

特 集

建築特集

【企画趣旨】

本号は、毎年恒例の建築特集号で、主にプレストレスを使用した建築物に関する報告等で構成しております。建築におけるプレストレスの利用率は鉄筋コンクリート造や鉄骨造に比べると高いとはいえません。

毎年この4号の建築の特集を通じて、建築におけるプレストレスの適用例を紹介することにより、より一層多くの方々にプレストレスの有用性をご理解いただき、建築分野でのプレストレス技術の進歩に役立つことを期待しております。

本特集号 担当編集委員

上原富士夫・妹尾 正和
高津比呂人・時本 和則

知的制振システムを採用した事務所ビル設計 — 大成札幌ビル —

小室 努^{*1}・河本 慎一郎^{*2}・竹崎 真一^{*3}・甲斐 隆夫^{*4}

1. はじめに

建築に求められる性能は高度化かつ多様化しており、安全性、環境負荷の低減、長寿命および計画自由度の拡大が近年とくに重要視されている。筆者らは、これらの性能を大幅に向上させることを目的として、高性能・長寿命建築を可能にした知的制振システム「TASMO (タスモ・TAisei Smart MOnitoring system)」を開発し、大成建設株式会社の札幌支店ビル(大成札幌ビル)に適用した(図-1、図-2)。本建物には、制振装置として鋼材ダンパーとオイルダンパーが組み込まれており、地震時にはこれらの装置が効率よく作用し、揺れを吸収する。その結果、高い耐震性能を確保でき、かつ、プレストレストコンクリート技術を長スパン梁に適用させることにより、建物内に柱のない広い空間が鉄筋コンクリート造で可能となった。



図-1 外観パース



図-2 断面パース

2. 建築概要

「大成札幌ビル」は、地下1階、地上8階、延床面積約6970 m²の事務所・店舗ビルである。地下階および1階から3階を店舗とし、4階から8階までを事務所としている。建物高さは34.575 mである。平面形状は、約40×20 mの整形な長方形である。事務所階平面図を図-3に、断面図を図-4に示す。建物全体の計画では、①環境配慮型建築、②高い耐震安全性と長寿命、③ローコストの3点を設計コンセプトとした。環境の点においては、建築物総合環境性能評価(CASBEE)指標を取り入れ、建築計画に反映させている。その建築計画の1つとして、熱負荷効率の向上があり、外壁開口率の低減が計画された。そこで、外壁自体を構造躯体として利用し、外壁構面に地震力を負担させることにより、スパン約19 mの内部空間を柱のない空間としている。また、光および風を効率的に取り込むため、屋上階から5階床までの中央部に開口を設け、大規模な吹抜空間を計画している。



^{*1} Tsutomu KOMURO

大成建設(株)設計本部 プロジェクトリーダー



^{*2} Shinichiro KAWAMOTO

大成建設(株)設計本部 プロジェクトエンジニア



^{*3} Shinichi TAKEZAKI

大成建設(株)技術センター 課長代理



^{*4} Takao KAI

大成建設(株)建築本部 次長

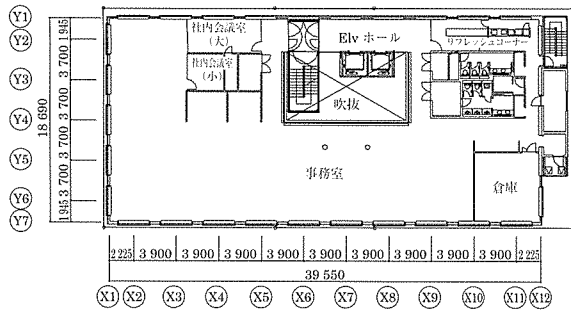


図 - 3 事務所階平面図

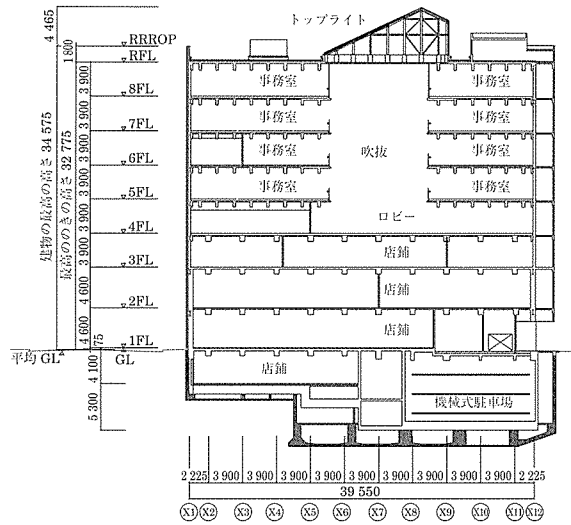


図 - 4 断面図

3. 構造概要

3.1 知的制振システム

「知的制振システム TASMO」は、剛性の高い壁柱と、これをつなぐ境界梁および壁柱脚部のオイルダンパーにより構成される制振システムである (図 - 5)。境界梁は梁中央

