

中間層免震工法による超高層RC建物の施工

河口俊郎* 佐々木達朗* 荒俣 稔* 佐々川浩文*

本建物は 26 階建て超高層鉄筋コンクリート造建物の中間階（2 階と 3 階の間）に免震ピットを設けた免震工法である。免震装置の基礎には高流動コンクリートを適用した。コンクリートが、振動機（バイブレーター）を使わずに、自己充填性でベースプレート面に隙間無く、かつ気泡も少なく確実に充填されたかどうかは実施工では確認できないため、事前に実物大の施工実験を行い、確実に充填するための施工要領を確立した。

免震装置セット後の基礎、梁、柱の躯体精度を確保し、工期短縮のため、上部基礎下部をベースプレートと共にプレキャスト化(PCa 化)した。3 階立上りより柱、梁、スラブ、バルコニー(廊下)、および雑壁(腰壁、マリオン)を PCa 化し、工期短縮、高品質の確保、作業の平準化を実現した。

キーワード：超高層 RC 建物 中間層免震工法、プレキャスト(PCa)コンクリート、高流動コンクリート

1. はじめに

当建物は、JR 横須賀線東戸塚駅西口駅前に計画された 26 階建て鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造）超高層建物である。1、2 階が住宅と事務所のエントランス及び店舗、3 階がクリニック、4 階から 9 階が事務所、10 階から 26 階が共同住宅となっている。高層部直下の 2 階と 3 階の間に免震ピット階を設けた中間層免震工法を採用している。

免震装置の基礎は、今までは、高流動コンクリートに膨張剤を加え、コンクリート硬化時の収縮を極力押える工法を採用することが多かった。しかし、大臣認定品の高流動（高強度）コンクリートに認定指定以外の混和剤を加えると大臣認定対象外との判断があり、高流動コンクリートに膨張剤を入れないことにした。したがって、試験練りの際に硬化時の沈下が小さいことを確認し、施工においてベースプレート下面に隙間、気泡等が無く、確実に充填される事が確認できないことから、事前に施工実験を行い、確実な充填を行う施工手順を確立した。

免震装置セット後、階高の低い中、その上に上部基礎、3 階梁そして柱を施工する。在来工法では免震装置廻り等の施工に時間がかかり、精度が確保しにくい。そこで、上部基礎下部を免震装置の上部ベースプレートと共に PCa 化し、現場内で製作することにした。

本報告では、免震ピット階の施工を中心に報告する。

2. 建物概要

建物概要を以下に示す。住宅階伏図を Fig.1 に、軸組図を Fig.2 に、外観写真を Photo.1 に示す。

工事名称：(仮称) 東戸塚西口駅前タワー新築工事
事業主：藤和不動産株式会社

設計監理：株式会社類設計室一級建築士事務所

施 工：株式会社熊谷組首都圏支店

建設場所：神奈川県横浜市戸塚区川上町 91-1

用 途：共同住宅（187 戸）、事務所、店舗

構造規模：地上 26 階地下 1 階塔屋 2 階

敷地面積：8,422.59 m²（駐車場棟を含む）

延べ床面積：34,069.67m²(本体棟のみ)

工 期：平成 19 年 1 月 29 日～平成 21 年 3 月 27 日
(26 ヶ月)

