

RC造高層ダクタイルフレームの開発と施工時の品質管理

鹿島建設株式会社

武藤 清 津川 恒久
二階 盛 金子 宏
○亀田 泰弘

§ 1. 序

1963年の建築基準法改訂以来、高さ31Mを越える高層建物が建設されるようになったが、これらの高層部の構造方式は純鉄骨造と鉄骨鉄筋コンクリート造によるものが殆んどであり、45 mを超える建築物に対して、純鉄筋コンクリート造を本格的に使用した例はなかった。また東京都の高層鉄筋コンクリート建築物指導指針によれば、高さ20mかつ7階を超えるものには原則として認められないことになっている。

一方諸外国においては米国の70階建の Lake Point Tower を始め、50階建の Shell Plaza Building 等数多く建設されており、RC工法は工期的にもコスト的にも純鉄骨造に較べ、優るとも劣らないことが報告されている。

筆者等は純鉄筋コンクリート造による高層建築物の経済的なメリットにいち早く注目し、1969年以来その実現のための次の2つの課題に対して基礎的な開発研究を行ってきた。

即ち、「鉄筋コンクリート部材の耐震性改良方法」および「施工の合理化を可能にする構法」を中心に研究を進めた。これ等の開発研究の成果にもとずき、具体的に18階建のビル「鹿島建設椎名町アパート」を建築基準法第38条による特認を得て試行建設し、本年1月末に所期の成果を得て竣工した。

本論文では日本における最初の純鉄筋コンクリート造高層ビルとして建設した「鹿島建設椎名町アパート」の実現を可能にした構造的開発研究の概要を述べるとともに、鉄筋コンクリート工事の新しい施工の考え方および実施結果について報告する。

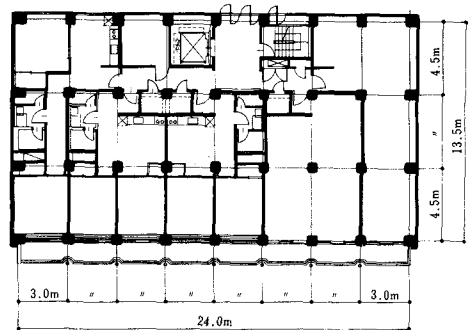


図 1. 椎名町アパート平面図

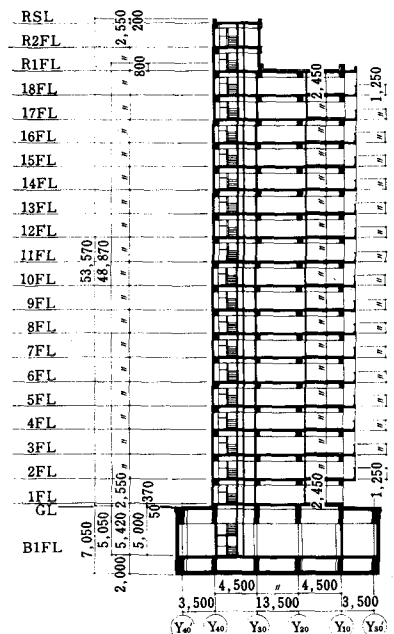


図 2. 椎名町アパート断面図

§ 2. R C 構造の耐震安全性の検討, 改良

1) 柱の耐震的配筋工法開発

十勝沖地震, サンフェルナンド地震等過去の震害および国内・外の既往の鉄筋コンクリート柱の実験等を調査研究した結果, 多数回の繰返し変形に対し, 柱の耐震性を向上させるためには帯筋形式の根本的改良が必要であるという見解に立ち, 図-3 に示すように軸鉄筋およびコアコンクリートを有効に拘束できるもちあみ式, らせん式の方が我国の慣用のたが式より耐震的であると予測し, まずこれらの比較実験を行った。

実験の結果図-4 に示すようにもちあみ式, らせん式は塑性域における繰返し変型による復元力低下防止に対し, 帯筋量による補強効果は著しく, らせん式の場合には帯筋比 $P_w = 0.6\%$ 程度で十分であった。

