

PC 梁を活用した超高層免震建物の設計・施工

— センターマークスタワー —

高山 一斗*1・西村 章*2・二木 秀也*3・副枝 克行*4

鉄筋コンクリート造において、建築空間の高品質化のためにプレストレストコンクリート（以下、PC）梁を用いてロングスパン化することは非常に有効な手段であり、現在までに国内外で多く採用されている。

本建物は、福岡県福岡市内に建つ地上46階建ての超高層集合住宅であり、鉄筋コンクリート造の基礎免震構造である。対象敷地であるアイランドシティ（人工島）における新しいランドマークを形成することを目的とし、シンボリックな建物形状を実現するために1階にPC大梁を用いた。PC大梁の採用により、合理的な免震装置配置計画が可能になり、アスペクト比が大きくスレンダーな超高層建物を実現できたため、本報において報告する。

キーワード：PC 梁、超高層、免震、プレキャスト

1. はじめに

対象建物である NICS 計画 A 棟は、福岡市中心地区の北側に位置する博多湾の人工島（アイランドシティ）に建つ。

アイランドシティは、良質な住環境の形成、新しい産業の集積拠点の形成など、先進的モデル都市づくりを目的に近年埋め立てられた人工島で、大規模な公園、住宅地・教育施設・病院などの周辺施設の開発も進んでおり、福岡市の海・山・街に囲まれた立地である。

本建物は、アイランドシティの新しいランドマークとして計画された超高層分譲集合住宅である。

図 - 1 に建物全景写真を示す。

2. 建築概要

建物名称：センターマークスタワー
 建設地：福岡県福岡市東区
 設計施工：(株)竹中工務店
 建築面積：3261.23 m²
 延床面積：37497.24 m²
 最高高さ：152.80 m
 階数：地上46階
 構造形式：免震構造（基礎免震）
 構造種別：鉄筋コンクリート造
 （1階プレストレストコンクリート造）



図 - 1 建物全景（写真）

*1 Kazuto TAKAYAMA：(株)竹中工務店 九州支店 設計部

*2 Akira NISHIMURA：(株)竹中工務店 九州支店 設計部

*3 Shuya FUTATSUGI：(株)竹中工務店 九州支店 設計部

*4 Katsuyuki SOEDA：(株)富士ビー・エス 九州支店 建築部

3. 建築計画

図 - 2 に対象敷地の周辺地図を、図 - 3 に建物配置図を示す。

図 - 2 に示すように、対象敷地であるアイランドシティは、福岡市における海・山・街の3方向への眺望が優れた立地条件となっている。

また、計画地の東側には大規模な公園のある比較的開かれた敷地であり、周辺は、病院・温浴施設等が点在し、今後、住宅・商業施設・オフィス等が整備予定であるため、良質な住環境を形成することができる。

本建物は、高さ約152m、46階建、290戸の超高層分譲集合住宅であり、高さ方向のゾーニングとしては、1階にエントランス、2階に設備スペースを配置し、3階から45階を共同住宅、46階をエレベータ機械室や設備機器ヤードとし、最頂部にヘリポートをもつ構成である。