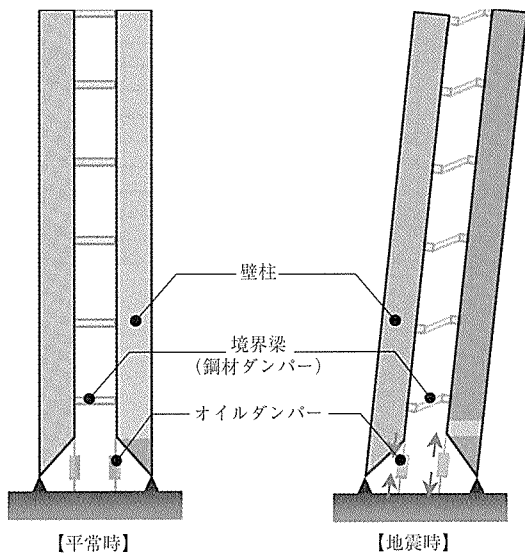


図 - 5 TASMO の架構

ウェブ (せん断パネル) 部分に極低降伏点鋼を用いた鋼材ダンパーとして使用しており、壁柱脚部のオイルダンパーとともに制振装置として機能している。壁柱、鋼材ダンパーおよびオイルダンパーを図 - 5 のように組み合わせることにより、地震時のエネルギーを集中的に制振装置に吸収させる構造である。さらに、建物の健全性をつねに把握するモニタリングをシステムとして取り入れた、新たな制振システムを構築している。通常の制振構造は、地震力の 20% 前後の力を制振装置に負担させ、地震時の建物の揺れを低減させる機構である。これに対し、本制震システムでは、地震力のほとんどの割合を制振装置に入力させる架構とし、地震時の建物の固有周期を長周期化させることで、制振装置が効率よく地震エネルギーを吸収することができ、揺れの大きさを制御できる高い耐震性能が、最小限の耐震抵抗部材で発揮できることが確かめられている。

3.2 架構計画

「大成札幌ビル」では、チューブ状に配置された外壁を壁柱に利用して、本システムを適用している。剛性の高い RC 造壁柱を建物外周に長辺方向 20 か所、短辺方向 10 か所設置し、壁柱同士は、四隅を除き、鋼材ダンパーを有する境界梁で連結している (図 - 6)。また、約 19 m の長ス