この実験結果を分析し, 更に施工性等を勘案していくつかの新しい配筋方法を考案し, これらについて実験によって特性を調べた結果, らせん式とたが式を組合せた K S 式の優れていることが判明した。

2) 梁主筋の定着法

水平部材と垂直部材のコンクリートを分割打設することを基本方針としたため, 従来の柱内アンカー方式が使用できず, 新たに上下主筋を U 型に連続させた U 型定着工法等を開発し, その実用化のための実験を行なった。実験結果は部材角 $R = 15 \times 10^{-3} \text{ rad}$ の正負繰返し 10 回に対する復元力の低下は 14 % 程度であり, $R = 50 \times 10^{-3} \text{ rad}$ の大変形時においても最大耐力は維持され, 破壊性状は接合部の典型的な曲げ破壊型であって, はり主筋の抜け出し等は在来定着法よりむしろ小さかった。

3) その他の開発実験および実施設計にともなう確認実験

この他の R C 造高層ビル開発に伴う開発実験, 確認実験は以下のとおりである。

- ① 太径鉄筋の継手実験
- ② 柱・梁接合部の補強方法の実験

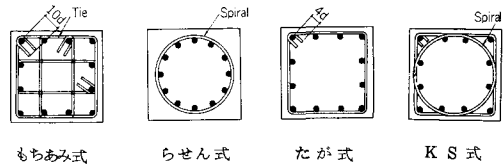


図 3 柱の帯筋配筋型式

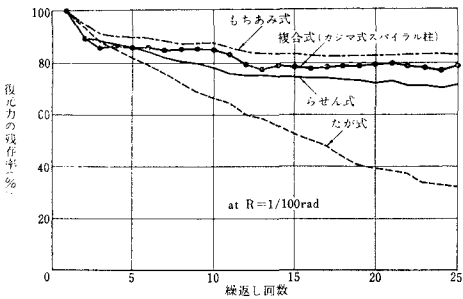


図 4 各帯筋形式の耐力低下防止効果

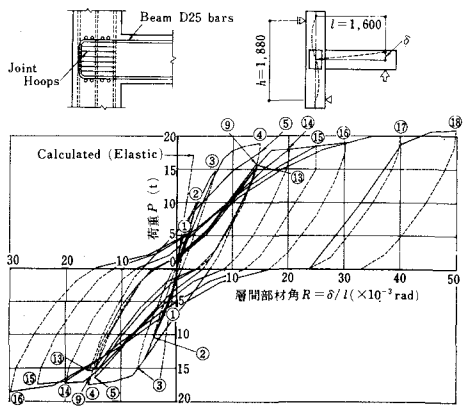


図 5 U 型定着法とその荷重・変形曲線

- ③ PS 力を導入した引張力を受ける柱部材実験
- ④ 内柱の確認実験
- ⑤ 外柱の “
- ⑥ 中柱骨組の “

4) 構造設計の考え方

構造設計に関しては図-6に示す設計プロセスに従い、まず建築基準法施工令改訂案(1969年7月)によって、ベースシャー係数とその分布を仮定して第1次設計をスタートした。各部材断面はこの外力に対し、部材の曲げ・せん断・軸変形を考慮した電算プログラムによって弾性応力解析を行ない、所要の配筋量を決定した。この断面設計にあたっては、基本的には学会規準その他に準拠したが、強度と共に塑性域での靱性の確保に重点が置かれている。この第1次設計案は、引続き各種の実験的検討を行なうと共に、電算機による弾塑性地震応答解析を行なってフィードバックし、改良案を導くための試案であって、幾度かの設計変更のあと最終設計に到っている。

最終設計断面の設計にあたってはせん断耐力が常に曲げ耐力を上廻るように配筋量を定め、部材が万一破壊する場合には曲げ破壊機構をとることを原則とした。また架構の最終耐力も梁の降伏によって決定することを意図した。

