

東京第5 データセンターの設計・施工

— PCaPC 壁式チューブ構造による超高層免震建物 —

岩田 樹美*1・山我 信秀*2・豊田 耕造*3

本建物は、東京都心部に計画された地上16階の超高層都市型データセンターである。都心部のかぎられた敷地において建築面積を最小化しつつ高層化することにより床面積を確保する建築計画に対して、PCaPC造と基礎免震構造と組み合わせる構造計画とした。これにより、超高層でアスペクト比が大きな建物でありながら高い免震効果を発揮し、耐震安全性を確保しつつ床応答加速度の低減を実現している。架構形式は、大きな設備開口の必要な5階以下を耐震壁付きラーメン構造、6階以上は開口を最小限とした壁式チューブ構造とし、柱形のないフラットな空間とすることでサーバラック数の最大化に貢献している。また、コンクリートの外壁に、アルミルーバーや壁面緑化を組み合わせることで、環境に配慮しつつ軽快で先進的な外観デザインとなっている。

キーワード：壁式チューブ構造、超高層建物、PCaPC、免震構造

1. はじめに

本建物は、東京都心部に建設された地上16階の超高層通信用建物である。都心部に大規模ビルを計画することから、周辺環境への配慮とともに、構造的にも厳しい要求条件を求められた計画であるが、プレストレストコンクリート（以下PC）技術の採用により以下の解決を図っている。

- 1) プレキャスト（以下PCa）PC造と壁式チューブ構造および基礎免震構造との組合せによる最適空間の構築
- 2) 耐荷重性能の向上とロングスパン化
- 3) PCaPC圧着工法による工期短縮
- 4) 長寿命化と環境負荷低減

本稿では、本建物の設計コンセプトとコンセプト実現のための課題、課題を実現するための構造的な解決策および構造計画概要について報告する。

2. 建物概要

建築名称：東京第5 データセンター
 施主：エヌ・ティ・ティ・コミュニケーションズ(株)
 設計監理：(株)NTTファシリティーズ

建築面積：975.56 m²

延床面積：13 227.09 m²

主要用途：事務所（サーバー室）



写真 - 1 建物全景



*1 Tatsumi IWATA

(株)NTTファシリティーズ
北海道支店



*2 Nobuhide YAMAGA

(株)NTTファシリティーズ
建築事業本部



*3 Kozo TOYOTA

(株)NTTファシリティーズ
研究開発本部

○特集／工事報告○

階数：地上16階 塔屋2階
 軒高：89.1m（最高高さ90.3m）
 構造：PCaPC造（基礎免震構造）
 基礎：場所打ちコンクリート拡底杭
 工期：2009年8月～2011年3月

3. 建築計画概要

3.1 設計コンセプト

本建物は、環境負荷を低減することにより近隣に配慮しつつ、最高の防災性能、セキュリティをもつ大規模データセンターを計画することを設計コンセプトとしている。この設計コンセプトを実現するためには下記の課題を解決する必要があった。

- 1) 機能継続可能な高い耐震安全性の確保
- 2) ICT機器の信頼性を最大限高めるための床応答加速度の低減（200 cm/s²程度以下）
- 3) サーバラックや電力設備による大きな積載荷重（床面で9.8 kN/m²【サーバ室】、24.5 kN/m²【受電室】）
- 4) 収容できるサーバラック数を最大化する空間構築
- 5) 短工期施工

これらの課題に対して、まず建築面積を最小化して近隣との距離を確保することが、建築計画上の基本条件となった。そのうえでサーバラック数の最大化を図るため、容積制限の範囲で高層化することにより床面積を確保することとした。

3.2 計画概要

図-1に配置図、図-2に基準階平面図、図-3に断面図を示す。本建物の構成としては、1～2階はエントランスと共用部、3～5階が受電室、非常用発電設備室、6～16階はサーバ室、屋上は3層分の設備スペースとなっており、データセンターとして必要な諸室を縦方向に積み

重ねた建物構成となっている（図-3）。3階以上の東西面外部には設備バルコニーを配置している。電力設備、サーバラックを3階以上に設置しているため、万が一の浸水に対しても配慮している。