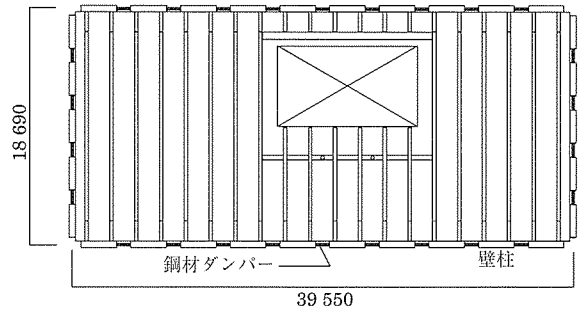


図 - 6 基準階構造伏図

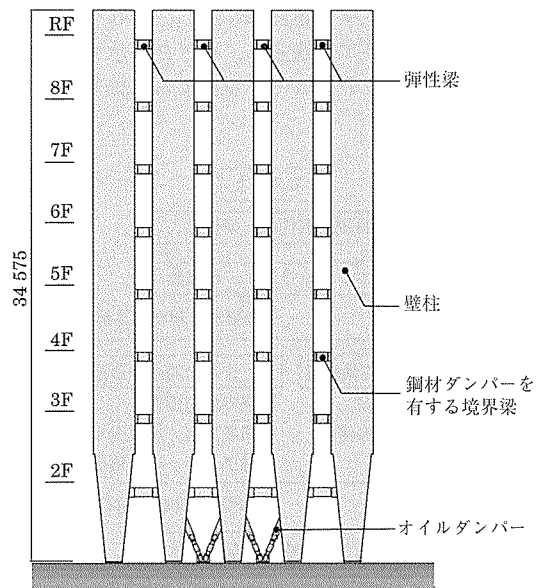


図 - 7 短辺方向軸組図

ン梁を単純梁のプレストレストコンクリート梁として長辺方向に配置された壁柱に架けることで、建物の内部空間に柱が出てこない構造としている。壁柱は、2階の中間部から下方に向かって順次幅を縮め、外壁デザインとの整合性を図り、かつ、壁柱脚部と地下階との接合をピン支持としている（図 - 7）。短辺方向の壁柱脚部には、1辺あたり4台（計8台）のオイルダンパーを設置している。オイルダンパーは1500kNのものをV字型に配置している（図 - 8）。また、鉄骨梁には、中央部ウェブに極低降伏点鋼材（LY100）を使用し、壁柱に埋め込んだ鉄骨ブラケットとボルト接合することで、交換可能な方式とした。

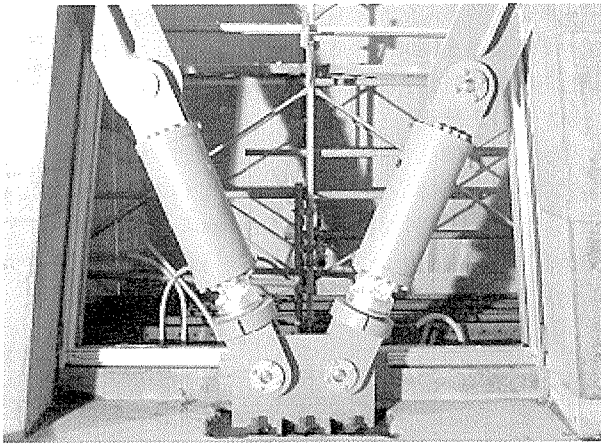


図 - 8 オイルダンパー設置状況

4. 耐震設計

4.1 耐震設計方針

鋼材ダンパーおよびオイルダンパーの地震時の性能と効果をより正確に把握するため、耐震保有性能の確認は、設計用地震動を用いた非線形時刻歴応答解析に基づいて行った。設計フローを図 - 9 に示す。まれに発生する地震動およびごくまれに発生する地震動に対し、それぞれ表 - 1 に示す設計クライテリアを設定し、表 - 2 に示す複数の設計用地震動を用いたフレームモデルによる非線形時刻歴応答

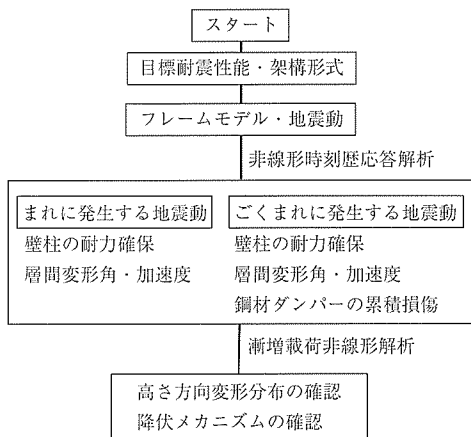


図 - 9 耐震設計フロー

解析によって性能を確認した。また、漸増载荷非線形解析をあわせて行い、大きな変形領域における建物高さ方向の水平変形分布の確認や崩壊メカニズムの確認を行った。

表 - 1 耐震設計クライテリア

	まれに発生する地震動 (レベル1)	きわめてまれに発生する地震動 (レベル2)
地上部	層間変形角 1/200 以下 壁柱：短期許容応力度以内	層間変形角 1/100 以下 壁柱：短期許容応力度以内 境界梁：許容累積損傷以内
地下1階	許容応力度以内	許容応力度以内
基礎	許容応力度以内	許容応力度以内

表 - 2 設計用地震動

採用地震波 (地震地域係数 Z = 0.9 を考慮)	まれに発生する地震動 (レベル1)		ごくまれに発生する地震動 (レベル2)		継続時間 (sec)	
	最大加速度 (cm/sec ²)	最大速度 (cm/sec)	最大加速度 (cm/sec ²)	最大速度 (cm/sec)		
模擬波	kokuji-el-b*	59.3	10.6	308.1	53.8	60.00
	kokuji-ha-b*	63.1	9.7	324.7	48.8	60.00
	kokuji-ta-b*	59.3	7.5	307.1	40.2	60.00
観測波	EL Centro NS	229.8	22.5	459.7	45.0	53.76
	Hachinohe NS	150.0	22.5	300.0	45.0	51.00
	Taft EW	223.5	22.5	447.0	45.0	54.40

