

都市防災機能を向上させる高速道路高架下を活用した公共施設

株式会社竹中工務店 設計部

三和盛彦 加藤美穂 青木和雄 二宮卓也 吉田幸正
山本俊司 前川元伸 北濱 亨 待永崇宏 五十嵐賢

1. はじめに

環太平洋火山帯に位置し、四方を海で囲まれた日本の都市部の多くは海に近接しており、津波に対して脆弱な地域形態とならざるを得ない。これまで想定されてこなかった地震や津波に対する都市防災機能の強化は、日本の沿岸都市にとって緊急課題である。ここでは、関西の大都市である大阪について提案を行う。

中央防災会議専門調査会報告書によると、東南海地震と南海地震が同時に発生した場合、大阪市内の震度は概ね震度5強から6弱となり（図-1左）、地震発生から約2時間後には2～3m（満潮時）の津波が到達するとされている（図-2）。また、大阪都心部を南北に走る上町断層帯（長さ約42キロ）で直下型地震が発生すると、大阪市内の震度は震度6強から震度7となり（図-1右）、約97万棟が全壊、被災者は最大4万2千人となり、経済的な被害は74兆円にのぼると想定されている¹⁾。都市部を襲う地震、それに続けて発生する津波に対し、まず人々が安全に避難できる場所、災害を最小限に食い止めるための活動動線、災害直後から都市機能を迅速に回復するための復興活動拠点が必要である。また、大阪市危機管理室は、津波で避難が必要となる市民は30万人超と予想しており²⁾、都市と連携した避難先の確保が急務である。

2. 防災拠点としての高架高速道路の可能性

避難場所、活動動線、復興活動拠点には、地上からの高さで構造的な安全性が求められる。また、災害救助活動・復旧活動には物流のネットワークが必要不可欠である。本構想では、大阪の都市部上空に張り巡らされた高速道路網に着目した（図-3）。高速道路路面の高さは、大阪湾最低潮位（O.P.）から概ね10m以上にあり、津波が都市を襲った際でも水面より上にあるため、安全な一時避難場所となると共に、全国と復興活動拠点・被災地をつなぐ迅速なネットワークの構築が可能である。

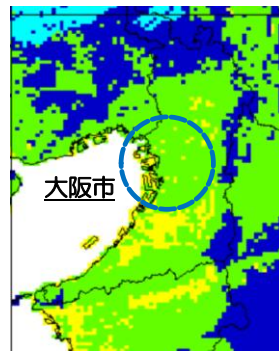
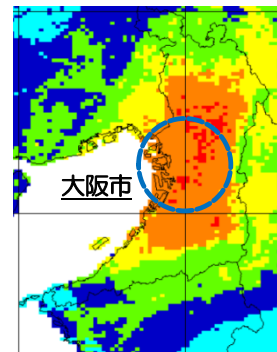


