

## 西松建設超高層鉄筋コンクリート造システム〈NH-RC〉の開発 (その3) 施工システムの開発・施工実験

The Development of Nishimatsu Construction High-rise Reinforced Concrete Building System  
(part 3) Development of Construction System and Experimental Study

近藤 晴貞\* 山内 次郎\*\*  
Harusada Kondo Jirō Yamanouchi

松井 健一\*\*\*  
Kenichi Matsui

### 要 約

超高層鉄筋コンクリート造は鉄骨鉄筋コンクリート造に比較して工費が安く、工期も短いのが特徴である。しかし、その建設にあたっては高強度コンクリートの使用や太径鉄筋の高密度配筋など従来の鉄筋コンクリート造とは異なる施工技術を必要とする。

本研究は高品質・高精度の躯体を築造するために、施工方法、管理方法まで含めた施工システムの開発を目的としたものであり、基礎技術を確立することができた。

### 目 次

- §1. はじめに
- §2. 施工システムの概要
- §3. 施工実験
- §4. おわりに

### §1. はじめに

超高層鉄筋コンクリート造では高強度コンクリートの使用、太径鉄筋の高密度配筋など従来とは異なる技術を使用して高品質・高精度の躯体を確保すると共に、その長所である短工期・低工費をより実現させることが必要である。そのためには、各種工事の施工方法・品質管理方法などを検討し工事全体を1つの体系としてまとめる必要がある。

本報告は西松建設超高層鉄筋コンクリート造システム〈NH-RC〉の開発の一環として施工システムの開発を

行い基礎技術を確立したので、その結果について報告するものである。なお、開発は従来技術の検討→計画の立案・検討→実験による検証・改訂→実験による確認の過程を通して行った。

今後は本報告で確立した基礎技術を基に更に高層化を目指した研究、新技術の検討などを引き続き行い、システムの拡張及び改善を目指して研究を進めることが必要であると思われる。既に一部の研究については実施し成果を得ているが、それらについては次回に報告する予定である。

### §2. 施工システムの概要

#### 2-1 モデル設計建物

当施工システムはモデル設計建物を対象として開発を行った。その平面図、軸組図、柱及び梁配筋は(その1)のFig.1, Fig.3~4に示す。構造上の特徴は下記のとおりである。

1. RC純ラーメン構造であり、壁は全て非耐力壁である。

\*技術研究部原子力室  
\*\*技術研究部副部長  
\*\*\*技術研究部技術研究所係長

2. 柱・梁・スラブは全て現場打設のコンクリートであり、バルコニースラブは薄肉 PC 板を使用している。
3. 使用コンクリートの設計基準強度の上限は360 kgf/cm<sup>2</sup>である。
4. 主筋の最大径は D38(SD40)である。フープは高強度異形 PC 鋼棒(ウルボン)を使用し、外周筋はスパイラル、中子筋は135°フックによる閉塞形となっている。また、スターラップは閉塞形の FB リングを使用している。
5. 下階外周柱は芯筋を有する。

2-2 工法の概要

高層工事の特徴を生かして各種工事をプレハブ化し、躯体の高品質・高精度の確保及び工期の短縮・工費の低減を可能としている。以下に工法の概要を、Fig.1 に基準階における標準的な施工順序を示す。

1. 柱・梁鉄筋は規定に分割して地上の専用ヤードで組立てた先組鉄筋とする。
2. 型枠は外周バルコニー床を薄肉 PC 板とし、他はユニット型枠とする。
3. コンクリートは VH 分離打設とする。(原則として

柱、梁・スラブコンクリートとも流動化コンクリートとする)

4. 原則として建物平面についても工区分割を行い、作業量の平均化と品質・精度の均一化をはかる
5. 外壁・界壁は躯体工事終了後取り付ける。

2-3 鉄筋工事

柱・梁鉄筋とも太径鉄筋を使用し高密度配筋となっている。品質と精度を確保し工期の短縮をはかるために先組工法としている。柱鉄筋は1フロア分を1ユニットとし、地上の専用ヤードで専用の治具、定規等を使用して精度良く組立てたものをクレーンで揚重し、主筋の接合及び接合部のフープの取付けを行って組立を完了する。梁鉄筋はキ形、F 形等を1ユニットとし柱鉄筋と同様に地上で組立てたものをクレーンで揚重し、型枠上の所定位置に仮置きした後、主筋の接合及び接合部のスターラップの取付けを行ない型枠内に落込んで組立を完了する。主筋の接合は柱は圧着式継手(スクイズ式継手)、梁はネジ式継手を採用しており、両者共日本建築センターで A 級継手の評定を受けている継手である。また、継手位置は柱については床面から800程度の位置、梁についてはスパン中央部としている。

