

【東京ガーデンテラス紀尾井町】 紀尾井タワーの設計と施工



小坂橋 裕一
株式会社日建設計



木村 征也
同



安藤 顕祐
同



長嶋 千草
同

1 はじめに

近年、超高層建築物は用途の多様化に伴い、断面方向において用途の異なる建築平面を積層した計画がなされることが多い。【東京ガーデンテラス紀尾井町】紀尾井タワー（写真1）も高効率な制振システムを採用することで、高い耐震性能を有しながら、断面方向に用途の異なる建築平面を積層した複合用途超高層建築物である。実現に至った構造計画・構造設計・施工計画上の各種の取組み・創意工夫について本稿で述べる。

2 建築計画の概要と計画上の課題

「【東京ガーデンテラス紀尾井町】紀尾井タワー」の建設地は、東京都千代田区紀尾井町1丁目である。旧グランドプリンスホテル赤坂跡地の大規模複合開発計画の一部として、ハイグレードなオフィスとホテルを積層し、建物規模は、地上33階・地下5階・塔屋2階、建物高さ178m、延床面積約227,200m²である。設計・監理を（株）日建設計、施工を鹿島・鉄建・熊谷組建設共同企業体（JV）が担った。



写真1 建物外観

開発計画にあたり、主な計画上の与件・課題は以下の①～④であった。

- ① BCP：「首都圏直下型地震等の大地震にも建物本体の被害を最小化し、オフィス・ホテルとしての機能を維持させる」
- ② 断面計画：「各々最適なスパンで計画したホテル階とオフィス階をトランスファー階を設けて積層した超高層建築の実現」
- ③ 特殊社会情勢への対応：「3・11地震後の労務・社会環境（型枠材・型枠大工の圧倒的な不足）に対応した構造・施工計画」
- ④ 施工：「様々な難工事の完遂」

建築計画は、B3階～1階が開放的なエントランス空間および商業施設、2階～25階までをハイグレードオフィス、26階にトランスファー階を設けて、27階～33階をホテルとした構成としている（図1）。

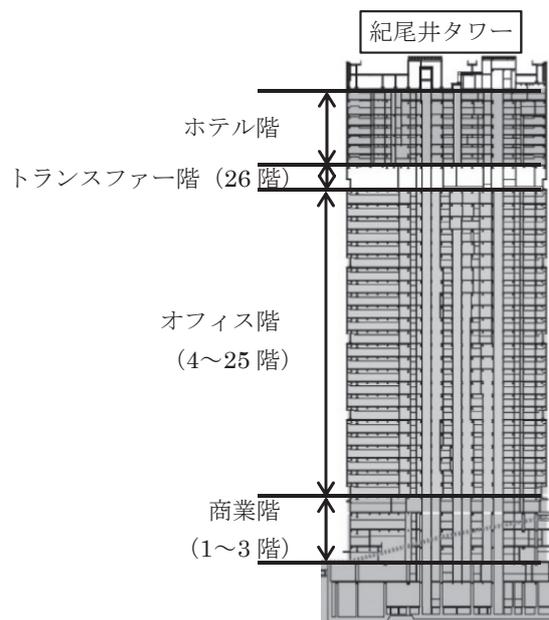


図1 建築計画概要

3 課題を解決する構造計画

前述のような計画上の課題・与条件をもった建築を実現するにあたり以下A～Eに取組んだ。

A『首都圏直下型地震を含む大地震時にも主架構は弾性に留まり、床面応答加速度は250gal以下となるオフィス・ホテルの機能を維持できる高い耐震性能の確保』

耐震性能の確保により、計画与件①BCP、および②断面計画を実現するだけでなく、長期的視点をもって鋼資源の節約、廃棄建材の抑制を見越した高耐久性・長寿命の超高層建築を実現した。

以下、i) ii) を併用した新たなシステム『高効率ハイブリッド制振システム』の採用や創意工夫に取り組んだ。

i) 建築計画の特性を活かし、トランスファートラス架構と連層鋼板壁からなる大架構の変形特性を利用したエネルギー吸収効率が高く各層の地震力（層せん断力）を低減できる斬新な制振システムを考案した。一般超高層建築に対して最大で50%程度エネルギー吸収効率を向上させ、層せん断力を75%程度低減した（図2）。