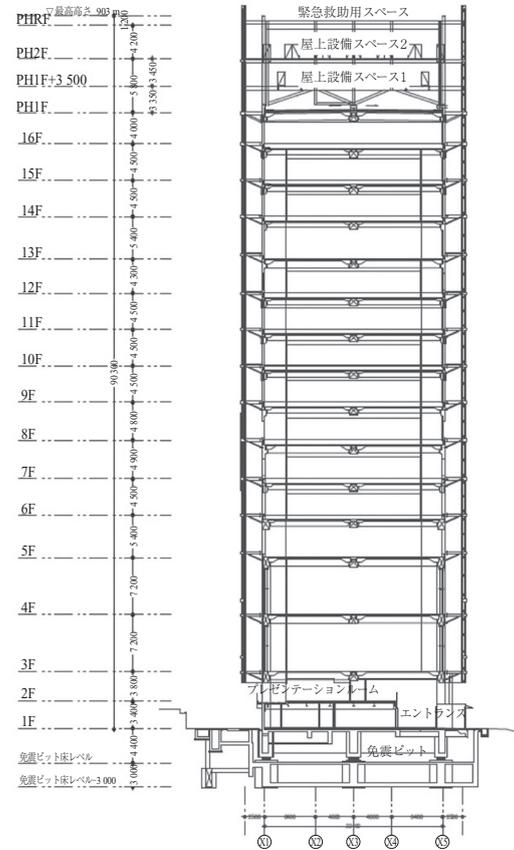


図-3 断面図

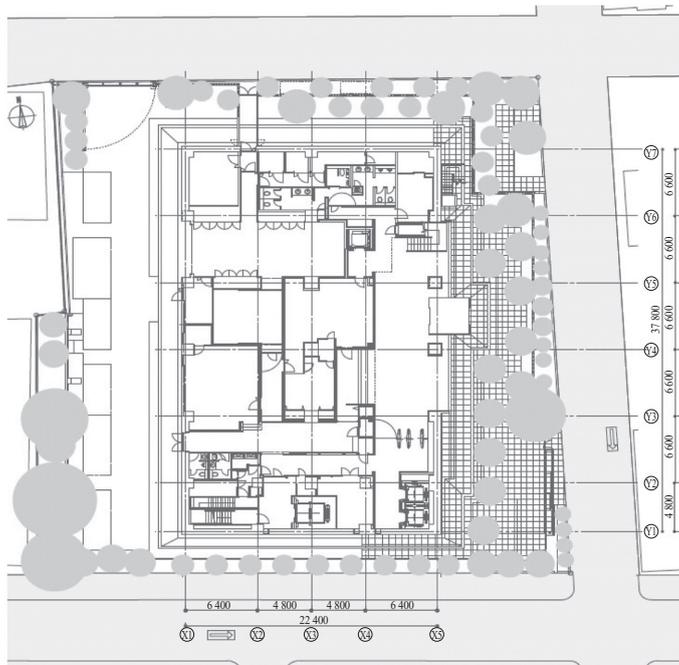


図-1 配置図

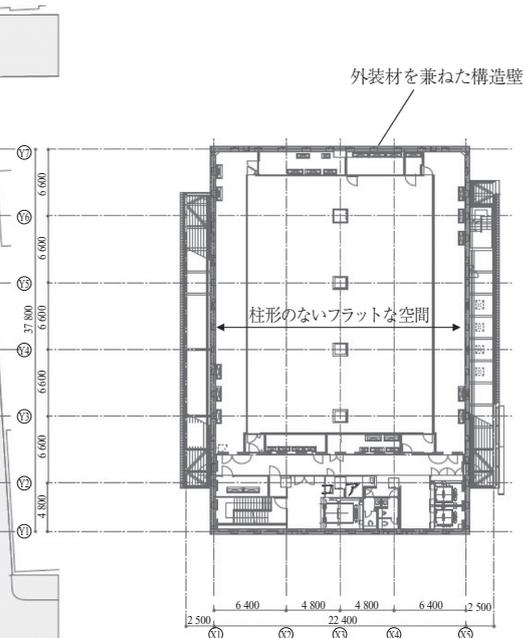


図-2 基準階平面図

平面形状は、短辺方向が11.2mで2スパン、長辺方向が4.8mと6.6mの6スパンである。階高は下層階で7.2m、基準階で4.6mとなっている。

3.3 三位一体の計画（意匠・構造・設備の融合）

6階以上のサーバ室階において、外周部に外装材を兼ねた構造壁を配置し、建物内部には耐震要素を不要とする計画としている。また、外周部から柱形を無くしフラットな外周面とすることで有効空間の最大化を図っている（図-2）。以上の意匠と構造が一体となった計画により、データセンターに最適な空間を構築している（構造詳細は4章にて記載）。また、南側にコアを集約した明確な平面計画とするとともに、床・壁開口は、意匠、設備との綿密な調整のうえ決定している。

図-4に外観パースを示す。東西面に配置した設備バルコニーは、延床面積にカウントする必要がなく、有効面積の最大化に寄与するとともに、その先端に配置したアルミスパンドレルによるルーバーは、太陽光パネルや壁面緑化とともにコンクリート躯体の圧迫感を低減しつつ、軽快で先進的な外観デザインを創出している。また、アルミルーバーは、日射遮蔽効果や自然循環冷媒システムにより空調負荷を低減する機能も有しており、通信機械建物としての高性能と環境性能を両立させている。

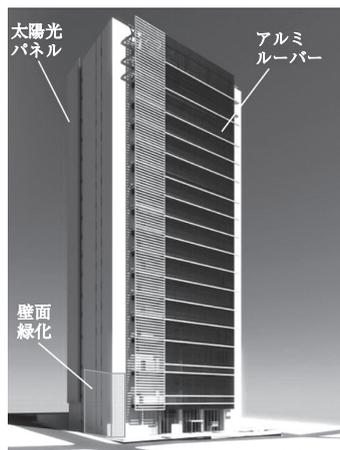


図-4 外観パース

4. 構造計画概要

4.1 構造形式

設計コンセプトに基づく課題を解決するための構造形式として、まず耐震性能確保と機能継続および床応答加速度低減の観点から、「免震構造」の採用を決定した。