*告示代 1461 号に定められる加速度応答スペクトルに基づいて、観測波の位相を用いて作成した模擬地震波を、表層地盤の影響を考慮して作成した模擬地震波

4.2 解析モデル

解析モデルを図 - 10 に示す。短辺方向および長辺方向は地震抵抗架構が独立しているため、おのおの別途に平面フレームを用いて漸増载荷非線形解析および非線形時刻歴応答解析を解析を行った。RC 造の壁柱はひび割れ考慮の非線形の材端ばねを有する線材に置換し、鉄骨造の境界梁の端部には線形弾性部材、中央部の曲げ変形には線形弾性、せん断変形には図 - 11 に示す非線形特性を与え、履歴則はノーマルトリニア型とした。境界梁端部と壁柱を水平な

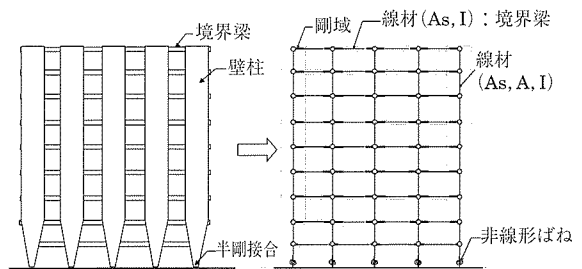


図 - 10 解析モデル

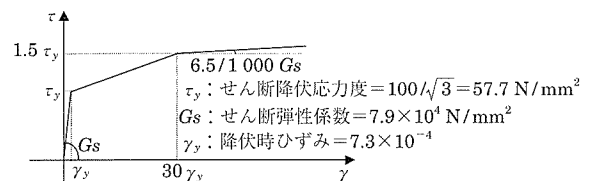


図 - 11 極低降伏点鋼を使用したせん断パネルの履歴則

剛部材で接続することで剛域を考慮している。また、壁柱脚部にオイルダンパーを設置している短辺方向については、図 - 12 に示すリリーフ機構を有する特性のダンパーを設定した。

漸増荷重非線形解析は、外力分布を A_i とした。また、非線形時刻歴応答解析時の壁柱の構造減衰は内部粘性型で、1次振動数に対し $h = 0.02$ とし、境界梁の構造減衰は見込まない。固有値解析結果を表 - 3 に示す。

4.3 時刻歴応答解析結果 (短辺方向)

図 - 13 に時刻歴応答解析結果の最大応答値を示す。最大応答層間変形角は、レベル 1・2ともに設計クライテリアの $1/200 \cdot 1/100$ 以内である。最大応答加速度は、入力

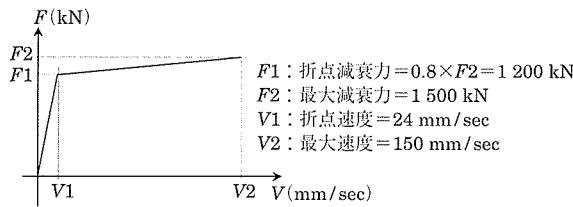
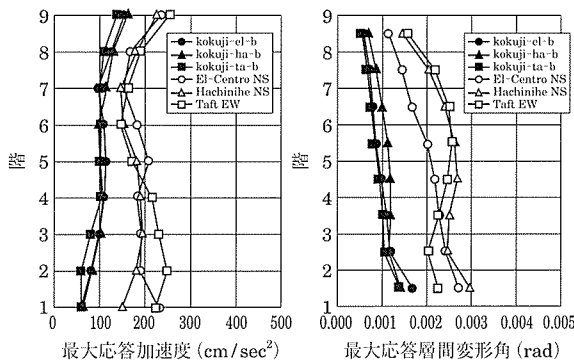