5) 耐震解析

鉄筋コンクリート造建物の地震時の応答性状はその入力地震動の大小によって応力と変形が複雑に変化する。これはコンクリートのひび割れ、鉄筋の降伏などの材料の変化とともに鉄筋コンクリートという複合部材の機構が繰返しによって変化するもので、その場合の剛性変化、載荷能の変化を構造実験の結果をもとにした解析モデルにより地震応答解析を行ない、それを以下の判定基準と照合して設計にフィードバックした。

耐震判定基準

- クラスⅠ：強震時(100gal程度の地震)において建物の構造架構は全く被害がない。
- クラスⅡ：裂震時(300gal程度の地震)においてひび割れは発生するが降伏しない。
- クラスⅢ：激震時(500gal程度の地震)においても架構の一部に降伏が生じても、崩壊しない。

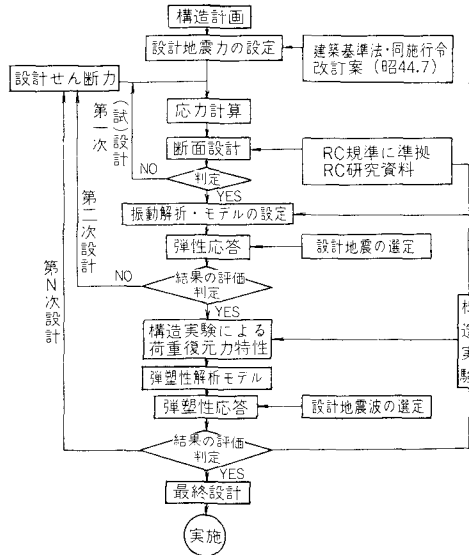


図6 設計手順

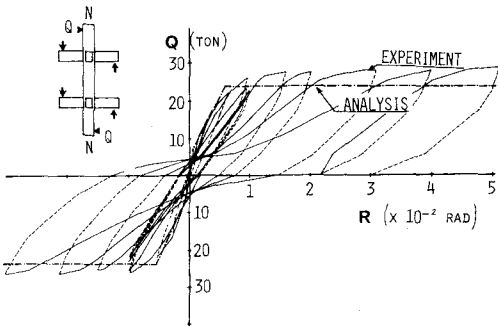


図7 中性骨組の剛性と耐力(実験値と解析値)

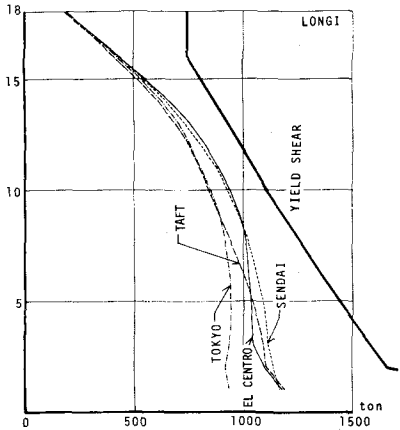


図8 応答最大値(層せん断力) 300gal

§ 3 R C 高層化工法の基本的な考え方

R C 造の施工は一般に煩雑で工期がかかるといわれ、従来の R C 工法で高層化をはかるには施工管理上次のような問題がある。

- ① 型枠材等の材料の種類および数量が多く、高層階で散逸した場合の安全管理が困難である。また作業が分散し、統一性を欠き、安全管理のチェックポイントがおきにくい。
- ② 1 サイクルの作業に各職種が錯綜し、明確な工程が立てにくく、複雑となる。
- ③ 品質管理が不十分となり、しかも判定が困難な工法が多い。
- ④ 近年各職種ともその数および質が低下している現状からできる限り作業の省力化をはかり、高品質を維持しなければならない。

これらの問題点を解決するために以下に述べるような施工に対する基本的な考え方をまとめ、これに沿って施工計画の細部を煮つめていった。その主な事項は以下のとおりである。

1) 柱鉄筋・梁鉄筋のプレハブ化

現場での組立作業がない日は地上でプレハブ鉄筋の組立作業を行ない、品質の安定化を図るとともに、一定作業員で連続繰返し作業を行なうことにより平準化された工程計画とした。

