

御茶ノ水ソラシティ

既存杭再利用技術と先端構造架構技術の適用

小室 努*¹・渡邊 徹*¹・辰濃 達*²・河本 慎一郎*²・河合 邦彦*³

Keywords : existing pile, mid-story isolation system, super high strength concrete, concrete filled steel tube

既存杭, 中間層免震, 超高強度コンクリート, CFT

1. はじめに

大都市部の開発における建築物には、多様な性能が求められ、これらを総合的に確認して企画・設計が進められる。法令等で規定される容積率・高さ等の制限をもとに敷地の施工条件を考慮して建築物のボリュームを設定し、社会貢献性や経済性を基本として、環境性・インフラや交通網との接続利便性・建築物機能グレード・ランドスケープ・災害時の機能維持性など、様々な面からの性能検証を行い、企画を具現化させていく。その中で、構造架構は、上記の多くの要求性能と関連しており、建築物全体の企画・計画・設計・施工・維持の各段階において、重要な検討課題となる。

本報告では、御茶ノ水に建設された複合用途の大型建築物における構造技術を紹介する。ここで示す構造技術とは、既存建設物の再利用技術や免震構造や特殊な構造材料を用いた先端構造架構技術であり、これらを統合的に採用することにより、利用価値の高い建築空間が、適切なコストや施工性のバランスの中で合理的に実現した。

2. 建築物概要

建築物概要を表-1 に、建築物外観を写真-1 に、建設敷地を図-1 に、用途構成を図-2 に示す。本計画は、地上 23 階の超高層オフィス棟および都市広場により構成される。約 95m×131m の敷地内に千代田線および丸ノ内線の地下鉄 2 路線が走行しており、敷地の北西端と南東端の地盤高低差は約 12m となっている (図-1)。用途構成は、オフィス、教育関連施設、カンファレンス

センター、飲食店を中心とする店舗・駐車場からなる複合施設である (図-2)。また、地下鉄の新御茶ノ水駅と都市広場が直結される計画としている。

表-1 建築物概要

Table 1 Outline of building

建 物 名 称	御茶ノ水ソラシティ
建物用途	事務所・育成用途・商業・駐車場
構造種別	鉄筋コンクリート造・鉄骨造
階数	地下 2 階, 地上 23 階, 塔屋 2 階
建物高さ	109.99 m
敷地面積	9,547 m ²
延べ面積	101,786m ²