免震構造とする前提で上部構造種別を比較検討した。表-1に構造種別比較表を示す。オフィスを中心とした高層建物は鉄骨（以下S造）を採用することが多いが、応答加速度に対する高い要求条件を満足するためには、免震構造においては上部構造の剛性をより高める必要があり、本建物では鉄筋コンクリート（以下RC造）の方が有利であった。しかしながらRC造の場合は、大きな積載荷重に対してロングスパンとすることができない。また、現場打ちコ

表-1 構造種別比較表

構造形式	S造	RC造	PCaPC造
床応答低減効果	△	○	○
梁せい	○	△	◎
ロングスパン	○	×	○
有効面積	○	△	◎ (壁式チューブ構造とした場合)
工期	◎	×	○
コスト	△	○	△
総合評価	△	×	○

ンクリートによる施工とすると、所定の工期に収めることができない。このため、PC造によるロングスパン化と、PCa部材とPC圧着工法による組立て工法により工期短縮を図り、これらを解決することとした。以上の比較検討の結果、構造種別は表-1に示すPCaPC造を採用することとした。

以上のように、PCaPC造と基礎免震構造を組み合わせる計画とすることで、超高層でアスペクト比が大きな建物でありながら高い免震効果を発揮し、耐震安全性を確保しつつ最上階まで床応答加速度の低減を実現している。

4.2 架構形式

本建物の主要な機能は「サーバを収容する箱」であり、それ以外の無駄を排除したシンプルな構造体を目指した。これに対して、大きな設備開口の必要な5階以下は耐震壁付きラーメン構造としているが、データセンターとしての機能面から最低限の開口とする要求条件がある6階以上は、壁を4周面に集約し、これを床で塞いだ閉じた箱構造（壁式チューブ構造）とすることで、無駄のない剛強な構造とした。壁式チューブ構造は以下に示すようなさまざまなメリットを有している（図-5～7）。

