1.5	0 (-5.3)	9.6	72.0	34.3	34	78.9	85.4	66.3	76.9
M 工場	普通	42	21±1.5	3±1.5	10.5	—	63.0	45.6	44	53.8	64.6	58.0	58.0
		48	55±10	3±1.5	10.5	—	70.2	39.0	38	61.0	71.5	64.6	64.6
	低熱	54	55±10	2.5±1.5	0 (-5.4)	7.5	64.8	38.3	38	68.0	84.1	59.7	68.0
		60	55±10	2.5±1.5	0 (-5.4)	7.5	72.0	33.9	33	77.6	89.6	66.3	74.6

注1) コア供試体推定強度F_{cm}['] および標準養生供試体推定強度F_{cm}['] は、実機試験結果をもとに定めた設定水セメント比から算定される管理材齢n日における強度を示す。

注2) 添字mおよびnは、各々調合強度を定める材齢(日)および構造体コンクリートの強度を判定する材齢(日)であり、普通セメントでは、m=n=28 (mSn = nSn)、低熱セメントでは、m=28, n=91とした。

表-3 調合計画

と28S91との間に相関性が認められず工場別ではほぼ同程度の値になることなどから、強度補正值として各工場の28S91の平均値(ただし28S91 ≥ 0)を採用することにした。

4.2 調合計画

実機試験結果などをもとに表-3に示す調合計画とした。いずれの工場においても、設計基準強度Fc = 42, 48 N/mm²の高強度コンクリートに関しては普通セメントを、Fc = 54, 60 N/mm²に関しては低熱セメントを使用した。このような使い分けを行った理由は、①低熱セメントの使用により水和発熱に起因する温度ひび割れの発生を抑制できる(高い品質の確保)、②低熱セメントを使用した方が、普通セメントに比較して、同一設計基準強度を確保するための水セメント比を高くでき、調合によっては経済的になる(安いコンクリート単価)、③冬期に低熱セメントを使用する場合、水セメント比が高いと所定の材齢に型枠脱型強度が得られなくなる(サイクル工程の遅延防止)などから、総合的に判断した結果である。スランブまたはスランブフローおよび空気量は、粉体量が多く粘性が高い調合であることや部材が凍結融解作用をほとんど受けないことを考慮して、調合ごとに目標値を定めた。また、調合強度mF、調合を定める材齢での判定基準強度X_N、強度管理材齢での判定基準強度X_nは、JASS 5にしたがい、かつ変動係数をいずれも10%として、下式(1)~(3)によって算定した。

$$mF = Fc + mSn + 2\sigma = 1.2(Fc + mSn) \quad (1)$$

$$XN \geq Fc + mSn + 1.05\sigma = 1.105(Fc + mSn) \quad (2)$$

$$\bar{X}_n \geq Fc + nSn + 1.05\sigma = 1.105(Fc + nSn) \quad (3)$$

なお、水セメント比に関しては、設定水セメント比+3%までを合格とした。

4.3 フレッシュコンクリートの品質管理結果と施工上の留意点

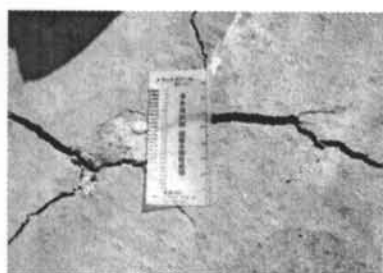
実施時には、フレッシュコンクリートの品質管理として、水セメント比、スランブまたはスランブフロー、空気量、塩化物量の測定を適宜実施し、表-4に示す結果が得られた。全工期を通じて、いずれの管理項目も目標値の範囲内にあり、極めて良好な品質管理を実施することができた。なお、水セメント比に関しては概ね5%程度の幅で管理できることが明らかになり、平均値はマイナス側に許容下限値を設けなかったために大半は設定水セメント比より低くなっていた。