写真-1 建築物外観

Photo.1 View of building

*1 技術センター 建築技術研究所 建築構工法研究室

*2 設計本部 構造設計第一部

*3 東京支店 建築部

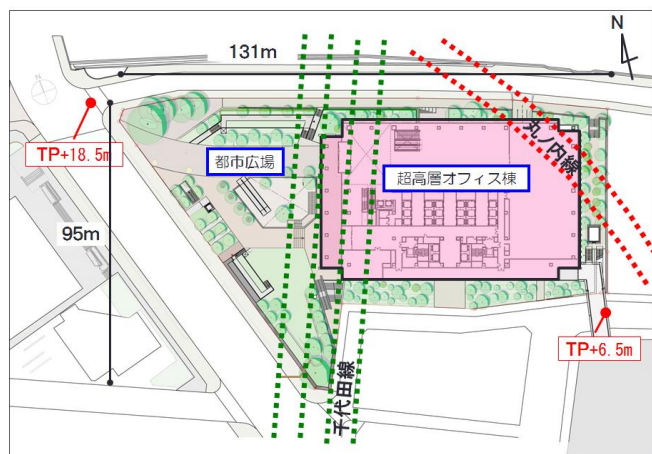


図-1 建設敷地
Fig.1 Construction site

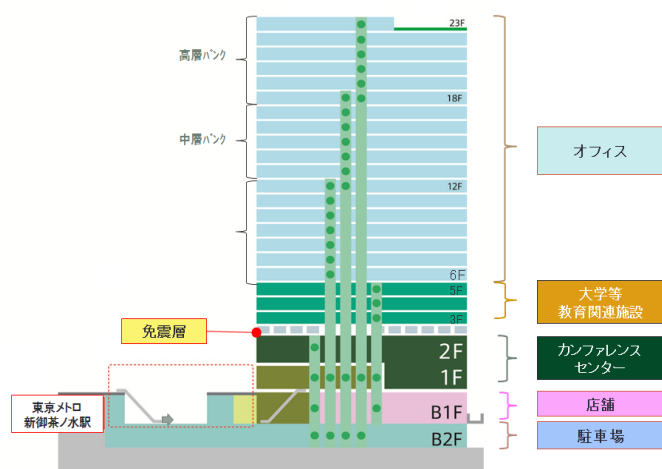


図-2 用途構成
Fig.2 Composition of use

3. 構造技術

3.1 構造計画

構造架構軸組図を図-3 に示す。本計画においては、地下鉄千代田線および丸ノ内線の上部に超高層オフィス棟を計画していること、および既存建築物の杭が敷地東側の地下鉄近傍に多数存在していることが、通常の敷地条件とは異なる。このような条件のもと、採用した構造技術を以下に示す。

- ① 既存杭の再利用
- ② 地下階柱の構造種別の切替え
- ③ 中間層免震
- ④ 高強度 CFT 柱を用いた超高層架構
- ⑤ PCaPC 梁および Fc250PCa 細柱の採用
- ⑥ メガトラスの採用

①～⑤に関し、本報の後の項に詳細を記述する。

⑥に関しては、図-3 に示すように 2 階に高強度鋼材を使用したメガトラスを用い、3 階以上の上部架構の鉛直荷重を地下鉄の両側に安定して分散させることで、地下鉄上部における超高層オフィス棟が成立している。

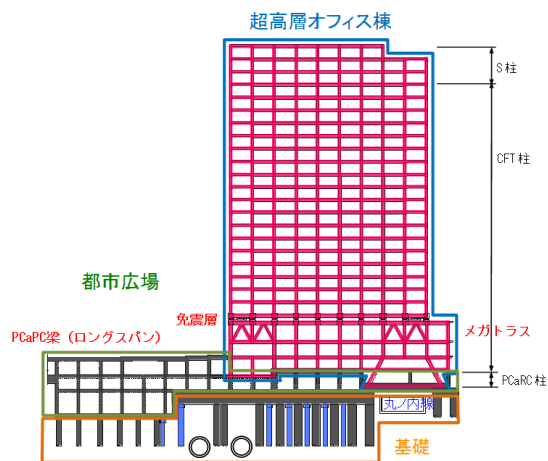


図-3 構造架構軸組図
Fig.3 Structural frame

3.2 既存杭再利用技術

現在の市街地における新築計画の多くが建替えであり、既存地上建築物とともに既存地下建築物（以下、既存地下と呼ぶ）の解体が準備工事として必要である。既存杭を含む既存地下の解体は、コストの増大や工期の長期化につながり、振動・騒音・地盤変動等の周辺への影響も大きい。このような影響を最小限にするために既存地下の利用拡大は有効であり、これに関連する技術開発は注力すべき課題である。

本計画では、1983年に竣工した地上18階、地下3階、最高高さ73mの鉄骨造の建築物(写真-2)が敷地内に存在し、これを解体する必要があった。旧建物の基礎は杭基礎であり、オールケーシング工法による場所打ちコンクリート杭236本で支持されていた。

計画時において、既存地下の最大限の利用を検討し、地下構造物を山留め壁や工事作業床として利用し存置を図った。既存杭に関しては、新築計画と照らし合わせ再利用できる杭を選定し、書類調査（設計図書、地盤調査記録および施工記録）および物理的な検査を行った。その結果、新築超高層オフィス棟の西側部で、千代田線のシールドトンネル間の既存杭を中心に、169本の既存杭の本設利用を計画した。既存杭と新設杭の配置計画を図-4に示す。



写真-2 旧建築物外観
Photo.2 View of old building

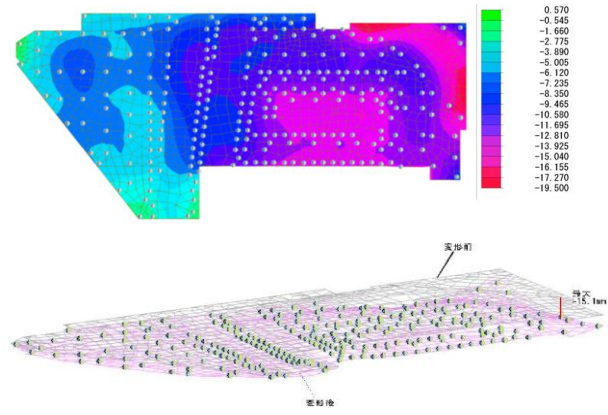


図-6 沈下解析結果の一例
Fig.6 Calculated result of foundation settlement

既存杭の利用にあたっては、既存杭と新設杭の鉛直及び水平荷重の分担率を把握することが重要となる。鉛直荷重分担については図-5 に示す三次元沈下予測解析により算定し、既存杭が約 40%を分担する結果が得られた。図-6 に沈下解析結果の一例を示す。