2) K S 配筋法の開発・スパイラル加工機の開発

耐震的に優れた K S 配筋法を作るに当ってスパイラル加工機を開発し、作業能率向上、配筋精度の向上をはかった。

3) 太径鉄筋の採用、カドウェルド工法の実用化

全階の配筋形式を統一するため、下層階では太径鉄筋 (D・38, D・35, D・32) を採用した結果、配筋が単純化し、剛性が高く精度の良いプレハブ鉄筋が可能となった。

太径鉄筋のジョイント工法として施工上高度の技術を必要とせず、しかも品質が確実なカドウェルド工法を実用化し試験及び検査方法も新たに定めた。

4) 型枠の大型化、パネル化

型枠を大型化、パネル化することにより小物材をなくし、安全性を高めるとともに作業を単純化し省力化をはかった。

5) 高品質コンクリートの採用

コンクリート材料および打設工法は近年省力化、打設能率の向上を目的とし、高スランプコンクリートをポンプ圧送するのが一般的であるが、ここでは品質に重点をおき、低スランプコンクリートをバケットで打ち、しかも水平・垂直部材を分割打設することにした。

下図は新技術・新工法と施工管理の関係を図示したものである。

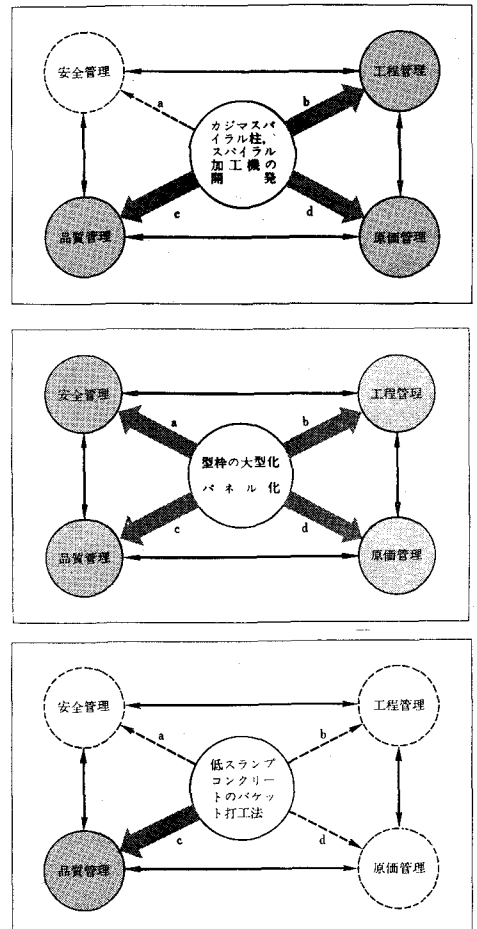


図 9 工法の開発と現場管理の関連

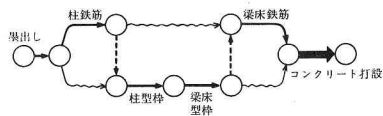
§ 4 新しい R C 工法の工程

従来一般に行なわれているように多職種が入り乱れた施工法をとる限り、R C 工法で高層化を図ることは不適当な面が多かったが、反面躯体工事が 1 フロア毎に完結していく特徴を持っている R C 工法は 1 サイクルを $8 \frac{\text{日}}{\text{F}}$ のピッチで確実に施工できるならば、30 階程度以下の建物の場合、むしろ鉄骨造等より工程的にも好ましいことになる。本工事では 1 サイクルの標準工程を 7 日で実施し、R C 工法が工程的にも十分メリットがあることを実証した。

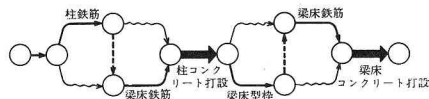
R C 工法のサイクル工程のモデルは、我国では図・10 の a に示すように、柱、はり床の鉄筋・型枠工事がすべて終了した段階で、一度に 1 フロア分のコンクリートを打設する工法が一般にとられているが、欧米では水平・垂直部材を分割して打設している。本工事では分割打設工法の品質上のメリットに注目し、さらに作業の安全性に重点をおいて c. に示すように床型枠を柱コンクリート打設前に盛かえた。