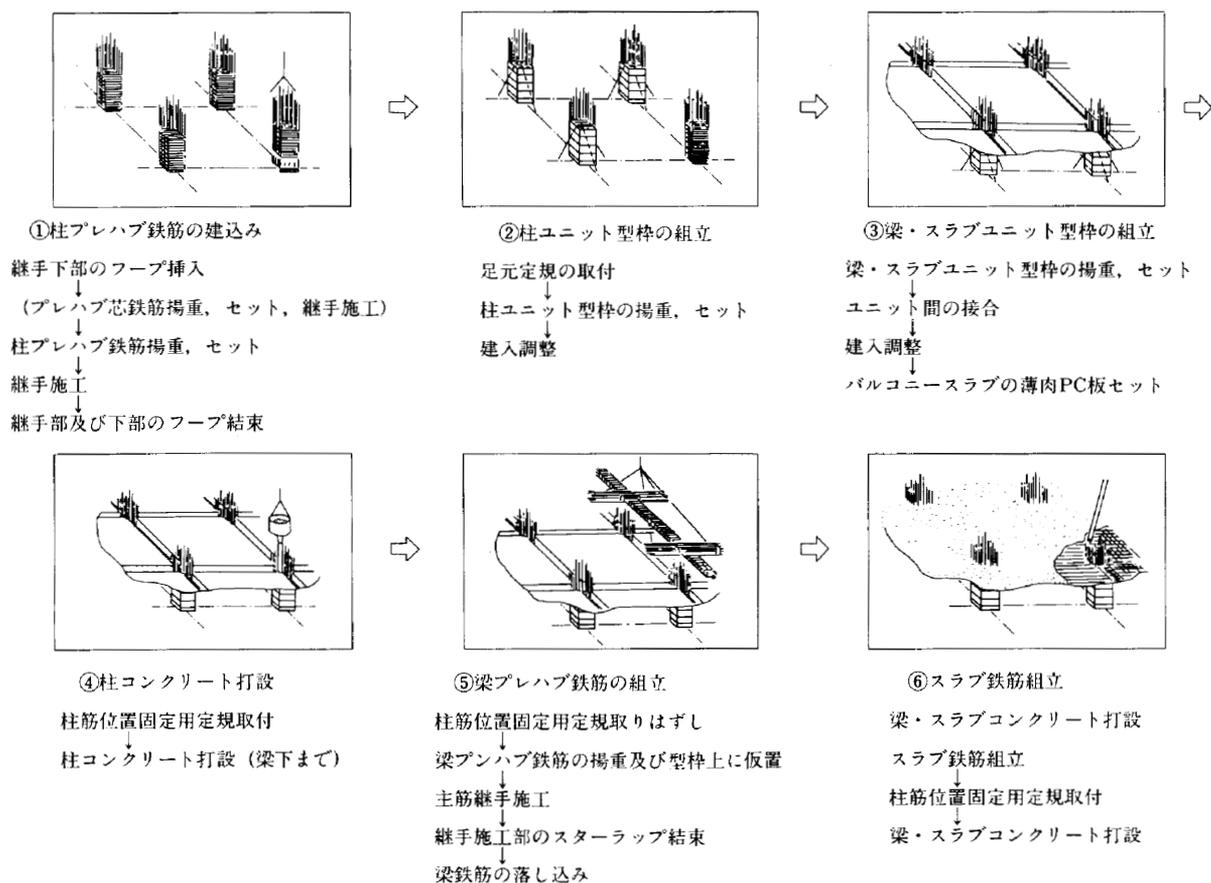


Fig.1 施工順序

2-4 型枠工事

型枠は躯体の精度を確保し工期を削減するためにユニット化している。柱、梁型枠共セパレーターを使用しない工法とし、柱型枠は先組みしたものをクレーンで揚重し柱鉄筋の上からかぶせ、所定位置に配置し組立てる。梁・スラブ型枠は梁・スラブせき板及び支保工を一体としたユニット型枠(実用新案出願中)とし、組立→コンクリート打設→取合い部解体→下降及び移動→クレーンによる揚重及び転用の順で転用できるものとしている。

2-5 コンクリート工事

鉄筋工事で述べたとおり本構造では太径鉄筋を使用し高密度配筋となっている。特に柱鉄筋及び2方向の梁鉄筋が交叉するパネルゾーンでは著しい。本工法ではVH分離打設とし梁・スラブ鉄筋のない状態で柱コンクリートを梁下まで打設し、その品質を確保するようにしている。

2-6 工程計画

超高層鉄筋コンクリート造建築では同じ作業の繰り返しとなるため、1フロア分のサイクル工程が全体工期に

及ぼす影響は非常に大きい。サイクル工程は揚重設備の影響を特に強く受けるが、ここでは揚重機1機の場合について策定した躯体工事の標準サイクル工程(例)をFig.2に、全体工程(25Fの場合の例)をFig.3に示す。1サイクルは実作業日数で8日であるが、全体工程を考える時は暦日日数で考えなければならない。

2-7 品質管理

躯体の品質・精度を確保するためには施工方法の検討とともに品質管理方法の検討も重要である。本システムでは品質管理計画と品質管理基準を定め、両者に従って品質管理を行うとしている。品質管理計画では活動組織、管理活動の手順、業務分担を定めている。品質管理基準ではコンクリート、鉄筋、型枠の各工事について管理項目、検査方法・頻度及び判定基準を定めている。それぞれの1例として品質管理活動のフローチャートをFig.4に、荷卸し時のコンクリートの管理基準をTable 1に、構造体コンクリートの強度管理基準をTable 2に示す。