最高高さ：設計 GL+106.6m

構造形式：鉄筋コンクリート造ラーメン構造、一部鉄骨造

免震装置：弾性すべり支承、天然ゴム系積層ゴム支承、積層ゴム一体型免震 U 型ダンパー



Photo. 1 外観写真

* 首都圏支店 東戸塚西口駅前タワー作業所

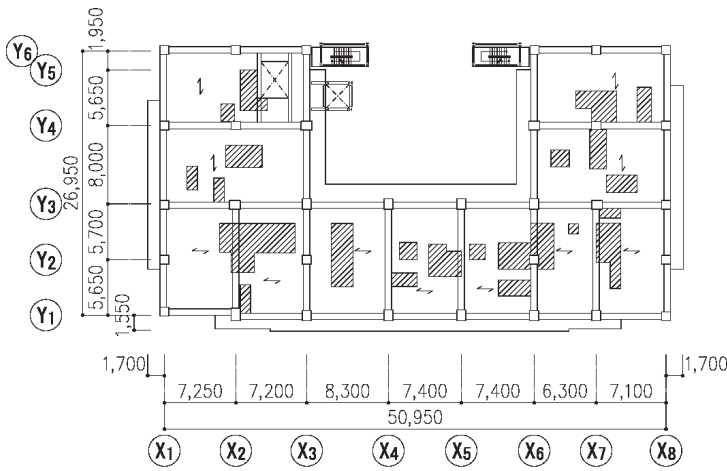


Fig. 1 住宅階伏図

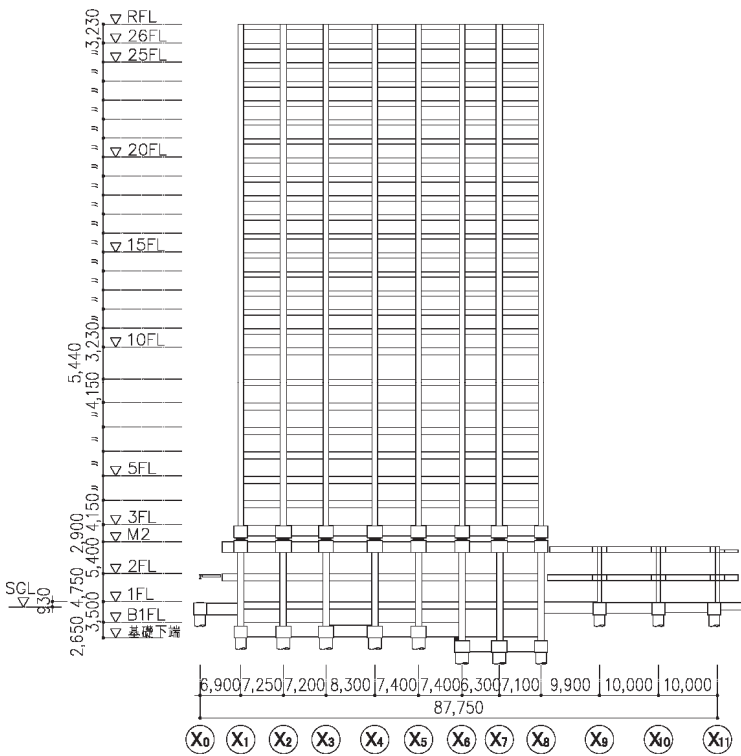


Fig. 2 軸組図

3. 構造概要

3.1 構造計画

当建物は地上 26 階地下 1 階の鉄筋コンクリート造ラーメン構造で、3 階以上は X 方向 7 スパン、Y 方向 4 スパンで構成されたコの字型平面の高層建物である。

杭は現場打ち拡底アースドリル杭（一部拡底でないものを含む）67 本で軸部径が 1600~2000、拡底径が 2000~3600 である。高層部を除く低層部が地上 2 階建の鉄骨造となっている。PCa 工法は 3 階立上りから適用し、柱とバルコニーはフル PC、梁、スラブ、廊下はハーフ PC とした。2 階と 3 階との間が免震ピット階となっている。基準階の事務所階（4 階から 9 階）と住宅階（10 階から 26 階）では平面形状が若干異なり、階高は事務所階が

4150、住宅階が 3230 である。

3.2 使用コンクリート・鉄筋

使用したコンクリートの設計基準強度 (Fc) は、杭が Fc33、柱が Fc60、54、48、42、36、梁、スラブ、基礎が Fc36 となっている。鉄筋は、柱および梁主筋が D41 (SD490) ~ D29 (SD390) で、フープは D13 (SD295A)、スターラップは D13 (USD785, SD295A)・D10 (USD785) を使用した。

3.3 免震装置

3.3.1 弾性すべり支承

弾性すべり支承は天然積層ゴムにすべり材を取り付けた滑り天然ゴム型免震装置である。この弾性滑り支承は、小振幅時には積層ゴムのせん断変形により、通常の積層ゴムと同じ免震効果を示し、大振幅時は滑り材によりすべりを起こし大型の免震装置と同様の大変形性能を発揮する。免震装置本体の大きさは 800×800 が 2 基、900×900 が 2 基、1000×1000 が 4 基、1100×1100 が 4 基の計 12 基である。(Photo.2 参照)