壁式チューブ構造の採用により、

- 構造体と外装材の兼用による有効面積の最大化

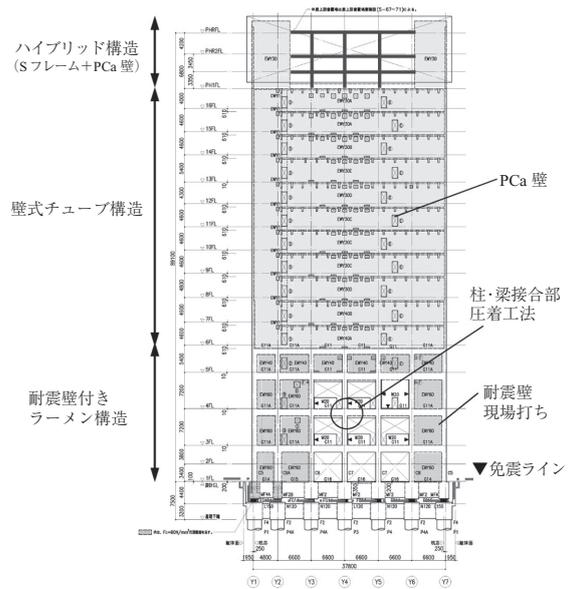


図-5 X5通り軸組図

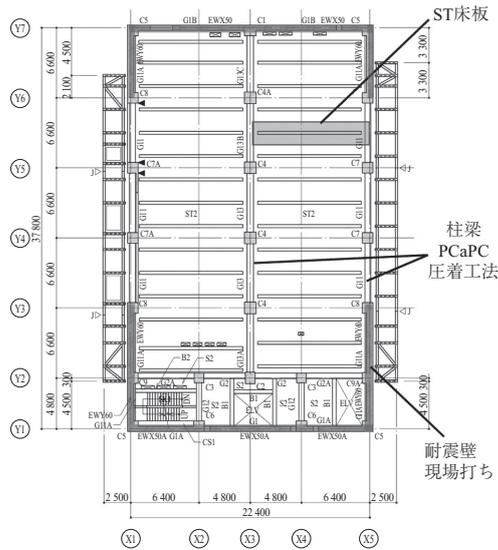


図 - 6 低層階床伏図

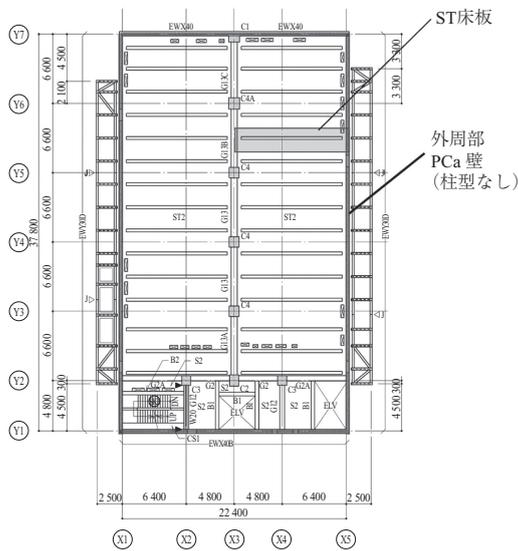


図 - 7 基準階床伏図

・外周部の柱形がないことによるフラット空間を実現し、データセンター事業の面できわめて重要なサーバラック配置数の最大化に貢献している (図 - 7)。

また、壁式チューブ構造は上部構造の高剛性化にも寄与し、高い免震効果の実現に貢献している。

同時に、外周部の壁で鉛直力と大半の地震力を負担することから、柱を不要とするとともに内部のロングスパン梁は地震力から開放され、床組に ST (Single Tee) 床板を採用することで、梁せいを抑えつつ大スパンとし、空間自由度向上と階高低減を両立させている。