次に、施工上留意した点としては、床の仕上げと養生、型枠脱型後の養生などである。床の一部あるいは全体を高強度コンクリートで施工すると、表面の乾燥により過大な初期収縮ひび割れが発生する可能性がある(写真-4①参照)。そこで、仕上げ方法をAコンクリート打設面に乗って金ゴテ仕上げを行う、Bコンクリート打設面に乗らないで金ゴテ仕上げを行う、Cコンクリート打設面に乗らないで、かつ散水を繰り返しながら金ゴテ仕上げを行うという3種類として試験を実施した(写真-4②参照)。その結果、仕上げ方法Aでは有害なひび割れが発生しており、仕上げ方法BおよびCではひび割れは認められなかった。しかしながら、仕上げ方法Cでは、仕上げ面にエフロレッセンスを生じており、仕上げ工事上問題があると判定され

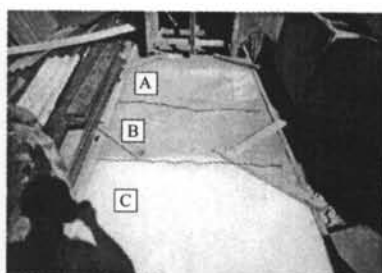
項目 工場	設計基準 強度 Fc (N/mm ²)	W/Cの 範囲 (平均値) (%)	スラブまたは スラップフローの 範囲 (平均値) (cm)	空気量の 範囲 (平均値) (%)	標準養生供試体			
					強度管理材齢での 平均圧縮強度 nF (N/mm ²)	標準偏差 σ (N/mm ²)	変動係数 CV (%)	
N 工場	普通	42	34.6~38.2 (37.1)	20.0~22.5 (20.5)	2.1~3.6 (2.6)	72.9	1.0	1.4
		42*	40.7~46.3 (43.2)	20.5~22.5 (21.8)	1.6~4.1 (2.8)	64.5	2.2	3.4
		48	32.7~35.6 (34.6)	45.5~57.5 (51.0)	1.6~4.3 (2.0)	74.4	2.8	3.7
	低熱	48*	36.2~39.9 (38.0)	47.0~59.0 (54.2)	1.5~4.5 (2.6)	72.2	3.9	5.4
		54	31.2~33.6 (32.3)	59.5~65.0 (62.0)	1.3~3.6 (2.2)	91.0	10.8	11.9
		60	27.3~32.8 (29.8)	58.5~69.5 (64.5)	1.3~2.8 (1.7)	100.2	4.3	4.3
S 工場	普通	42	42.1~46.2 (44.4)	20.0~22.5 (22.0)	1.6~3.8 (2.3)	59.2	2.0	3.5
		48	38.2~39.6 (39.1)	61.5~64.5 (63.0)	1.6~1.9 (1.8)	74.8	4.7	6.3
	低熱	54	35.1~38.1 (37.3)	57.5~64.5 (62.5)	1.2~2.8 (1.7)	90.4	3.1	3.4
		60	31.6~35.4 (33.0)	52.0~64.5 (60.5)	1.1~1.6 (1.4)	106.8	3.0	2.8
M 工場	普通	42	41.3~46.0 (43.3)	19.5~22.0 (21.0)	1.7~4.0 (2.3)	61.3	2.1	3.4
		42*	42.3~46.7 (45.2)	19.5~22.5 (21.8)	1.7~4.3 (2.5)	60.1	3.2	5.4
		48	38.3~40.9 (39.5)	53.0~64.5 (57.5)	1.8~3.5 (2.3)	75.3	4.7	6.2
	低熱	54	36.6~38.2 (37.5)	50.5~60.0 (57.0)	2.2~3.6 (2.9)	90.1	3.5	3.9
		60	29.3~31.7 (30.7)	48.0~64.0 (55.5)	1.2~2.6 (1.8)	106.9	4.6	4.3

注1) *印の付いたN工場のFc = 42, 48 N/mm²およびM工場のFc = 42 N/mm²の3調査は、調査変更した後の結果を示したものであり、各々の設定水セメント比は、順に44, 38%および46%である。