躯体 1 サイクル工程の所要日数決定の主要因はクレーンの稼働と各職種の所要人員数であるが、クレーンはジブクレーン 1 基を有効に働かせ、また各職を平準化した適正人数とすることにより 7 日を標準工程として実施することができた。

a. 在来鉄筋コンクリート工法



b. 梁床の型枠配筋の前に柱コンクリートを打設する工法



c. 柱コンクリート打設の前に梁床型枠工を行い、コンクリート打設時の足場とする工法

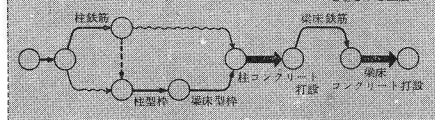
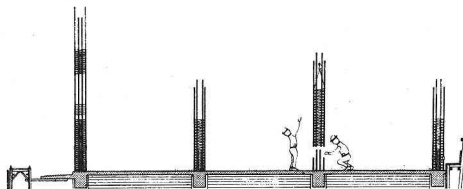
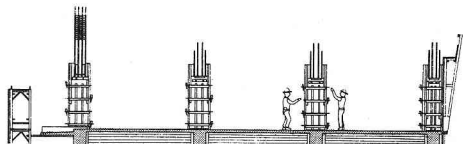


図 10 鉄筋コンクリート工法のサイクル工程モデル

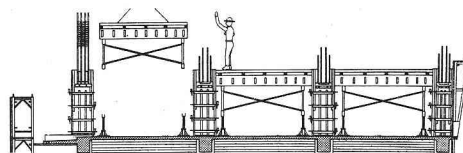
1. 柱筋建込み



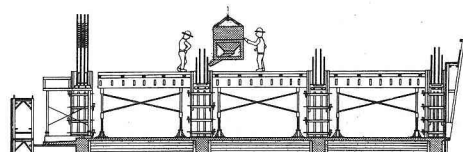
2. 柱型枠建込み
外周部大型型枠盛替え
バルコニー側枠組足場延長



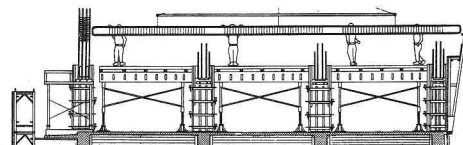
3. カジマトラスショア設置
バルコニー床型枠設置



4. 柱コンクリート打設



5. 梁配筋
桁行方向梁下端筋
梁間方向アレアハ筋
桁行方向梁上端筋



6. 梁・床配筋完了
コンクリート打設

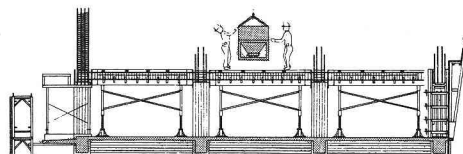


図 11 躯体 1 サイクル工程と作業順序図

§ 5 鉄筋のプレハブ化

鉄筋工事は最終的にコンクリート打設によって隠れてしまうので、それだけに工事中、品質ならびに精度管理を十分に行なわなければならない。このため、鉄筋の組立てを出来るかぎりプレハブ化し、従来の鉄筋工事に見られたような精度の粗雑さを排除し、品質の向上をはかるとともに、施工の合理化により、大巾な省力化を可能とした。

1) 柱鉄筋のプレハブ化

柱筋は1フロア36本あるが、外周部の柱筋は2層分を1本とし、これを各階1本おきに配置したため、27本/Fを各階組立てた。プレハブ筋は地上で縦位置で組立て、そのまま吊上げ取付けることにし、建起し時の変形防止、組立場の縮少、組立作業の合理化をはかった。プレハブ柱筋組立てには平面形状を保持するための治具、フープピッチの精度を確保するための治具等を使用し、品質確保に努めた。