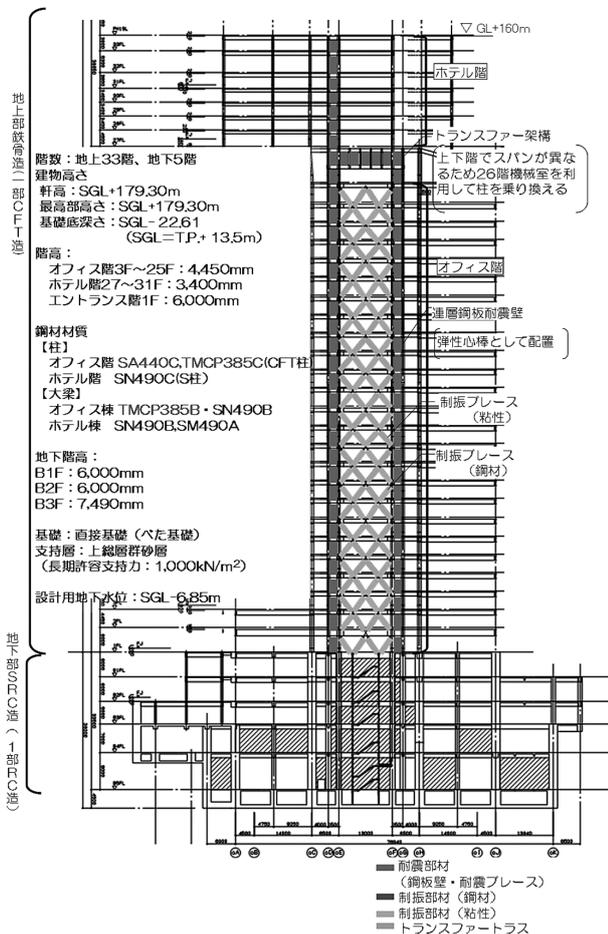


図2-1 東西軸組図

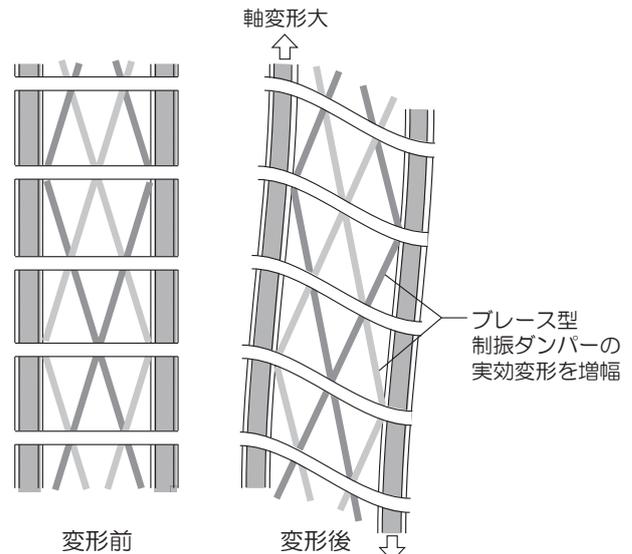


図2-2 制振システムの概要

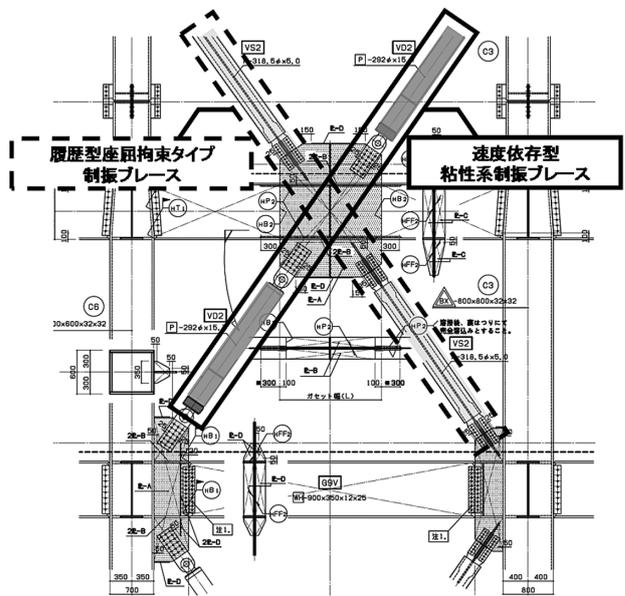


図2-3 制振部材配置図



図2-4 ダンパー設置状況

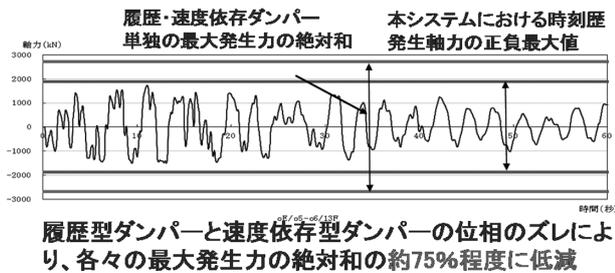


図2-5 本制振システム（1ユニット）で発生する時刻歴軸力