表一 4 品質管理試験結果一覧表



① 床に発生する初期収縮ひび割れ



② 仕上げ方法の現場実験



③ 仕上げ方法 A により発生した初期収縮ひび割れ

写真一 4 床の仕上げ・養生方法



写真一 5 散水養生

た。高強度コンクリートでは、内部が軟らかいうちに表層部に薄膜が形成されやすく、薄膜形成後打設面に乗って仕上げを行うと、薄膜が開き、ひび割れの発生

を助長することが明らかになった。この試験結果から、床の仕上げ・養生方法は、薄膜が形成される前に荒均し、保水剤散布、金ゴテ仕上げを終了するようにし、その後翌日まで噴霧養生を行うことにした。また、直上階にシステム型枠を転用するため、有害な変形やひび割れが発生しないことを構造計算により照合し、安全を確認した上で、はりの型枠支保工の脱型解体を材齢2日で行った。このため、せき板の存置期間が短くなり、乾燥収縮ひび割れの発生が危惧されたので、写真一5に示すように、せき板解体直後から所定の材齢まで散水養生を実施した。

4.4 圧縮強度の管理試験結果

実施工時の圧縮強度管理試験結果を表一4および図一4~7に示す。設計基準強度Fc = 42, 48, 54, 60 N/mm²のいずれの高強度コンクリートにおいても、調査

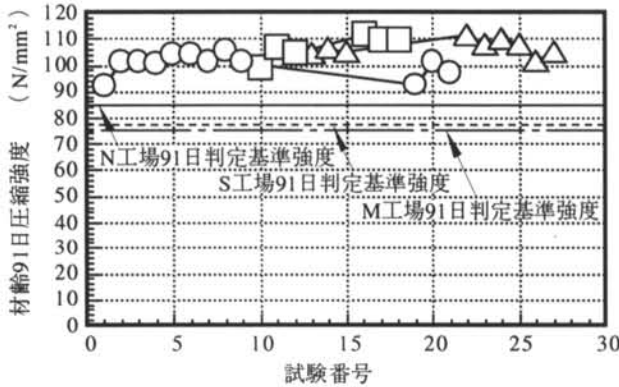
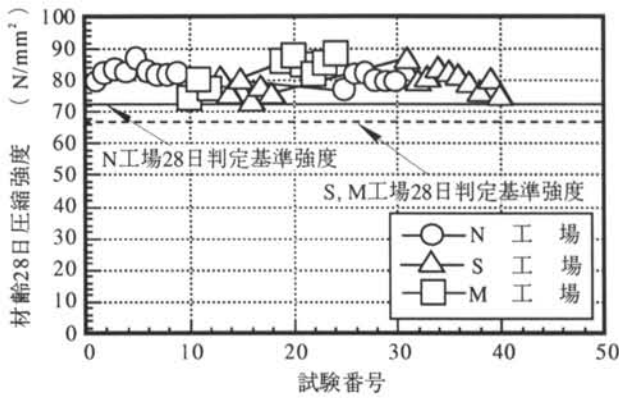


図-4 圧縮強度管理試験結果 ($F_c = 60\text{N/mm}^2$)

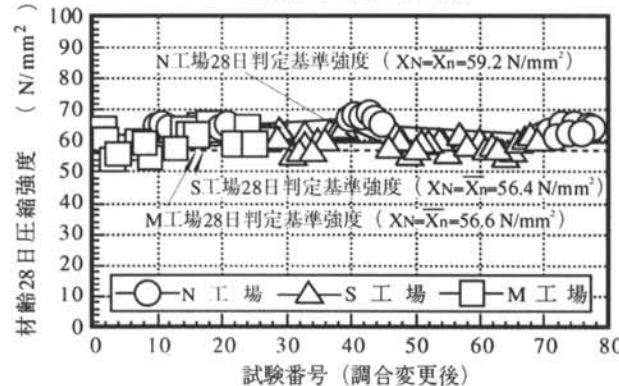
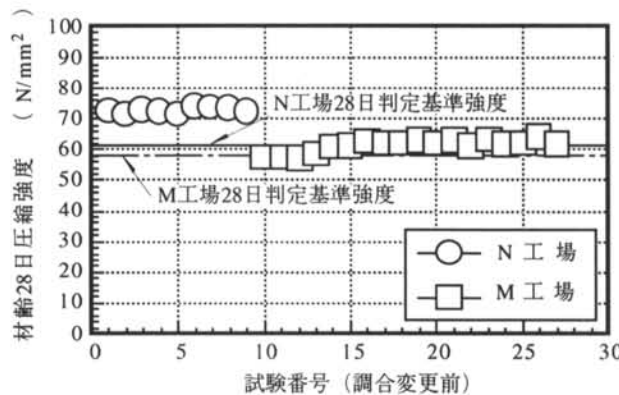


