

「高規格堤防事業をフィールドとした3次元地盤情報による地盤リスクの見える化」 及び「地下、地上情報統合による3次元データ活用性検討」

(株)オリエンタルコンサルタンツ 正会員 ○西 大輔

正会員 入原 渉／北口 都由佳

(株)アサノ大成基礎エンジニアリング 正会員 末光 明信／斎藤 日向子

1. 大和川高規格堤防整備事業の概要

(1) 高規格堤防整備事業の概要

国土交通省では「人命を守る」ということを最重視し、人口・資産が高密度に集積する首都圏・近畿圏で、堤防が決壊すると甚大な人的被害が発生する可能性が高いゼロメートル地帯等の図-1に示す5河川、約120kmにおいて、堤防の市街地側にゆるやかな勾配をつけて、200～300m程度の幅の広い堤防の整備が進められている。

(2) 大和川高規格堤防整備事業の概要

大阪平野は、大和川の堤防高より低い土地、いわゆるゼロメートル地帯が大半を占めており、大和川の洪水が越水すると、一般的な幅が狭い堤防では流水による天端侵食により破堤する可能性がある。近年増加傾向にある長期的な出水や計画雨量を超える大洪水の発生時には大和川下流域の大阪市及び堺市において壊滅的な被害を受けることが想定される。

大和川を対象とした高規格堤防整備事業においては、現在、阪神高速湾岸線から南海高野線までの左岸約

3.1キロメートル、右岸約3.9キロメートル区間で、国の直轄河川事業、阪神高速道路株式会社による大和川線整備、UR都市機構による土地区画整理事業、そして堺市によるまちづくり事業と連携した事業が進められている。

堺市等が所有する用地を先行的に盛土し、移転先（先行整備街区）として整備することで、仮移転が不要となり、二度移転で必要となる仮移転費用や仮住居費用を縮減するなどの工夫がなされ事業が進められている。

さらに堺市とも連携し、大和川沿いにサイクリングロードや公園を整備するなど河川と一体的な整備が進められている。

(3) 高規格堤防整備の効果

高規格堤防の整備の効果として、一般的に治水・防災面の機能向上、環境・土地開発整備による移住環境の向上などがあげられる。

高規格堤防の基礎地盤を改良するとともに、図-2に示すとおり、堤防の勾配を緩く整備するため、地震時の液状化やすすべりにも強い堤防になる。

キーワード 高規格堤防、液状化リスク、三次元地盤情報、BIMCIM、DX

連絡先 〒530-0005 大阪府大阪市北区中之島3-2-18 住友中之島ビル(株)オリエンタルコンサルタンツ TEL06-6479-2551

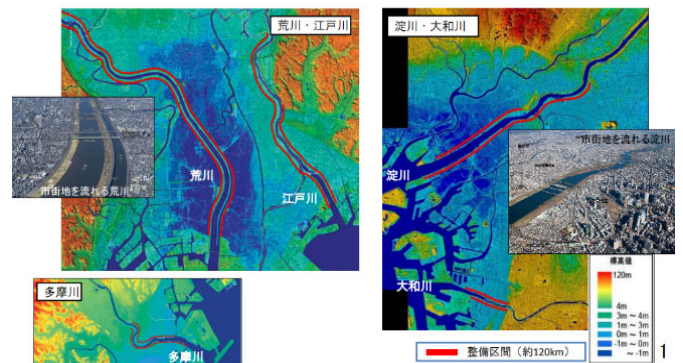


図-1 高規格堤防整備箇所(5河川120km)