図-1 東南海+南海地震の震度分布図



上町断層帯による直下型地震の震度分布図

（『中部圏・近畿圏の内陸地震に関する報告』中央防災会議「東南海、南海地震等に関する専門調査会」平成20年より抜粋）

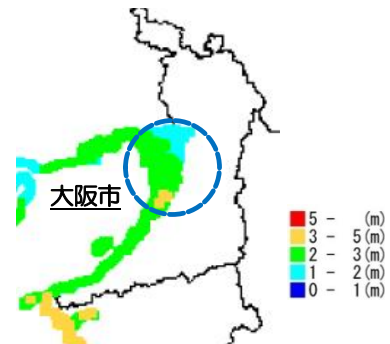


図-2 東南海+南海地震による津波の高さ（満潮時）

（『東南海、南海地震に関する報告』中央防災会議「東南海、南海地震等に関する専門調査会」平成15年より抜粋）

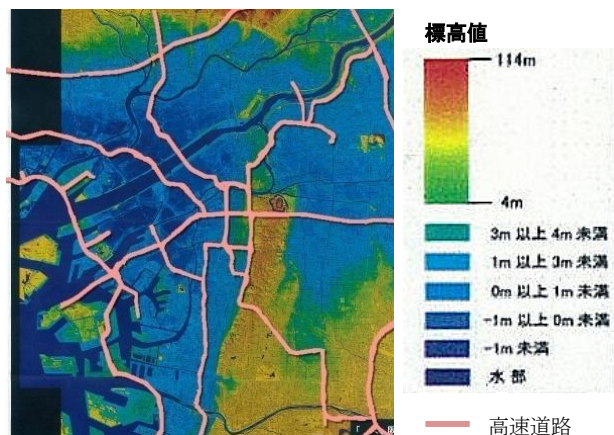


図-3 大阪市内の標高と高速道路

（『1:25000 デジタル標高地形図』国土地理院平成18年に高速道路をプロットしたもの）

3. 高速道路下に配置される都市防災拠点

大阪府庁は、災害時の復興活動拠点となるべき重要施設である。現施設は、老朽化、狭隘化、配置拡散化の問題があるため、大阪湾岸沿いの超高層建築物へ移転する計画が検討されている。しかし、超高層建築物は建物特性上、長周期地震動により大きな被害を受けると想定されることに加え、沿岸部は立地特性上津波の影響を受けやすいので、建物の地震による被害が僅かだとしても、被災地から隔離された“点”としてしか機能できないことも懸念される。

そこで、上記の懸念を払拭するため、高速道路下部空間（図-5上）に、地震と津波に対する構造的な安全性を持ち復興活動拠点の核となる府庁舎約60,000㎡を挿入することを提案する。

その結果、一部の人が利用するだけのフェンスで囲まれた薄暗い駐車場等であった道路下空間が、避難場所、活動動線、復興活動拠点機能を同時に兼ね備えた、市民にとってより身近で頼りにされる大阪府庁舎として生まれ変わる。「騒音」「公害」といった負のイメージで捉えられていた高速道路の価値も反転するにちがいない。

大阪市中央部をめぐる計画範囲（図-4）の高速道路面積は約90,000㎡あり、津波で一時的な避難が必要となる市民の約3割、即ち9万人が一時避難する場所ともなる。

4. 自立可能なユニット構成

高速道路の下部空間は、先に述べたように有効活用が為されておらず非人間的で閉鎖的な空間がその多くを占めている（図-5上）。その現状を踏まえ本提案では、そこに高速道路と相互補完構造を有するボックスユニットを挿入し、市民に開かれた場として地域へ還元する。断面的には2層の床を持ち、橋脚間のユニットを渡り廊下で連結させ庁舎を構成する。単体の建物ではなく、複数のユニットを連結し分散配置する事で、仮に1カ所が崩壊しても他のユニットが補完する。通常時、1階は地域に開かれたコミュニティーテラスとして地域交流を促進し、2階を執務・防災施設として機能させる（図-5中上、図-6）。この結果、庁舎機能が線状に配置され、庁舎機能が外から分かり易く、また距離的にも市民が近づき易くなる。災害時は、津波水面より上に位置する2階を防災拠点とし（図-5中下）、更に復興時に於いては、

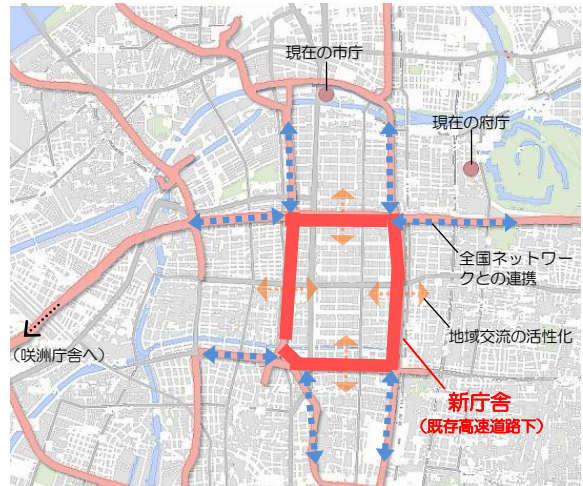
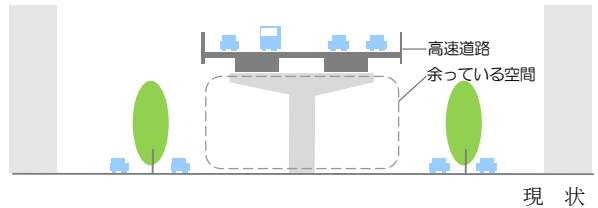


