ウェブ GIS による堆積平野の 深部地盤構造データベース

WEB-GIS FOR DEEP UNDERGROUND SOIL STRUCTURE OF SEDIMENTARY PLAIN

飛田 潤 — *1 福和伸夫 — *2
高橋広人 — *3

Jun TOBITA — *1 Nobuo FUKUWA — *2
Hirohito TAKAHASHI — *3

キーワード：
堆積平野, 地盤構造, 3次元可視化, ウェブ, 強震観測, 常時微動

Keywords:
Sedimentary plain, Underground soil structure, 3D visualization, Web, Strong ground motion observation, Microtremor

Results of deep underground structure survey in the Nobi plain and other surrounding large sedimentary plains in Tokai area have been compiled using a web-based geographic information system (Web-GIS). Data and analyzed results on surface soil layers, observed strong motion and microtremor are also included in the system. Web-based 3-D interface has been developed for understanding spatial shape of underground soil structure. Web interface has advantage on network access via the Internet without any special software. This system is effective in integrating various kinds of data on ground and earthquake response, and is useful for engineers to assist their structural design and disaster mitigation.

1. はじめに

耐震設計や地震防災での利用を念頭に、大規模堆積平野における精度の高い強震動予測を行うためには、高度な予測手法の開発・展開と同時に、平野全体にわたる深部地盤構造や表層地盤に関するデータを蓄積・整理し、適切にモデル化することが重要になる^{1),2)}。海溝型巨大地震による長周期地震動を考えると地震基盤に至る深部地盤構造が重要であり、基盤の不整形性が震災の帯のような特異な地震動特性をもたらすことも知られている。一方、一般建築物に影響の大きい周期1秒程度以下の周期成分は、工学的基盤までの数十メートル程度の表層地盤の影響が大きい。

現在では地盤構造を明らかにするために多様な地盤調査が行われており、それらの結果は強震動予測やハザード評価などに活用されている。特に兵庫県南部地震以降は、国と地方自治体による大規模な深部地盤調査が主要な平野や盆地などで実施されており、既存の地盤調査結果の収集・整理も行われている。また自治体の計測震度計網やK-NETなど全国で高密度の強震観測が行われ、観測記録が蓄積されている。しかし、これらの情報に基づいて、地域の地盤状況を全体的に理解したうえで、適切な地盤モデルを構成して地震動を推定することは、一般に容易ではない。建設・防災関係の技術者・研究者が、目的に応じた手法とデータに基づいた強震動予測やハザード評価を行うためには、既存の地盤調査や観測の結果をまとめてデータベース化するとともに、地盤モデルの設定や強震動予測に活用できるインターフェイスを考える必要がある。さらに将来的には、構造物の地震時挙動や被害の検討に結びつけるために、構造物の強震観測結果もあわせて活用できる形が必要と考えられる。

東海地域では、平成11年から愛知県による濃尾平野の深部地盤構造調査が開始され、その後、岡崎・豊橋平野を含む三河地域、三重県による伊勢平野の調査が実施され、報告にまとめられている³⁾⁻⁵⁾。これらの堆積平野の深部地盤構造調査結果は、既存の調査研究資料、新たに実施した調査結果、強震観測記録との整合性など、多岐にわたる検討結果をまとめて総合的に判断されたものであり、将来の東海・東南海地震による地震災害、特に長周期地震動の予測には不可欠な情報である。しかし、複数の報告書に散在する内容を、全体像を把握した上で、理論背景も理解しながら統一的に活用することは、一般の技術者にとって決して容易ではない。

本報告では、以上の背景に基づき、愛知県・三重県の堆積平野周辺地域の深部地盤構造に関するウェブGISの構築について述べる。主となるのは、広域にわたる深部地盤の層構造と、その根拠となる調査・分析結果の資料であり、強震動予測や防災に活用することを想定している。さらに、ウェブの利点を活かし、これまでに構築した浅部地盤構造や各種地盤調査結果、強震観測記録などのウェブデータベースを統合して利用することを目指している。

筆者らはこれまでに、名古屋市周辺地域の浅部地盤調査結果、強震観測記録、常時微動記録などの収集・整理を行ってきた⁶⁾。また多数の建物で常時微動・強震観測を実施し、結果を建物・地盤状況とともに整理している。さらに情報をウェブGISなどによりオンラインで参照できるシステムを構築している^{7),8)}。これらのシステム技術やデータは、本システム開発の基礎となっている。また、変化に富む地下構造をより適切に理解するために、汎用的なウェブインターフェイスによる3次元可視化表示エンジンの利用を試みている。

*1 名古屋大学大学院環境学研究科 助教授・工博
(〒464-8601 名古屋市千種区不老町)

*2 名古屋大学大学院環境学研究科 教授・工博

*3 名古屋大学大学院環境学研究科 大学院生・修士(工学)

*1 Assoc. Prof., Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.