プレハブ筋の吊込に要する時間は柱1本当たり12～13分であり、5～6時間で1フロアの柱筋を建込んだ。

2) はり鉄筋のプレハブ化

はり筋は、はり間方向を長さ14mのプレハブ筋とし、桁行方向は現場組みとした。両方向ともプレハブ化しなかった理由は①はり筋のジョイント個所数が2～3割増える、②柱のプレハブ筋を全て1層分毎に分割しなければならず、組立手間、接合個所数、取付手間が増大するためのデメリットの方が大きいと判断したためである。上下主筋を連続させたU型定着工法を採用したことにより、プレハブ筋の剛性が高くなり、精度向上になった。

はり筋の建込みは4本の柱、計48本の鉄筋をかわして落込むことになるが、主筋の精度を確保することにより、10分/本となり9本/Fが約1時間半で完了した。

鉄筋工事全体の人工比率および歩掛りを分析した結果、現場での建込作業が約40%で、高いプレハブ化率を達成しており、今後接合作業の省力化をも併せ検討し、更に合理化をはかりたい。

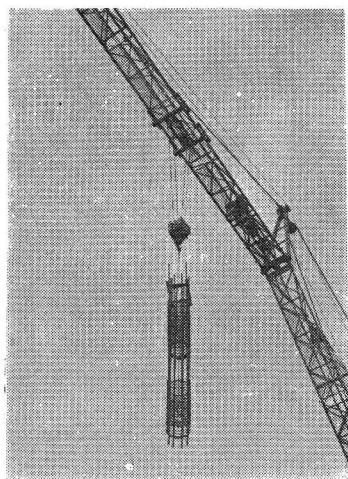


写真 1. 柱鉄筋吊込み

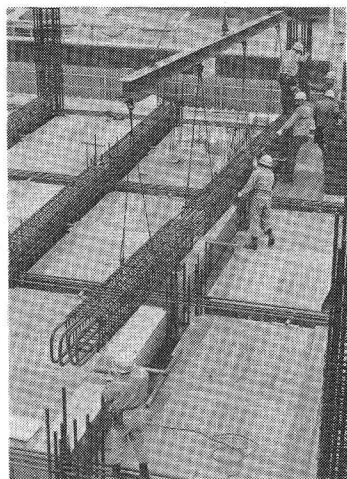


写真 2. はり鉄筋吊込み

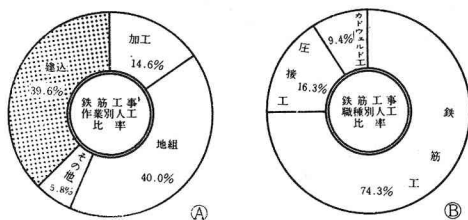


図 12 鉄筋工事人工比率

§ 6 型枠の大型化

型わく工事は軀体仕上り精度に影響が大きいので精度確保が施工の要点である。また現場の主職のうちで最も多くの人工を要し、作業改善の遅れている工種であり、在来工法を根本的に考え直し、作業能率の向上を意図した工法の開発が必要であったが、はり内蔵大型床型枠等の工法を採用することによって予期以上の成果が得られた。

1) はり内蔵大型型枠 (KTS) 工法概要

KTS 型枠とは写真に示すように 2 枚の大きな鋼製トラスの上に床とはり型枠を一体に組込んだもので 1 階当り 6 台設置するだけであらましの型枠作業が完了する。型枠の大きさは $12\text{m} \times 3.4\text{m}$ で重量は約 3.5t であり、2 層分計 12 台準備した。

2) KTS 型枠の脱型転用

コンクリートが所定の強度 (建築基準法第 38 条による特認を得て計算により求めた値) になったことを確認し、脱型した後図 14 に示すような方式により上階へ盛かえた。盛かえ仮置ききの所要時間は約 30分/台 で 3 時間/F、即ち半日かからずに約 350m^2 の床およびはり型枠がセットされた。

