

災害被害軽減のための地盤情報の共有化と活用 Communalization and Application of Soil Information for Disaster Mitigation

福和伸夫¹⁾
N. Fukuwa

1)名古屋大学大学院環境学研究科, 教授 (〒464-8601 名古屋市千種区不老町, fukuwa@sharaku.nuac.nagoya-u.ac.jp)
Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Professor

本稿は、地震災害による被害を軽減するための地盤情報の活用について論じている。最初に、総合科学技術会議で実施される予定の社会還元加速プロジェクト「きめ細かい災害情報を国民一人ひとりに届けるとともに災害対応に役立つ情報通信システムの構築」の概要を説明した上で、地盤情報の活用と国民への提供事例として、筆者らが実施してきた地盤情報、微動・強震観測記録の収集・共有化とデータベース化、データコンパイルと地下構造モデルの構築、データの質・量に応じた高解像度・高精度な強震動の予測、そして、地盤情報を活用した防災情報の発信と国民の防災行動への自発的誘導、などの試みについて紹介する。

社会還元加速プロジェクト, 地下構造, データベース, モデル化, 強震動予測, シミュレータ
Social reduction acceleration project, Underground structure, Database, Modeling, Strong motion prediction, Simulator

1. はじめに

阪神淡路大震災を契機として、強震動予測の重要性が改めて認識され、地震調査研究推進本部を中心に、活断層調査、地下構造調査、強震観測などが精力的に実施されてきた。その結果、数多くの有益なデータが蓄積され、強震動研究者を中心に広く活用されるようになった。しかし、一般国民の目からすれば、調査のために投入した資金と比べ、その活用度合いは未だ十分ではないと思われるようだ。本稿では、大学で建築構造を教育・研究している技術者の立場で、災害被害軽減のための地盤情報の活用について考えてみたい。

まず、本稿の立場を明確にするために、簡単に筆者のバックグラウンドを記しておく。筆者は、名古屋に生まれ、大学院修了時まで地元名古屋で過ごした。大学院終了後は、十年間、民間建設会社に勤め、原子力発電施設などの重要構造物の耐震解析に従事した。その後、名古屋大学に異動し、工学部建築学科、先端技術共同研究センター、環境学研究科で教育・研究に従事してきた。

この間、構造物と地盤との動的相互作用、建築振動、地盤震動、環境振動、地震被害予測などについて理論・観測の両面から研究してきた。検討が深まるほど、理論・設計と観測・被害との乖離、入力と耐震性能の過小評価など、現象の理解度不足を痛感するようになった。

また、国や自治体の地震被害予測や、耐震改修促進、災害被害軽減のための国民運動作りに参画する中で、国民を防災行動に自発的に誘導することの重要性と難しさを感じるようになった。

これに加え、先端技術共同研究センターでの産学連携や、文部科学省のプログラムオフィサー、総合科学技術会議の社会還元プロジェクトの取りまとめを経験する中

で、研究成果の社会還元や研究社会のシステム改革について考える機会が増えてきた。

このようなことから、最近では、基礎データの取得とセンシング、ネットワークとシステム化、教育・啓発、振動実験設備の開発研究などにも取り組んでいる。

以上のような背景から、筆者の現在の基本的な立場は、名古屋に住む地域人として、また、建築業界で育てられた社会人として、そして、地方中核大学で建築構造を教育・研究する大学人として、地域の地震災害被害の軽減を担うことにあると思っている。また、この活動を通して国内外の他都市に適用できる地域減災モデルを作りたいと考えている。

現在、主として実践していることは、①減災のための人材育成と啓発・実践活動を通じた国民運動作り、②減災に必要となる基礎研究と総合化、③研究成果の地域防災への還元、である。②では、地盤・地形や災害史など地域を知ること、地震や揺れなど敵の力を知ること、建物の耐震性や社会の対応力など己の力を知ること、を大事にしており、③では、住民を防災行動に誘導する具体的なシミュレータや実験教材の開発を心がけている。

本稿では、以上のような立場で、地盤情報の共有化と活用について考えてみることにする。まず、最初に、昨年、閣議決定されたイノベーション25と、これを受けて総合科学技術会議が主導する社会還元加速プロジェクト「きめ細かい災害情報を国民一人ひとりに届けるとともに災害対応に役立つ情報通信システムの構築」についてその基本的考え方を示す。次に、社会還元加速プロジェクトでの考え方に比較的近い発想で筆者らが進めてきた地盤情報・観測記録の取得、DB化、地下構造モデルの作成、情報公開と活用の試みについて、紹介する。