*2 Prof., Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.

*3 Graduate Student, Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ., M. Eng.

2. システムの概要

本システムと利用の概要を図1に示す。サーバーは、広域の深部地盤構造およびその根拠となる各種深部地盤調査結果に関するデータベースを基本とし、ウェブGISとウェブ3次元可視化のサーバー機能を持つ。地震観測記録などは既存のウェブデータベースとウェブGIS上でリンクすることで統一的に利用できるようにしている。

図1 システムの概要

3. システムで扱う情報

本システムで扱う主な情報について、以下に説明する。

(1) 深部地盤の各層の上面深度分布

地震動予測や地震被害想定等のために、地下構造の平均的な変化をデータ化したものであり、深さ数 km に及ぶ地震基盤の情報に加えて、以浅の主要な層（3～4層）の上面の深度分布が1kmあるいはさらに細かなメッシュ単位で与えられる。上述の愛知県、三重県の複数の深部地盤調査結果をもとに、重複地域のデータの整合性も考慮して作成されている。各層の物性値は平均的な値を表示する。

(2) 各種深部地盤調査結果

上記の深部地盤構造を推定するために、愛知県・三重県の深部地盤調査では反射法・屈折法探査、微動アレイ調査などが行われ、さらに既往の調査結果として、大深度ボーリング、爆破探査、重力異常などの資料が整理されている。これらの調査概要と調査結果を、地図上の調査地点・調査測線と対応付けてデータベース化している。

(3) 浅部地盤構造と地盤調査結果

建物の構造設計における基礎構造の検討や入力地震動設定のためには、工学的基盤までの数10m程度の浅い地盤についての情報が必須である。ボーリングデータと新旧地形図の変化などを統合して、切盛による地形改変も含めた表層地盤構造（地層境界と層の情報）をデータベース化している⁷⁾。これらの情報は必ずしも広域で整備できるわけではなく、地域によりボーリング等の情報密度や切盛データの精度・有無は異なる。またウェブGISで表示する際には、表示範囲（縮尺）に応じて深部地盤構造とシームレスに扱う。

(4) 地震観測点と観測記録

東海地域の様々な機関で実施されている地盤の地震観測（自治体の計測震度計ネットを含む）の記録は、大都市圏強震動総合観測ネットワークシステムにより収集・整理され、概要がウェブで公開されている⁸⁾。現状で愛知、三重、岐阜南部に300以上のオンライン観測点があり、毎年50～60地震の記録が蓄積されている。また約200のオフライン観測点もあり、主要な地震の記録が得られる。本システムでは、GIS上の観測点とリンクし、各地点の地盤や観測情報、これまでに得られた地震波形やスペクトルの情報を整理した。地震観測データは、強震動予測や入力地震動設定だけでなく、地盤調査で地盤構造の推定精度を高めるためにも活用されている。

(5) 常時微動観測結果

筆者らは平成7～11年に名古屋市周辺341地点で地盤の単点常時微動計測を行っており⁹⁾、名古屋市内では1km²に1点程度の密度の情報がある。結果は、観測点の地盤データ（地質、過去の土地利用、ボーリング、伝達関数計算値など）、観測条件、常時微動波形、フーリエスペクトル、H/Vスペクトル、卓越周期などが整理されている。本システムではGIS上の観測点位置とリンクしてデータベース化した。H/Vスペクトルや卓越周期は、建物設計時に周期の関係を検討する上で重要な指標であり、深部地盤に対応する長周期域と、表層地盤に対応する短周期域の周期を示している。

4. ウェブGISによる2次元情報表示機能

図2に、深部地盤構造データベースのウェブGISによる全体ウィンドウを示す。名古屋市を中心として、濃尾平野から西三河地域を表示した例である。基本的な表示構造として、まずウィンドウ上側は中心となる地図表示であり、縮尺や表示範囲、表示内容のレイヤなどはマウス操作で自由に選択操作することができる。またウィンドウ下側は、地図上での位置やオブジェクト選択に対応して表示される情報リストであり、これらを選択することで詳細な情報の表示ウィンドウが新たに開く。