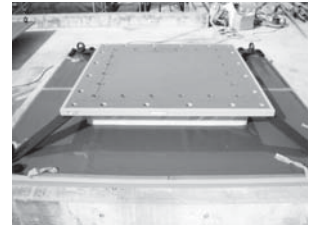


Photo. 2 弾性すべり支承

3.3.2 天然ゴム系積層ゴム支承

天然ゴム系積層ゴム支承は建物の荷重を支持し、地震時には水平方向に変形することで、建物への地震力を軽減する。構造はゴムと中間鋼板を相互に積層し、連結鋼板でサンドイッチし加硫成型されている。ゴム材料は低せん断弾性係数かつ高耐久性の天然ゴムを使用している。また、中間鋼板の露出外周面に保護ゴムを装着しているため耐候性、耐オゾン性、防湿性がある。大きさは、φ800 が 2 基、φ1000 が 4 基、φ1200 が 2 基の 8 基である。内建物の四隅の 4 基はアンカーボルトおよび IBT ワッシャー付きの仕様となっている。(Photo.3, Photo.4 参照)

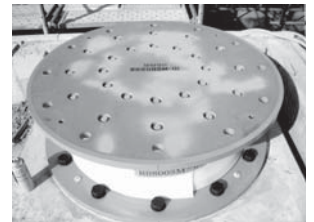


Photo. 3 天然ゴム系積層ゴム支承

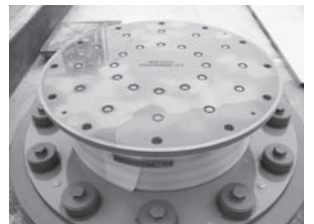


Photo. 4 天然ゴム系積層ゴム支承 (アンカーボルト, IBTワッシャー付き)

3.3.3 積層ゴム一体型免震 U 型ダンパー

天然ゴム系積層ゴム支承に免震 U 型ダンパーを一体化させた積層ゴム一体型免震 U 型ダンパーは、地震時に安

定した復元力特性で地震エネルギーを吸収し揺れを低減する。また、温度や振動数の依存性も少なく、繰り返しに対する疲労特性にも優れている。

また、免震U型ダンパーは360度すべての方向に対し、ほぼ同等の履歴特性を示す。

大きさはφ1100でU型ダンパー8個が8基、φ1200でU型ダンパー8個が4基、大きさはφ1100でU型ダンパー4個が2基、φ1200でU型ダンパー4個が2基の4種類16基である。(Photo.5 参照)

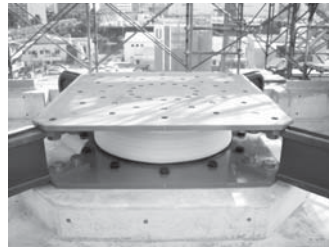


Photo. 5 積層ゴム一体型免震U型ダンパー

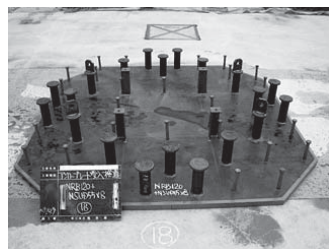


Photo. 6 上部ベースプレート

3.3.4 ベースプレート

以上3種類の免震装置が有効に機能するためには免震装置の上下の躯体と一体に挙動する必要がある。そのために、免震装置の上下にベースプレートがあり、ベースプレートの基礎コンクリート面にスタッドボルトおよび袋ナットがつけられ、かつ建物の四隅の引張り力を許容する免震装置(天然ゴム系積層ゴム支承)には更にアンカーボルトおよびIBTワッシャーをつけている。IBTワッシャーは、地震時に生じる柱の引張力により免震装置に引張力が働くのを防ぐための装置である。