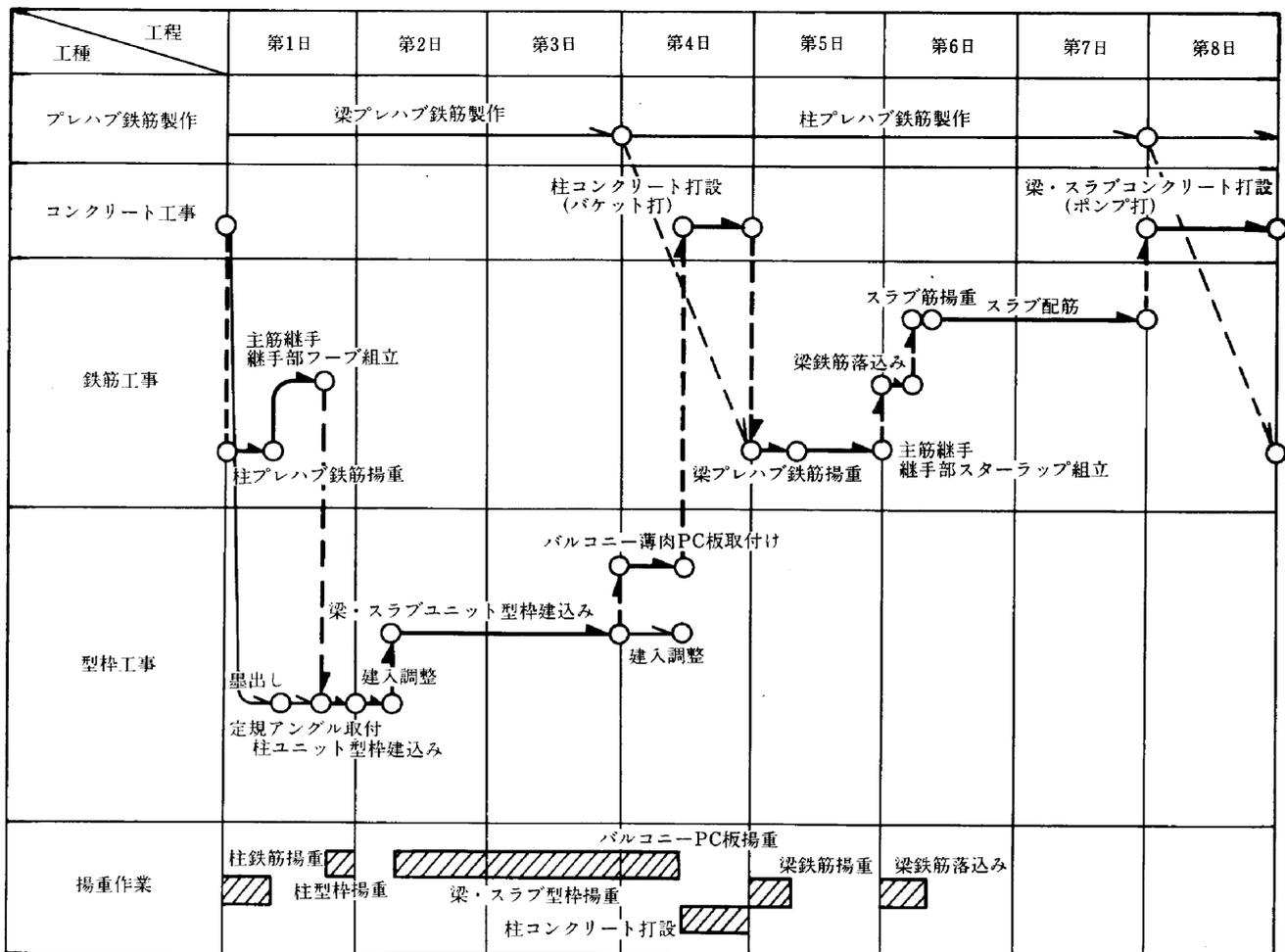


Fig.2 標準サイクル工程(例)

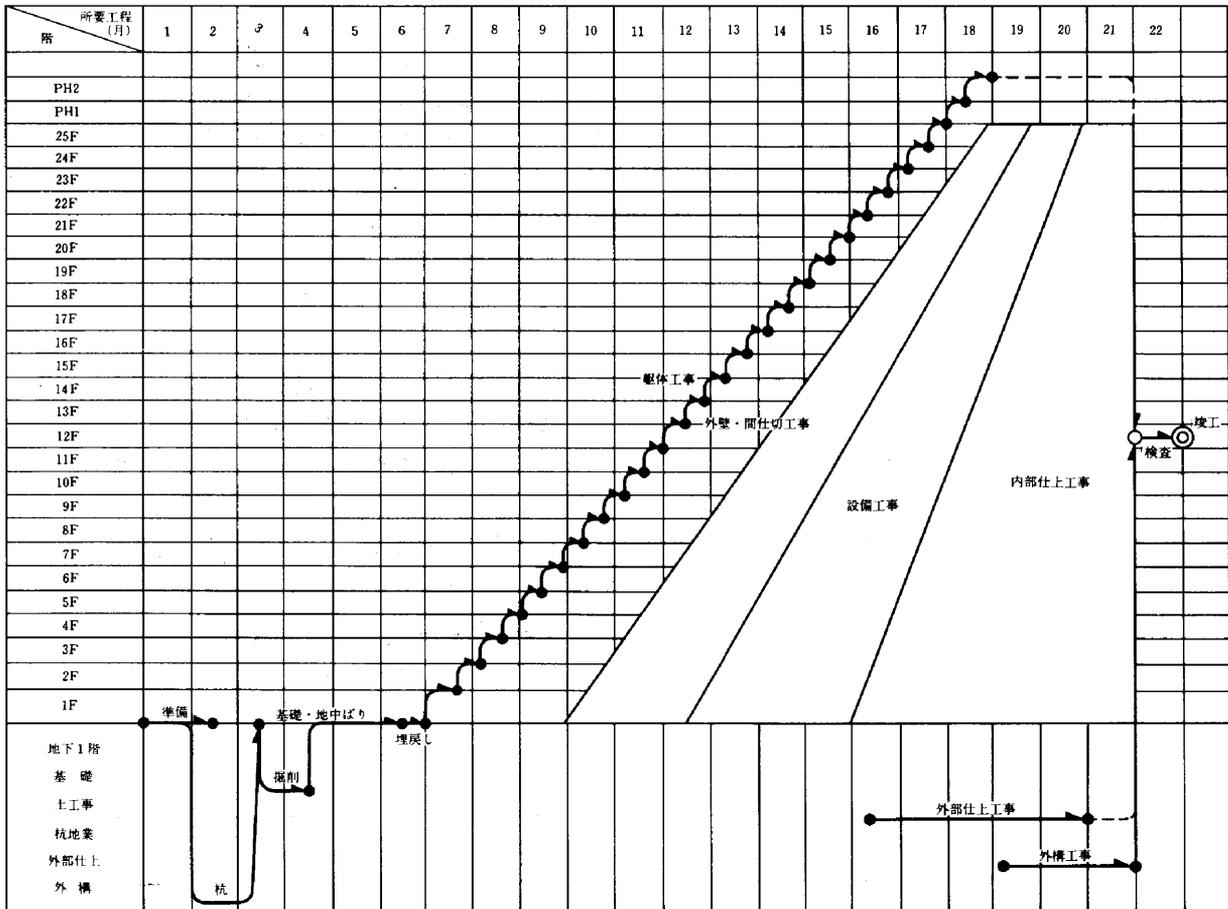


Fig.3 全体工程 (例)