基準階は、外周に住戸を配置し、中央にエレベータ・階段などの共用コアを配置しており、建物東側には4層に1層のコミュニティガーデンが存在する(図 - 4, 5)。

建物の平面形状は六角形・立面形状は整形であり、最下層の下に免震階を設け、後述する免震構造を採用し、耐震性能に優れ、資産価値の高い計画としている。

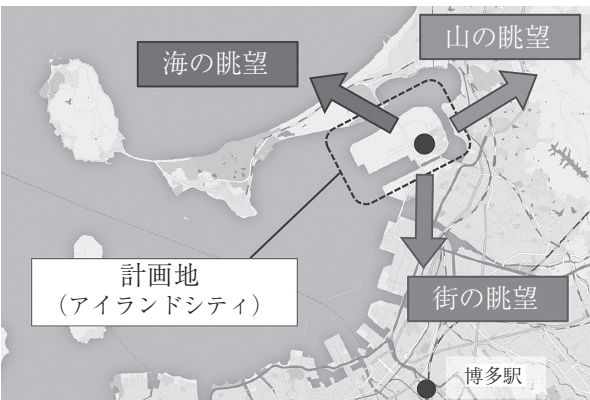


図 - 2 対象敷地の周辺地図

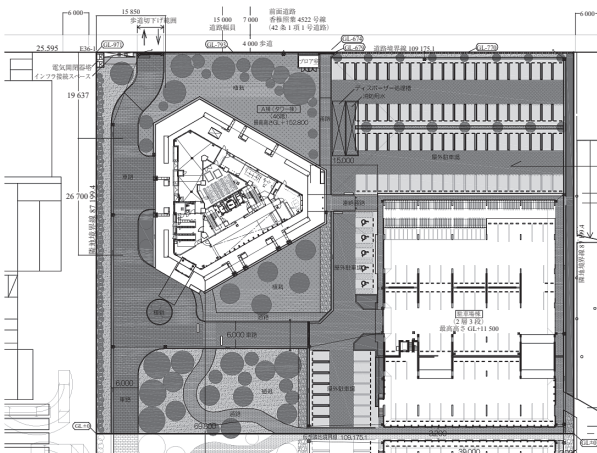


図 - 3 建物配置図

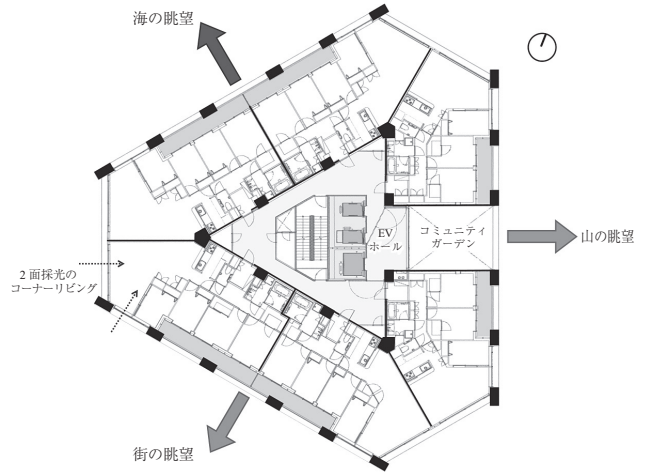


図 - 4 基準階平面図

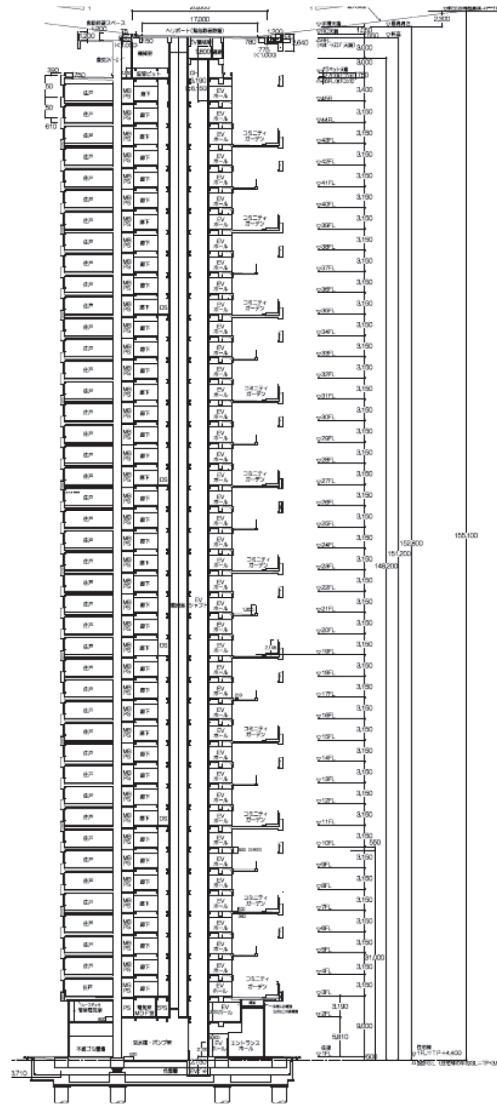


図 - 5 断面図

4. 構造計画・構造設計

4.1 全体計画

本建物は計画地における新しいランドマークとして計画しており、平面プランは3方向への眺望に対応できる隅切六角形状、等価アスペクト比5.9のスレンダーでシンボリックな形状としている。

また、基準階平面は長辺26.7m、短辺10.7m、面積約850m²であり、1フロアに6戸または7戸の住戸配置により角住戸率を88%と高め、かつ、構造合理性を追求した形状とした。外観上も3枚のパネルを強調し、構造体が建物の表情を決定づけるデザインとした。

構造計画においては、このスレンダーでシンボリックな建物を実現することに加えて、昨今の労務職逼迫のなかにおいても低コスト・短工期化という建築主ニーズに答えるために、生産性の高いシンプルで合理的な構造体とすることが必要であった。

これらの課題を解決するために、本建物は固有周期7秒を超える長周期化された高性能な免震構造（超長周期免震構造）としている。建物を超長周期化することにより、地震力を大幅に低減し、上部架構をシンプルにすることに加えて躯体数量を低減している。