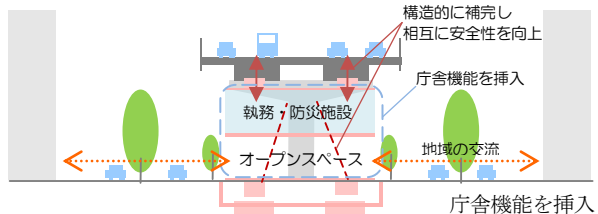
図-4 新庁舎の配置案と地域ネットワーク



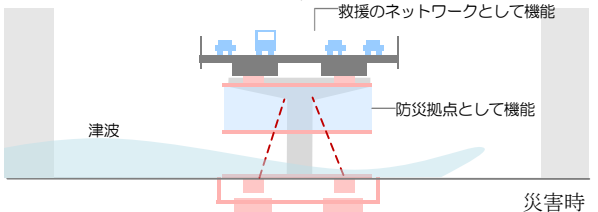
現状の高速道路下部空間（左右とも）



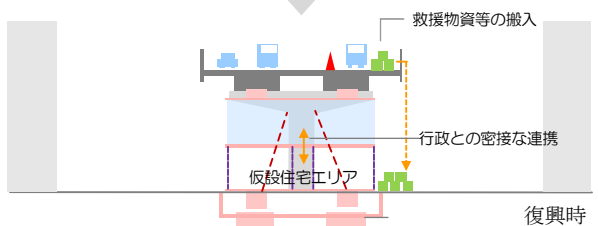
現状



庁舎機能を挿入



災害時



復興時

図-5 庁舎挿入と災害時・復興時の想定

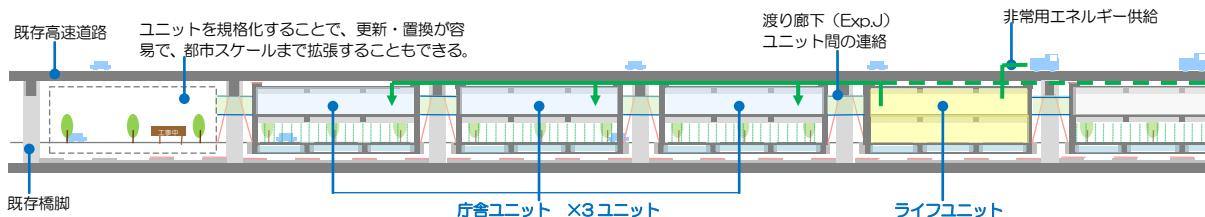
1階を行政と密接に連携できる仮設住宅エリアとして機能させる（図－5下）。

数パターンの規格部材から構成されたボックスは、在来工法と比較して高い経済性を有し、解体撤去を伴わないので都市機能を阻害することなく、更新・置換が容易な施工性を備えている。

復興活動拠点は運営維持のため、水・エネルギーを継続して確保することが必要不可欠である。

大阪府は、防災情報センター拡充計画として約3,500㎡を見込み、その内訳機能を意思決定支援機能、情報受発信機能、バックアップ機能の3つとしている³⁾。1つの機能を担う面積は、約1,200㎡であり、本計画での庁舎ユニット3棟分の合計面積約1,300㎡に概ね合致する。そこで、庁舎ユニットの3棟分を一まとまりと捉えて1つの防災情報センター機能を入れ、1棟あたりのライフユニットが水・エネルギーを供給し、災害時、復興時で自立的な活動が行えるようにする（図－6）。1棟のライフユニットには、そこで活動する200人が1週間継続して復旧復興活動を維持することが可能な、右に示す設備資材が貯蔵されている。また、復興時のライフライン復旧が長引く場合には、高速道路を介し給水車・電源車によってライフユニットの外部接続口から補給が可能である。

<p>－ライフユニットに貯蔵される設備ボリューム概算－</p> <p>・庁舎ユニット × 3棟で活動する人数の想定 庁舎ユニット × 3棟分合計床面積：1,320m² 想定人数：0.15人/m²（一般的な事務所の値） →1,320m² × 0.15人/m² = 198人 ≒ 200人 以上より、200人が1週間継続して復興活動が行える備蓄量を算出する。 （計算式は官庁施設の総合耐震計画基準及び同解説書平成8年版を参照）</p>	
・ 上水	$4\text{L}/\text{日}/\text{人} \times (200\text{人} \times 1\text{日} + 200\text{人} \times (7\text{日}-1\text{日}))$ $= 5.6\text{m}^3$
・ 中水	（雨水を利用し、トイレの水洗などで使用する水） $30\text{L}/\text{日}/\text{人} \times (200\text{人} \times 1\text{日} + 200\text{人} \times (7\text{日}-1\text{日}))$ $= 42.0\text{m}^3$
・ 下水	（下水本管に流せない場合に、貯めておくための汚水槽の大きさ） $30\text{L}/\text{日}/\text{人} \times (200\text{人} \times 1\text{日} + 200\text{人} \times (7\text{日}-1\text{日}))$ $= 42.0\text{m}^3$
・ 非常用発電機（ディーゼル発電機）	$1,320\text{m}^2 \times 210\text{VA}/\text{m}^2 = 277.2\text{kVA} \approx 220\text{kW}$ 電源容量が220kWの非常用発電機 また1週間運転し続けるための燃料備蓄量は $7\text{日} \times 24\text{時間}/\text{日} \times 60.4\text{L}/\text{時} = 10.15\text{m}^3 \approx 11.0\text{m}^3$