2. 社会還元加速プロジェクトとは？

(1)長期戦略指針「イノベーション 25」

昨年6月に閣議決定された長期戦略指針「イノベーション25」は、2025年までを視野に入れて、研究開発、社会制度の改革、人材の育成等について、短期、中長期にわたって取り組むべき政策を示しており、「社会システムの改革戦略」と「技術革新戦略ロードマップ」を一体的に推進する政策ロードマップを描いている。

中長期的に取り組む課題として具体的に掲げているのは、①生涯健康な社会形成、②安全・安心な社会形成、③多様な人生を送れる社会形成、④世界的課題解決に貢献する社会形成、⑤世界に開かれた社会形成、である。

2025年の日本の姿として描かれている「安全・安心な社会」は、「堅牢かつ自己修復機能を持った材料技術等で多くの建造物は長寿命化・高容積化されており、災害に強く住みやすい住宅づくり・街づくりが進んでいる。地震、津波・高潮、土砂崩れ・洪水、台風等の自然災害が起きる場合にも、高度な予測技術と災害情報ネットワークの高度化により被害は劇的に減少する。」である。

(2)社会還元加速プロジェクト

2025年の望ましい日本の姿を作るために、社会システムの改革戦略と共に技術革新戦略ロードマップが示された。ここには、「技術革新戦略ロードマップは、基礎研究から科学技術の社会適用までの全体を俯瞰して、実証を通じて技術の効果等を示す「社会還元加速プロジェクト」、政策課題に対応するため、選択・集中的に実施する「分野別の戦略的な研究開発の推進」、イノベーションの種を生み出す独創性の高い挑戦的な「基礎研究」の3層構造で形成されるものである。」と記されており、新たに社会還元加速プロジェクトを推進することを謳っている。

さらに、「イノベーションを国民一人ひとりが実感するために、比較的近い将来に実証研究段階に達するいくつかの技術を融合し、今後国が主体的に進めていく先駆的なモデルとして「社会還元加速プロジェクト」を総合科学技術会議が司令塔となって関係府省、官民の連携の下で推進し、実証研究を通して成果の社会還元を加速する。」と記し、下記4点をその特徴として掲げている。

- 異分野技術融合：異分野技術を融合
- 官民協力、府省融合：官民協力、異業種連携、府省融合の仕組みを強化
- システム改革：規制改革、公的部門における新技術の活用促進等のシステム改革を包含
- 技術の社会システムとしての実証：先駆的なモデル事業であることに鑑み、5年以内にシステムとしての実効性の検証を行うための実証研究（暮らし方、働き方等、社会の変わる姿を国民に提示）を開始

これらから、社会還元プロジェクトは、社会改革の起爆剤になることが期待されていることがうかがえる。

具体的には、下記6テーマが、早急に開始すべきプロジェクトとして選ばれている。

- ・ 失われた人体機能を補助・再生する医療の実現
 - ・ きめ細かい災害情報を国民一人ひとりに届けるとともに災害対応に役立つ情報通信システムの構築
 - ・ 情報通信技術を用いた安全で効率的な道路交通システムの実現
 - ・ 高齢者・有病者・障害者への先駆的な在宅医療・介護の実現
 - ・ 環境・エネルギー課題等の解決に貢献するサイオマズ資源の総合活用
 - ・ 言語の壁を乗り越える音声コミュニケーション技術の実現
- ### (3) きめ細かい災害情報を国民一人ひとりに届けるとともに災害対応に役立つ情報通信システムの構築

このプロジェクトは、総合科学技術会議の奥村直樹議員をプロジェクトリーダーとして実施される。筆者は奥村議員をサポートするサブリーダーとして参画するよう要請されている。このプロジェクトは、

- ・ 災害情報の伝達・収集が円滑でなく1枚の地図に統合化された情報として一元的に把握・発信できていない
- ・ 国民一人一人に災害情報が確実に伝わるシステムとなっていない。

などの反省に立って、災害・被害情報を1枚の地図に統合化して一元的に管理・共有できる新たな情報通信システムを構築すると共に、国民一人一人に迅速に情報伝達可能な通信網と情報端末の開発などを行う、としている。

プロジェクトには、内閣府防災担当、国交省、気象庁、国土地理院、国総研、文科省、総務省、消防庁、経済産業省、防災科研、産総研、情報通信研究機構などが参画を予定している。

具体的には、災害情報の収集力の向上、情報コンテンツの開発、通信網整備と端末開発、などの要素技術を構築するとともに、GISをベースとした情報プラットフォームを開発し、5年を目途に運用を始める予定である。また、モデル地域を設定し、特定の災害を対象として防災体制を構築したり防災訓練を行い、開発効果を検証する。5年経過後は、さらに、対象地域や災害の種類を拡大し、災害予測の高度化や、防災訓練等における活用やシステムの維持管理改良を行うことで、的確な警報・避難情報を国民一人一人に提供することを目指している。