大きな圧縮力が働くベースプレート裏にはコンクリートが隙間無く密実に充填されていなければならない。特に下部ベースプレートには、その下の充填性を確実にを行うために、高流動コンクリートを用いた。事前に実物大の施工実験を行い、ベースプレート下の充填状況を確認、そこに出来た気泡から充填率を計算し、基準値内であることを確認した。施工方法は、施工実験を通して確認した要領に従った。

下部ベースプレートには、中央にコンクリート投入孔(φ200)と、そして全体に空気抜き穴(φ30)を設け、柱主筋受け架台を取り付けた。

また、製造中に各免震装置の製造メーカーよりボルト穴位置のテンプレートをベースプレートの製造工場に送り、ボルト穴位置等の確認を行った。(Photo.6 参照)

4. 免震基礎高流動コンクリート

4.1 高流動コンクリートの試験練り

高流動コンクリートは実績があり、現場にも近いK生コン工場を採用した。高流動コンクリートに要求される性能は以下の通りである。

- ・設計基準強度 F_c : 60N/mm²
- ・スランプフロー : 65cm
- ・ブリージング量 : 0.1cm³/cm²以下
- ・沈下量 : 2mm以下

コンクリートは空気量を2.0%としたプラント単独大臣認定品を用い、セメントは中庸熱セメントを使用した。フレッシュコンクリート性状の継時変化を2時間まで確認し(Fig.3)、フロー値の保持性能を確認した。高流動コンクリート打設後に全面沈降により肌分けの懸念があるが、沈下量(Photo.7)は0.7mmで許容範囲内であり、ブリージング量も0.06cm³/cm²であり問題はなかった。



Photo. 7 沈下量計測

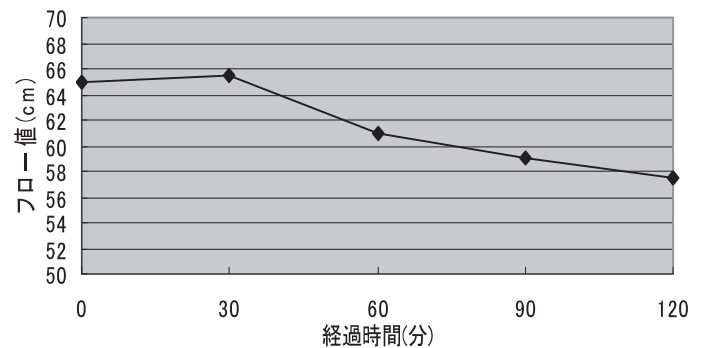


Fig. 3 フローの経時変化

4.2 高流動コンクリートの試験施工

4.2.1 試験体

試験施工は実物大で行い、免震基礎の面積が一番大きいものとした。ベースプレートはコーティングベニヤ2枚重ね、スタッドは全ねじボルトとナット、袋ナットは塩ビ管を代用した。基礎配筋は免震基礎の所定の配筋とした。(Photo.8 参照)

4.2.2 施工方法

実施工ではポンプ車で打設するが、試験施工ではコンクリートアジテータ車から直接シュートで打設した。打設要領は、熊谷組の免震下部高流動コンクリート打設の実績より、まずベースプレート下8cm程度まで打設を行い、その後コンクリート表面に膜が出来る程度(1時間~1時間30分程度)待ってから残りの2層目の打設を行った。コンクリートを落とし込む際に空気を巻き込まないように、先端を切断したカラーコーンを逆差し、その側面に沿って流し込むように行った。気泡が生じないように振動機(バイブレーター)は使用せず、自己充填による打設を行ったが、状況に応じて突き棒(栈木等)を用い、コンクリートが平面的に均一に充填されていくよう調整し、中央から外へ確実に充填されるよう、また大きな空気溜

まりが生じないように注意した。コン天はベースプレート下面より 20mm 高くした。(Photo.8 参照)



(a) 基礎配筋 (b) スタッドボルト (c) 袋ナット



(d) 打設準備完了 (e) アジテータ車からの打設

Photo. 8 試験施工状況

4.2.3 充填率の算出

ベースプレート(コーティングベニヤ)を除去し、気泡を計測する。気泡はコンクリート面に透明なビニールシートを敷き、長径で 3mm 以上の気泡をマジックで写し取る。(Photo.9 参照)