図－6 ライフユニットと庁舎の関係

5. 免震庁舎ユニットと高架橋が相互補完する構造

高架橋下部に新設する庁舎ユニットは、1階床下に免震層を持つ基礎免震建物である。地上2階建て高さ7.8m、長さ20m×幅11mの形状は、実際の高架橋の高さ・スパンと道路幅より決定した。

以下に、建物の構造計画について記述する（図－7）。

- (1) 建物下部の免震支承には全て弾性すべり支承（図－8）を用い、減衰材として粘性系ダンパーを設置する。
- (2) 建物の両妻面に配置した耐力壁の頂部に、低摩擦すべり支承を設置し、想定外の地震時に庁舎ユニットが高架橋を支え倒壊を防止する。
- (3) 建物と高架橋をストッパーロッド（図－9）で連結し、建物が周囲の擁壁に衝突しないように免震層の変形を抑制する。
- (4) 基礎は杭基礎とする。1柱に4本の小径杭を設置し、あらかじめ地震後の残留変形を考慮して設計する。

巨大地震直後に、建物が防災拠点として機能するために、極めて稀に発生する地震動の1.5倍の地震（レベル3地震）に対して、上部構造は弾性限耐力以下、層間変形角1/200以下、応答加速度は350cm/s²以下となること（通常は極めて稀に発生する地震動に対して設ける目標値）を、耐震設計の目標値とする。また、想定外の地震・津波に対し、建物および高架橋が倒壊、崩壊しないこと