この超長周期免震構造を実現するために必要となったのが、1階の大断面大梁へのプレストレストコンクリートの採用である。

1階の大梁をPC化することで合理的な免震配置計画を可能としており、その結果、スレンダーでシンボリックな建物形状の実現に寄与している。

図-6に構造概要を示す。

4.2 1階PC大梁

本建物におけるPC梁の概要を図-7に示す。

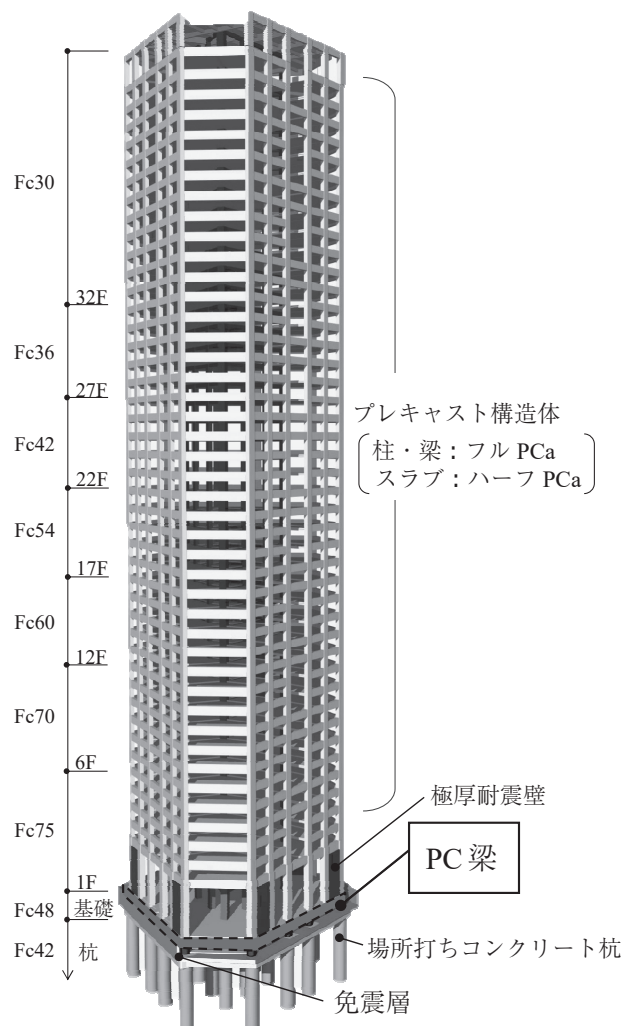


図-6 全体バース

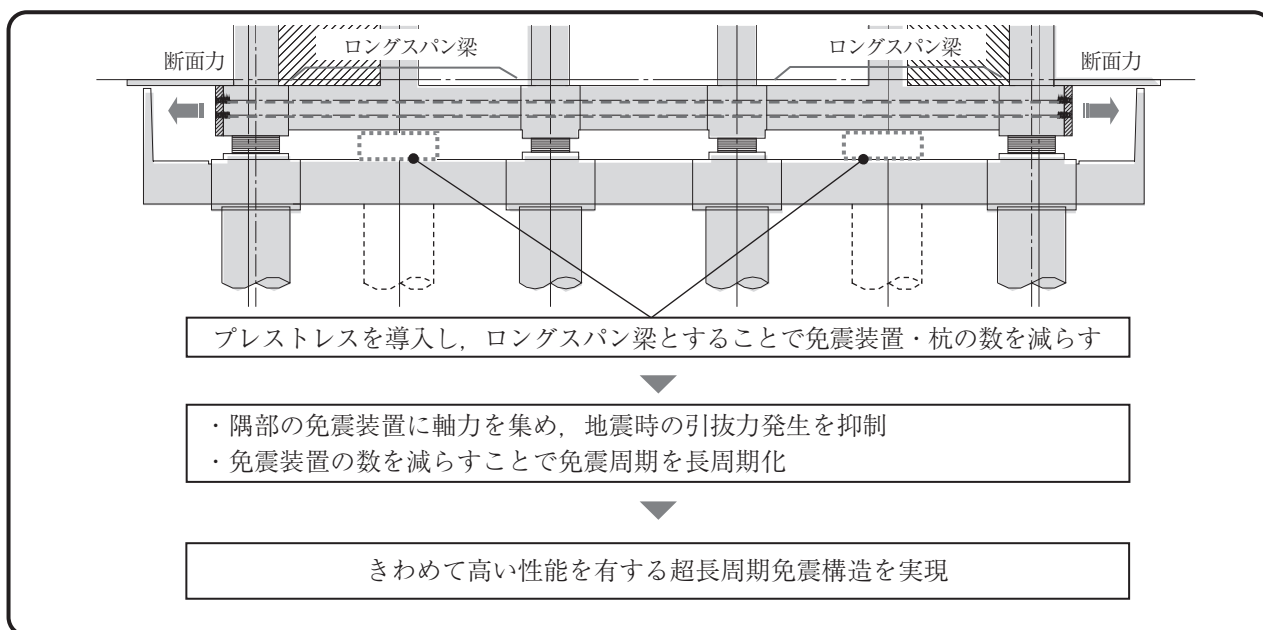


図-7 PC梁を活用した免震層の概要

○ 工事報告 ○

図 - 7 に示すとおり、通常の免震建物においては、各柱それぞれの直下に免震装置（支承材）を配置するが、その場合、免震周期を長周期化できず、また地震時の免震装置引抜き力の対応も困難となることが多い。