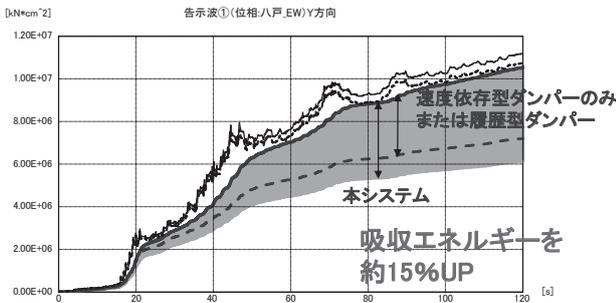
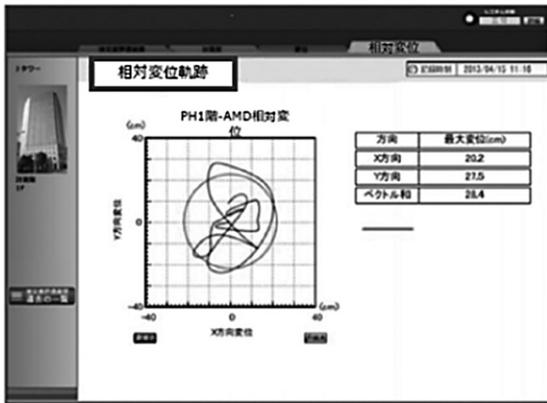
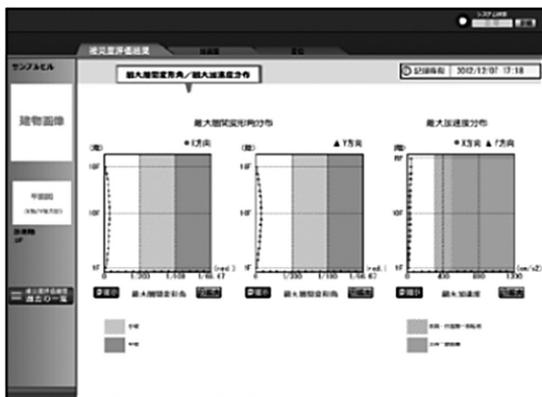


図2-6 振動系のエネルギー収支

ii) 長寿命鋼構造建築を見据えて、地震時被災度を類推したり、制振・耐震部材の効率的なメンテナンスを行うために、床面応答加速度・変位計測（写真2）等の包括的なモニタリングを実施した（図3）。