5 階以下の架構は、上部の壁式チューブ構造から作用する応力を建物脚部に無理なく伝達できるように、門形に耐震壁を配置した大架構としている。

屋上設備スペースは下部構造との構造的な連続性から PCa 壁を耐震要素とし、鉛直荷重支持フレームである S 造と組み合わせたハイブリッド構造とした (図 - 5)。

4.3 組立方式

壁式チューブ構造を主体とした構造体を目標工期内に完成させる要求に対して、床にハーフプレキャスト板、柱梁に PCaPC 圧着工法、壁に PCa 工法を採用し、これらのプレストレス技術と PCa 工法を組み合わせることで、施工合理化による工期短縮を図っている。また、PCaPC 工法の採用は、品質向上による長寿命化と型枠南洋材の低減による環境負荷低減にも寄与している。

PCa 壁部材は 1 ピースあたり幅 2 200 mm、高さは階高とし、現場にて一体化する。PCa 壁部材の接合部は、図 - 8 に示すように水平接合部においては、壁縦筋の機械式継手により、鉛直接合部では、壁横筋の重ね継手あるいは溶接継手と現場打ちコンクリートによる納まりを採用した。

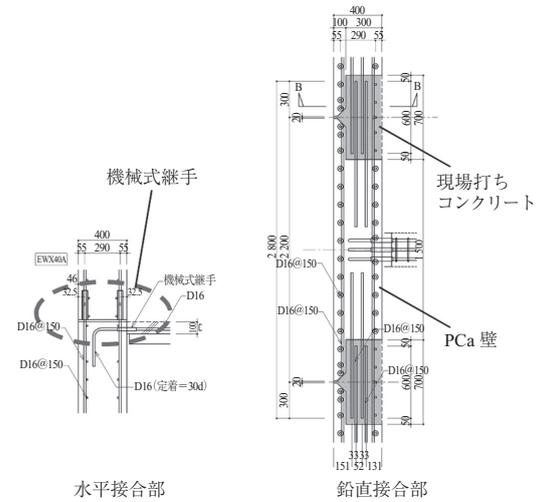


図 - 8 PCa 壁接合部詳細

4.4 部材設計

使用材料を表 - 2 に示す。柱は RC 部材として設計し、1 000 × 1 000 mm ~ 1 200 × 1 200 mm とした。大梁は PC 部材として設計し、2 次および 3 次緊張 PC ケーブルを現場にて配筋・緊張し、柱部材と圧着接合により一体化する計画とした (図 - 9)。X 方向に配置した ST 床板の断面を図 - 10 に示す。ST 床板はリブ部分にプレテンション方式でプレストレスを導入し、設計荷重だけでなく施工時荷重も負担できる断面として設計し、支柱なしでの建方を可能としている。

表 - 2 使用材料

部材		コンクリート (N/mm ²)	鋼材
PCa 部材	柱	60	SD390 (RC 部材)
	大梁	60	SD345 SWPR7B 12.7 φ SWPR7B 15.2 φ
	ST 床板 壁	50 30 ~ 60	SWPR7B 15.2 φ SD295A, SD345 (RC 部材)
現場打ち	トッピング コンクリート	30	-
	壁	60	SD345 (RC 部材)
	1FL より下の基礎、 大梁、基礎梁	36	SD390 (RC 部材)