図-5 圧縮強度管理試験結果 ($F_c = 42\text{N/mm}^2$)

を定める材齢および強度管理材齢において全て判定基準強度を満足する結果になった。また、標準養生供試体の圧縮強度の変動係数は、概ね6%程度以内となり、良好な品質管理ができたと言える。

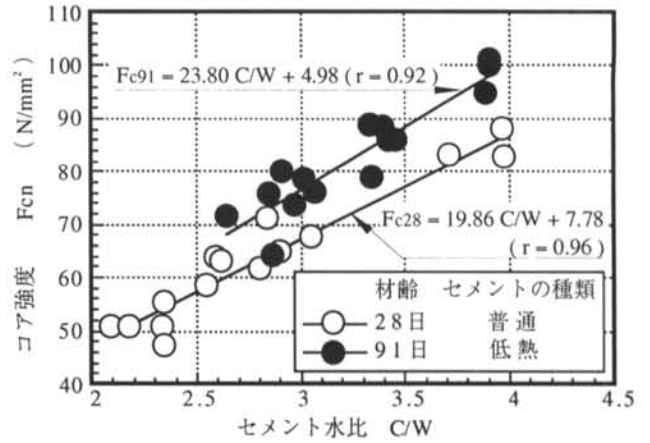
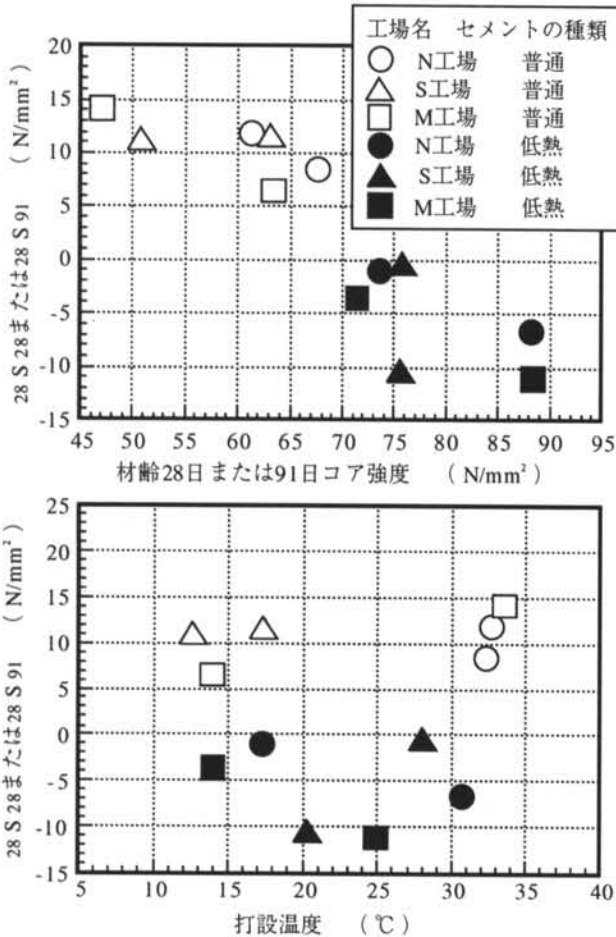