表示内容は、まず行政界、河川、道路、建物などの一般的な地図情報があり、選択したレイヤと縮尺に応じて適切な表現で表示される。この基本地図に加えて、3節で述べた深部地盤構造等のデータベースが重ねて表示される。深部地盤構造については、図2右上のウィンドウのように、選択した層の上面深度分布を色分けで表示することができる。またマウスで選択した地点について、各層の名称と深度がウィンドウの下側に表形式で詳細に表示され、地盤モデルの構築に活用できる。また、地図表示の下と右には地図の中心点を通る東西・南北の断面図が表示される。地図の表示範囲は、ウィンドウ右上のクリック時動作選択で「クリック位置へ移動」ボタンを選択し、地図上の希望の地点をクリックすれば中心位置が設定される。断面図の表示の深さは、地図の表示範囲（縮尺）に応じて、深部地盤から浅部地盤まで表示深さや表示内容（地層名称の相違やN値表示など）が自動的に選択される（図2右下）。

この地図に重ねて、各種深部地盤調査、地震観測、常時微動観測などの実施位置が表示できる。たとえば微動アレイ探査地点、反射法測線、強震観測地点（観測実施機関ごとに異なるアイコン）などがそれぞれ色つきのアイコンや線で表示されている。これらの地図表示は右側のレイヤ選択により、任意に表示/非表示が選択できる。ウィンドウ右上のクリック時動作選択で「クリック位置の情報表示」ボタンを選択し、地図上のアイコンをクリックすれば対応する情報リストがウィンドウの下側に表にまとめて表示され、それらをクリックすれば図や資料の詳細が別ウィンドウで表示される。図3はこれらの詳細情報の表示例である。反射法探査は地図上に測線が示され、選択すると反射法断面や調査方法などの詳細を表示できる。常時微動アレイ探査は、分散曲線と推定地下構造の図などを表示できる。地震観測点については、地点を選択すると観測点の詳細と観測地震リストが表示され、選択することで観測された地震波形とスペクトルなどが表示される。単点常時微動の観測結果は、観測点の詳細やH/Vスペクトルが表示される。

図2 WebGISによる堆積平野深部地盤構造データベース

図3 地盤調査、地震観測、常時微動観測の詳細情報ウィンドウ

以上のように、通常は入手に多大な労力を払うデータが多面的に統合されていることは、技術者の活用にあきわめて有益である。たとえば超高層や免震などの長周期構造物の設計では、まずサイトの深部地盤構造による長周期側の卓越周期を基盤深さと層構造から検討し、近傍観測点の常時微動 H/V スペクトルや観測地震記録の応答スペクトルも参照して確認できる。地震観測は複数機関のデータが集約されているため、サイトに最も近い複数地点の観測記録を効率的に参照できる。経験的グリーン関数法などの入力地震動推定を行う場合には、過去の地震記録の有無がすぐに確認できる。一方、表層地盤の層構造や切盛、既往のボーリングデータの集積などは、基礎構造の計画、これからサイトで行うべき地盤調査の計画、限耐法の地盤モデル構築などに直ちに活用できる。

5. ウェブインターフェイスによる地下構造3次元可視化

図4に濃尾-伊勢平野付近の深部地盤構造の3次元表示例を示す。左図は複数の層を異なる色で表示しており、地表の地図とあわせて平野規模の地下構造を把握できる。また右図は、地表と地震基盤上面のみにして視点を変えて表示した様子であり、濃尾平野西端にある養老断層の基盤段差の形状を様々な方向から確認することができる。

これらはウェブブラウザ上でリアルタイム 3D コンテンツを再生する MatrixEngine®⁹を利用して表示しており、ボタンのクリック操作による表示切替やマウスドラッグによる 3D 表示の移動・回転・視点の変更・ズームなどがウェブブラウザ上で可能で、自

← 南東側上空から
↓ 地震基盤形状を
望む。
奥に養老断層の
基盤段差が確認
できる

← 東側上空から
対象地域を望む。

図4 濃尾平野西部～伊勢平野付近の深部地盤構造のウェブインターフェイス 3D 表示

(左図は主要な層境界を色違いで表示、右図は基盤上面境界を視点を変えて表示。表示する層、透明度、角度・位置・ズームなどをマウスで操作できる。)