層における相対変位の観察



地震後の被災度評価（防災センターにて確認）

図3 モニタリングシステム概要

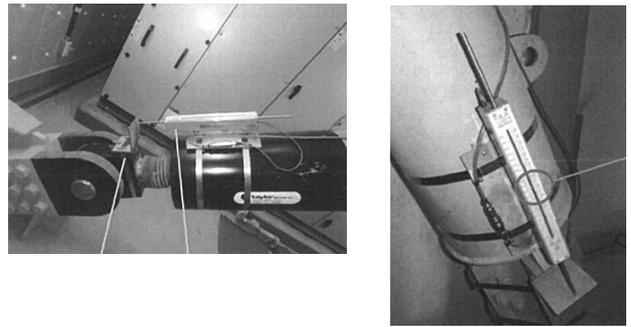


写真2 ダンパー部の変位計測状況

B『長周期地震時または大地震時の後揺れを低減する計画』

写真3に示すような風揺れだけでなく地震時の後揺れにも対応した2～200galの広範囲の床面応答加速度に対応可能なアクティブマスダンパー（AMD）を屋上に配置した。非制振の場合に比べ、約3分程度早く地震時の後揺れを30～50%程度まで低減できる付加機構を持たせ（図4）、迅速な避難活動の実現も目指した。なお、本計画で採用したAMDは1方向のみに可動するリニアモーター駆動を用いた装置であり、推進力が大きい必要質量を比較的小さくすることが可能であり、それ故設置スペースを小さくできることが特徴である。本計画では2台のAMDを用いており、いずれも可動質量15t程度で幅約1,500mm×高さ約1,500mm（装置の外部カバー含む）×長さ約9,000mmのコンパクトなものである。

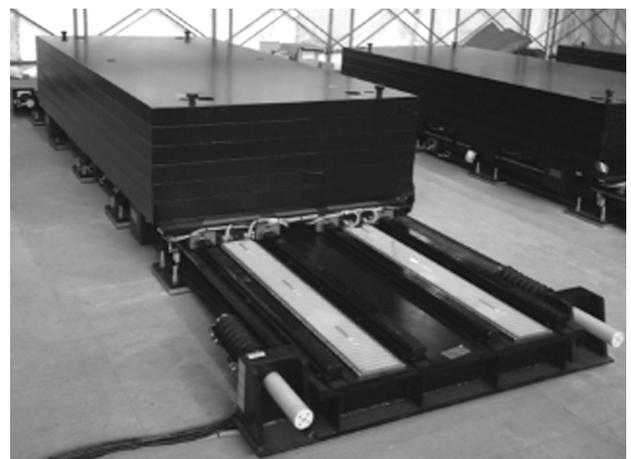


写真3 AMD外観

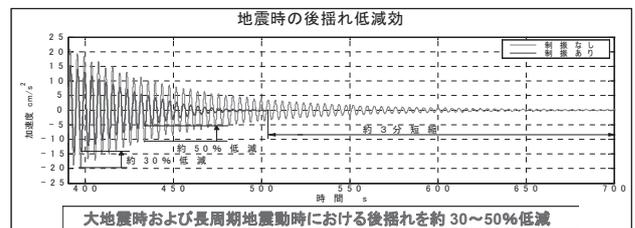


図4 長周期地震動および中小地震の応答を低減するAMDの効果

C『大地震を超える想定外の極大地震時にも建物の塑性変形性能を高めることで倒壊させない計画』

以下、i)～ii)に取組み、鋼構造の普遍的な技術向上・発展普及にも寄与できたと考える。

本プロジェクトでは、大地震を超える想定外の極大地震時にも建物を倒壊させない計画とした。

i)「ウェブ幅厚比が大きな大梁端部でウェブにSN490B材、フランジにTMCP385材を用いた断面耐力が大きく塑性変形性能も高い局部座屈補剛詳細を有する梁を開発」した。この梁断面および端部の補剛詳細を用いることによりFDランク相当ウェブを有する比較的せいの大い溶接組立H形断面梁部材の梁を用いても、高い断面耐力を有したままで、十分な塑性変形後もせん断座屈をはじめとする局部座屈発生に起因する曲げモーメントの急激な劣化を防止し、FAランク同等以上の塑性変形性能を有する梁とすることができた(図5、写真4、写真5)。