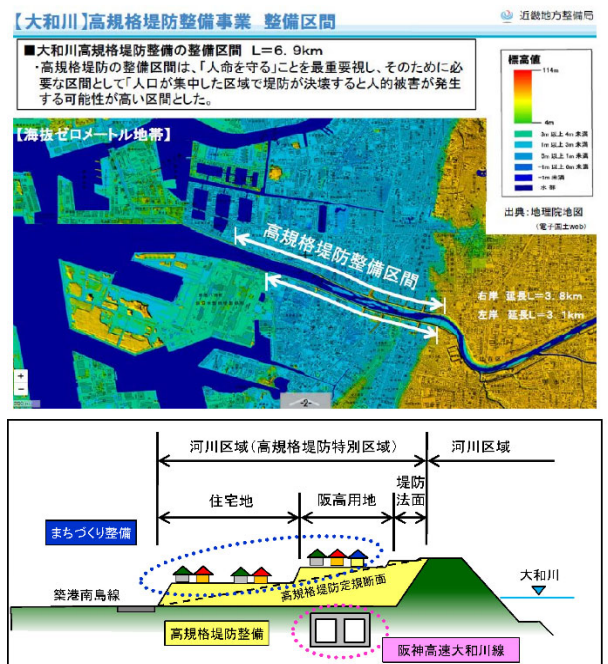


図-2 大和川高規格堤防整備断面

また、治水面では越水した洪水が緩やかな高規格堤防上を流れるため、越水による破堤の危険性や浸透による堤防破壊の危険性が低減され治水安全性が向上する。さらに、従来の堤防裏法部に、オープンスペースが確保できるため、災害時（地震・火災時）の緊急避難場所としても利用できるようになる。

小松川地区（荒川・東京都江戸川区）で整備されている事例を例に挙げると小松川地区の中央にある公園には 20 万人の避難場所、防災拠点として活用できるスペースが整備されている。当該地域では住民が自主的に防災訓練を実施していたり高規格堤防上に植樹された桜は新たな名所となっており、地域の交流が促進され、住民に憩いと安らぎを提供している。

2. 高規格堤防の地盤品質に関する課題

高規格堤防盛土については、河川管理施設等構造令に規定されている仕様規定を満たすとともに、高規格堤防特別区域において通常の土地利用が行われることを踏まえ、適切に設計・施工が行われるよう、高規格堤防盛土の設計・施工マニュアルにおいて、準拠すべき事項が定められている。

一方で、従来の通常堤防の整備では細長い堤防に沿った地質調査が行われていることが多いが、高規格堤防整備区域の基礎地盤に当たる現地盤については、家屋やマンション、工場などが存在し、高規格堤防整備工事が始まるまでは民地として利用されているため、面的に堆積する液状化層などの地盤の特徴を判断するために必要な地盤ボーリング調査数がそもそも少ないといった問題点がある。

高規格堤防は、一般的に河川管理者が必要に応じて基礎地盤の地盤改良を施工後、河川盛土を行い沈下収束の状況を確認した上で共同事業者へ引き渡す。その後、共同事業者により建築物や基礎等を含む宅地整備や防災拠点の整備など、上面の整備を実施することになる。

面的に堆積する液状化層などの地盤の特徴を判断するために必要な地盤調査が不足している状況では、高規格堤防整備範囲における局所的な溺れ谷地形の存在や 3 次元的に分布する液状化層などの把握を適切に行えず、地盤改良の範囲の適切な設定が行えない可能性が高い。

地盤改良後に沈下収束の状況を確認した上で共同事業者へ引き渡すことは一見問題ないように思えるが、高規格堤防整備後に地震による高規格堤防の基礎地盤の液状化による沈下や地盤沈下に起因する不同沈下が発生する可能性もある。

このように、面的な地盤堆積状況が不明瞭な状況で高規格堤防を整備し、共同事業者へ引き渡したのちの宅地整備や、防災拠点の整備を行う際の施工や施工後の維持管理を適切に実施できるよう 3 次元的な高規格堤防の地盤の把握及び地盤改良による基礎地盤の品質の確保が必要である。