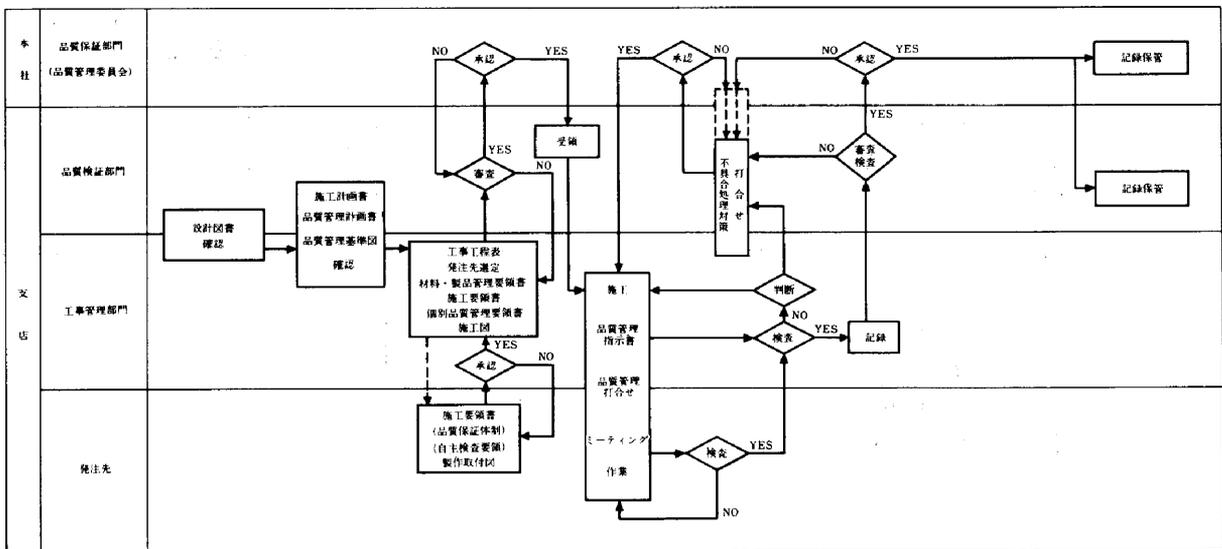


Fig.4 品質管理活動のフローチャート

Table 1 荷卸し時のコンクリートの品質管理

項目	試験方法	時期・回数	判定基準
ワーカビリティ及びフレッシュコンクリートの状態	目視	全車	ワーカビリティが良いこと。品質が均一で安定していること。
スランプ	JIS A 1110	打込み当初品質が安定する迄及び50㎡又はその端数につき1回	ベースコンクリート 12cm 流動化コンクリート 18cm 許容差 ±2.5cm
空気量	JIS A 1128	打込み当初及び50㎡又はその端数につき1回	許容差 ±1.0%
コンクリート温度	棒状温度計による	"	荷卸し時 3℃以上30℃以下
塩化物量	JASS5T-502	"	0.20kgf/m <sup>2</sup> 以下

Table 2 構造体コンクリートの強度管理基準

打込み部位	柱						梁・床					
	Aブロック		Bブロック		Aブロック		Bブロック		Aブロック		Bブロック	
打込み量(m <sup>3</sup> )	30		30		150		150		150		150	
採取場所	打込み場所(流動化後)											
試験時の材令(日)	7	28	91	7	28	91	7	28	91	7	28	91
試験回数(回)	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
試験体個数(個)	3	3	3	3	3	3	6	6	6	6	6	6
養生方法	現場水中	封かん	現場水中	封かん	現場水中	封かん	現場水中	封かん	現場水中	封かん	現場水中	封かん
圧縮強度試験場所	公的試験期間または現場コンクリート試験室											
検査ロット	2ロット/階						4ロット/階					
判定基準	判定式						検査特性					
	$X \geq 0.9F_c$ $X - 1.05\sigma \geq F_c$						生産者危険率 5% 施工者危険率 10% 合格ロットの不良率 2.3%					

X : 1個の供試体の圧縮強度 (kgf/cm<sup>2</sup>)  
 X̄ : 1回の圧縮強度試験の平均値 (kgf/cm<sup>2</sup>)  
 F<sub>c</sub> : 設計基準強度 (kgf/cm<sup>2</sup>)  
 σ : 実績に基づいた標準偏差 (kgf/cm<sup>2</sup>)

### § 3. 施工実験

#### 3-1 実験目的

Table3に示す各事項を確認するために鉄筋継手試験と実大施工実験を実施した。実大施工実験は同一規模、形状の試験体について2回行い、1回目は各種検討事項の確認、歩掛りデータの採取などとし、2回目は確認実験としている。

#### 3-2 実験場所及び期日

鉄筋の継手試験は当社の大和機材センターで昭和61年8月に、実大施工実験は当社の平塚製作所で第1回を昭和61年9月~11月に、第2回を第1回の上に重ねる形で昭和62年1月~3月に実施した。