そこで、本建物においては1階の大梁をプレストレスを導入したPC梁とすることで、10mを超えるロングスパン梁とした。

このPC化により、ロングスパン化した大梁の中央に位置する柱直下には免震装置を配置しない計画とすることで、建物隅部の免震装置に軸力を集約し地震時における免震装置の引抜き力発生を抑止することが可能となった。

また、免震装置の基数を減らすことで免震周期を長周期化し、きわめて高い免震性能を有する超長周期免震構造を実現している。

PC梁の配置図を図 - 8 に、詳細図を図 - 9 に示す。

1階の外周部のロングスパン梁をPC梁とし、梁端部には定着具を設置するための打増し帯を設けるディテールとした。

また、PC梁に作用する力について図 - 10 に示す。

本建物では、前述したように1階柱の直下の一部には免震装置を配置していないため、長期荷重時において、PC大梁中央の柱軸力によって当該大梁に生じる大きな断面力（引張力）に対して、プレストレスを導入する。

PC梁への導入力の算定にあたり、一貫計算プログラムを用いて1階の床の剛性を無視したモデルにより応力解析を行い、1F梁に生じる断面力を算定した。

プレストレス力の検証においては、導入力に有効率を乗じた有効プレストレス力が上述した発生断面力を上回っていることを確認した。

ケーブルの配線図および定着部平面図を図 - 11 に示す。

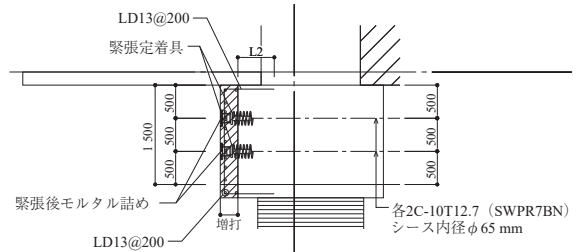
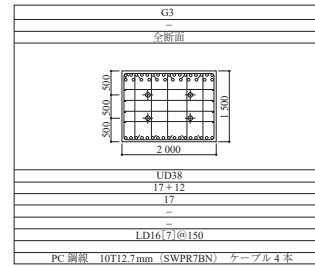


図 - 9 PC梁詳細図

PC鋼材の仕様を下記に示す。

- 略名 : 10T12.7mm (SWPR7BN)
- 断面積 : $A_p = 987.1 \text{ mm}^2$
- 降伏荷重 : $P_y = 1560 \text{ kN}$
- 長期許容引張応力 : $PL = 0.8 \quad P_y = 1248 \text{ kN}$
- 有効緊張力係数 : $\alpha = 0.85$
- ケーブル本数 : 4本