さらには、共同事業者や施工業者による地盤情報の活用や河川管理者による高規格堤防の整備後の維持管理を想定した地盤情報を統合した包括的な情報管理が必要と考えている。

そこで、筆者らは、本高規格堤防事業において、すでに調査されている地盤調査結果を基に 3 次元地盤モデルを作成し、高規格堤防の基礎地盤の液状化による沈下や地盤沈下に起因する不同沈下等が発生する可能性について可視化することとした。併せて、包括的な地盤情報管理及び事業関係者間でのシームレスな情報共有の方策検討を行った。

3. 高規格堤防事業における地盤品質課題への対応

(1) 3 次元地盤情報活用の液状化リスク評価の意義

近年国土交通省により国土交通データプラットフォームが公開され、国内各地で管理されているデジタルデータの連携および利活用が期待されており、その技術は、3 次元都市モデルの構築やそれを用いた都市防災対策、インフラ維持管理、交通・流通サービス等への適用が期待されている。

近年の DX 推進の動向を受け、筆者らは、面的な整備となる高規格堤防事業をフィールドに、高規格堤防領域の災害に対する都市全体の包括的管理を念頭とした「3 次元地盤モデルを用いた液状化リスク」を評価した。

(2) 3 次元地盤モデル

図-3 にモデル対象領域と作成した三次元地盤モデルを示す。三次元地盤モデルの作成は、図中の松屋町地

区 550m×350m の範囲で実施した。三次元地盤モデルは、複数の地層境界面データ（ポリゴンメッシュサーフェス）¹⁾で構成される。地層境界面は、対象地の地質調査業務で得られたボーリング情報の内、13本を用いて推定した。

3次元地盤モデルにより、対象領域の地盤構成を空間的に把握することが可能になる。作成したモデルは、任意鉛直断面の切り出しによる設計資料への利用や、地層境界サーフェスモデルからボクセルモデルやソリッドモデルに変換することで掘削工事の際の土量算定や3次元数値解析モデルへの変換等に利用可能である。

(3) 解析手法

液状化リスク評価法は、ボーリング柱状図から作成した1次元地盤モデルを用いた動的有効応力解析により液状化現象と液状化にともなう沈下量を推定する方法を用いた²⁾。本手法の手順の模式図を図-4に示す。

1次元モデルは解析対象領域内に存在するボーリング柱状図から多点作成し、それぞれのモデルの解析パラメータはボーリング柱状図や周辺の地盤物性値情報から決定する（図中(A)）。

液状化沈下量は、それぞれのモデルに地震波を与え、繰返しせん断による過剰間隙水圧の上昇（液状化）、および地震後の水圧の消散過程を計算することで求める（図中(B)）。

本手法は弾塑性構成式³⁾に基づき液状化沈下量を算定しており、対象領域の具体的な被害予測が可能である。この点は、従来のハザードマップで用いられるFL値やPL値による、液状化危険性や可能性による経験的な評価法との差別点である。

対象領域全体の液状化沈下量は、多点1次元モデルの解析で求めた各地点の結果を空間補間によりコンターマップとする（図中(C)）。

液状化沈下量コンターマップは3次元地層境界面と同様に、ポリゴンメッシュサーフェスの情報である。そのため、作成した3次元地盤モデルへの追加、および沈下量コンターマップとモデル内の地表面サーフェスとの足し合わせ等が容易に行える。

河川堤防の地震時液状化ハザードマップなどに示される「液状化の可能性の大小」ではなく、定量的な沈下量を用いて予測できるため、高規格堤防沿いの液状化被害予測をより具体的にイメージできるハザードマップの表示可能性が可能となる。