図-6 コア強度とセメント水比の関係

図-4は、設計基準強度 $F_c = 60\text{N/mm}^2$ のコンクリートにおける標準養生供試体による圧縮強度管理試験結果を示したものである。同図から明らかなように、試験値は判定基準強度を満足するとともに、大きく上回る結果になっている。この傾向は、とりわけ強度レベルの高い低熱セメントを使用した調査で顕著であった。このような結果になった主な理由としては、①設定水セメント比をいくぶん低めに定めたことや水セメント比に許容下限値を設けなかったために実際の水セメント比がさらに安全側に振れたこと、②低熱セメントではマイナス側になる強度補正值を仕様書にしたがって0としたことなどによると考えられる。設計基準強度 $F_c = 60, 54\text{N/mm}^2$ のコンクリートに関しては、打設数量が各々 $1374\text{m}^3, 953\text{m}^3$ と少なく、判定日数が長くかかるために調査変更はできなかったが、判定日数が短く打設数量の多い $F_c = 48, 42\text{N/mm}^2$ に関しては、マットスラブの施工実績を踏まえて5階柱の施工から調査を変更した。図-5に設計基準強度 $F_c = 42\text{N/mm}^2$ のコンクリートにおける調査変更前後の圧縮強度管理試験結果を示す。N工場およびM工場の調査変更前の結果によれば、強度の変動は極めて小さく、かつN工場の結果は判定基準強度をかなり上回った値になった。これらの結果などをもとに検討を加え、以下のように調査を変更した。すなわち、調査強度 mF 、調査を定める材齢での判定基準強度 X_N 、強度管理材齢での判定基準強度 \bar{X}_n の算定において、変動係数を10%から7.5%に変更した。また、設定水セメント比に関しても、N工場では40%から44%に、M工場では44%から46%に変更した。その結果、調査変更後においても、1回の試験では判定基準強度をわずかに割るものも認められたが、検査ロットの平均値では判定値を全て満足する結果になった。この結果、今回採用した高強度コンクリートの品質管理手法は、厳密な品質管理を可能することが明らかになった。



図一七 実施工時の28S28, 28S91の値

図一六は、実機試験および実施工で行った強度管理材齢における模擬試験体コア強度とセメント水比の関係を示したものである。普通セメントを使用した場合、工場の相違による影響はほとんどなく、コア強度とセメント水比の間には良好な相関性が認められた。また、低熱セメントを使用した場合でも、ばらつきは若干大きくなるとはいふものの、91日の長期材齢では良好な相関性が認められた。なお、各々の回帰式を用い、コア強度の変動係数を10%、不良率を2.3%として、設計基準強度 $F_c=42, 48, 54, 60 \text{ N/mm}^2$ を満足する水セメント比を算定すると、各々46.6, 39.9, 39.8, 35.5%になる。

図一七は、実施工時の強度補正值と模擬試験体コア強度および打設温度との関係を示したものである。普通セメントを使用した場合の強度補正值28S28は、本実施条件下においては、発現強度や打設温度(打設時期)の影響をほとんど受けることなく6~14 N/mm^2 (平均値10.6 N/mm^2)の範囲の値になった。また、低熱セメントを使用した場合も、各種要因の影響をほとんど受けることなく、28S91は、-11~0 N/mm^2 の範囲の値になった。これらの結果は、調合選定のために実施した実機試験結果とはほぼ同様の結果を示しており、

その再現性を確認できた。

なお本工事では、経済的に確実な品質管理を実施するために、現場にコンクリート品質管理試験室を設置し、コンクリート主任技術者(派遣)を常駐させた結果、十分な成果をあげることができたと考えられる。この方法の利点として、①フレッシュから硬化コンクリートの品質まで、一連の管理を専任者が繰り返し行うため、品質管理の精度が上がる、②調合変更などの対応が迅速にできる、③本方法でかかる費用は公的機関への外注試験費と比較しても同程度以下であり、さらに現場管理者のコンクリート品質管理に関わる労務の大半を削減できるなどである。一方、欠点としては、①工事規模が小さい(コンクリート打設量が少ない)場合、コストアップになる、②発注者、設計監理者などの承認が必要である、③信頼できるコンクリート主任技術者を確保する必要がある、④現場を管理する建築技術者のコンクリート技術の低下を招くおそれがあるなどであり、採用に当たっては、十分な配慮が必要と言える。