有効プレストレス力 $N_a = PL \times \alpha \times 4 \text{ 本} = 4243 \text{ kN}$

梁に生じる長期引張力 $N_L = 3657 < N_a = 4243 \text{ kN}$

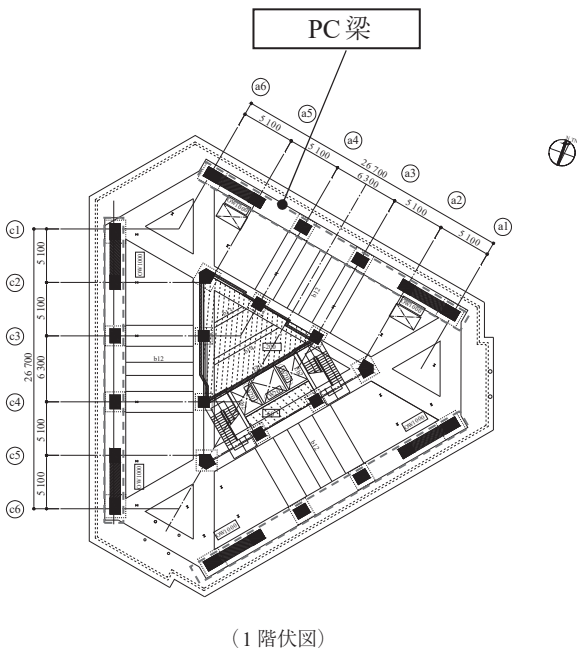


図 - 8 PC梁配置図

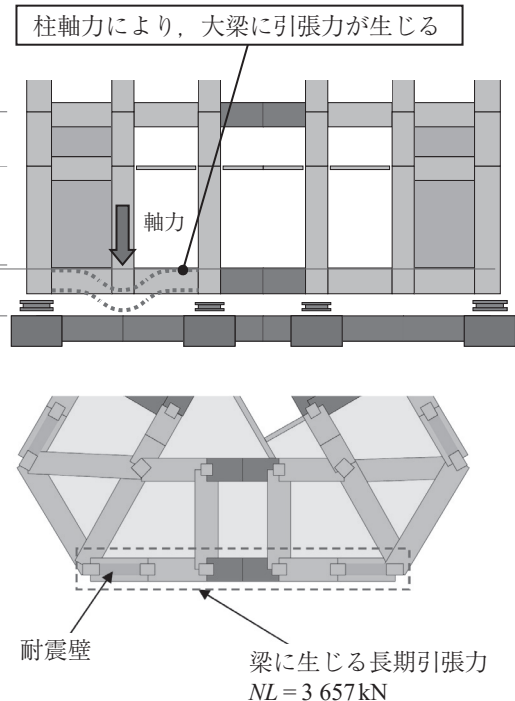


図 - 10 PC梁に作用する力

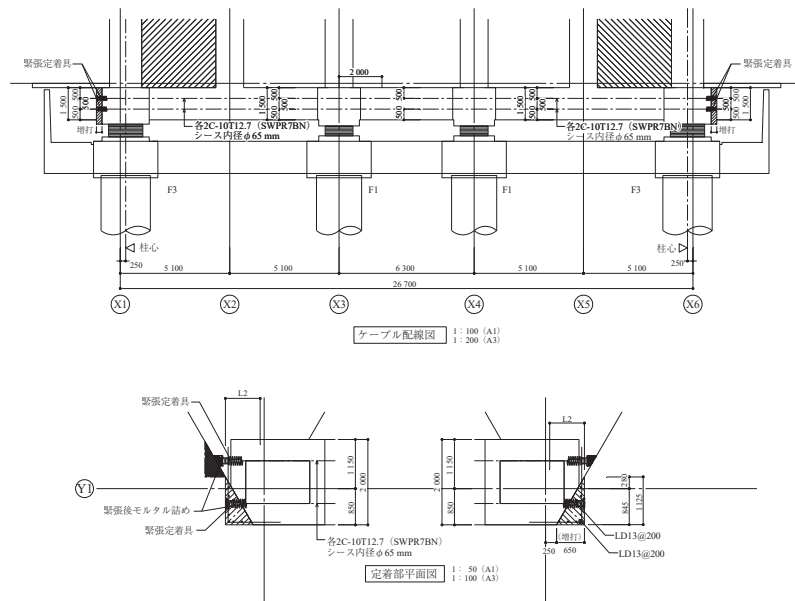


図 - 11 PC ケーブル配線図および定着部の平面図

4.3 免震層

本建物では、図 - 12, 13 に示すロック機構付きダンパーを用いた免震システムを採用することで、超長周期化を実現している。

ロック機構付きダンパーは、電気制御を必要としないロック機構を有し、小さい外力レベルではロック状態を保持し、大きな外力レベルでは通常の免震用オイルダンパーとして機能する特徴をもつ。

本建物では、ロック機構付きダンパーは再現期間 10 年の風荷重相当まではロック状態となるように本数および配置を調整しており、ダンパー自体の変形をかぎりなく小さくすることで過大な免震層変形を抑制している。

一方、再現期間 10 年の風荷重相当の外力を超えるレベルではロックが解除され、ロック機構付きダンパーがオイルダンパーとして機能することにより超長周期化された免震周期の建物となる。その結果、疲労等が懸念される金属系ダンパーやストッパー等を用いることなく、風と地震に対して両立できる高性能な免震システムが構築できる。

また、支承材については、天然ゴム系積層ゴム支承と低摩擦弾性滑り支承の 2 種類とし、固有周期を伸ばして超長周期化させるとともに、残留変形を小さく抑えることができる配置計画とした。減衰材については、前述したロック機構付きダンパーに加え、小振幅（ロック機構付きダンパーがロックしている状態）においても高い減衰性能を発揮する免震用減衰こまを配置している（図 - 14）。

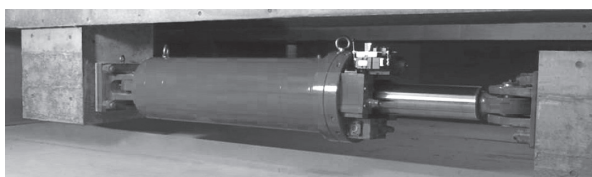
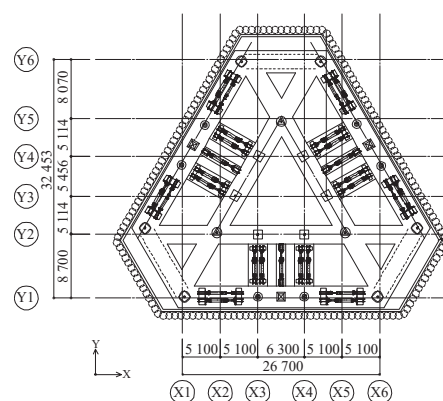