も、設計目標としている。

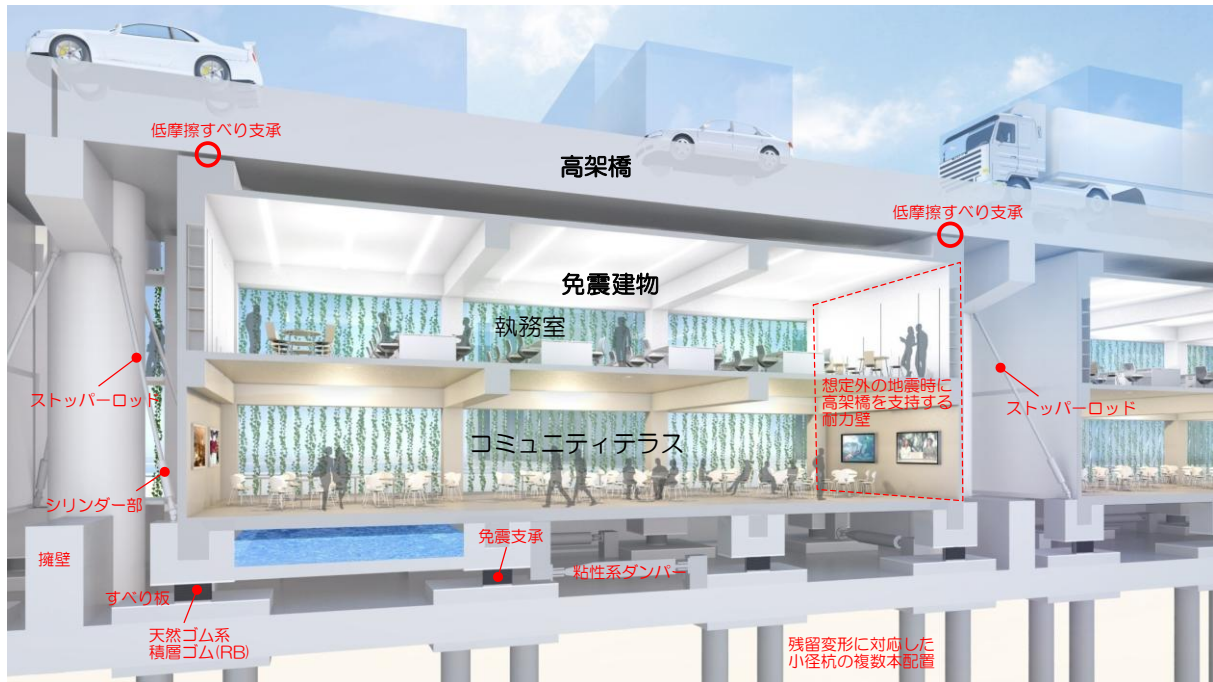


図-7 免震建物と高架橋の断面イメージ

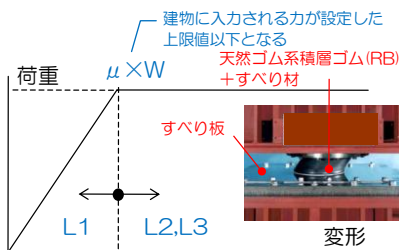
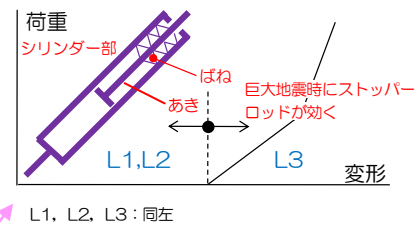


図-8 弾性すべり支承の荷重変形関係



L1, L2, L3: 同左

図-9 ストッパーロッドの荷重変形関係

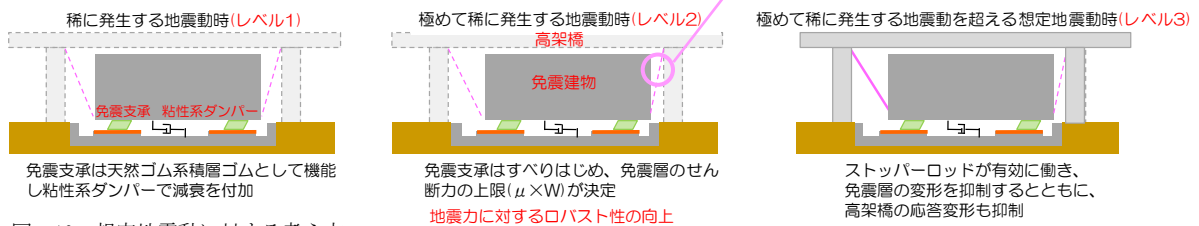


図-10 想定地震動に対する考え方

全ての免震支承をすべり支承（動摩擦係数 0.135 程度）とすることで、巨大地震時に免震層を介して建物に入力されるせん断力は、設定した上限値（動摩擦係数×建物重量）以下となり、建物の機能を維持できる。稀に発生する地震動（レベル1地震）および極めて稀に発生する地震動（レベル2地震）時には、通常の免震建物として挙動する。レベル3地震時、免震層変形が設定値を超えたときにストッパーロッドが有効に働き、免震層が大きく変形するのを止めるため、建物が周囲の擁壁と衝突しない（図-10）。

効果を確認するために、質点系モデルを用いて地震応答解析を行った。解析モデルは、高架橋を1質点、免震建物2棟を3質点の等価せん断型モデル、ストッパーロッドを図-9に示した特性にモデル化した。高架橋と免震建物の固有周期が異なるため、1サイクルの振動に要する時間が違う。よって、地震入力後の応答変位形状は、高架橋と免震建物で、変形方向と変位量などがランダムな組合せとなる。（図-11）

ストッパーロッドが有効に働く変形量に達した場合、ストッパーロッドに生じる力が高架橋の地震時応答を抑える効果を持つため、ストッパーロッドがない場合に比べて、高架橋の応答変位が小さくなり、高架橋の耐震性能が向上する。このとき、免震建物に衝撃的な加速度が生じるなどの悪影響はない。(図-12)