写真4 新規開発梁端部の現場外観

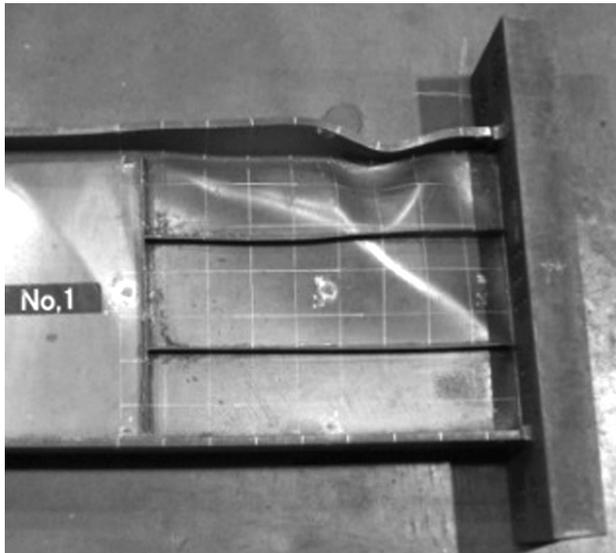


写真5 幅厚比の大きなウェブ部の補剛詳細

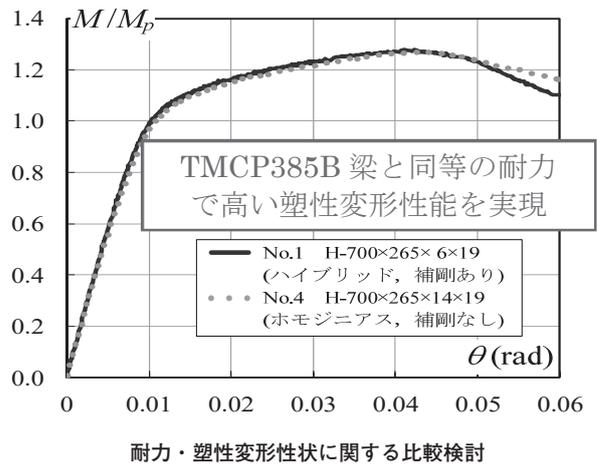
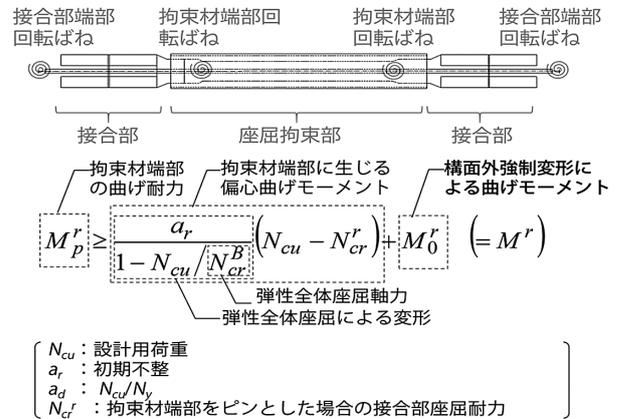


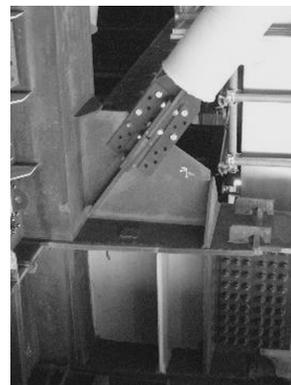
図5 「異種強度梁」＝フランジに高強度鋼材(TMCP385B)を用いた高耐力高靱性梁の開発

ii)「座屈拘束ブレースの終局状態を想定した接合部剛性を考慮した設計法を開発」し採用した。

座屈拘束ブレースの接合部剛性を考慮した設計法を開発・採用することで、一定条件のもとで発生する不安定現象(首折れ座屈)を確実に防止した上で、終局状態まで座屈拘束ブレースの地震エネルギー吸収履歴を安定させることができた(図6)。



首折れ座屈を防止する設計条件式



接合部の現場外観



首折れ座屈現象

図6 接合部剛性を評価し座屈拘束ブレースの不安定現象(首折れ座屈)を防止

D『着工直後に遭遇した特殊な労務・社会環境
(3・11地震後の東北復興のための型枠材・型枠工
の圧倒的不足)への対応』

課題③の解決・対処として、現場着工後の段階において、躯体資材量の大きく広大な地下部において大幅な設計変更を実施し、RC・SRC造架構・部材を全面的に見直し鉄骨造化した。

RC・SRC造を鉄骨造化することにより、地下の軽量化を実現し、杭基礎を全面中止し直接基礎とすることが可能となった。併せて、地震力が低減された効果による地下構造の耐震設計の見直しで、型枠施工を伴う耐震壁・地下外壁・スラブ等のRC躯体を大幅低減し、その結果、地下資材・施工を全般的に合理化することができた。