§ 5. まとめ

本開発報告では、1997年に大幅に改定されたJASS 5に準拠した神戸地区の超高層RC集合住宅に適用する高強度コンクリートの製造と品質管理のポイントならびに品質管理試験結果について述べた。現地調査、室内調合試験、実機試験を行い、①品質、経済性、施工条件などに留意して、普通セメントと低熱セメントを使い分けること、②現地調査を実施して、高品質の高強度コンクリートの製造が可能なレディーミクストコンクリート工場を選定すること、③コンクリートの発注方式を従来の呼び強度発注方式から水セメント比発注方式に変えること、④水セメント比発注に伴い、高周波加熱乾燥法により水セメント比を管理すること、⑤現場にコンクリート品質管理試験室を設置し、コンクリート主任技術者を常駐させることなどの実施を決定した。その結果、合理的な調合計画、調合変更などを実施することができ、所要の品質を有する高強度コンクリートを経済的に製造することができた。また、新たに仕様書に盛り込まれた強度補正值 m_{Sn}, n_{Sn} に関して、施工条件に合わせた設定方法など有用な知見やデータも得られた。なお、強度補正值に関しては、ばらつき等未だ不明の点が多く、さらにデータの蓄積・分析が必要と考えられる。

謝辞

本工事にあたり、住宅・都市整備公団関西支社 専

門役 秋山映雄氏のご指導を頂きました。また、大阪アサノコンクリート(株)神戸工場、東神戸大阪生コンクリート(株)東神戸工場、(株)溝尾六甲生コン

第二工場、花王(株)、(株)中研コンサルタントならびに工事関係者の協力を得ました。付記して謝意を表します。

<参考文献>

- 1) 橋大介、西田朗、今井実、鈴木忠彦：“高強度コンクリートの物性に及ぼす各種要因の影響”、第10回コンクリート工学年次論文報告集、10-2、pp.203～208、1988。
- 2) 橋大介、西田朗、鈴木忠彦：“超高強度コンクリートの実用化に関する実験的研究(その1.室内調査実験)”、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.265～266、1988。
- 3) 河井徹、山崎庸行、今井実、橋大介、稲田泰夫：“1000 kgf/cm²コンクリートの実用化への挑戦(超高強度コンクリートに関する実験的研究)”、セメント・コンクリート、No.508、pp.31～38、1989。
- 4) T.Kawai, N.Yamazaki, M.Imai, D.Tachibana and Y.Inada: “Study on Application of 100 MPa Strength Concrete Based on Full Scale Model Tests”, The 9th Annual Convention, Structural Engineers Association of Hawaii, 10pp., 1989.
- 5) 橋大介、立部正則、西田朗：“超高強度コンクリートの実用化に関する実験的研究(その6.硬化コンクリートの諸性質)”、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.497～498、1989。
- 6) D.Tachibana, M.Imai, N.Yamazaki, T.Kawai and Y.Inada: “High-Strength Concrete Incorporating Several Admixtures”, High-Strength Concrete Second International Symposium, ACI, SP-121, pp.309～330, 1990.
- 7) 橋大介、山崎庸行、今井実：“シリカフェームを使用した高強度コンクリートの物性”、第12回コンクリート工学年次論文報告集、12-1、pp.117～122、1990。
- 8) 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、第2巻、第2号、pp.131～142、1991。
- 9) 橋大介：“シリカフェーム混和および無混和の高強度コンクリートの耐凍害性”、土木学会第46回年次学術講演会講演梗概集、第5部、pp.422～423、1991。
- 10) 橋大介：“シリカフェーム混和および無混和の超高強度コンクリートの耐凍害性”、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.737～738、1991。
- 11) 鈴木忠彦、橋大介、坂口昇、山崎庸行、熊谷仁志：“設計基準強度600kgf/cm²コンクリートの施工に伴う品質管理結果報告”、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.865～866、1991。
