

「治水対策×地震対策」を兼ね備えた高規格堤防整備 3D地盤モデルを活用した液状化危険リスクの見える化

(株)オリエンタルコンサルタンツ
河川砂防・港湾部
入原 渉



(株)アサノ大成
基礎エンジニアリング
地盤コンサルティング事業部
末光 明信



(株)アサノ大成
基礎エンジニアリング
地盤コンサルティング事業部
斎藤 日向子



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た、200~300m程度の幅の広い堤防の整備が進められている。

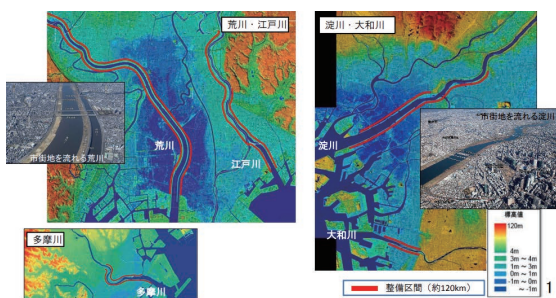


図-1 高規格堤防整備箇所(5河川120km)

(2) 大和川高規格堤防整備事業の概要

大阪平野は、大和川に整備されている堤防高より低い土地、いわゆるゼロメートル地帯がほとんどを占めており、大和川の洪水が越水すると、一般的な堤防では水流により破堤する可能性が高い。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、左右岸合わせて6.9kmの区間で事業が進められており、阪神高速湾岸線から南海高野線までの左岸約3.1キロメートル区間では国の直轄河川事業、阪神高速道路(株)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、大和川沿線の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。

【大和川】高規格堤防整備事業 整備区間

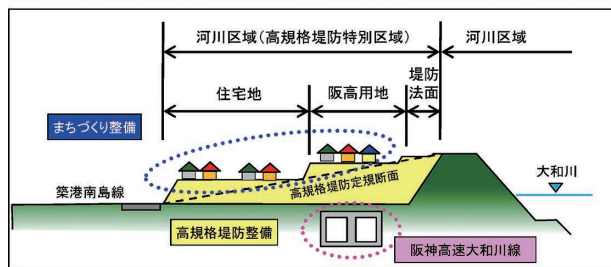
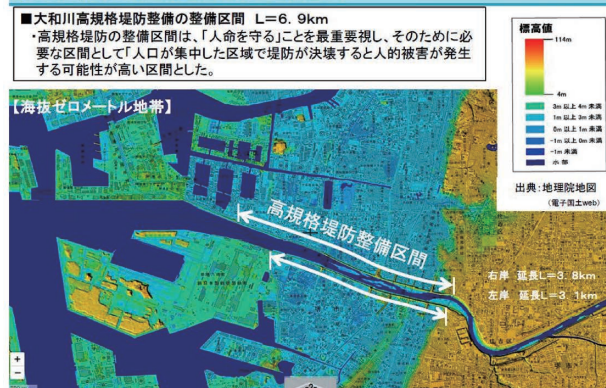


図-2 大和川高規格堤防整備

(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、堤防の勾配を緩く整備するため、地震時の液状化やすべりにも強い堤防になる。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)で進められている高規格堤防事業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。

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等に規定されている構造規格を満たすとともに、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等を踏まえ、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、従来の堤防の整備では堤防に沿った地質調査が行われていることが多いが、高規格堤防整備予定の区域に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等沈下等が発生する可能性もある。

そのため、高規格堤防の整備や共同事業者による宅地整備や、防災拠点の整備工事の管理、施工後の維持管理や河川管理を適切に実施できるよう3次元的地盤堆積状況の把握及び地盤改良による基礎地盤の品質確保が必要である。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適切な河川管理を行えるよう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起因する地盤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。

高規格堤防事業におけるDXの取組み

(1)3次元地盤情報活用の液状化リスク評価

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及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次元地盤モデルの概要

図-3に作成した3次元地盤モデルを示す。3次元地盤モデルの作成は、高規格堤防整備予定区域の550m×350mの範囲で実施した。3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。