E『BIMを積極活用した設計・施工の実現』

本プロジェクトでは、特に複雑な傾斜トラスを含み情報量の多いトランスファー階で有効活用した。

設計上は、意匠・構造・設備の全てを包括的に統合した情報整理により、建築動線・設備・構造部材の干渉の確認に使用することや、鉄骨部材の3次元取り合い部の接合詳細・溶接施工プロセス検証へ活用した。また、施工上も、複雑な施工ステップを3次元的に可視化し検討し、BIM情報を3次元立体解析へ活用し高精度な設計・施工時解析を実施した。設計図(鉄骨詳細図)から工作図完成に至るまで一貫してBIMを活用した(図7、写真6、写真7)。

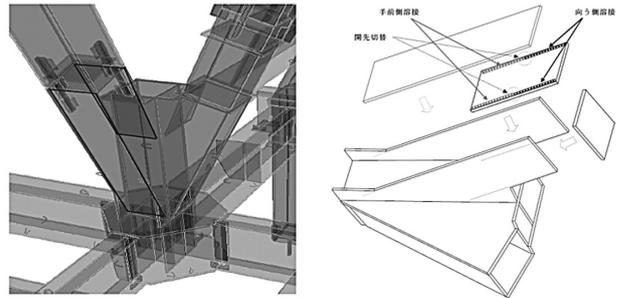


図7-2 3次元取り合い部の接合詳細・溶接施工プロセス検証への活用

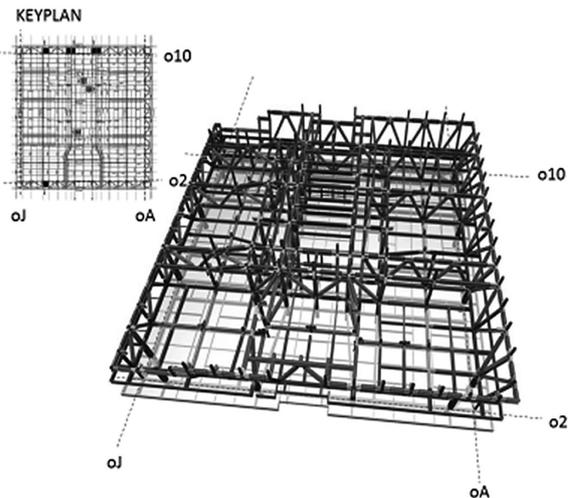


図7-3 複雑な施工ステップを3次元的に可視化した検討

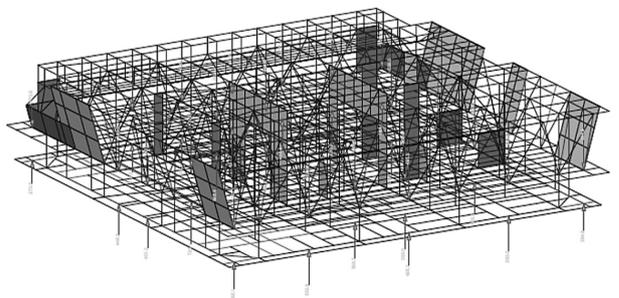


図7-4 BIM情報を3次元立体解析へ活用し高精度な設計・施工時解析を実施

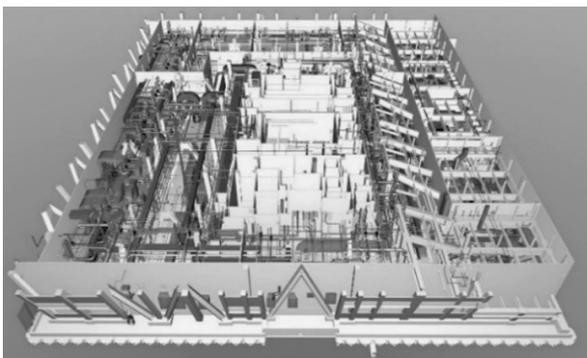


図7-1 建築動線・設備・構造の干渉回避のための立体検証へ活用

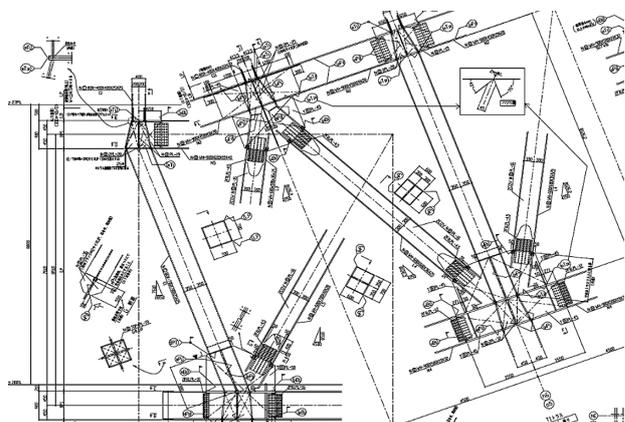
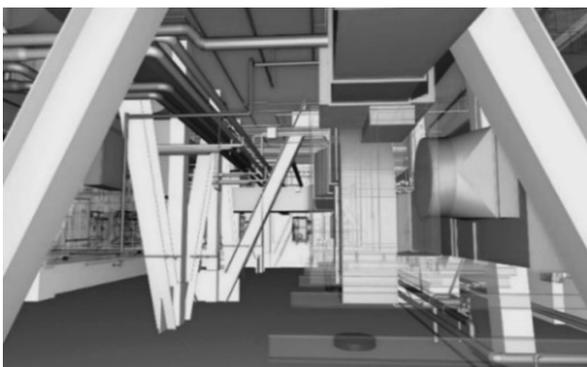