Table 3 実験における検討項目一覧

鉄筋	プレハブ鉄筋製作	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プレハブ鉄筋の製作方法の確認</li> <li>・プレハブ鉄筋製作用治具の検討</li> <li>・梁端部定着部分の納まりの確認</li> <li>・パネルゾーンフープの納まりの確認</li> <li>・鉄筋加工精度の確認</li> <li>・プレハブ鉄筋製作精度の確認</li> <li>・プレハブ鉄筋製作の歩掛りの把握</li> </ul>
	工事	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プレハブ鉄筋建込み方法の確認</li> <li>・プレハブ鉄筋建込み用治具の検討</li> <li>・柱芯鉄筋の施工方法の確認</li> <li>・工区境における梁主筋の継手施工方法の確認</li> <li>・プレハブ鉄筋建込み精度の確認</li> <li>・プレハブ鉄筋建込みの歩掛りの把握</li> </ul>
型枠工事	型枠工事	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ユニット型枠建込み方法の確認</li> <li>・工区境における型枠の組立方法の確認</li> <li>・バルコニースラブの薄肉PC板の納まりの確認</li> <li>・ユニット型枠の施工精度の確認</li> <li>・ユニット型枠建込みの歩掛りの把握</li> </ul>
	コンクリート工事	<ul style="list-style-type: none"> <li>・試験練り</li> <li>・打設方法の確認</li> <li>・工区境におけるコンクリート打継ぎ部の施工確認</li> <li>・打設時の鉄筋の保持方法の確認</li> <li>・躯体施工精度の確認</li> <li>・充填性の確認</li> <li>・強度の確認</li> <li>・内部温度の測定</li> </ul>

#### 3-3 鉄筋継手試験

各種鉄筋継手法について本システムへの適応性及び配筋方法による制約等を比較検討するために「自動ガス圧接」、「ネジ式」、「圧着式(スクイズ式)」、「エンクローズド溶接(KEN法)」の4種類の継手法についてモデル建物の柱及び梁と同一配筋で継手試験を行った。Photo 1~2に継手試験状況を示す。試験結果ではそれぞれ一長一短であったが、先組鉄筋への適応性、施工性、経済性を加味して検討した結果、本システムでは柱は「圧着式(スクイズ式)継手」、梁は「ネジ式継手」とした。両者は共に日本建築センターで「A級継手」の評定を受けた工法であり、継手の位置については柱の外周筋はスラブ面から800程度の高さ、柱の芯筋は外周筋より500程度高い高さ、梁筋はスパン中央部でそれぞれ同一位置とした。

配筋方法、施工方法及び施工条件により最適工法は異なると思われるが、これについてはその都度検討し、決定しなければならない。

#### 3-4 実大施工実験

##### 1) 試験体

試験体は以下の条件を満たすこととし、モデル設計建物の3Fの一部とした。試験体をFig.5に、柱及び梁配筋をFig.6に示す。

- ・基準階であること。
- ・使用コンクリートの設計基準強度が360kgf/cm<sup>2</sup>である

こと。

- ・梁端部定着部分の納まりを確認できること。
- ・柱芯鉄筋の施工方法を確認できること。
- ・コンクリートの充填性を確認するために高密度配筋となっていること。
- ・実際に使用する梁先組鉄筋のユニットを使用すること。
- ・バルコニースラブの薄肉 PC 板の納まりを確認できること。

以下、実験結果等については実証実験を中心に述べる。

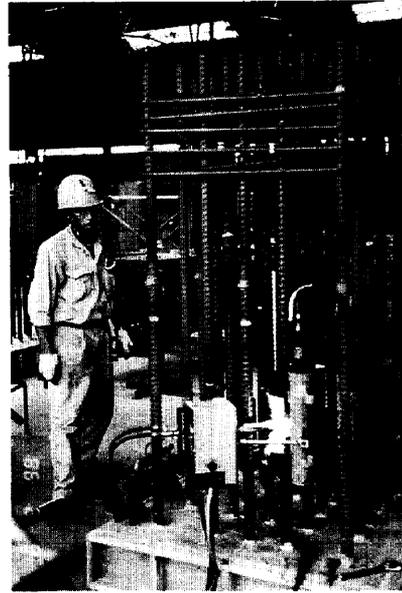


Photo 1 継手試験 (柱、自動ガス圧接)

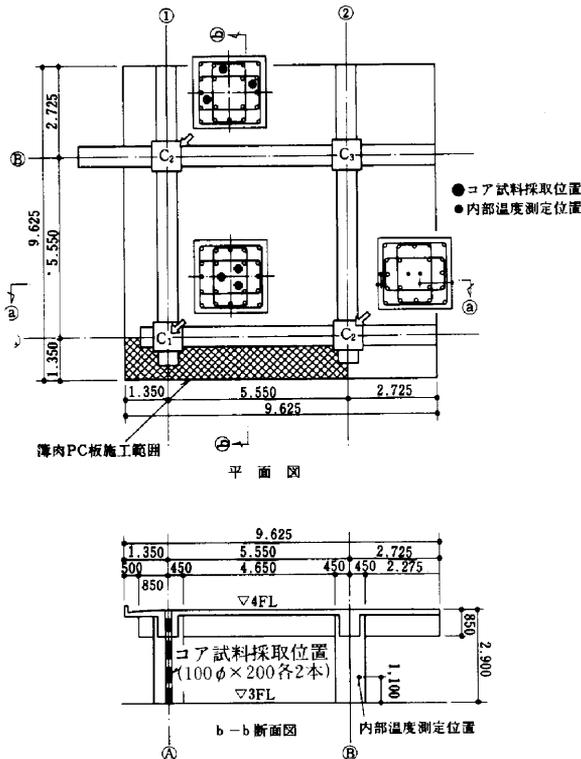


Fig.5 試験体

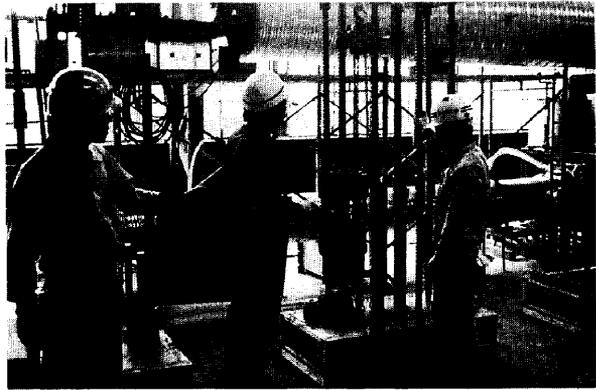


Photo 2 継手試験 (柱、スクイズ式)