現在、4月からのスタートを前に、関係府省や経済界、学識経験者のヒアリングを行いながら、ロードマップ作りをしているところである。この間、府省を超えた情報交換を何度か行う中で、関係者の信頼関係が醸成され、データ共有化に向けたデータフォーマットの統一に関する議論が始まりつつある。

今後、信頼性のあるデータの獲得、データのデジタル化、府省を超えたデータの共有化、メタデータや標準フォーマットの設計、相互運用できるGISの構築、リアルタイムセンシング、平時の備えから発災時の危機対応そして復旧・復興戦略といった時系列での活用、ハザード情報からリスク情報さらには対応情報までの情報提供のレベル、情報の隠ぺいと公開、冗長性と利便性、通信インフラや通信端末のあり方、情報の伝え手の育成と受け手の能力アップなど、多くの課題を議論する必要がある。

3. イノベーションを国民が実感できる地盤情報とは？

一概に、国民と言っても、一人一人の立場によって必要とする地盤情報は異なる。また、平時、発災時、復旧・復興時でも情報に対する要求事項は全く違ってくる。したがって、情報提供者が最初にするべきことは、情報の受け手の立場に立って、何が必要とされているのかを考えることである。Public Understanding of Science (PUS) から SUP への発想の転換が必要である。

ユーザーである国民も、個人の立場や、組織（行政、経済団体、業界団体、会社、学校、病院、地域コミュニティ）の立場などによって、様々である。

平時に重要となるのは、備えのための情報提供である。ハザード（地震の揺れの強さ・周期・長さ、液状化、土砂災害、建物の支持力など）、リスク（家屋、火災、ライフライン、交通網などの被害）、対応力に関する情報である。これらの情報は、誰もが何時でも見れるようにすることで、一人一人を備えの行動に誘導することができる。

国民にとっての主たる心配事は、自分が居住する家屋、勤務・通学する社屋や校舎、通勤・通学に利用する駅舎・車両の安全性である。家屋を新築する際には、ハザードの小さい敷地探しや、ハザードの大きさに応じた建物・基礎の耐震性、リスクに応じた発災時の備えなど、安全な家づくりを誘導する情報提供が望まれている。

また、学校現場では、地域社会・自然地理・防災などの学習に活用できる教材の提供が、地域コミュニティでは、地域の防災意識の啓発に役立て、地域防災力を向上させるような情報提供が必要とされている。

組織の場合には、事業継続計画を立てるために必要となる基礎情報として、ハザード情報、リスク情報や発災時の社会の対応力に関する情報の提供が必要である。

行政的には、ハザードの小さい場所に避難場所を設置したり、リスクの大きな場所を再開発や消防・救命救急の重点地域にするなどの活用が想定できる。

このように、備えの段階では、地盤情報をユーザーの使途に応じて加工することがポイントとなる。

一方、発災時に必要となるのは、被害状況と対応力の早期把握、限られた情報と対応力の中での対応項目の取捨選択と即応である。リアルタイムで取得する情報と事前情報とを組み合わせ、災害像を補完する必要があり、地盤情報を活用して少ない観測点情報から揺れや被害を推定することが望まれている。

復旧・復興段階では、応急仮設住宅や復興住宅の建設場所の選定などが必要となる。事前の復興計画として、市街地や居住地をハザードの小さい場所に集め、リスクの大きな場所は再開発の拠点に、ハザードの大きい場所は公園緑地にするような、計画を作っておけると良い。

なお、研究者サイドも、土質工学、岩盤工学、資源工学、物理探査、地質学、地形学、など専門によって欲する情報は異なっている。

例えば、筆者の場合には、振動現象を理解し、現象を表現できる解析モデル・解析法を作り、よりよい耐震設計や災害軽減に活かす、などの目的意識を持っている。筆者が、明らかにすべき課題と考えている事項を図1に示すが、地盤に関わる課題が多いことがよく分かる。

戦後、都市への人口集中で、都市が軟弱地盤に広がり、建物が高層化・大型化し、地盤の影響が増している。地盤は物性値の不確定性など一筋縄ではいかないが、建物に地震の揺れを伝えるとともに、建物を支持するという重要な役割を担っている。震源には不確定さがあるが、堆積平野によって生成される揺れの周期と継続時間は、