図7-5 設計図(鉄骨詳細図)から工作図完成に至るまで一貫したBIMの活用



写真6 トランスファートラスの仮組状況



写真8 旧赤坂プリンスホテル 既存躯体の山留壁への利用状況



写真7 トランスファートラスの建方状況



写真9 大深度アースアンカー工法

4 施工計画上の取り組み

『既存躯体を積極活用した施工』

課題④の対処の内、一例の紹介である。本プロジェクトでは、高低差の大きい広大な建設地において、旧赤坂プリンスホテルの既存躯体を多く残存した状況での難工事を強いられた。その条件を逆手にとり、それらを山留・地盤改良体として積極活用することで合理的な新築工事施工を遂行することができた(図8、図9、写真8、写真9)。

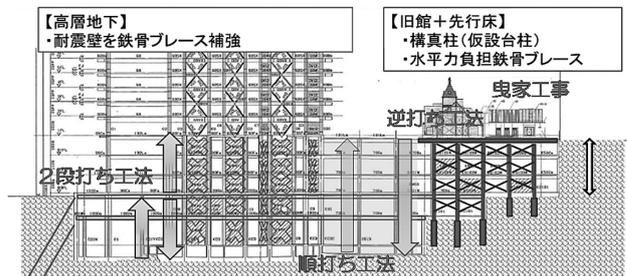


図9 最適な工法を併用した施工計画

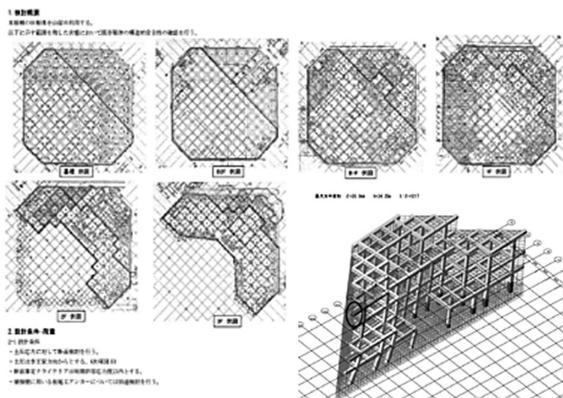


図8 既存躯体利用部の施工時解析

5 まとめ

以上より、建築計画上の課題・与件を実現するために、高効率な制振システムを採用することで、高い耐震性能を有しながら、断面方向に用途の異なる建築平面を積層した複合用途超高層建築物の実現に至った構造計画・設計の一例として、本計画を紹介した。本稿で紹介した様々な取組み・創意工夫はその一部に過ぎないが、制振構造を採用した超高層建築物の設計および施工技術の発展普及や環境負荷低減に一定以上寄与するものと考えている。