図 - 12 ロック機構付きダンパー

| | 通常の免震 (風対策なし) | 通常の免震 (風対策あり) | 本建物の免震システム (風対策あり) |
|------|--------------------|------------------|-----------------------|
| 風荷重 | 変形が大きい (柔らかい) ✗ | 変形が小さい (硬い) ○ | 変形が小さい (硬い) ○ |
| 地震荷重 | 変形が大きい (柔らかい) ○ | 変形が小さい (硬い) ✗ | 変形が大きい (柔らかい) ○ |

図 - 13 本建物の免震システムの概要



免震材料リスト

| 名称 | 仕様 | 記号 | 装置数 | 名称 | 仕様 | 記号 | 装置数 |
|-----------|--------------------------------|----|-----|----------------------|---------------------------|----|------|
| 天然ゴム系積層ゴム | NS130G4 (S ₂ =4.98) | ● | 6 基 | 角型弾性すべり支承 | SSR-1200 (μ=0.01, 高面圧タイプ) | ■ | 6 基 |
| 天然ゴム系積層ゴム | NS140G4 (S ₂ =5.02) | ⊙ | 3 基 | 減衰こま | RDT-100-750 (1000kN 仕様) | ⊞ | 6 基 |
| 天然ゴム系積層ゴム | NT160G4 (S ₂ =6.41) | ⊕ | 6 基 | パッシブロックダンパー (カヤハSD型) | SD2001500-L-U1-X (ロック機構付) | ⊞ | 21 基 |

図 - 14 免震材料配置図

図 - 15 に免震層の静的な荷重 - 変位関係図と風・地震の外力レベルを示す。

荷重 - 変位関係図から、再現期間 10 年の風荷重相当レベル未満では、ロックにより免震層の変位が抑制される。一方、それ以上の荷重レベルでは、ロックが解除されて超長周期化された免震構造となることが分かる。

また、本建物には想定外の大地震への対策として、建物本体と擁壁との間に衝突緩衝材を設けている（図 - 16）。

建物本体と擁壁のクリアランス 65 cm に対して、建物本体と衝突緩衝材とのクリアランス（設計用せん断力作用時 + 余力）を 55 cm とすることで、想定外の外力により免震層に過大な変位が生じた場合においても、建物本体と擁壁が衝突する前に建物本体と衝突緩衝材が接触するため、衝突時の衝撃を吸収することができる。これにより、想定外の地震等が生じた場合においても、擁壁や免震材料、上部架構の損傷を抑制することができる。

図 - 17 に免震層の施工状況（基礎梁打設完了・免震材料設置時）の写真を示す。

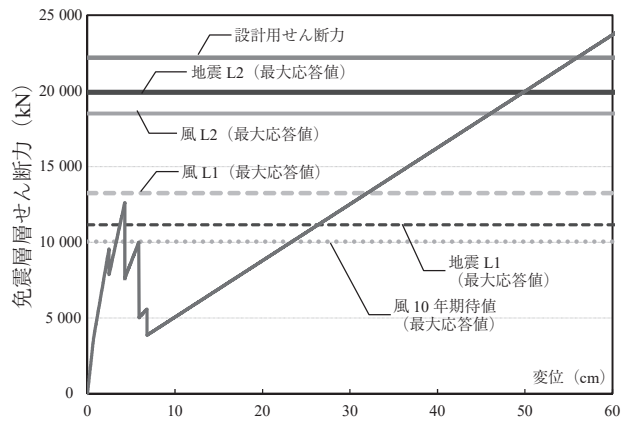


図 - 15 免震層の荷重 - 変位関係

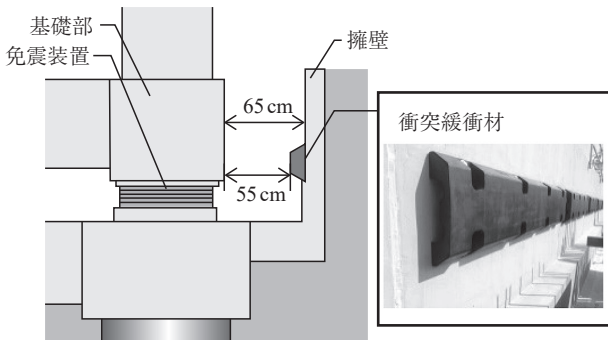


図 - 16 衝突緩衝材

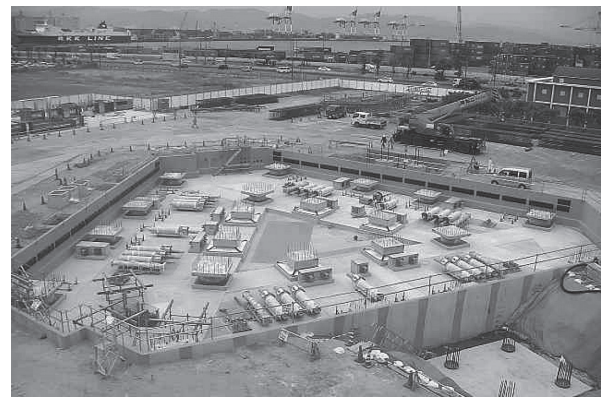


図 - 17 免震層施工状況

4.4 上部基準階

本建物では、前述した免震システムを採用することで超長周期化し地震時の発生応力を大幅に低減しているため、柱梁の断面のスリム化を行うと共に、建物外周部と内周部のみにラーメン架構を用いたダブルチューブ構造の採用を可能としている（図 - 18）。