はり型枠が固定されているため仮置後、特殊治具で微調整を行ない、正規の位置に固定した。

3) KTS 型枠と型枠全体の精度

KTS 型枠は大型で重量があるのでこれを柱型枠、柱筋等の精度維持のための固定点として利用した。

柱軀体精度の測定結果は図 13 に示すとおりであり、現在改訂中の JASS5 の甲種仕様を満足しうる結果が得られた。

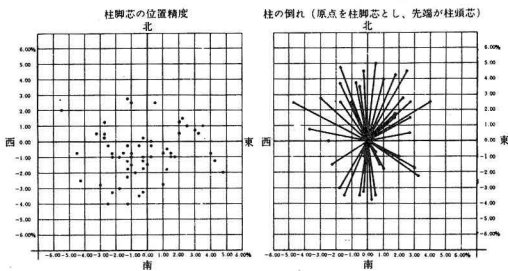
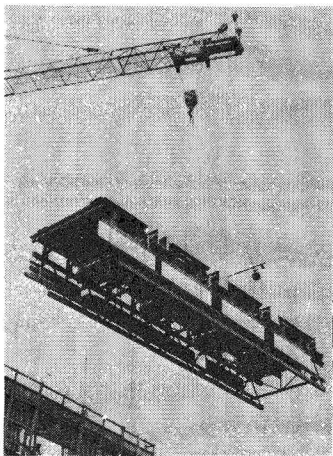


図 13 柱部材精度



写 真 はり内蔵大型床型枠

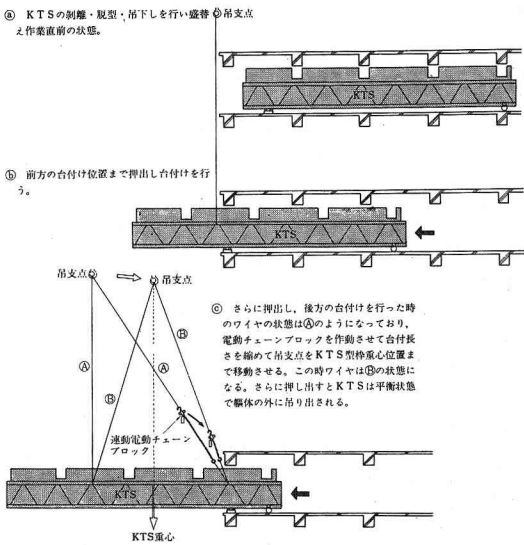


図 14 はり内蔵大型床型枠盛変え順序

§ 7 高強度コンクリートの品質管理

R C造による高層ビルでは構造躯体の設計断面をできるだけ小さくし、さらに型枠の在置期間を短くし、早期脱型をはかる必要がある。そのため高品質、高強度の材料を用いることが必要となり、若材令で強度発現の大きい高強度コンクリートを使用している。

1) 調合設計 (図15)

調合強度は工程表に基づいたコンクリート打設後の養生条件を考慮し、脱型時および材令28日の所要強度を満足するように水セメント比を定めた。

2) 打設管理 (図16)

コンクリートは練混ぜ後90分以内に打ち込むことを目標とした。そこで現場での待ち時間が少なくなるように現場と指令所および生コン工場が密に連絡をとり、打設管理表の管理計画線に基づいて生コン車の出荷を厳重に管理した。品質に関しては荷降し時に生コン車全車についてスランプ・空気量・単位重量・コンクリート温度を測定した。

3) 強度管理 (図17, 図18, 図19)