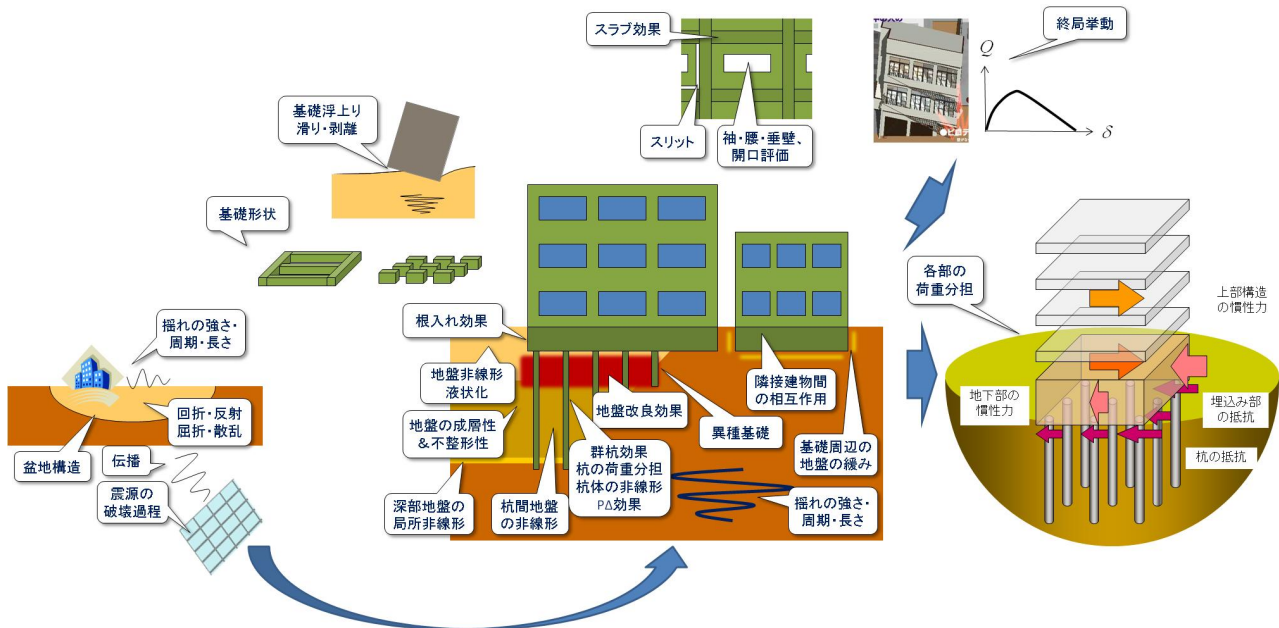


図1 筆者が当面の検討課題と考えている事項

地下構造が正確であれば確定的に求めることができる。

建物によっても必要とする情報は異なる。一般家屋の場合には、耐震設計法の制約もあり揺れの強さが重視される。しかし、制震・免震や高層建物など、長周期の建物では、周期や継続時間も重要となる。

住民にとっては、ハザードマップと起震車の揺れの連続性が啓発の効果をあげる。揺れを体感できるハザードマップができれば、波形計算に基づく地震動推定もより価値が高まるだろう。

強震動の予測という立場だけで考えても、必要とする地盤情報は多様である。対象範囲も、深くはプレートの構造から、基盤岩以浅の深い構造、工学的基盤以浅の浅い構造、さらには地表近くの風化土や埋土まで、必要とする地盤情報は対象構造物の固有周期によって異なる。

また、盆地構造をなす堆積平野や、沖積谷・埋没谷などでは、平行成層構造でのモデル化には無理があり、2次元もしくは3次元的不整形構造を考慮しなければ、波の継続時間を適切に評価することができない。

線形弾性範囲の解析であれば、地盤の速度・密度構造が分かれば良いが、軟弱地盤の強震時挙動を考える場合には、地盤の非線形特性や液状化特性の情報の重要度が増す。また、建築物の設計の観点では、地震時の動的挙動に加え、建物の沈下・傾斜を防ぐため、地盤の支持力や圧密などに関する情報も必要となる。さらに、地盤の支持力が不足する場合には地盤改良が用いられるが、改良地盤の物性値についての情報は限られている。

地震被害軽減という立場で考えると、被害が大きくなる都市の軟弱地盤地域の資料の重要度が高く、対象とする周期範囲も1秒前後以下が重要となる。しかし、これらの地盤資料は、建築・土木工事に関わる調査結果が多い。一般建築物の場合には、静的な構造計算に基づく耐震設計が行われるため、地盤調査は支持力等を確認するための標準貫入試験に限られ、速度検層や密度検層が行われるのは超高層建物や免震建物の場合だけである。また、得られたデータも、民間所有のものが多く、個人情報や著作権の問題からデータベース化も進んでいない。

これに対し、国が主導する調査・研究は、やや長周期域の強震動予測に偏りがちであり、深部地盤構造のデータ取得に限られている。深部地盤の調査は費用がかさむこともあり、地域に限られ、地点数も十分ではない。