気泡は長径を対象とし、切り上げて 5mm, 10mm, 15mm, 20mm, 20mm を超えるものの径毎に集計する。そして、この数値の径の円で空隙面積を算出し、20mm を超えるものは実測値で計算する。

この作業をコンピューター画像処理で行い、結果から計算された気泡の部分の面積を除いた部分の面積の全面積に対する割合が充填率である。

実験の結果、充填率は 93.2% であり、所定(90% 以上)の充填率となった。



Photo. 9 充填率計測状況

4.3 高流動コンクリートの実施工

実際の施工では、試験施工にて確立した要領に従い、生コンを管理した。2層に分け、時間管理を行いながら隙間、気泡等が無く確実に充填されるよう注意した。特に試験施工と違い打設ではポンプ車を使用したため、荷卸時と筒先のフレッシュコンクリートの性状の変化に気を付けて行った。

5. 免震上部基礎の一部 PCa 化

5.1 PCa 化計画

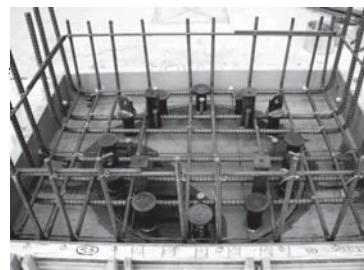
免震装置セット後の上部基礎部の型枠工事、鉄筋工事は、ベースプレートの形状が円形、正方形、八角形であ

るため、時間および手間がかかることが予測された。そこで、現場のスペース(1階店舗部の床)を利用して上部ベースプレート・免震上部基礎を一体とした、PCa 化とすることにした。(Photo.10 参照)

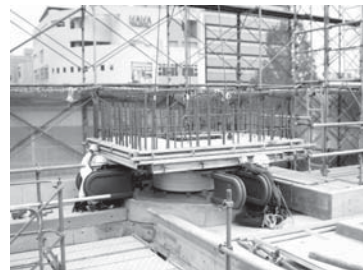
5.2 PCa 化の注意点

ベースプレートには、PCa 化した 3 階柱用に、柱主筋の位置を正確にするためのさや管と吊りフックを有する架台を工場にて取り付けられている。PCa 化にあたり基礎配筋はこれら架台、スタッドボルト、袋ナットおよび 3 階梁主筋とそれぞれ干渉することから、事前に配筋図にて検討し、かつ側型枠天端に梁主筋位置および基礎配筋位置をマーキングした。

打設は、ホッパーを用いた。さや管の中はノロが入らないよう養生し、表面は木ごて均しとした。打設後はブルーシートによる養生を行った。



(a) 配筋型枠状況



(b) セット状況

Photo. 10 免震上部基礎 PCa 化

6. 免震ピット階の施工の注意点

6.1 鉄筋等の収まり検討

免震装置直下の鉄筋の納まりは、事前に十分検討し調整する必要がある。特に四隅の NRB100A は下部ベースプレートにアンカーボルトが付くので、スラブコンクリート打設前に先行して下部ベースプレートをセットする。このアンカーボルトが、柱主筋(D41)および梁主筋(D41)に干渉する場合は、主筋の位置を移動しなければならないが、主筋の最小鉄筋間隔の確保を考慮すると収まりが厳しくなる。ベースプレートを受ける架台も主筋を避けて計画しなければならないので、この場合の収まりの変更が下階の配筋にも影響する場合があることから、早い段階での検討が重要である。