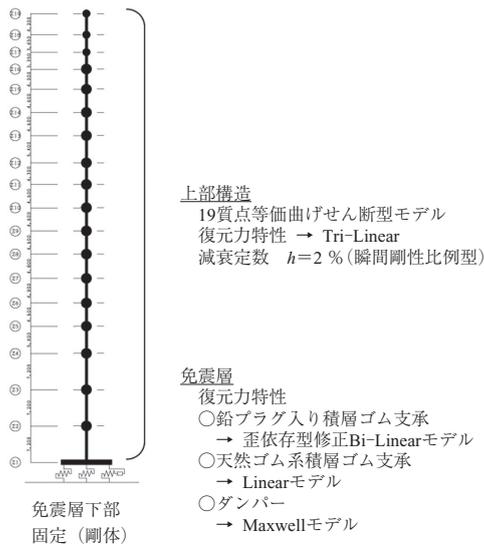


図 - 12 振動解析モデル

表 - 5 固有周期

免震部材のせん断変形率 (せん断変形 / 全ゴム厚)	X方向 (S)			Y方向 (S)		
	1次	2次	3次	1次	2次	3次
0% (基礎固定)	0.816	0.244	0.131	0.719	0.235	0.128
5%	2.520	0.516	0.182	2.512	0.392	0.182
100%	4.820	0.527	0.183	4.816	0.399	0.182
200%	5.145	0.527	0.183	5.141	0.400	0.182
250%	5.226	0.527	0.183	5.223	0.400	0.182

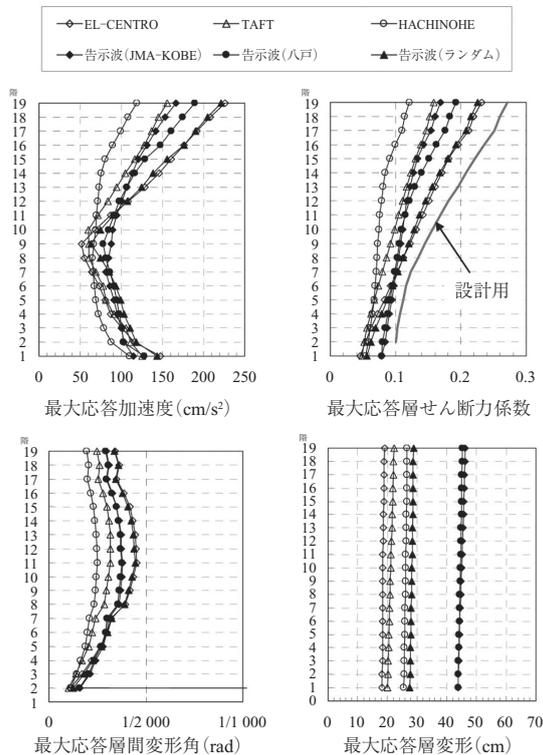


図 - 13 時刻歴応答解析結果 (レベル 2X 方向)

応答加速度は最上階 (16 階) まで 200 cm/s^2 以下となっており、床応答加速度低減効果を確認した。

5.4 壁構造としてのモデル化の妥当性

応力解析および復元力特性検討には線材置換モデルを採用しているが、壁を主体とした構造に線材置換モデルを採用することの妥当性を確認するため、FEM 解析モデルとの比較を行った。また、FEM 解析モデルを使用して、壁コーナー部の応力集中に対する検討、および有開口スラブの面内剛性に対する検討を行った。FEM 解析モデルを図 - 14 に示す。

検討した結果、設計用 (線材置換) モデルと FEM モデルの弾性解析結果を比較し、両者の部材応力や変形状態がよく対応していることを確認した。壁式チューブ構造としてフランジにあたる加力方向と直交方向の壁に軸力が作用するが、この軸力についても両モデルが対応していることを確認している。以上より、壁式チューブ構造としての立体的な挙動を含め、設計用モデルは妥当であることを確認した。また、壁コーナー部、床剛性の検討を行った結果、十分な耐力と剛性を有していることを確認した。解析結果の一例を図 - 15 に示す。