このように、各地の地震災害軽減という観点からは、データの質・量ともに不十分であり、データベース化も進んでいない。また、限られた地盤資料を総合化して地下構造モデルを作る試みも、余り行われていない。

また、地下構造モデルの妥当性を検証するには、微動や強震記録などの揺れのデータが不可欠であり、観測データのデータベース化・ネットワーク化が基礎となるが、多くの場合、K ネットに頼っているのが現状である。

このような観点から、筆者らも、濃尾平野を中心に、活用可能な資料のデータベース化、不足するデータの取

得、地下構造モデルの作成、さらには、データ量と強震動予測の解像度に応じたモデル化手法の検討やその活用などを、行ってきた。以下にその概要を記す。

4. 地盤情報の獲得・データベース化と地盤モデルの作成

1) 既存地盤情報の収集・データベース化と活用¹⁾

1988年に土質工学会中部支部(現・地盤工学会)が最新名古屋地盤図をまとめ、約4000本のボーリングデータをデジタル化し、地質年代ごとの地層境界深度分布図を作った。また、1993年に愛知県は東海地震の被害予測調査の一環で、13000本余りのデータをデジタル化し、深部地盤の地層境界深度分布図を作成した。そこで、筆者らは、名古屋市内のPS検層データ約100本を収集し、N値とVsの回帰式を作成することでN値から速度構造に変換し、さらに地層境界深度を空間補間することでボーリング深度以下の速度構造を外挿し、任意点の速度構造と卓越周期を推定するGISを作成した。

2) 微動データの取得と周期分布図の作成²⁾

長周期構造物の設計で重要となるのは、建物と地盤の周期の近接である。そこで、名古屋市内約300地点で微動を測定し、H/Vスペクトル分析によりやや長周期域の卓越周期を推定し、上記深部地盤構造の妥当性を検証した。測定データは分析データと共にウェブ公開した。

3) 既存の強震観測記録の収集・ネットワーク化^{3~4)}

1998年養老の地震で複数の自治体の震度情報ネットワークに不具合が生じたため、地域の強震観測機関に声をかけ、名古屋地域強震観測研究会を設立し、観測状況の把握並びに観測記録のデータベース化を行った³⁾。さらに、関係機関の信頼関係を醸成した上で、産官学の観測機関を結ぶスーパーネットワークを作り、地域の強震観測データの蓄積と相互利用を始めた⁴⁾。

4) 強震観測点増強のための高度利用と地震計開発^{5~7)}

高速道路や地下鉄工事の学内環境振動対策のため、地震計をPC経由で学内LANに接続することで多点のリアルタイムモニタリングを実現した⁵⁾。また、廉価地震計とモバイルPC・PHC・GPS・GIS・デジタルカメラを組合せて災害情報端末「安震君」を作り地震計の高度利用を図った⁶⁾。さらに、半導体センサーを用いた廉価地震計「E-Catcher」や⁷⁾、次世代計測震度計「SWING」(http://www.bosainie.jp/mic05_moshimo/13_swing/sindokei.html)を開発し、観測点の増加を図ってきた。

5) データコンパイルによる地域の震動特性区分⁸⁾

地震観測記録、微動記録、地盤データなどを総合的に分析することにより、名古屋市域の震動特性の特徴を明らかにし、震動性状の地域区分をした。後述の標準地震動の策定に当たってはこの地域区分毎に評価を行った。

6) 既存資料を総合活用した地下構造モデルの作成⁹⁾

地域の建築技術者が拠金して愛知県設計用入力地震動研究協議会を設立し、その中で、既存データを総合活用した地下構造モデルを作成した。ここでは、堆積平野地

下構造調査の結果と重力調査結果を最大限活用した。その後、この結果をベースに、濃尾平野地下構造調査、愛知県の東海地震・南海地震等被害予測調査、産業総合研究所での調査と、何度もモデルの改良が行われてきた。

7) 都市部の高解像度表層地盤モデルの作成¹⁰⁾

名古屋市の 50m メッシュハザードマップ作成のために行った地盤モデルの構築である。名古屋市では地盤環境データベースの構築などを通して約 4 万本のボーリングデータがデジタル化できていたため、N 値と土質種別を基に地層区分をし、この地層区分を用いて市域を空間補間することで、高解像度の表層地盤モデルを構築した(図 2 参照)。さらに、新旧の地形図の標高差から切り盛り分布を求め、最表層の補正を行った。これにより、任意点の N 値構造を評価し、N 値と Vs の回帰式により市域全体の速度構造を推定した。この構造と統計的グリーン関数法を用いて地震動を推定してハザードマップを作り、各戸配布した。この方法では、ボーリングデータの追加毎にモデルを自動更新することが可能であり、進化する地盤モデルとなる。なお、ボーリングの生データ公開には困難を伴うが、このような加工モデルであれば公表に対する抵抗も少ないようである。