地震時の杭の検討においては、既存杭と新設杭の杭頭部の接合状況に応じた回転ばねをモデル化し、地震力の既存杭の分担が約 30%となることを確認した上で各杭の応力を算定し、安全性の確認を行った。

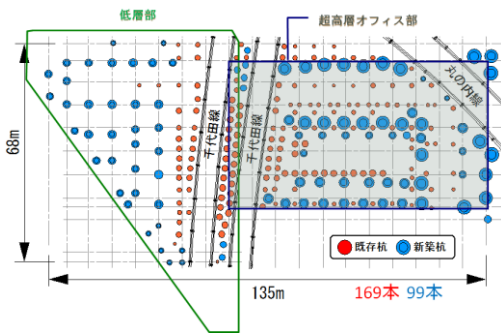


図-4 杭配置図
Fig.4 Arrangement of existing and new piles

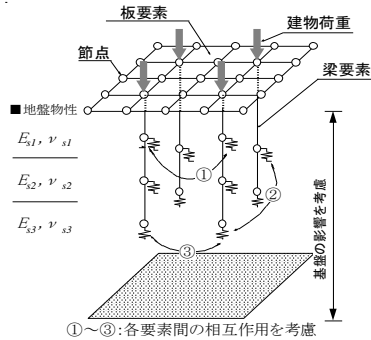


図-5 基礎の沈下予測解析
Fig.5 Schematic of settlement analysis method for foundations

3.3 地下階柱の構造種別の切替え

用途が事務所等の超高層建築物においては、地上階は鉄骨(S)造、地下外壁・基礎は鉄筋コンクリート(RC)造として、その中間部である地下階は鉄骨鉄筋コンクリート(SRC)造として計画される場合が多い。架構の模式図を図-7(a)に示す。長大スパンを有する大空間確保や低層階柱に作用する鉛直力軽減のため、地上階を S 造、土圧抵抗や止水性のために地下外壁や基礎を RC 造とし、地上階と基礎・地下外壁を繋ぐ地下構造部材を SRC 造としている。このような計画の場合、SRC 造である地下構造部材の躯体工事には、鉄骨建方工事と配筋・型枠等のコンクリート工事が同じ部位で順を追って必要となり、これが工事工程に大きく影響をおよぼす。本計画においては、地上階から地下階下方へ向かう柱は CFT 柱とし、基礎から上方へ向かう柱を RC 造柱(PCa 柱)とする、地下階床位置での柱構造種別の切替えを採用した。架構の模式図を図-7(b)に示す。このような柱構造種別の切替えを行うことにより、地下構造の躯体工事が、鉄骨建方もしくはコンクリート工事のどちらかのみとなり、さらには PCa 化工法を取り入れることで、工程の短縮およびコストの削減等の大きなメリットが計れる。

構造種別の切替えの詳細を図-8 に示す。地上階から地下階下方へ向かう柱は、地上階の CFT 柱のままの構造とし、基礎から上方へ向かう柱は RC 造柱(PCa 柱)として、地下 1 階床位置での柱梁接合部において、構造種別の切り替えを行う。下階の RC 造柱から上方に主筋を伸ばしておき、この主筋が CFT 造柱梁接合部を貫通し、上階の CFT 柱の脚部まで定着されている。下階の RC 造柱は PCa 化し、CFT 造柱梁接合部の充填高強度コンクリートも工場打設をする計画とした。CFT 造柱梁接合部において、下階 RC 造柱からの主筋

が貫通するようにコンクリート打設前にシースを配置して貫通孔を設けておき、RC柱上部の目地グラウトとシース内グラウトを同時に行う計画とした。当該切替え部は、地下1階に位置し、この階の地震時水平力は主に耐震壁で処理しているため、地下1階柱脚部に生じる曲げモーメントは小さく、CFT柱の危険断面位置では、曲げと軸力から生じる断面内応力状態で外縁位置においても引張にならないことを確認している。