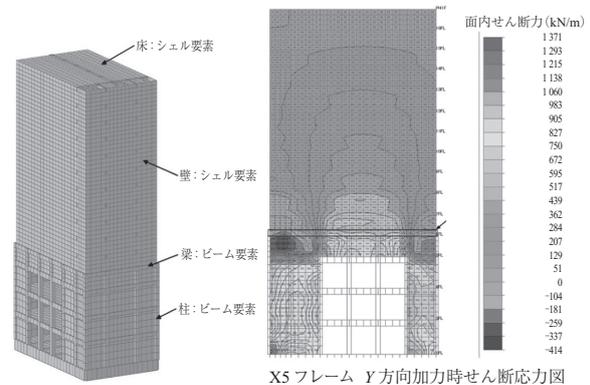


図 - 14 FEM 解析モデル 図 - 15 FEM 解析結果

6. 施工計画概要

本建物のように高層で階数の多い建物は、フロアタクト工程が全体工程を大きく左右するが、現場打ち部分と PCa の施工部分をいかに効率良く組み合わせて計画するかが工期短縮の重要なポイントとなる。今回とくに工程に影響を与えるのが低層階の現場打ちによる耐震壁であった。低層階のラーメン構造から高層階の壁式構造に切り替わる 6 階梁にて、PCa 壁荷重を受けられるよう支保工を計画し、低層階の現場打ち耐震壁を打設する前に、上部の PCa 壁建方を先行させることとした。以上のような施工計画により、1 フロアあたり 8 日タクト (5 階以下の低層階では 9 日タクト) を実現した。図 - 16 ~ 17 に建方手順を示す。

7. おわりに

本建物では、与えられた設計コンセプトを実現すべく、PCaPC 部材や壁式チューブ構造といったコンクリート技術を最大限生かすことで独創的な構造計画を実現させるとともに、環境技術との両立を図ることができた。

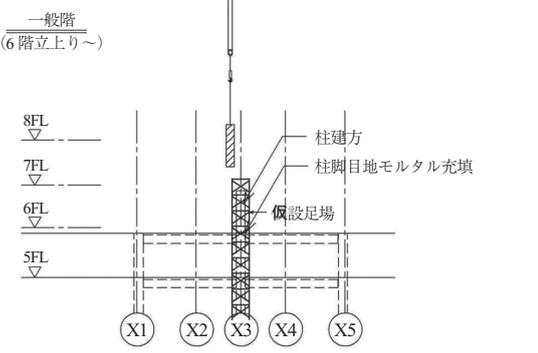
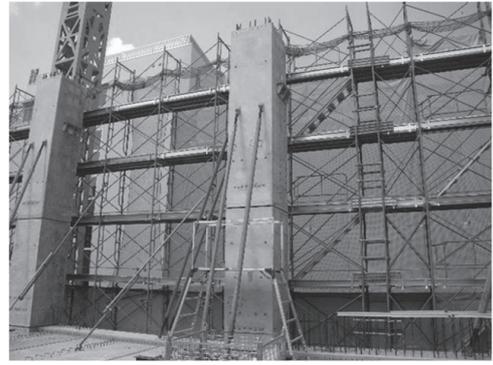
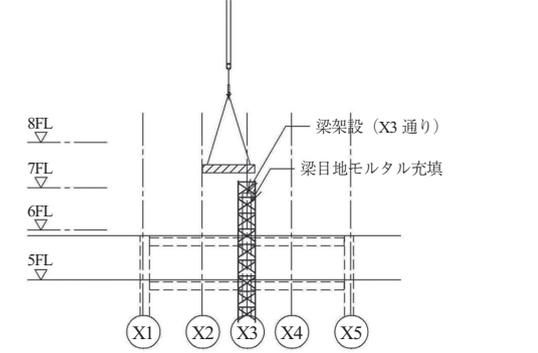
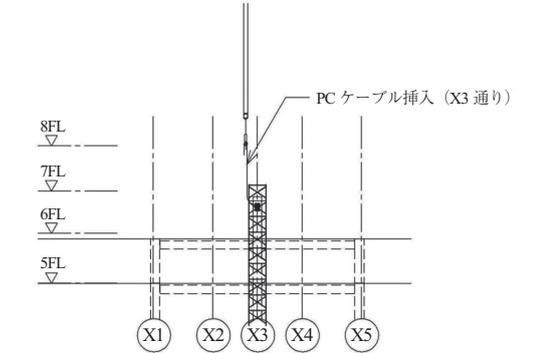
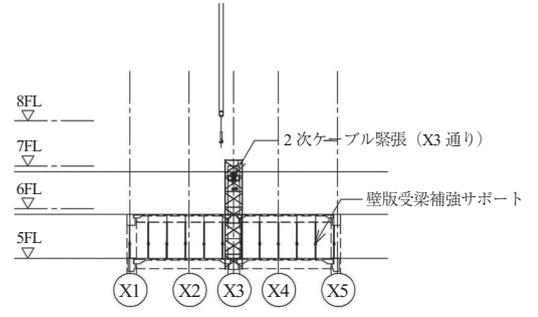
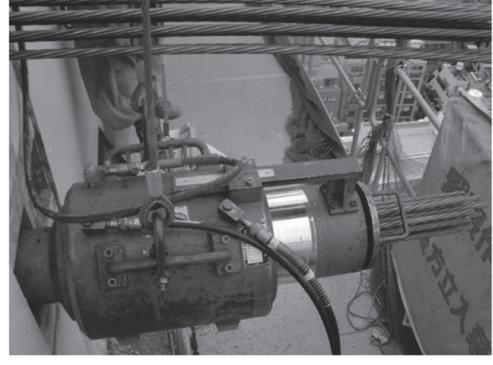
<p>1 1. 柱建方 2. 柱脚目地モルタル充填</p> 	<p>(タクト 1日目)</p> 
<p>2 1. 仮設ブラケット設置 2. X3 通り梁架設 3. 梁目地モルタル充填</p> 	<p>(タクト 2日目)</p> 
<p>3 1. 2・3次ケーブル通線 (X3 通り)</p> 	<p>(タクト 3日目)</p> 
<p>4 1. 壁版受梁補強サポート 2. 目地強度 (30 N/mm²) 発現後 2次ケーブル緊張</p> 	<p>(タクト 4日目)</p> 