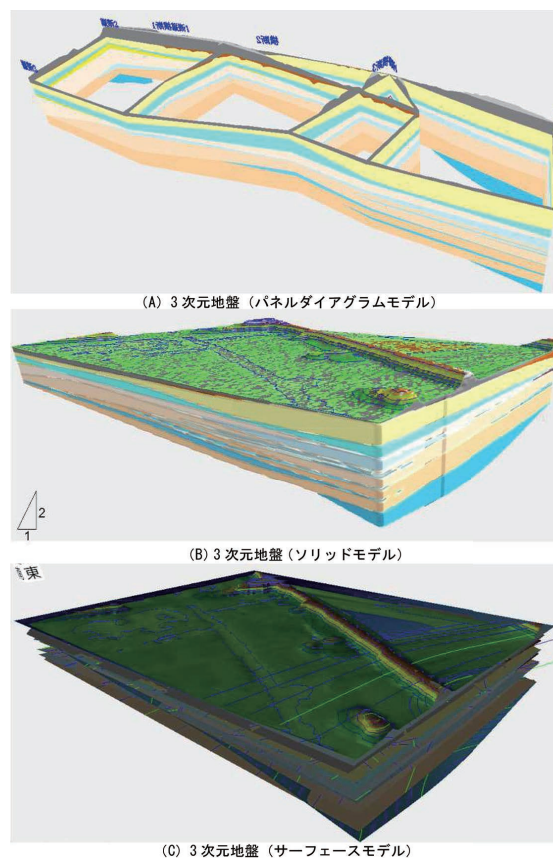


図-3 モデル作成対象領域と3次元地盤モデル

(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。

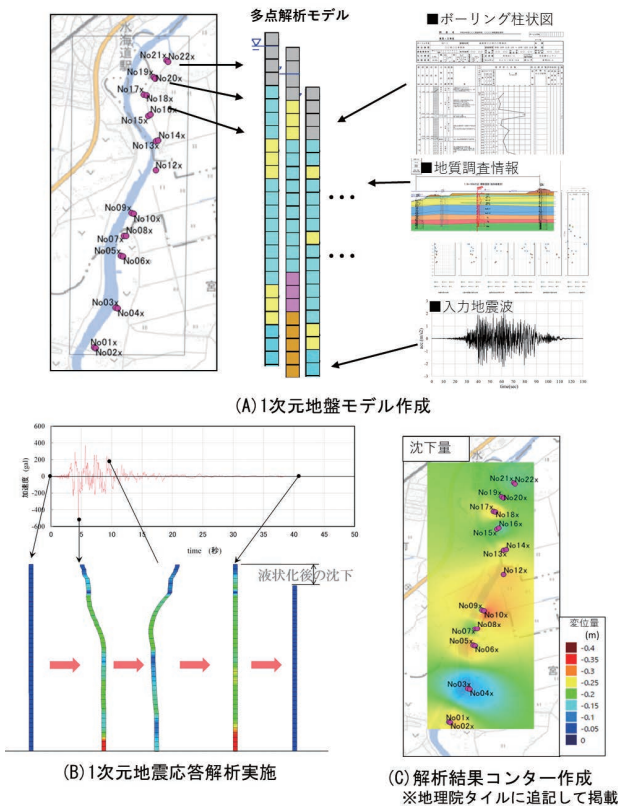


図-4 解析手法概念図

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)、及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、及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) 液状化リスクの可視化

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、領域中心部が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、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。

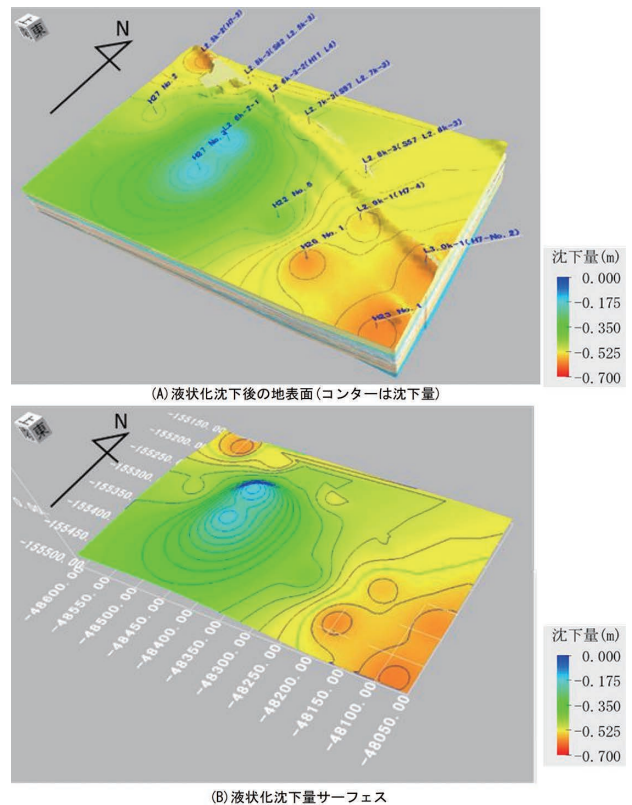


図-5 液状化沈下量解析結果

今後の3次元地盤モデルの活用展開

大和川沿線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することで、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結果から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。

3次元地盤モデル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)毎に整理示す。

表-1 3次元地盤モデルの活用展開の例

調査計画段階	<ul style="list-style-type: none"> ・大和川河川沿線の液状化被害のスクリーニング ・対策優先箇所の洗い出し ・建設計画、都市開発計画、防災計画への利用 ・不陸、重金属汚染土の堆積範囲調査
設計段階	<ul style="list-style-type: none"> ・地下構造物や基礎などの建設リスクの可視化 ・液状化変形リスクの可視化 ・軟弱層、液状化層分布を縦断・横断的推定 ・支持層、洪積層ラインを対象範囲全体で表現
施工段階	<ul style="list-style-type: none"> ・対策工の範囲の選定参考資料としての活用 ・設計、施工への情報共有ツールとしての活用 ・建築基礎工事への活用
維持管理	<ul style="list-style-type: none"> ・地形データ、地質情報などの一元管理 ・高規格堤防供用後の上物の維持管理 ・災害後の復旧などへの活用

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