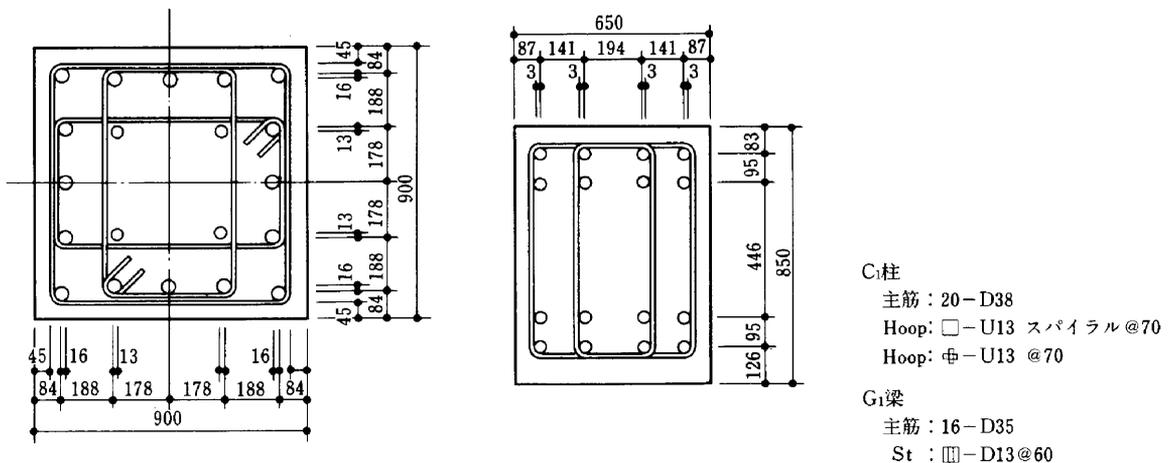


Fig.6 柱・梁配筋

2) 施工順序

分割施工とした場合の工区境における各工事の施工性についても検討するため、実験においても分割施工としている。Fig.7に実験順序を示す。

3) コンクリート工事

(a)コンクリートの調合

コンクリートの調合を決定するため、生コンプラントで水セメント比35%~47%の6種類について試験練りを実施した。調合条件として単位水量：175kg/m<sup>3</sup>以下、荷卸し時のスランプ：12±2.5cm、流動化後のスランプ：18±1.5cm、空気量：4±1%とした。Fig.8に試験練りにより得られたセメント水比と圧縮強度の関係を示す。実施調合は  $F \geq F_c + T + 2\sigma$  とし、 $F_c = 360\text{kgf/cm}^2$ 、 $T = 60\text{kgf/cm}^2$ 、 $\sigma = 35\text{kgf/cm}^2$  から  $F \geq 490\text{kgf/cm}^2$  となり水セメント比38%とした。使用骨材の性質を Table4 に、実施調合を Table5 に示す。

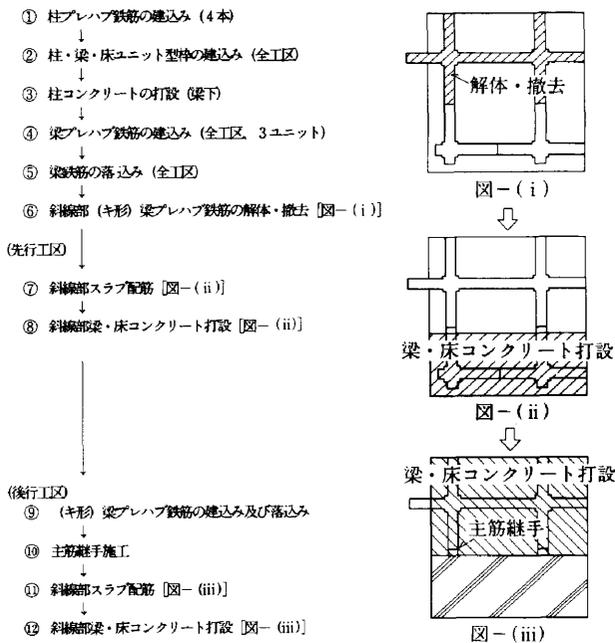


Fig.7 実験順序

Table 5 コンクリートの調合

コンクリートの調合							フレッシュコンクリートの性質			
W/C (%)	S/a (%)	単位重量 (kg/m <sup>3</sup> )				AE減水剤 (t/m <sup>3</sup> )	高性能減水剤 (cc/c=100kg)	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)
		水	セメント	細骨材	粗骨材					
38.0	39.8	170	448	669	1044	1.57	300	14.0	3.5	16.0