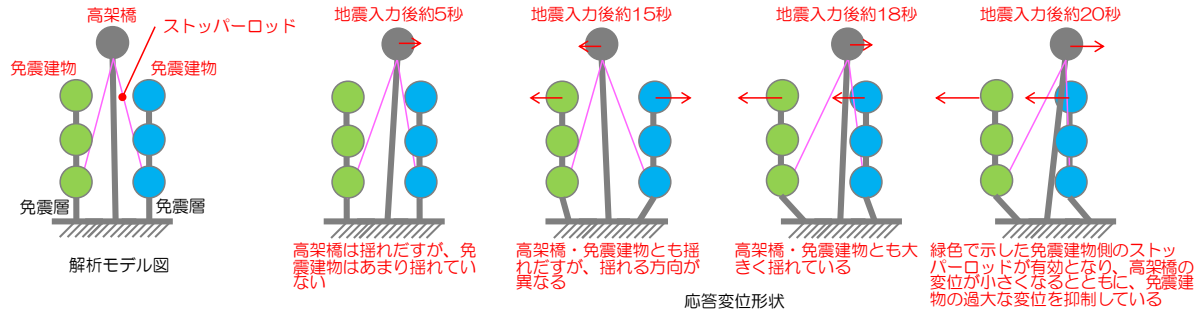


図-11 レベル3地震時の解析モデル図と応答変位形状

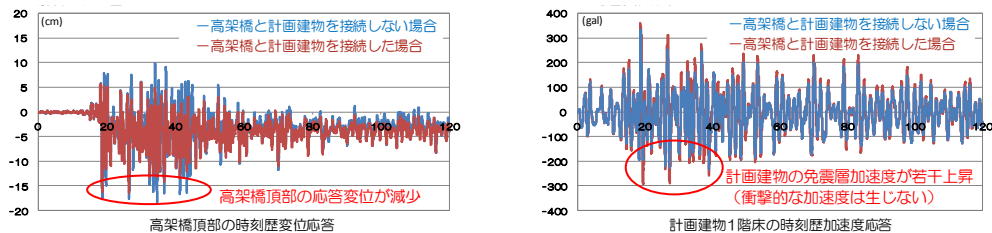


図-12 レベル3地震時の時刻歴応答解析検証

阪神高速道路では、2007年には高架橋の98%は耐震性能向上工事が完了している⁴⁾が、想定外の外乱に対して倒壊する可能性は否めない。そこで、想定外の地震時、高架橋が倒壊しようとしたとき、妻側の耐力壁で高架橋を支える計画としている。下部に建物を新設することにより、既存構造物である高架橋の構造安全性を、補強することなく向上させることができる。また、高架橋と建物の接触面に低摩擦すべり支承を設置することで、建物が高架橋の鉛直荷重のみを支持するように工夫し、余震時に接触面を通して水平力が伝達されるのを防止している(図-14)。逆に、想定外の津波時には、受水圧面積が小さい高架橋が建物の転倒・浮き上がりを防止する。免震庁舎ユニットと高架橋が構造的に相互補完することにより、互いの構造安全性を向上させる(図-13)。

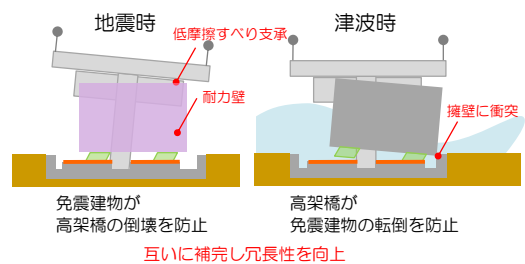


図-13 想定外の外乱に対する考え方

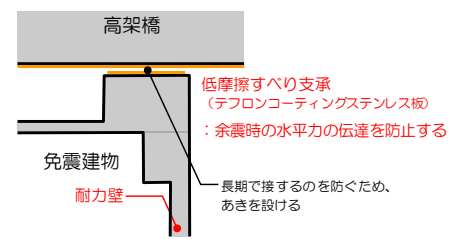


図-14 免震建物頂部の高架橋受け部

6. まとめ

以上のように、都市のインフラストラクチャーである高速道路の高架橋と地震に強い庁舎ユニットが、お互いの構造と機能を補完し合い、想定外の地震と津波に対して安全な都市防災拠点施設を成立させ得ることを示した。この構造システム自体は、東京、名古屋などの都市高速道路にも成立する汎用性がある。さらに、人々にとって安心安全なまちづくりのために、このハードを活かすソフトである、津波予測時の交通規制・避難誘導方法、コミュニティーテラスの有効活用方法等を、専門家と協議し、構築することが今後の課題と考えている。

【参考文献】

- 1) 『中部圏・近畿圏の内陸地震に関する報告』、中央防災会議「東南海・南海地震等に関する専門調査会」、平成20年12月
- 2) 朝日新聞朝刊14版、「大阪市 津波避難ビル増へ」、平成23年5月16日
- 3) 『庁舎整備構想(案)』、大阪府、平成21年6月、「(8) 防災情報センターの拡充」
- 4) 神戸新聞WEB NEWS、平成19年6月23日