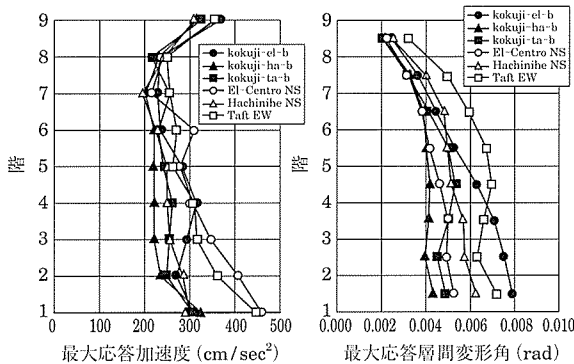
図 - 12 オイルダンパーの特性

表 - 3 固有値解析結果

	固有周期 (sec)	
	長辺方向	短辺方向
1次	0.725	0.951
2次	0.212	0.300
3次	0.097	0.142



(a) レベル 1



(b) レベル 2

図 - 13 時刻歴応答解析結果

地震波よりも小さな値となっており、本制振システムが地震動による応答の増幅を抑えている。

図 - 14 に層せん断力と層間変形角関係上に漸増荷重非線形解析と時刻歴応答解析 (レベル 2) のプロットを示す。同じ層間変形角で動的解析と静的解析の応答せん断力を比較すると、2~3割動的解析の応答値が大きい。これは静的と動的の外力分布形が異なり、最大応答値の発生が同時でない動的な効果によるものと考えられる。

図 - 15 に kokuji-el-b (レベル 2) 波を入力した場合のエネルギー吸収状況を示す。オイルダンパーの減衰エネルギー吸収が 15%、極低降伏点鋼の履歴エネルギー吸収が 73%と、制振装置で総地震入力エネルギーの約 90%を吸収しており、本制振システムが効率良く地震エネルギーを吸収していることが分かる。

図 - 16 に kokuji-el-b (レベル 2) 波を入力した場合のオ

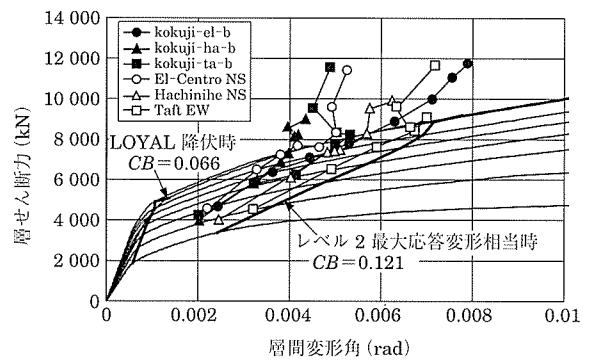


図 - 14 層せん断力と層間変形角 (レベル 2)

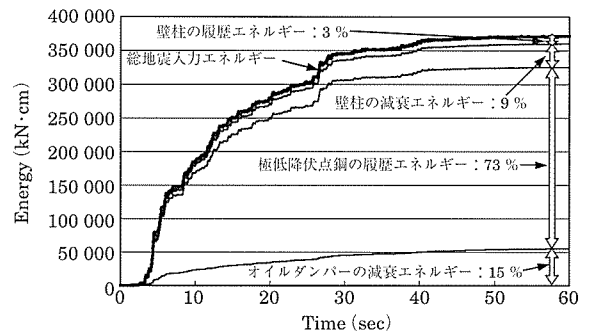


図 - 15 エネルギー吸収状況 (kokuji-el-b [レベル 2])

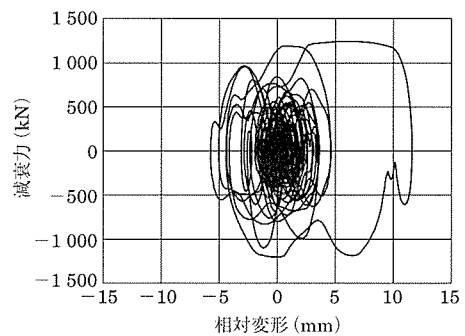


図 - 16 オイルダンパーの応答 (kokuji-el-b [レベル 2])

イルダンパーの応答結果を示す。最大応答付近ではリリーフ荷重 1 200 kN を超えて応答しており、オイルダンパーが効率良くエネルギー吸収している。

図 - 17 に kokuji-el-b (レベル 2) 波を入力した場合の極低降伏点鋼のせん断力とせん断ひずみの関係と累積損傷度 D^2 を示す。最大せん断ひずみは $\gamma = 5.7\%$ (3 FL), 累積損傷度の最大値は $D = 0.0676$ (3 FL) であり, 設計クライテリアの許容累積損傷度 $D = 0.2$ 以内となっている。