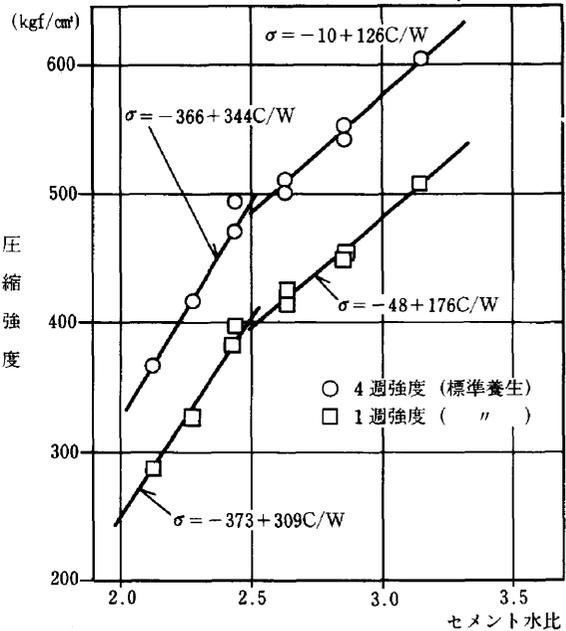


Fig.8 セメント水比と圧縮強度の関係

(b)コンクリート打設

コンクリートはVH分離打設とし、柱コンクリートは流動化しないで専用のコンクリートバケット(2m<sup>3</sup>)を使用して、梁・スラブコンクリートは流動化してポンプ車を使用して打設した。(施工システムでは夏期施工も考慮して原則的には柱コンクリートも流動化するとしている)柱コンクリートの打込み・締め方法を Fig.9 に示す。荷卸し時のフレッシュコンクリートの試験結果を Table6 に示すが、測定値は全て管理値内であった。Photo3,4 にコンクリート打設状況を示す。

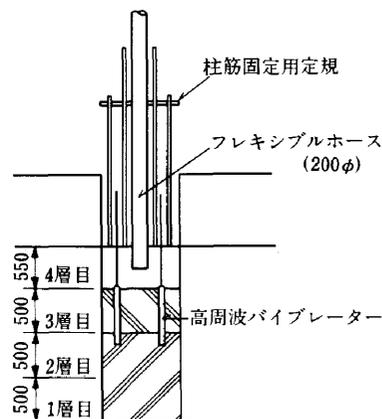


Fig.9 コンクリートの打込み・締め方法

Table 4 使用骨材の性質

	産地	最大寸法 (mm)	絶乾比重	吸水率 (%)	実績率 (%)	粗粒率
細骨材	木更津+小田原 (山砂)	5	2.53	2.12	64.0	2.94
粗骨材	小田原 (山砂利)	25	2.64	1.08	62.5	6.91

Table 6 フレッシュコンクリート試験結果

試験項目	打設場所 柱	梁・スラブ	
		ベ ー ス コ ン ク リ ー ト	流 動 化 コ ン ク リ ー ト
スランプ (cm)	11.0	10.5	18.0
空気量 (%)	3.6	3.7	3.5
コンクリート温度 (°C)	16.0	15.0	15.0

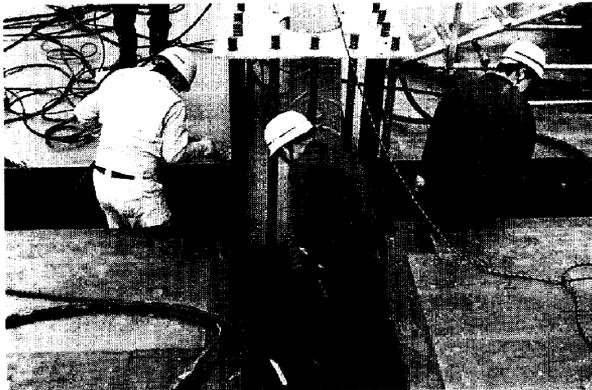


Photo 3 柱コンクリート打設

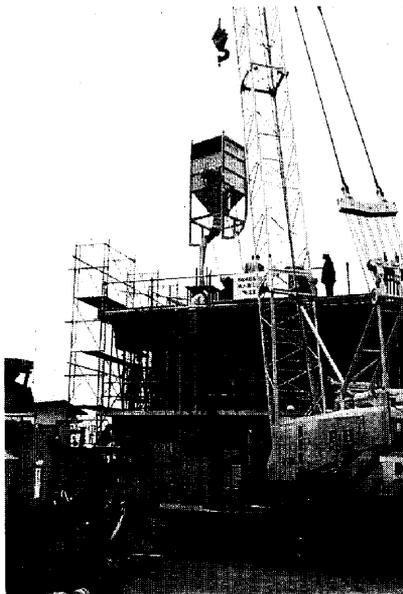


Photo 4 柱コンクリート打設

(c)構造体コンクリート

構造体コンクリートについてはコアボーリングにより採取した試料を用いての強度試験及び内部温度の測定を実施した。試験試料の採取位置及び温度測定位置を Fig. 5 の試験体図に示す。コアボーリング試料の目視観察では有害な空隙も認められず、骨材の分布もほぼ一様の良好なコンクリートであった。また、パネルゾーンの梁主筋廻りでもブリージング、コンクリートの沈降等による

鉄筋下部での空隙は認められなかったのをはじめ、全体的に充填度は良好であった。

コア試料は打設後3週で採取し、水中養生後材令28日で圧縮強度試験を行った。Fig.10 に試験により得られたコア試料(柱)の4週圧縮強度及び密度の分布と設計基準強度、現場水中養生供試体の4週強度、標準養生供試体の4週強度を示す。柱のコア強度は柱中心より下では下部ほど大きく、上部では変動が小さくなっている。