図 - 16 PCa 部材建方手順 1 (6 階以上)

○特集／工事報告○

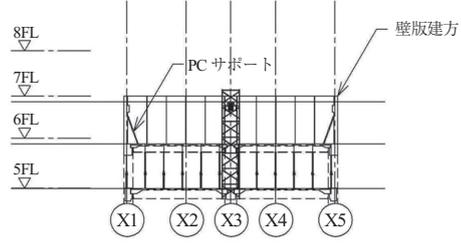
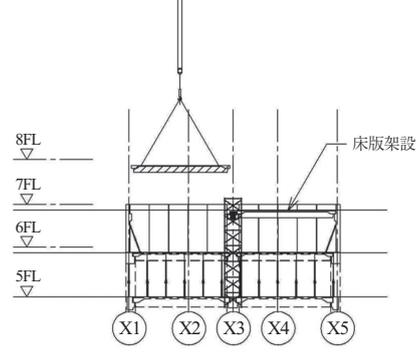
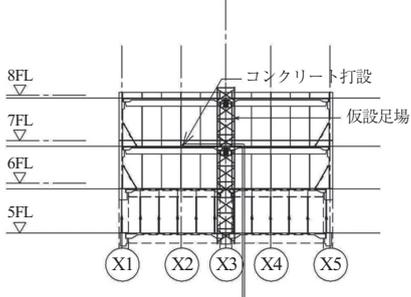
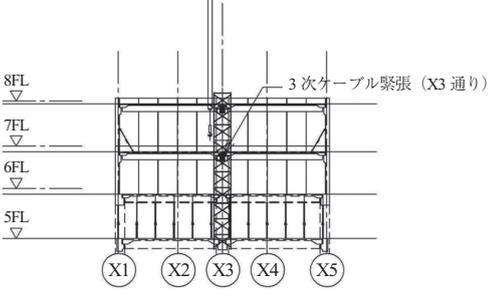
5	1, 壁版建方 2, 壁下目地モルタル充填	(タクト 5・6日目)
		
6	1, Y1・Y2 部分梁架設, PC ケーブル挿入・緊張 2, 床版架設→PC 工事は次階柱建方へ	(タクト 7・8日目)
		
7	1, スラブ配筋・型枠 2, コンクリート打設	(PC は次階工事へ)
		
8	1, スラブ強度 (24 N/mm ²) 発現後, 3 次ケーブル緊張, グラウト注入	(PC は次階工事へ)
		

図 - 17 PCa 部材建方手順 2 (6 階以上)

【2012 年 5 月 24 日受付】