8) 中山間部の高解像度表層地盤モデルの作成¹¹⁾

愛知県東部にある新城市で 50m メッシュハザードマップを作成することとなり、地盤データが十分でない地

域での表層地盤モデルの構築法を検討した。当地は中山間地に位置し、谷筋に住戸が点在しており、ボーリングデータは低地の市街地と高速道路の建設予定地に限定されていた。

そこで、造成データや、GHQ 撮影の空中写真と現在の空中写真などを対比して詳細な微地形区分を作り、浅層レーリー波探査や微動 H/V スペクトルを用いて谷筋の物性値を推定した。さらに、当地の微地形、ボーリングデータと速度増幅度の関係式を創出し、微地形区分に基づく地盤増幅度を評価した。この方法は、地盤データが不足する地域での地盤モデル構築の一つの方法である。

9) 丘陵地での超高解像度表層地盤モデルの作成¹²⁾

名古屋大学キャンパスが存在する東山丘陵で、解像度 10m 単位の表層地盤モデルを作る試みをした。当地は谷と尾根が交錯する洪積丘陵地に位置し、高密度強震観測により、強震記録の空間変動の大きさが確認されていた。そこで、キャンパス内の高密度地盤調査資料に加え、工学的基盤以浅を対象とした直径 50m 程度の微動アレイ探査、浅層レーリー波探査、高密度の単点微動計測による H/V スペクトル分析、旧陸軍・GHQ の空中写真と現在の DEM データに基づく地形改変状況の分析などを総合的に実施して、超高解像度の表層地盤モデルの構築を試みた(図 3 参照)。

5. 地下構造モデルの活用と揺れの予測

1) 簡易に地震動評価と被害予測をする GIS¹³⁾

地盤資料をデータベース化した後に、最初に構築したのは、簡易に地震動強さを評価する GIS である。予め、収集した地盤資料に基づいて揺れの増幅度を評価しておき、基盤面での揺れの強さを乗じることで簡易的に地表の揺れを推定する。基盤の揺れは、GIS 上で活断層データなどを参照しながら、震源断層の大きさと傾斜角を与え、各種の距離減衰式を用いて評価する。様々なパラメータを変更しながらインタラクティブに揺れを評価できるので、揺れの強さに与える各要因の影響度を容易に把握できる。

2) 地域の標準的な地震動の策定¹⁴⁾

震災後、免震建物が急増し、地域の標準的な地震動に対する要望が多く寄せられた。そこで、地域の構造設計者と一緒に愛知県設計用入力地震動研究協議会を設立し、産官学が協働して複数の地震に対する地震動を策定した。

3 次元地下構造モデル(前述)と想定地震に対する震源断層モデルを作り、名古屋市の震動性状を代表する複数地点で、ハイブリッド法を用いた地震動評価を行った。この種の検討ができたのは、地域における人的ネットワークの形成、堆積平野の地下構造調査などの地盤資料の蓄積、耐震基準の性能規定化に伴う構造設計者