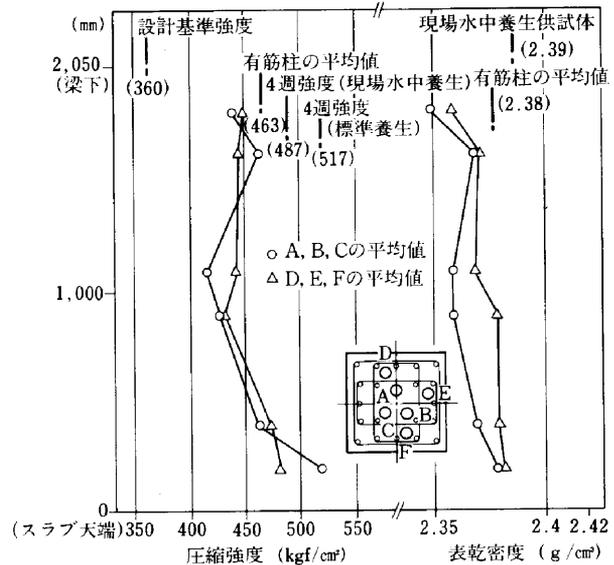


Fig.10 コア供試体(柱)の圧縮強度及び密度

その値は設計基準強度を上回り、全体の平均値は現場水中養生供試体の4週強度の95%程度となっている。コアボーリングによる強度低下を考慮すると構造体コンクリートの強度については現場水中養生供試体によって管理できるものと思われる。Fig.11 に実験より得られた現場水中養生供試体と標準養生供試体の強度と積算温度の関係を示す。これから高強度コンクリートについても積算温度を管理することにより現場水中養生供試体の初期材令強度から長期材令強度を推定することが可能であるといえる。以上、本施工システムに従い施工した構造体コンクリートは充填度、強度とも要求品質を満たすものであった。

Fig.12 にコンクリートの内部温度履歴を示す。柱中心では打設後24時間で温度上昇は最大となり、上昇温度は約30°Cであった。その後、材令7日程度で安定状態となっている。型枠脱型後に目視観察した結果では有害なクラック等は見られなかった。スラブ表面の温度はシート養生により外気温が0°C以下となっても5°C程度となっている。養生方法を検討することで初期凍害に対する防止策を講ずることができるとと思われる。

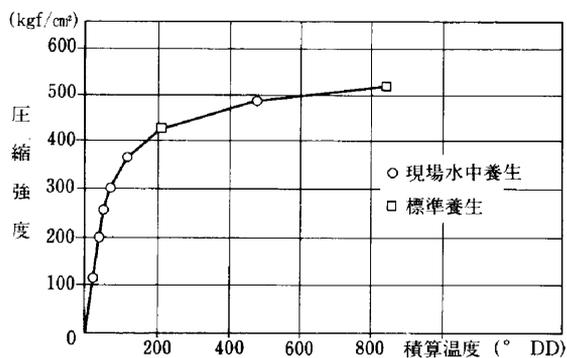


Fig.11 積算温度と圧縮強度の関係

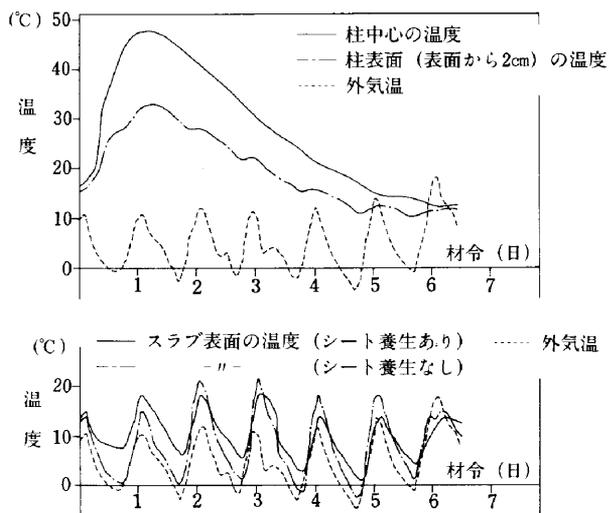


Fig.12 コンクリートの内部温度履歴

(d) 躯体精度

型枠脱型後、躯体精度を測定した。各測定結果は管理基準値を満足するものであった。Fig.13 に測定結果の一例を示す。

4) 鉄筋および型枠工事

Photo 5~9 に鉄筋および型枠工事の作業状況を示す。各作業段階における施工精度を測定したがその結果は管理基準を満足するものであった。Fig.14 に測定結果の一例を示す。

§ 4. おわりに

以上本研究により超高層鉄筋コンクリート造において、高品質・高精度の躯体を施工する施工システムの基礎技術を確立することができた。

本システムの開発に際し、超高層鉄筋コンクリート造では在来鉄筋コンクリート造にも増して設計の初期段階から施工も交えた検討を行い、施工法を反映させた設計としなければ所定品質の確保が困難であると強く感じた。

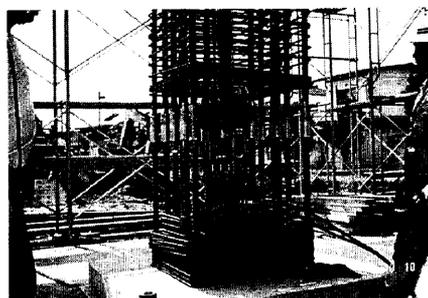


Photo 5 柱主筋継手施工(スクイズ式継手)

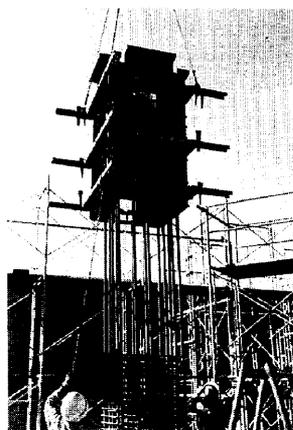


Photo 6 柱ユニット型枠建込み



Photo 7 梁・スラブユニット型枠建込み

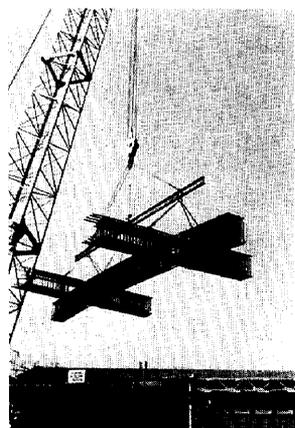


Photo 8 梁プレハブ鉄筋揚重