由な角度から対象を検討することができる。また任意の地層境界の表示の有無、地表面表示の透明度の変更など細かな操作もできる。この描画エンジンは、ウェブ GIS と同様にネットワークを経由してデータを利用するものであり、クライアント側 PC は専用ソフトウェアを必要とせず、一般的なウェブブラウザでアクセスして簡単な操作でプラグインをインストール（初回のみ）するだけで利用できる。サーバー側では、表示の縮尺に応じて転送データ密度を調整するなどの工夫がなされ、3D 表示とマウスによる画面操作は、現在の普通の PC とブロードバンド環境であれば十分スムーズで、ストレスなく自由に立体を扱うことのできるレベルに達している。同様の技術により地表面地形や切り盛りによる地形変化、航空写真データなどに基づく市街地イメージなども表示でき、直感的な理解を助けるために有効である。

さらに MatrixEngine は、このような複雑な 3D コンテンツの自由な操作だけでなく、立体的で動きのあるユーザーインターフェイスをウェブ上で比較的容易に実現できるため、変化に富んだ e ラーニングなどのウェブコンテンツの作成にも応用範囲が広い。

6. まとめ

本報告では、建設・防災に関わる一般技術者の活用を念頭に、大規模堆積平野における深部地盤調査結果をウェブ GIS やウェブ 3 次元可視化により利用できるシステムについて述べた。本システムは、広域の深部地盤構造をベースに、表層地盤情報は縮尺に応じて表示内容を調整してシームレスに統合し、地震観測や常時微動の結果などはウェブでリンクして一元的に扱い、さらにウェブインターフェイスによる 3 次元表示も用いることにより、広域の、あるいは特定地点の地盤構造を多面的に理解でき、設計用入力地震動設定や基礎構造設計の支援、防災における被害想定などに活用できる。また、ウェブインターフェイスで統一したことにより、専用のソフトウェアを用いる必要がなく、一般の PC からネットワークアクセスにより利用できる利点がある。

今後の開発としては、地震動予測地図や各種ハザードマップ、活

断層や震源断層モデルなどとのデータ連携、技術者の支援として任意の地点における地震動予測をインタラクティブに実行できる機能、教育学習機能として地震動予測レシビや地盤調査に関する手順・知識をまとめた e ラーニングの組み合わせなどが考えられる。これらがネットワーク経由で活用できるウェブインターフェイスで統合されていることにより、他の情報と容易に統合でき、将来の自由な連携と展開を行うプラットフォームになりうる。

謝辞

本報告で述べたシステムの開発にあたり、坂上寛之氏・古瀬勇一氏（㈱ファルコン）ほかのご協力を得た。また本研究の一部は、文部科学省・大都市大震災軽減化特別プロジェクトにより行われたものである。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 福和伸夫, 佐藤俊明, 早川崇, 池田善考, 野崎京三: 濃尾平野の地盤調査とそのモデル化, 月刊地球号外 37 号「最近の強震動予測研究—どこまで予測可能となったのか?—」, pp.108-118, 海洋出版, 2002.
- 2) 高橋広人, 福和伸夫: 地震動予測のための表層地盤のモデル化手法の提案と検証, 日本建築学会構造系論文集, No.599, pp.51-59, 2006.1
- 3) 愛知県: 濃尾平野の地下構造調査, H11~14.
- 4) 愛知県: 三河地域堆積平野地下構造調査, H13~16.
- 5) 三重県: 伊勢平野に関する地下構造調査, H14~16.
- 6) 福和伸夫, 飛田潤, 中野優, 高橋広人, 飯田正憲, 石田理永: 名古屋市の地盤・強震動・微動記録のコンパイルと震動性状区分, 日本建築学会技術報告集, 第 10 号, pp.41-46, 2000.6
- 7) 高橋広人, 福和伸夫, 飛田潤, 古瀬勇一: 防災・安全情報を提供する施設管理システムの構築, 日本建築学会技術報告集, 第 22 号, pp.559-562, 2005.12
- 8) 飛田潤, 福和伸夫, 中野優, 山岡耕春: オンライン強震波形データ収集システムの構築と既存強震計・震度計のネットワーク化, 日本建築学会技術報告集, 第 13 号, pp.49-52, 2001.7
- 9) Matrix Engine: <http://mxengine.net-dimension.com/jpn/>

[2006年4月20日原稿受理 2006年7月27日採用決定]