免震基礎配筋もスラブ配筋と共に配筋するので、ベースプレートのスタッドボルト、袋ナットを避けた位置に計画しなければならない

免震装置直上の収まりも同様の理由で早い段階での検討が重要である。

6.2 免震基礎まで

① 2 階柱は、地組みして、下部基礎底までのコンクリートを先行して打込む。四隅の免震装置の下部ベースプ

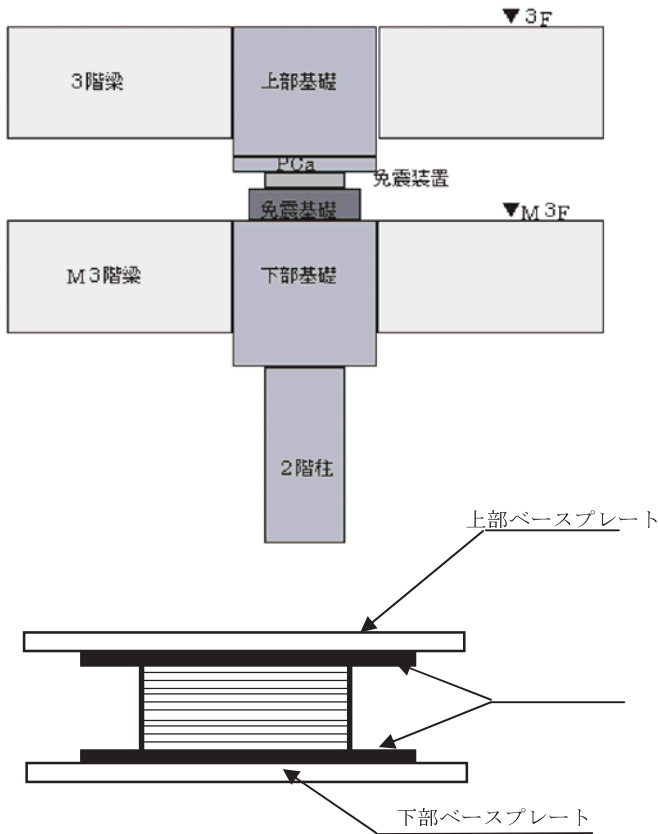


Fig. 4 免震装置および免震ピット階概略図

レート用架台はこの柱のコン天から立ち上げる。
 ②下部ベースプレートは所定のレベル、位置に水平に精度良くセットする。この後、免震装置、上部ベースプレート(上部基礎と PCa 化)はそれぞれそのまま載せてボルト締めするので、下部ベースプレートの施工精度の確保が非常に重要である。

6.3 免震装置セットから

- ①免震装置の固定は、免震装置を下部ベースプレートにセットした時と、上部ベースプレートをセットしたときに、高力ボルトの一次締めを行い、本締めは、免震ピット階の支保工が無くなってから行った。
- ②本締めは標準ボルト張力をボルト耐力規格値 $580\text{N}/\text{mm}^2$ として、締め付けトルク値を求めた。本締めは油圧タイプのトルクレンチで行い、一次次締めはその 3 分の 1 とし、手動タイプのトルクレンチで締め付けた。
- ③施工段階で免震装置に傷が付かないよう一次締めした時点で薄ベニヤ等で養生した。