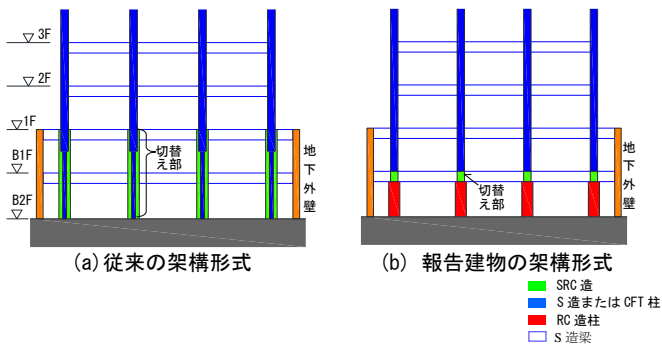


図-7 地下階柱の構造種別の切替え
Fig.7 Structural change of columns at basement

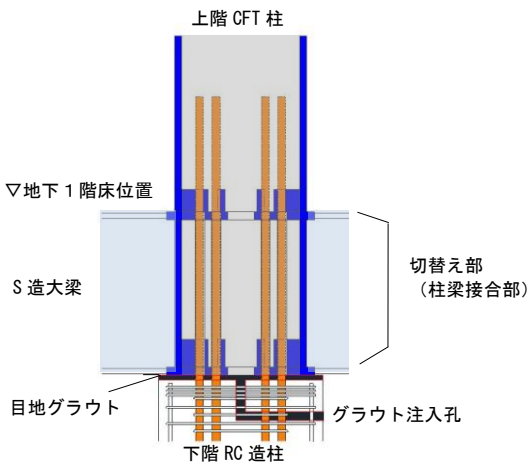


図-8 構造種別の切替えの詳細
Fig.8 Detail of structural change of columns

地下柱の躯体工事の施工手順を以下に示す。

- ① 下階 RC 造柱(PCa 柱)の建込み (写真-3)
- ② 上階 CFT 柱の柱脚および CFT 造パネル部分の下階 RC 造柱上部への落とし込み (写真-4)
- ③ 下階 RC 造柱上部に設けたグラウト注入孔から、下階 RC 造柱頭目地および CFT 造パネル部分鉄筋シース内のグラウト充填 (写真-5)

切替え部の上下において、下階柱を PCa 化、上階柱を鉄骨造とすることで、労務軽減、工期短縮およびコスト削減に大きく寄与した。



写真-3 下階 RC 造柱(PCa 柱)の建込み
Photo.3 Erection of RC lower column



写真-4 上階 CFT 柱とパネル部の落とし込み
Photo.4 Setting down of upper CFT column and panel



写真-5 下階柱とパネル間の目地グラウト充填
Photo.5 Grouting of seam between lower column and panel

3.4 中間層免震

免震構造は、一般的には、建物の最下部に免震層を設ける基礎免震構法とし、上部架構全体に免震効果を期待する。しかし、本計画においては、地下構造が平面的に広く複雑であることやメガトラスやブレースを2階以下の複数階にわたって連続して適用していることから、基礎免震構造の採用が困難であり、免震層を3階床下とした中間層免震とした。3階床下位置での中

中間層免震の採用においては、免震層より上部の構造に免震効果が期待できることや杭や基礎を含む下部構造の負担地震力が軽減できることを事前解析で確認した。

免震層における免震装置のレイアウトを図-9に示す。積層ゴム支承により建物を長周期化し、積層ゴム内部のすずプラグとオイルダンパーにより、地震時エネルギーを吸収する計画としている。

耐震性能に関しては、極めて稀に発生する地震動(レベル2)に対して、構造部材が弾性範囲内にとどめ、地震後の継続使用に対する安全性を確保している。地震応答解析結果の一例を図-10に示す。極めて稀に発生する地震動のY方向(短辺方向)の最大応答加速度、最大応答変位および最大応答層間変形角を示す。免震層より上部の最大応答加速度が概ね300gal以下になっており、免震効果が得られていることがわかる。また、最大応答層間変形角は1/200以下であること、および構造部材が弾性範囲内にあることを確認した。免震層の変形は最大で34cmであり、設計クライテリアの50cm以下であることを確認した。