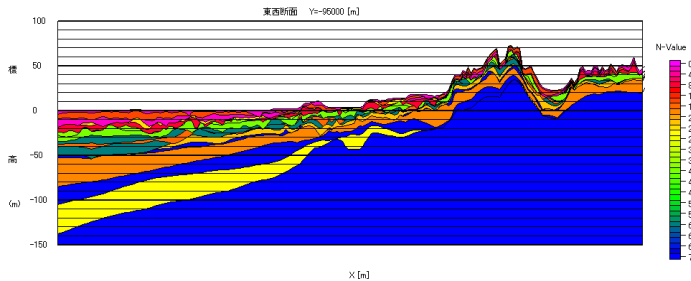


図 2 N 値に基づく名古屋市東西断面の地層構造

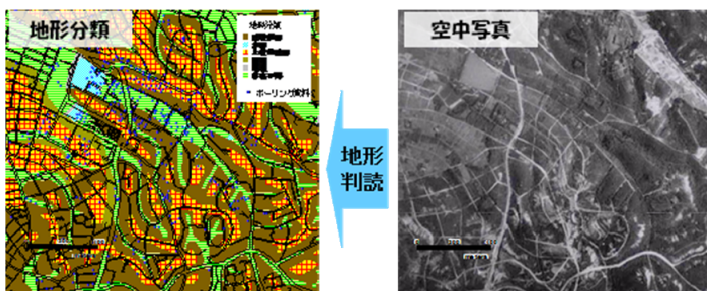


図 3 名大キャンパスでの表層地盤モデル作成

の意識の高揚などが背景にある。地震動予測地図のアドバンスマップの好例の一つと判断される。

3) 官庁地区・三の丸での免震改修設計用地震動策定¹⁵⁾

名古屋の官庁街・三の丸地区で、国・県・市が保有する既存官庁建物5棟が免震改修されることになった。そこで、3者が協力して共通の設計用入力地震動を策定した。地震動策定に当たっては、長周期構造物の官庁建物の設計に用いること、三の丸地区に複数の強震観測点があったこと、などを勘案し、東海・東南海地震に対しては中央防災会議の震源モデルを参考として、経験的グリーン関数法によって地震動を評価した。三の丸地区特有の3秒周辺での狭帯域の卓越と盆地構造に伴う長い継続時間に特徴のある波形である。この地震動は、固有周期が近接する低減衰長周期構造物にとっては影響が大きいものとなった。

4) 高解像度の地震動予測^{10~11)}

名古屋市や新都市などで東海・東南海地震に対する50mメッシュのハザードマップ作りを行った。それぞれ、地盤資料の質と量に応じた策定手法を採用した。前述のように名古屋市の場合には膨大なボーリング資料が存在したので、N値とVsとの回帰式などを利用して名古屋全域の速度構造を推定し、統計的グリーン関数法と表層地盤の全応力逐次非線形解析によって、地震動を評価した。これに対し新都市では、ボーリング資料が不十分なため、微地形区分から地盤増幅度を推定する方法を採用した。ここでは、ボーリング資料が存在するところでの表層地盤の地震動増幅度と微地形との関係を検討し、表層15mの平均S波速度を介して増幅度を評価した。評価結果の検証は、市内で微動計測を多点で行いH/Vスペクトル形状を分析することで行った。

5) 地盤情報と強震観測記録を総合活用した強震動予測¹⁶⁾

濃尾平野では、上述のように強震観測記録の蓄積が進み、地下構造モデルも何度か更新し、信頼できるモデルが作られてきた。そこで、強震観測地点の地震動を経験的グリーン関数法で推定し、その結果を、ハイブリッド法による地点間の伝達関数で空間補間する方法（擬似経験的グリーン関数法と呼称）を用い、市域の地震動予測を行った（図4）。この方法を用いることで、経験的グリーン関数法の良さを活かしながら、観測点の無い地点の地震動評価が可能となる。強震観測記録と地下構造データを最大限活かすことができ、強震記録や地盤情報の蓄積に対するインセンティブも働かえられる¹⁷⁾。

6. 地盤情報や地震動情報の活用

1) 防災情報WebGIS¹⁷⁾

筆者らは、震災前からオブジェクト指向型のGISを自作していたため、比較的早い時期にJAVAを利用して、防災情報をインターネット上で活用するWebGISを自作した。ここで得た知見が、その後の「安震君」や「地域防災力向上シミュレータ」の開発につながった。

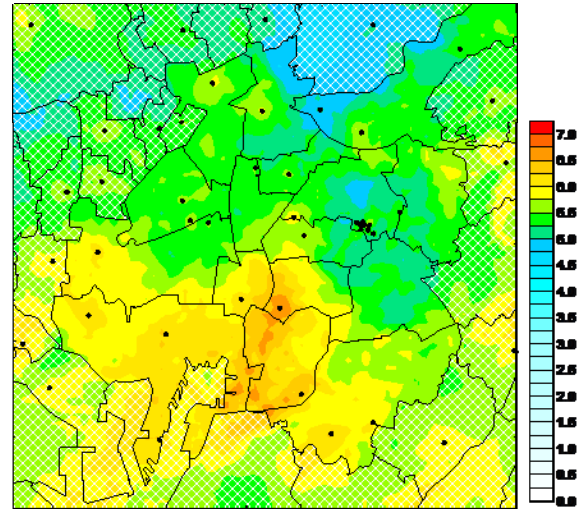


図4 擬似経験的グリーン関数法による名古屋市の東海・東南海地震に対する予測震度分布

2) 地盤情報を総合活用するWebGIS¹⁸⁾

4節に示したように、筆者らは、濃尾平野域を中心に、物理探査データやボーリングデータ、微動データ、強震観測データを精力的に収集・データベース化し、地下構造モデル作りをしてきた。しかし、一般の建築設計者にとっては、国や自治体で実施した調査資料は遠い存在であった。そこで、これらのデータを広く活用してもらうためのWebGISを開発した。濃尾平野地域を中心に、深部・浅部の地盤データを、様々な地域スケールで、3次元透視図（図5）、2次元断面あるいは柱状図として容易に閲覧することができるものである。