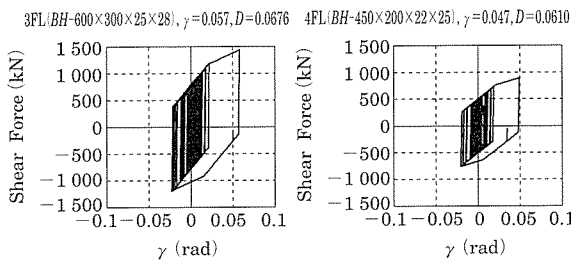


図 - 17 極低降伏点鋼の応答 (kokuji - el - b [レベル 2])

5. プレキャスト・プレストレストコンクリート梁

5.1 床組架構計画

18.69 m × 39.55 m の平面を無柱の執務空間とすること, および天井仕上材を使わず, 見上げの構造 (床, 小梁) を直接表現することを目的として, RC 造スラブおよびプレキャストプレストレストコンクリート梁 (PCaPC 梁) を使用する床組架構を計画した。PCaPC 梁は短辺方向に単純小梁として配置し, 壁柱に架け渡すこととした。床組構造図を図 - 18 に, 建物断面イメージを図 - 19 に示す。長辺方向に並ぶ壁柱は 3.90 m 間隔であるが, 梁同士の間隔を 1.95 m とピッチを細かくし, 梁断面を極力小さくすることで, デザイン上繊細かつ軽快に表すこととした。また, 平面中央に存在するボイド (床開口) のため, 梁が直接架けられない箇所は, 直径 286 mm の PCa ポスト柱および二次小梁を採用した。結果として, 1 フロアあたり 14 台のロングスパン PCaPC 梁を採用することとなった。

5.2 プレキャストプレストレストコンクリート梁計画

PCaPC 梁の断面寸法を最小限にする構造上の解決策として, 高強度材料の使用と, 高い応力レベルのプレストレス力を検討した。その結果, 設計基準強度 70 N/mm² のコンクリートおよび緊張材として USD 685 高強度異形鉄筋を使用することで, $B \times D = 300 \text{ mm} \times 750 \text{ mm}$ の断面が可能となった。従来のプレストレストコンクリート梁では緊張材に PC 鋼材を使用するが, 鋼材間隔の確保や別途軸方向に配置する普通鉄筋の存在により, 梁断面の縮小化に限界がでてくる。これに対し, 高強度軸方向鉄筋を使用して, これ自体を緊張材とすることで, 余分な軸方向鋼材が不要となり, かつ十分下方有効な位置に緊張力を与えることができることが本構法の特徴である。

図 - 20 および図 - 21 に PCaPC 梁の概要を示す。運搬および揚重計画から, 18.69 m のスパンのうち中央部 14.8 m

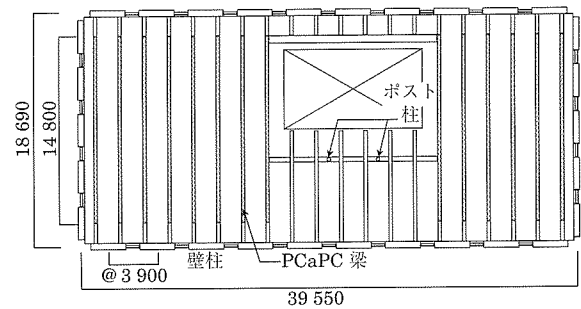


図 - 18 床組構造図

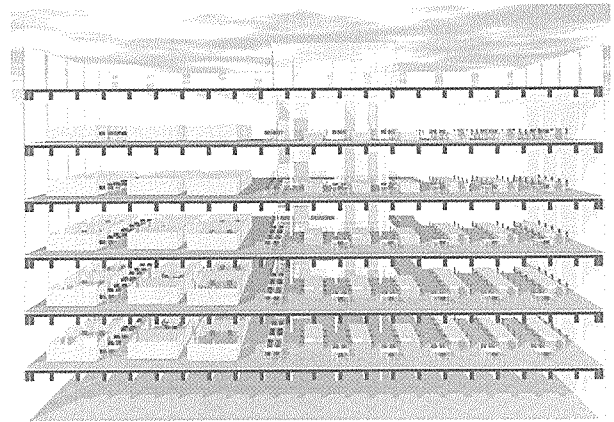


図 - 19 建物断面イメージ

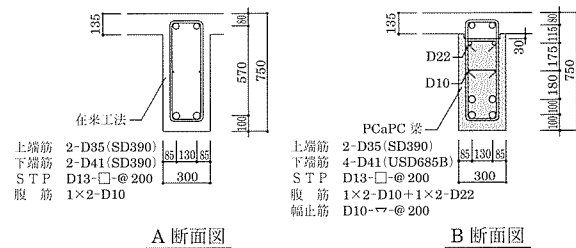


図 - 20 PCaPC 梁の概要 (梁断面)