(4) 危険リスクの可視化（結果）

図-5に液状化沈下量の解析結果を示す。図は対象領域を南東方向か

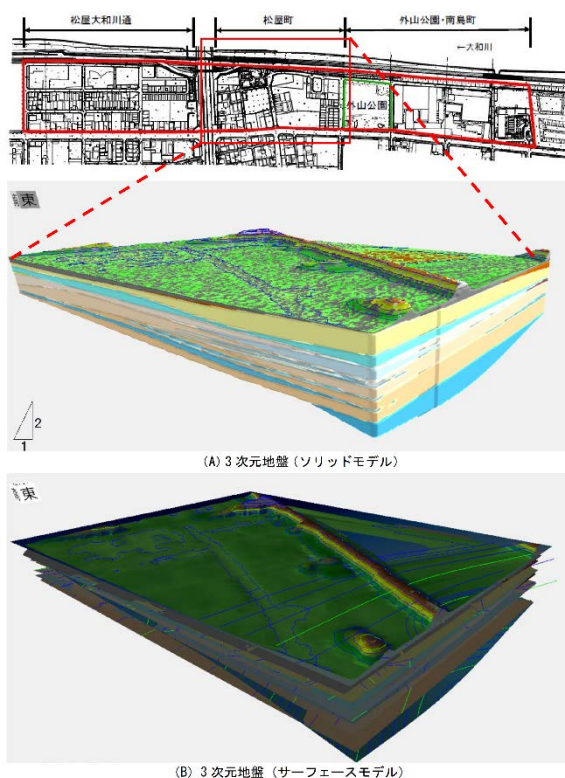


図-3 モデル作成対象領域と三次元地盤モデル

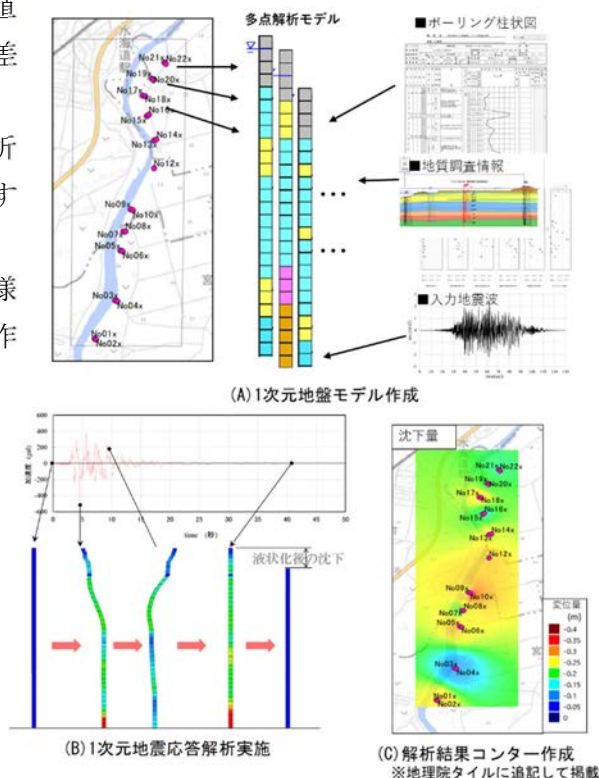


図-4 解析手法概念図

から見下ろしている。図中(A)は沈下後の地表面サーフェスを示し、コンターは液状化沈下量を示す。液状化沈下量自体をサーフェス表示したものを図中(B)に示す。

解析結果によると、領域南東方向の沈下量が大きく、領域中心部の沈下量が小さいことが確認された。

作成した 3 次元地盤モデルによると、南東方向は他の地点と比較して軟弱な沖積砂質土層の層厚が厚いことが確認されており、それが解析結果に反映されたと考えられる。

このように 3 次元的な液状化分布を可視化することにより、調査段階では沈下量が大きく危険性が高いと考えられる箇所に対する追加地質調査の実施計画への反映や設計段階では 3 次元的な液状化時沈下量を把握できることに加え、地盤改良範囲の適切な設定を行うための判断資料としても活用可能である。