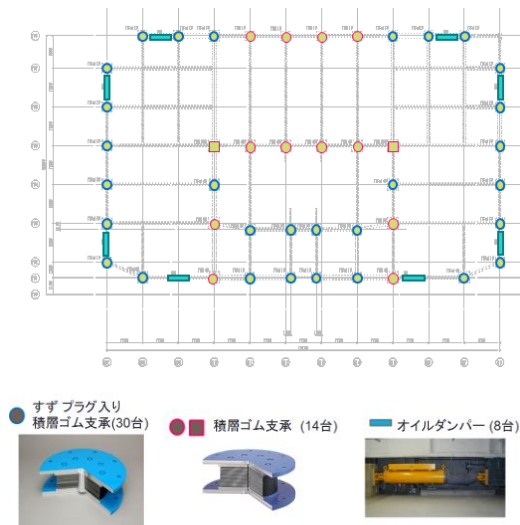


図-9 免震装置のレイアウト
Fig.9 Layout of isolation device

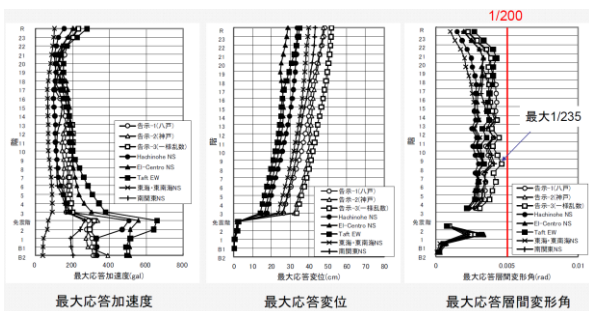


図-10 地震応答解析結果
Fig.10 Result of seismic response analysis

中間層免震に関しては、耐震性能の確認のほか、以下に示す検討が必要となる。各項目に対し、中間層免震対応のディテールを採用することや変形追随性のある構造として対応している。

- ・免震層を貫通するエレベーターの地震時変形追随性
- ・内壁・外壁の免震スリットの変形追随性
- ・強風時の免震層の変形制御

3.5 高強度 CFT 柱を用いた超高層オフィス棟の架構

超高層オフィス棟の基準階の構造伏図を図-11に示す。平面形状は48.0m x 79.2mの長方形で、北側および東西辺部を執務空間に、中央南側をエレベーターホールや階段等が配置されるコア部としている。基準階の架構計画を行うにあたり、大きな事務所空間・高レンタル比・天井高さを確保すること、および風揺れや歩行時振動に対し居住性を確保することが求められた。

これらの要求に対し、スパンは最大で21.6mとし、梁せい1000mmを標準とした鉄骨造を計画した。柱は800mm~1000mm角の鋼管を使用したCFT (Concrete Filled Steel Tube)柱とした。柱の充填コンクリートは、3階以下においてFc100の超高強度コンクリートを使用し、高い軸力に対応できる柱としている。また、日本建築学会指針¹⁾により、歩行による鉛直振動はV-90以下、風による水平振動はH-70以下となるように、架構の剛性を確保し、居住性能を満足させている。

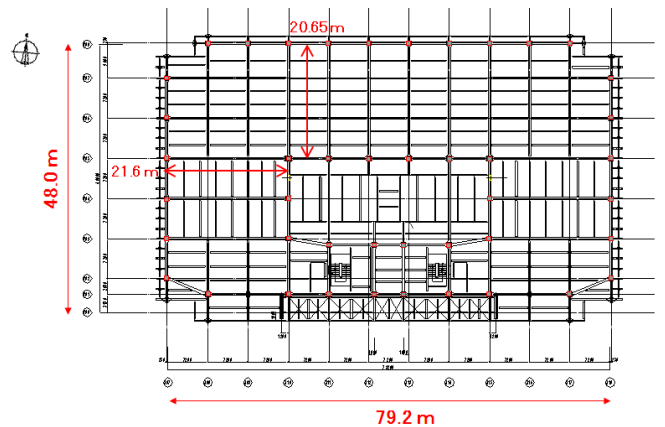


図-11 超高層オフィス棟基準階構造伏図
Fig.11 Structural plan of typical floor of high-rise office tower

3.6 PCaPC 梁および Fc250PCa 細柱

本計画の都市広場は、計画上、空間の開放性が求められるとともに、大地震等の災害時には不特定多数の人々が立体都市広場に集中することも考えられ、高い安全性能が求められた。これに対し、架構をRC造と