部分で, スラブ下面より下方部分をプレキャスト化するハーフ PCaPC 梁として軽量化を計った。また, 効率的に PCaPC 梁製作が可能で, 定着具やグラウト工事が不要となるプレテンション構法が採用された。

しかし, 本構法の問題点として, 以下にあげる項目の把握が必要である。

- ① 高強度異形鉄筋のリラクセーション値の把握
- ② 必要定着長の把握および異形鉄筋の高付着力による定着端部割裂破壊の防止
- ③ コンクリートの弾性変形およびクリープ変形によるプレストレスロス率の把握
- ④ プレストレス力導入時の梁むくり量および長期荷重による変形量の把握

鋼材のリラクセーション試験, 実大梁の試験製作および半年間の長期荷重試験³⁾を行い, 各項目における設計値を定め, プレストレストコンクリート設計規準⁴⁾に示される

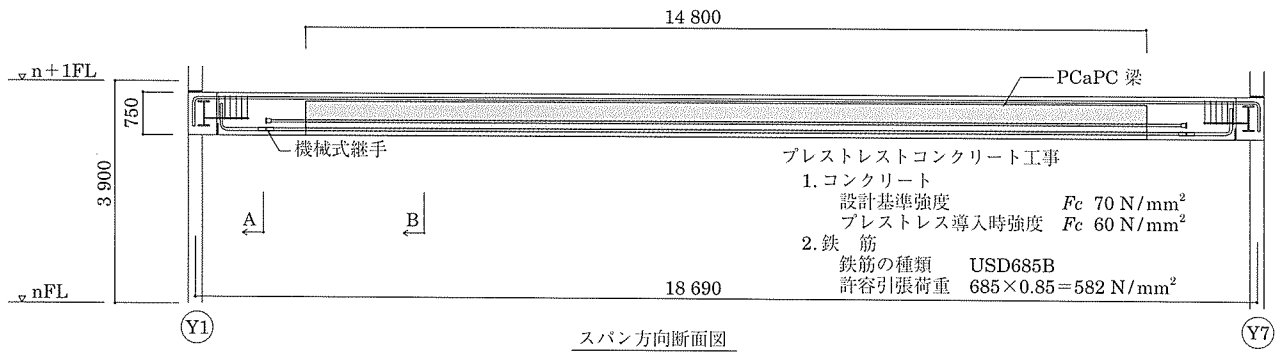


図 - 21 PCaPC 梁の断面概要 (スパン方向断面)

パーシャルプレストレスの設計としてひび割れの発生を抑制する断面設計を行った。図 - 22 に基準階における PCaPC 梁設計時の断面応力を示す。また、長期荷重試験を行った後の梁で曲げ破壊試験を行い、強度と変形性能が十分であることも確認した。

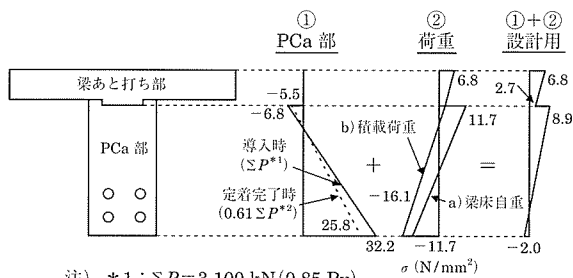


図 - 22 梁設計時の断面応力 (梁中央部)

5.3 PCaPC 梁の施工状況

PCaPC 梁の製作は、緊張用のアバットを有する PC 工場にて行い、配筋から緊張力導入までの 1 サイクルで、3 台の梁を同時に製作した。PCaPC 梁の製作手順を以下に示す。