4. 地上情報統合による 3 次元データ活用性検討

(1) 地下情報 (3 次元地盤情報) の活用性

大和川松屋地区の高規格堤防整備事業範囲において 3 次元地盤モデルを作成し液状化リスクを可視化した。今回は比較的地盤調査数が多い範囲を限定的にモデル化を行い検討を行ったが、今後、家屋移転が進み地盤調査数が増えることでさらに広範囲の検討が可能となる。

また、他区域の地質調査結果を合わせて河川沿線の高規格堤防整備予定地全体の 3 次元モデルを作成し、全体の地層構成を空間的に把握し、大和川の高規格堤防整備予定領域に対して液状化被害のスクリーニングを実施することで対策優先箇所の洗い出しや地盤調査必要箇所の特定を行うことも可能となる。

(2) BIM/CIM モデルを活用した地上情報の構築と事業管理プラットフォームとしての活用

上述までの地下情報に加え、条件の盛土地盤や移転予定の建物、阪神高速、関西電力、ガス・水道などのライフラインを含めた詳細な BIM/CIM モデルを構築した。(図-6)

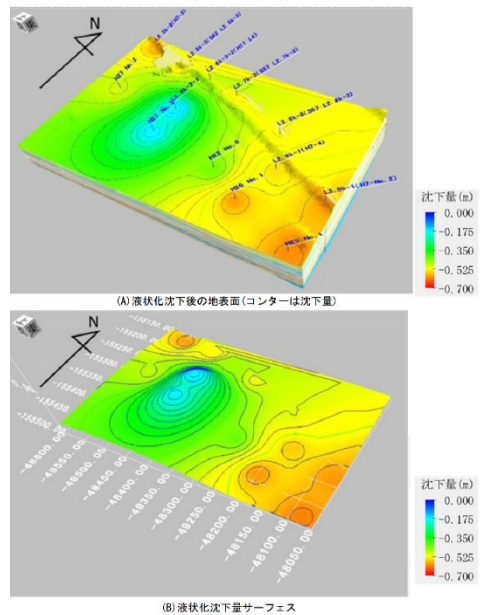


図-5 液状化沈下量解析

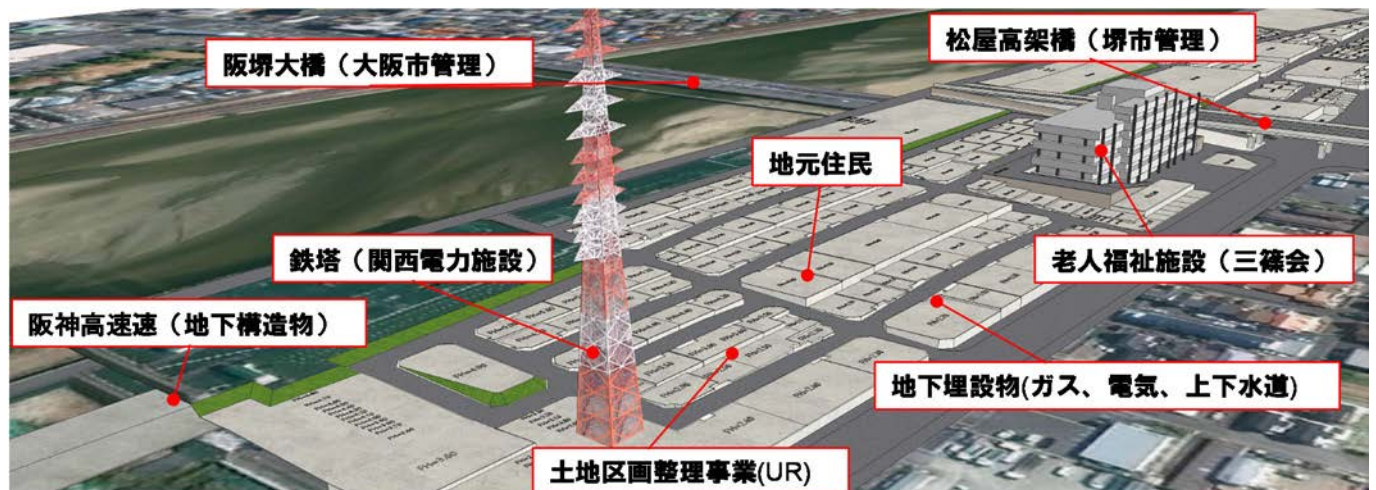


図-6 BIM/CIM による地上情報モデルの構築

高規格堤防事業は、関係機関が多岐に渡る上、事業も長期化する傾向にあり、調査設計内容や関係機関との合意形成の内容を効率よく次段階へ継承していくことが不可欠な要素となっている。これに対応するため、作成した BIM/CIM モデルには、設計データに関する情報を付与することに加え、関係機関との合意形成情報を付与することで、事業管理のプラットフォームとして利活用可能なモデルを作成した。