強度試験は①型枠脱型時の強度確認、②構造躯体の強度確認、③生コンの品質管理を行なった。その管理の方法と試験結果は図 17、18 の通りである。

コンクリート種 類	設計基準強度 (kg/cm ²)	打込み部位	打込み時期	水セメント比 W/C (%)	練拌材料 S/A (%)	単位重量 W (kg/m ³)	重 量 (kg/m ³)			混 和 剤 (名 称) (kg/m ³)
							ヒンズル C	面材 S	粗骨材料 G	
C240	240	杭	47年12月	51	39.5	163	320	728	1,127	3.20 (ボゾリスNo.5L)
	240	地卜1階	2月~3月	51	38.8	158	310	723	1,154	3.10 (ボゾリスNo.5L)
C300	300	1階床・梁 6階床・柱	4月~6月	46	37.7	159	346	692	1,154	3.46 (ボゾリスNo.5L)
LC240 ⁽¹⁾	240	6階床・柱 10階床・梁	6月~7月	52	46.0	182	350	815	568	0.088 (ヒンズール)
	210	10階床・柱 14階床・梁	7月~8月	54	47.0	185	343	830	557	0.086 (ヒンズール)
LC210 ⁽¹⁾	210	14階床・柱 R階床・梁	9月~10月	54	47.0	182	337	836	562	0.084 (ヒンズール)

注 1) 粗骨材はピルトン
2) ポゾリスNo. 5Lはセメント量の0.25%使用
3) ビンゾールはセメント量の0.023%使用

図 15 コンクリート調合表

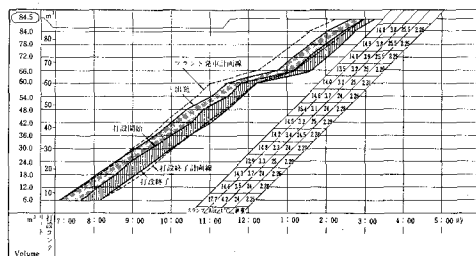


図 16 コンクリート打設管理表

打設部位	記号	柱型枠除去時	大型型枠除去時	直上階コンクリート打設時	構造体の強度
B1柱様より下部	C240	建築基準法およびJASS 5に基づく			
1 F L ~ 6 F L	C300	50	150	160	300
6 F 柱 ~ 10 F L	LC240	50	120	130	240
10 F 柱 ~ R F L	LC210	50	105	115	210
判 定 式	—	$\bar{x} \geq 50$	$\bar{x} - s_x \geq F_{\alpha}'$	$\bar{x} - S_x \geq F_{\alpha}'$	$\bar{x} - 1.32 S_x \geq F_{\alpha}$
検 査 特 性	—	$N=3$	$N=3, \quad P_{\alpha}=2.3\%, \quad P=40\%$ $\alpha=0.05 \quad \beta=0.10$	$P_{\alpha}=2.3\%$ $P_{\beta}=21.2\%$ $\alpha=0.05$ $\beta=0.10$	$N=6,$

注) $\bar{x}$: 生コン車 3 車より採取した試
験体のコンクリート圧縮強度
の平均値 (kg/cm^2)
 S_x : 不偏分散の平方根
 F'_t : 各材料における所要強度
(kg/cm^2)
 N : 試験回数
 P_0 : 合格ロットの不良率
 P_t : 不合格ロットの不良率
 α : 施工者側の危険率
 β : 施工側の危険率
構造体の強度確認の判定には柱・お
よび床・梁コンクリートの圧縮強度
を代表とする。

図 17 コンクリートの所要強度と判定方法

コンクリートの種類	コンクリート強度 kg/cm^2						ス ラ ン プ	
	28日強度(戸外水中養生)			28日強度(標準養生)			平均値 cm	標準偏差 cm
	平均値	標準偏差	変動係数 %	平均値	標準偏差	変動係数 %		
C300	346	17.4	5	362	16.9	4.7	14.4	0.9
LC240	276	18.5	6.7	297	20.0	6.7	14.1	1.1

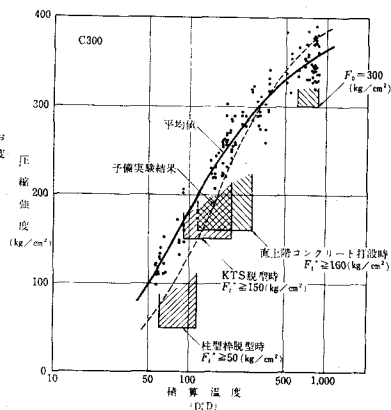


図 19 圧縮強度と積算温度の関係

図 18 試験結果の一部