7. プレキャストコンクリート工事

7.1 プレキャスト部材

柱、梁、スラブ、雑壁（腰壁、マリオン）をプレキャスト部材とした。

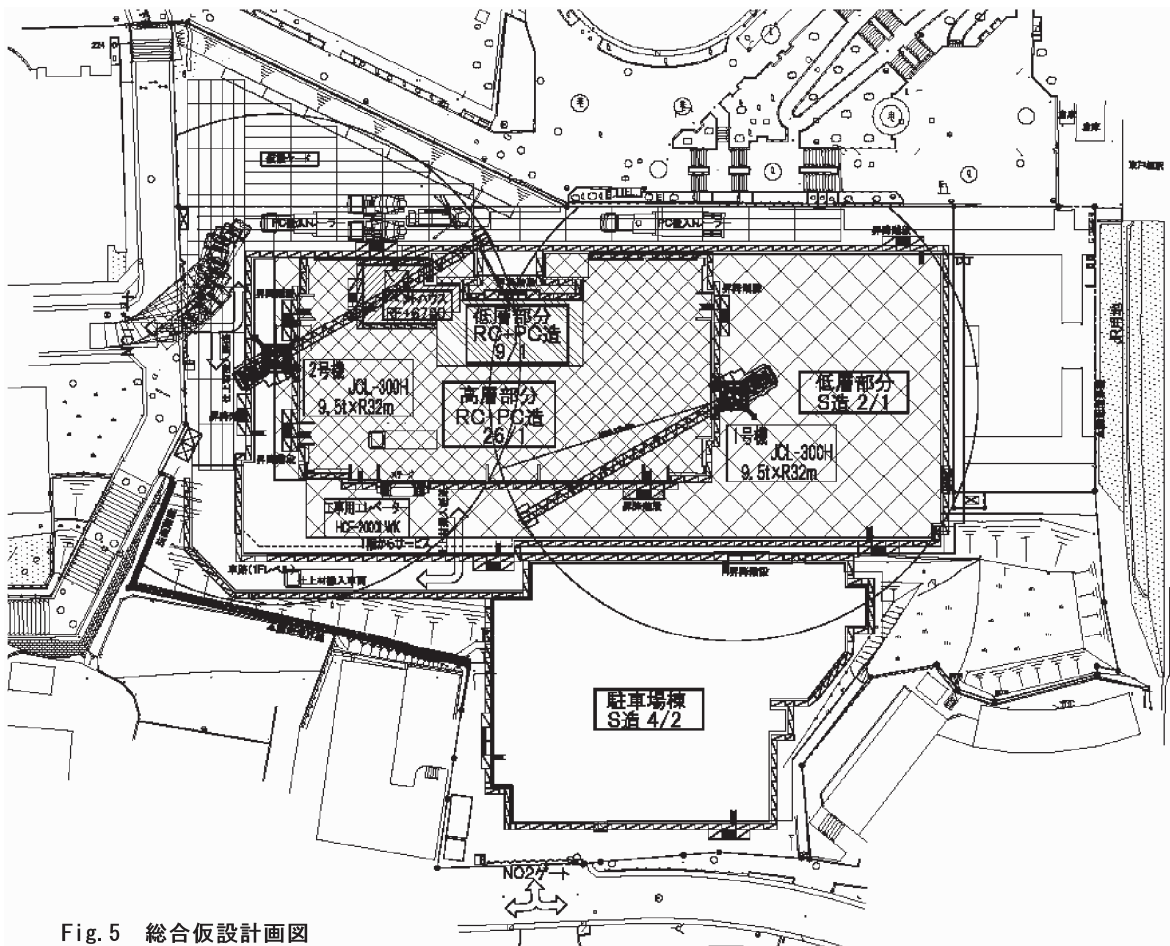


Fig. 5 総合仮設計画図

柱は仕口部を除きフル PCa 部材とし、主筋は異形鉄筋、柱脚部にモルタル充填式継ぎ手を用いた。外周コーナー部の柱のタイトルは、厚さ 100mm のふかし部に先行して打ち込んだ。後打ちコンクリートとの打ち継ぎ面処理は、鋼製型枠面に遅延剤を塗布し、型枠脱型後ストックヤードにて高圧洗浄した。柱の建て方時の吊り治具用インサートは柱上面に設けた。(Photo.11 参照)

梁はハーフ PCa とし、主筋はネジ鉄筋を用い、無機または有機グラウトによるネジ式継ぎ手とした。タイトルは現場での施工がしにくいコーナー部は PCa 工場で行って打ち込み、梁に立ち上がり部の打ち継ぎ面は柱同様遅延剤を使用した。連続する梁は工場で型枠を連続して並べ、主筋を機械式継手で繋げてからコンクリートを打設した。(Photo.12)

スラブは PCa 版厚が 75mm のサイレントボイドスラブで、版々間の隙間が生じないように型枠の精度管理とストックヤードでの仮置き時や運搬時にひび割れが発生しないよう注意を徹底させた。



Photo. 11 柱 PCa



Photo. 12 梁 PCa



Photo. 13 スラブ PCa



Photo. 14 マリオン PCa

Table 1 PCa 部材数(1フロアあたり)

	事務所階	住宅階
柱	34	32
大梁・小梁	63	48
スラブ	75	64
バルコニー	19	23
マリオン壁	14	18
腰壁	13	14

7.2 総合仮設計画

総合仮設計画図を Fig-5 に示す。タワークレーン(JCL300H 型：最大能力 12t, 作業半径 9.5t×R32m)は高層棟東西に 2 基設けた。仮設用エレベーターは、高層部南側の X2, X3 間に、ロングスパン ELV(HCE-2000BL：積載荷重 2t)を 1 基設置した。