連結梁のないダブルチューブ構造とすることで、居室部分においては一切梁型が出ない空間とし、3 方向の眺望に配慮した豊かな住空間の構築に寄与している。

また、基準階においては柱および大梁をフルプレキャスト部材とし、スラブはハーフ PCa スラブで連結している。

連結梁のないダブルチューブ構造とすることで、柱・大梁のプレキャスト部材についても取合いの少ない単純な部材とすることができ、高い生産性を実現している。

図 - 19 に PCa 詳細図、図 - 20 に PCa 部材製作・取付状況を示す。PCa 部材は梁 - 仕口一体型とし、梁にスラブ乗せ掛け部を設けることでハーフ PCa スラブの施工も容易にしている。

これらにより生産性の高い架構形式・PCa 計画とすることで、4 日タクト / フロアを実現しており、昨今の労務職逼迫の状況という課題を解決している。

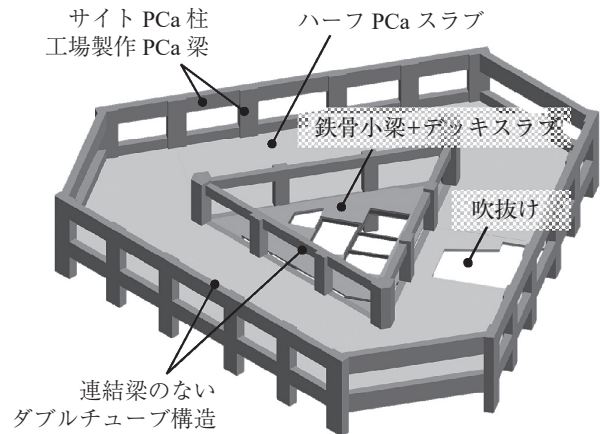
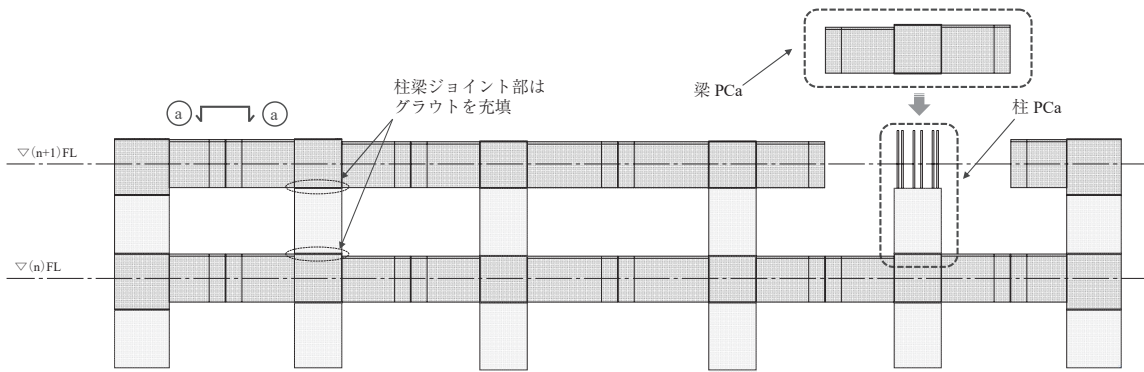
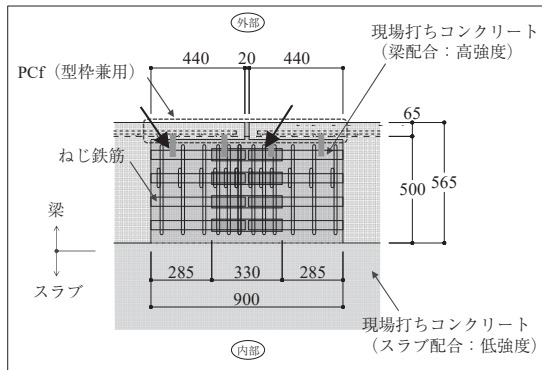


図 - 18 基準階パース



Y1 通 立面図

外周梁ジョイント部 (a-a 矢視図)