し、人工地盤を支持する主要な柱は Fc250、梁は Fc100 の超高強度コンクリートを採用して、高い余裕度で安全性を確保しながら部材断面を縮小化し、視認性の高い開放的な地下空間を実現した²⁾。都市広場の略伏図を図-12 に示す。1 階部分は広大な面積を有し、かつ植栽や土壌の積載による大きな重量の地上広場（重量約 20kN/m²）を支える人工地盤としている。ロングスパン部分には超早強・超高強度コンクリート（Fc100N/mm²）を用いたプレキャストプレストレストコンクリート（PCaPC）で、断面を I 形としウェブに連続した孔を有する梁（T-POP 梁）を採用し、断面を極限まで縮小して軽量化を計った。また、当該梁を支持する吹抜け周りの柱は大きな軸力を支持するため、Fc250N/mm² の超高強度 PCa コンクリート（大成スーパーコンクリート）を用いたφ400mm の細柱とした。人工地盤部分の構造架構概要を図-13 に示す。この細柱と T-POP 梁の組み合わせによる架構により、都市広場は吹抜けを中心とする地上と地下を連続させた一体的空間を実現し、都市広場の動線確保と視認性を満足することが出来た（写真-6）。

また、超高強度材料を採用することにより、超高強度 PCa コンクリート柱は長期荷重時の軸力比を 0.1 程度以下とすることができ、通常の設計と比較し 3 倍程度の高い安全性を確保できた。

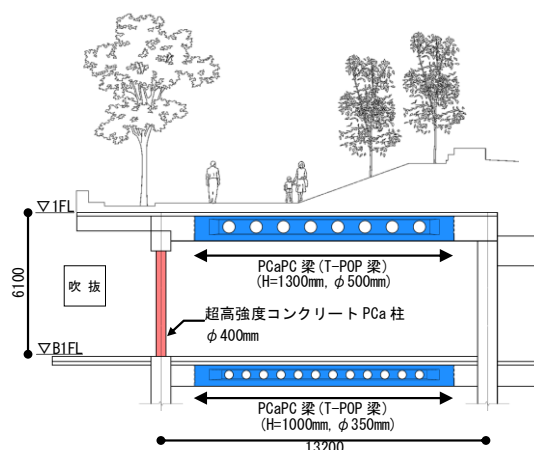


図-13 都市広場構造架構
Fig.13 Structural frame of urban plaza



写真-6 都市広場
Photo.6 Urban plaza

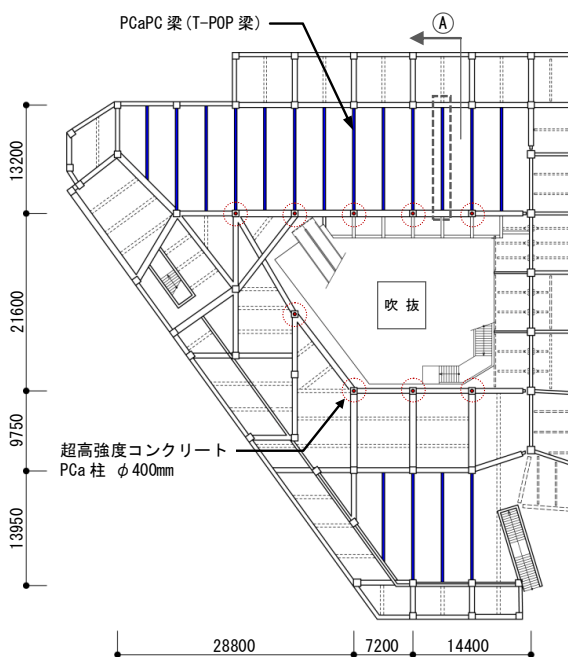


図-12 都市広場構造伏図
Fig.12 Structural plan of urban plaza

4. おわりに

大都市部における大型建設プロジェクトに取り入れた構造技術として、「御茶ノ水ソラシティ」における既存地下建設物の再利用技術や先端構造架構技術を紹介した。本構造技術は、建設計画における建築物グレード向上（コストパフォーマンス）が主な目的であるが、他にも環境性・インフラや交通網との接続利便性・ランドスケープ・災害時の機能維持性など様々な性能検証のもとで、適用されている。

参考文献

- 1) 建築物の振動に関する居住性能評価指針・同解説, 日本建築学会, 2004
- 2) 小室 努, 是永 健好, 河合 邦彦, 辰濃 達, 征矢 克彦, 河本 慎一郎, 甲斐 隆夫: 立体都市広場の架構計画および施工 大成建設技術センター報, 第45号, pp5-1-6, 2012