- ① ベンチ上に梁配筋を行った後、アバットにより鉄筋に所定の緊張力 (3100 kN) を与える (写真 - 1)。鉄筋の緊張は、緊張力の管理に加えて、鉄筋の伸びも確認しながら実施した。
- ② 側面の型枠をセット後、コンクリートを打設する。打設後の養生は、梁のコンクリート温度が上昇しすぎない事と鋼製型枠とコンクリートの温度差をできるだけ少なくする事に配慮した蒸気養生の温度勾配の設定やシート養生計画とした。
- ③ 所定の導入時コンクリート強度 (60 N/mm²) を確認後、アバットの緊張を解放することによりプレストレス力を導入する。導入速度は鉄筋周辺のコンクリートに悪影響を与えないように、できるだけゆっくりとした速度とした。
- ④ プレストレス力導入後は、コンクリートのクラック等の目視確認や梁のむくり量等の実測確認を行い、設計で想定した品質が保たれていることを確認した。(写真 - 2)

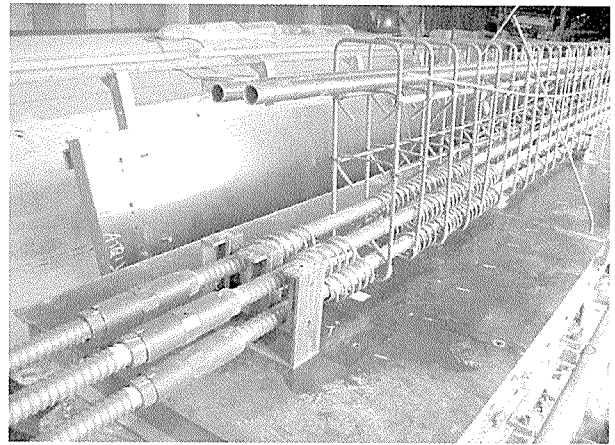


写真 - 1 PCaPC 梁の USD685 緊張時の状況

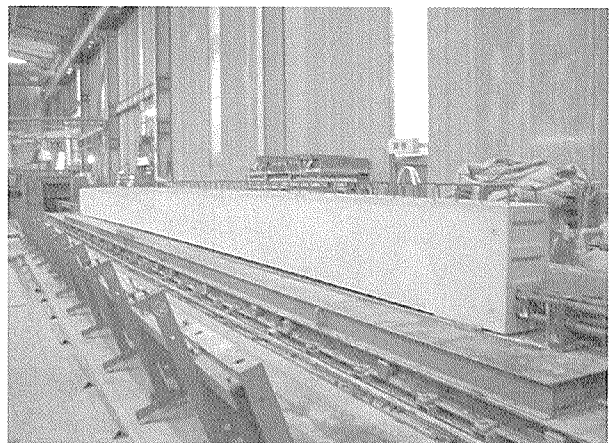


写真 - 2 PCaPC 梁の緊張力導入後の状況

6. おわりに

大成札幌ビルでは、知的制振システム TASMO に高強度異形鉄筋 USD685 を緊張材とした PCaPC 梁を長スパン梁に適用することで、高い耐震性能を確保しつつ、建物内に柱のない広い空間を鉄筋コンクリート造で実現することができた。

謝 辞

昭和コンクリート工業株式会社殿には、PCaPC 梁の実大試験体の製作に協力いただき、実施適用前の貴重な設計資

料を得ることができました。また、会澤高圧コンクリート株式会社殿には、本建物の PCaPC 梁製作にあたり、日々の施工方法の工夫・改良等により、品質確保に尽力いただきました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 村瀬 正樹，他：エネルギー吸収集約型制振システムの開発（その 1～3），日本建築学会大会学術講演梗概集，2006 年（関東）掲載予定

- 2) 泉 満，他：極低降伏点鋼を用いたせん断降伏型制振部材の低サイクル疲労実験（その 6～9），日本建築学会大会学術講演梗概集構造 C，1996 年（近畿），1997 年（関東）
- 3) 河本 慎一郎，他：高強度異形鉄筋を用いたプレテンション方式 PCaPC 梁の構造性能（その 1～2），日本建築学会大会学術講演梗概集，2006 年（関東）掲載予定
- 4) 日本建築学会：プレストレストコンクリート設計施工規準・同解説，1998

【2006 年 5 月 9 日受付】



新刊図書案内

PC技術規準シリーズ

外ケーブル構造・プレキャストセグメント工法 設計施工規準

頒布価格：会員特価 4 000 円（送料 500 円）

：非会員価格 4 725 円（送料 500 円）

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会 編
技報堂出版