ゲートは基本的に西側の 1 箇所と駐車場棟用として南側に 1 箇所の計 2 箇所しかなく、コンクリート打設時の生コン車、PCa 部材搬入時のトレーラーと仕上材の搬入車両を調整するのに苦心した。

7.3 サイクル工程

PC 階におけるサイクルは、事務所階(3 階～9 階)と住宅階(10 階～26 階)で異なる。以下に住宅階の 6 日サイクルの工程について説明する。

1 日目 [先行揚重の日] は、コンクリート打設の翌日で、連層足場盛上げと共に、支保工揚重と先行揚重(ALC, LGS, ボード, 設備配管等)を行い、PCa 柱の一部の建て方を行った。PCa 柱のレベルは、ライナープレート(50×50, t=1.2mm, 2.3mm, 6mm, 9mm, 12mm)を柱の 4 箇所にかぶりを考慮し、主筋位置より内側にセットした。

2 日目 [PCa 建て方の日①] は、PCa 柱、マリオン、腰壁、梁およびスラブは一部について建て方を行った。PCa スラブまでの建て方が完了してから再度柱の精度確認、調整を行った。

3 日目 [PCa 建て方の日②] は、PCa 床の残りとして、廊下、バルコニー梁の建て方を行った。また、鉄筋工事は柱仕口内のフープ筋の配筋を梁主筋(上端筋)を移動させながら行い、同時に梁筋もまとめていった。さらに、スラブの版-版ジョイント筋と、版-梁ジョイント筋を配筋した。

4 日目 [スラブ配筋の日] は、スラブ筋の配筋を主に行った。スラブ筋がまとまったところから、設備工事および電気工事を行った。

5 日目 [コンクリート打設準備の日] は、コンクリート打設の段取り、スラブ上の清掃、散水を行った。

6 日目 [コンクリート打設の日] は、コンクリート打設をホッパー 2 機を用いて行った。コンクリート数量は住宅階で約 240m³で、朝 7 時から午後 5 時過ぎまでかかった。柱と梁、スラブのコンクリートの設計基準強度が異なる場合は、コン止め串を用いて、先に柱内のコンクリートを打設してから、梁、スラブの打設を行った。

スラブコンクリート打設時には、コンクリート被膜養生剤を用い、柱内は刷毛引き仕上げを行った。

8. おわりに

最近、超高層建物への免震装置の適用例が非常に多くなっている。免震工法には、基礎免震と中間層免震があるが、どちらにしても免震装置を上下に挟んだ躯体の施工方法の検討、精度確保が重要である。免震基礎に適用した高流動コンクリートの確実な施工も重要である。これらが確実に施工されて、免震装置が有効に機能することになる。

本稿では、特にこの点を中心にまとめたので、今後の施工に参考にさせていただきたい。

謝辞

本プロジェクトは品質管理委員会をはじめ、多くの方々のご指導・ご協力を頂きながら進めて来ました。また、当作業所内の方々は、躯体工事のジョブローテーシ

ョンにおいて多くの方々が携わり、協力しあって無事完成をみる事が出来ました。ここに改めて当プロジェクトに関わった方々に感謝を申し上げます。

Construction of high-rise RC building with seismic isolation device in a middle story

Toshiro KAWAGUCHI, Tatsuro SASAKI, Minoru ARAMOMI and Hirohumi SASAGAWA

Abstract

This building is a twenty six story construction of seismically isolated structure with seismic isolation device between second floor and third floor. Foundation of seismic isolation device consist of high flow concrete because of reducing bubble or space between baseplate and foundation. Before construction, a test of full sized model was carried out to confirm certain casting of high flow concrete. Upper foundation was precasted with upper baseplate of seismic isolation device, then construction became quickly and correctly. For reducing construction period, pre-cast concrete members of column, beam and slab are used above third floor. It takes 6 days for construction of one floor. In this paper, construction method of seismic isolation interface and standard floor with pre-cast concrete members are mainly reported.

Keywords : High-rise RC building, Seismic isolation device in a middle story, Precast concrete, High flow concrete