外周梁-スラブ取合い部

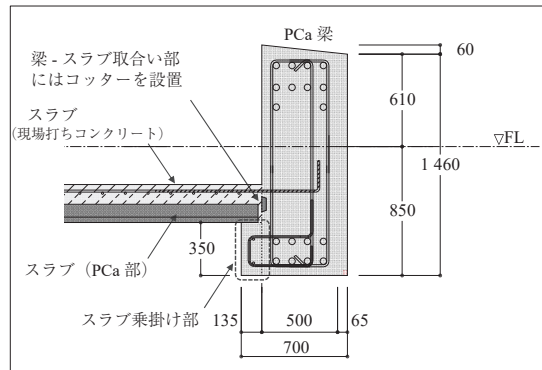


図 - 19 PCa 詳細図

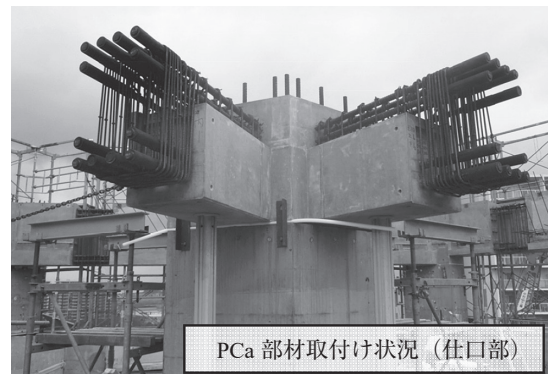
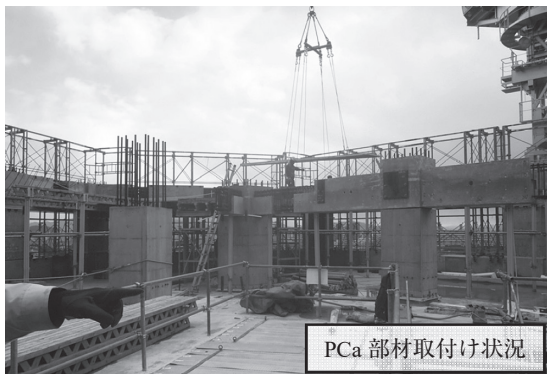
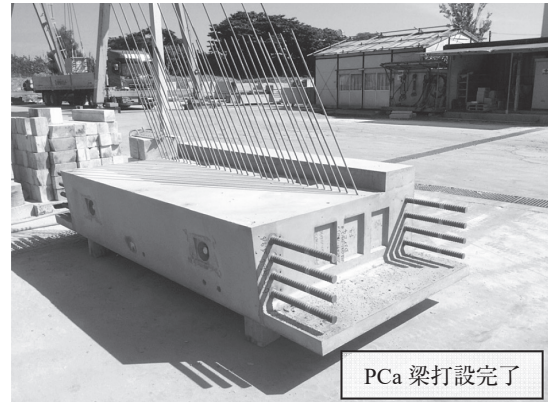
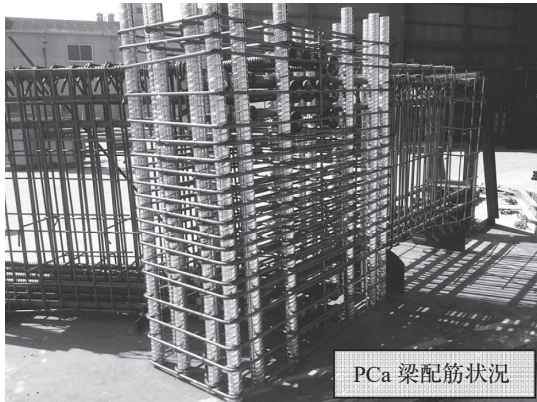


図 - 20 PCa 部材製作・取付け状況

5. おわりに

本建物では、建物の重要部位である1階の梁にPC梁を活用することで超長周期免震構造とし、スレンダーでシンボリックな建物形状を実現した。

さらに、高性能免震とすることにより、上部架構の躯体の簡素化を可能にし、昨今の労務職逼迫の状況下においても、高生産性・短工期の実現に大きく寄与している。

また、図-21に示すように本建物のようにPC梁により超長周期免震構造を実現した例は計画地において2例目であり、図-22～24に示すようにシンボリックな外観・開放性の高い内部空間を実現しており建築主からも高い評価を得ていることから、更に計画地周辺における今後の計画においても、同様な技術の活用・展開を予定している。

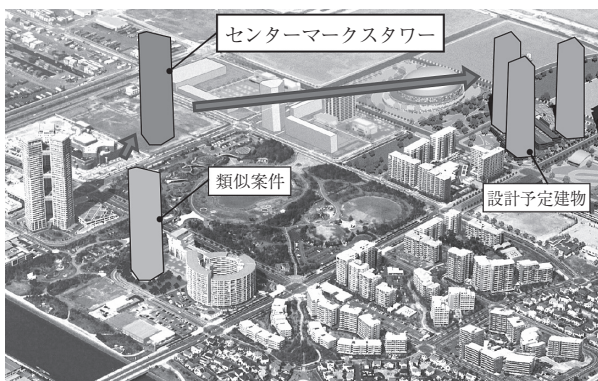


図 - 21 計画地航空写真



図 - 23 建物全景



図 - 22 低層部外観



図 - 24 エントランス内観

【2019年7月7日受付】