- 12) 江原恭二、橋大介、山崎庸行、西田朗、榎木隆、原田宏：“低熱ポルトランドセメントを用いた高強度コンクリートの基礎的検討(その1.コンクリートの強度発現性状)”、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.361～362、1992。
- 13) 榎木隆、江原恭二、橋大介、山崎庸行、西田朗、原田宏：“低熱ポルトランドセメントを用いた高強度コンクリートの基礎的検討(その2.発熱特性と高温養生下での強度発現)”、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.363～364、1992。
- 14) 橋大介、山崎庸行：“超高強度コンクリート”、コンクリート工学、Vol.31、No.3、pp.94～99、1993。
- 15) 西田朗、橋大介、江原恭二、熊谷仁志：“高強度コンクリートの高層建築物への適用に関する研究”、第15回コンクリート工学年次論文報告集、Vol.15、No.1、pp.375～380、1993。
- 16) 橋大介、山崎庸行：“ピーライト高含有ポルトランドセメントを使用した超高強度コンクリートの諸性質”、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.997～998、1993。
- 17) 榎木隆、江原恭二、山崎庸行、橋大介、西田朗、原田宏：“低熱ポルトランドセメントを用いた高強度コンクリートの基礎的検討(その3.W/C30%における諸性状)”、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1037～1038、1993。
- 18) 江原恭二、山崎庸行、橋大介、西田朗、榎木隆：“低熱ポルトランドセメントを用いた高強度コンクリートの基礎的検討(その4.強度と断熱温度性状)”、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1039～1040、1993。
- 19) 西田朗、山崎庸行、橋大介、江原恭二、榎木隆：“低熱ポルトランドセメントを用いた高強度コンクリートの基礎的検討(その5.温度追従養生による強度性状)”、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1041～1042、1993。
- 20) 山崎庸行、杉山章、江原恭二、榎木隆、西田朗、青木史朗、橋大介：“低熱ポルトランドセメントを用いた高強度コンクリートの基礎的検討(その6.模擬柱による検討)”、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1043～1044、1993。
- 21) 橋大介、林秀彦、山崎庸行：“ピーライト高含有ポルトランドセメントを使用した超高強度コンクリートの諸性質”、土木学会第48回年次学術講演会講演梗概集、第5部、pp.124～125、1993。
- 22) 林秀彦、橋大介、山崎庸行：“ピーライト高含有ポルトランドセメントを使用した超高強度コンクリートの強度発現”、土木学会第48回年次学術講演会講演梗概集、第5部、pp.122～123、1993。

- 23) D.Tachibana, H.Kamagai, N.Yamazaki and T.Suzuki : "High-Strength Concrete ($f_c = 600\text{kgf/cm}^2$) for Building Construction" , ACI Materials Journal, pp.390 ~ 400, July - August 1994.
- 24) 橋大介、浦野真次、山崎庸行：“球状化セメントを使用した場所打ち超高強度コンクリート（その1.球状化セメントの使用が諸性質に及ぼす影響）”、日本建築学会大会学術講演梗概集（東海）、材料施工、pp. 241 ~ 242、1994.
- 25) 浦野真次、橋大介、山崎庸行：“球状化セメントを使用した場所打ち超高強度コンクリート（その2.球状化セメントの使用が強度発現性状に及ぼす影響）”、日本建築学会大会学術講演梗概集（東海）、材料施工、pp.243 ~ 244、1994.
- 26) 橋 大介：“高強度コンクリート（設計基準強度 $42 \sim 60\text{N/mm}^2$ ）のmSnに関する検討”、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 287 ~ 288、1997.
- 27) 秋山映雄、橋 大介、井上清司、秋山文生：“超高層RC集合住宅に適用する高強度コンクリートの施工と品質管理のポイント”、コンクリート工学、Vol.37、No.8、pp.39 ~ 44、1999.