(3) 地下，地上情報統合による 3 次元データ活用性

地上情報に加え，地下情報統合することにより，設計施工段階に加え，運用管理段階でも効果的に機能するモデルの基礎を構築した．この BIM/CIM モデルを活用した事業管理支援プラットフォームの活用展開の例について高規格堤防整備の各段階（調査・計画段階，設計段階，施工段階，維持管理段階）毎に示す．（図－7）

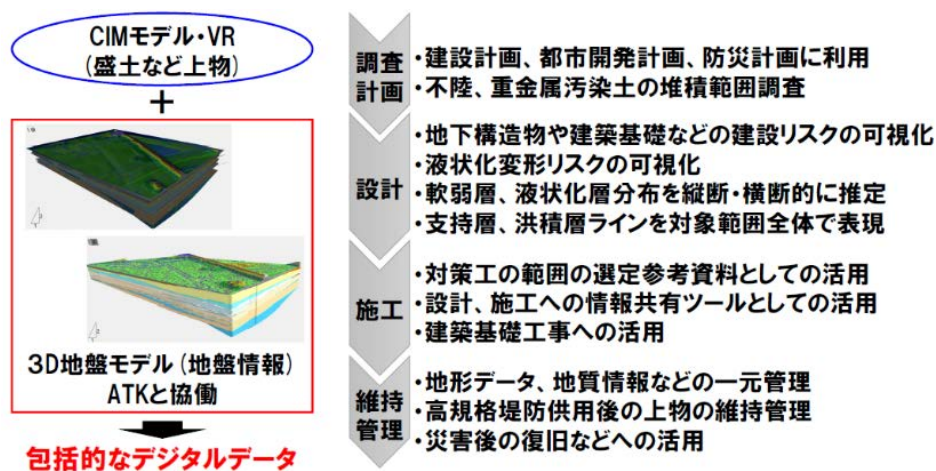


図-7 地上・地下情報統合による活用性

今後は上述の 3 次元地盤モデルとしての「地下情報」の活用に加え，宅地整備やオープンスペースの防災拠点等の「地上情報」を 3 次元的に統合した都市モデルの構築など，包括的な情報管理及び事業関係者間でのシームレスな情報共有の方策や利活用方法についても検討を行っていく．

<参考文献>

- 1) 3 次元地質解析技術コンソーシアム：3 次元地盤モデリングガイドブック 技術マニュアル Ver3.0 対応版，<https://www.3dgeoteccon.com/web3> 次元地質解析マニュアル，（2021/6/14）
- 2) 末光明信，佐藤毅，渡辺正，中尾毅，竹山智英，飯塚敦：都市全体を対象とした液状化後の地盤沈下現象に関する解析的研究，Kansai Geo-Symposium 2020 論文集，Vol.8，pp.160-165，2020
- 3) 大野進太郎，飯塚敦，太田秀樹：非線形コントラクタンシー表現式を用いた土の弾塑性構成モデル，応用力学論文集，Vol.9，pp.407-414，2006