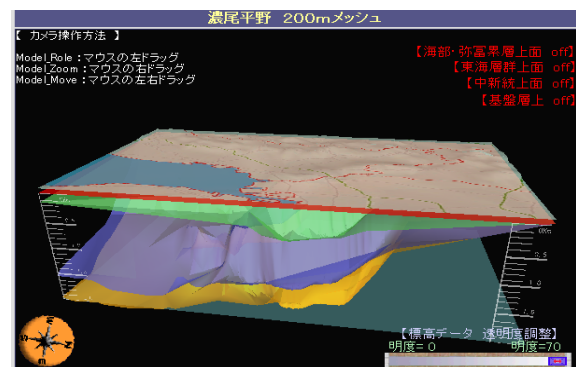


図5 地盤情報活用WebGISの画面例

3) 自宅の揺れと倒壊危険度を予測し防災行動に誘導するWebGIS「地域防災力向上シミュレータ」¹⁹⁾

住民を耐震化行動に自発的に誘導するために、地震の危険度を我がこととして感じる地域防災力向上シミュレータを開発した。このシステムでは、2画面表示のGISを用いて、液状化危険度と地形区分（図6参照）を対比したり、新旧の空中写真の比較をすることが可能で、原地形や地形改変がハザードの大きさを左右することを実感できる。

また、3次元GISをバードビュー的に利用しながらタイムバーをスライドすることで、図7のように、現在～戦後～戦前の空中写真を連続表示したり、切り盛り分布と建物建設状況を表示するシステムも作った。わが家の土地の過去を知ること、身近にかつリアリティを持ってハザードを感じてもらうことを意図している。

さらに、自宅の位置をクリックすると地下の速度構造を自動推定し、この地盤モデルを用いて東海・東南海地震に対する地震動を準リアルタイムで推定し、その結果を動画で表示をしてくれる機能もある(図8)。ここでは、予め統計的グリーン関数法で求めてある工学的基盤の揺れを用いて、逐次非線形応答計算により地表の地震動を予測している。なお、木造家屋であれば、自宅の情報を入力すれば、簡易的な家屋倒壊シミュレーションや家具転倒シミュレーションをその場で実施し、その結果も動画出力をする機能もある。このようにして、我が家の揺れや家屋の倒壊危険度、室内危険度を実感してもらい、一人ひとりを防災行動に誘導することを意図している。

なお、このシミュレータでは、耐震診断の窓口や、耐震診断・耐震補強、家具固定に関するeラーニング教材、さらには地域でのワークショップ支援教材なども用意しており、本年4月に愛知県よりWeb公開の予定である。

4) 予測された揺れを体感する振動台^{20~21)}

上記シミュレータでは動画表示はするが、若者にとってはCRT上の動画はバーチャルな世界と映り説得力が不足する傾向が強い。そこで、この揺れをそのまま再現できる震動体感装置を開発した。この装置は、水平1軸の振動台だが、最大速度20m/s²、最大速度5m/s、最大変位3mで動作するので、高層建物の床応答の再現も可能である²⁰⁾。また、同時に、携帯用に、2軸の小型振動台も作成した²¹⁾。1/10サイズの室内模型も作成しているので、揺れを1/10の振幅で再現し、それをCCDカメラ～プロジェクター経由で10倍に拡大表示すれば、どこでもリアルな状況を再現することが可能となる。

5) 地名を利用した説明力の向上²¹⁾

一般の人に多数の講演をする中で、揺れの強さや地震危険度の話をするときに、土地の成り立ちの話と一緒に紹介すると、理解度が増し、納得して話を聞いてくれることが分かってきた。これが上述のシステムを開発した背景であるが、さらに、地名と土地の成り立ちとの関係を解説すると、「我が意を得たり」という表情をする人が増えることが分かった。このような表情をする人たちは、多くの場合、周辺の人たちにも、地震の危険度や耐震化の大事さを伝えてくれる。そこで、過去の地名が残りやすく、かつ多くの地名があるバス停に着目した。図10は地盤の良さ(青)や悪さ(赤)を表現する漢字を持つバス停をある条件で抽出し、地形区分と対比したものである。首都圏、大阪圏でも同様の検討をしたが、地盤の良否と良い対応を示しており、ハザードの説明力向上のために有効な手段であると考えている。

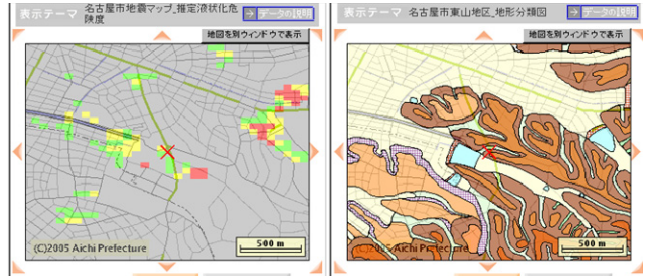


図6 2画面GISによる液状化危険度と微地形区分の対比

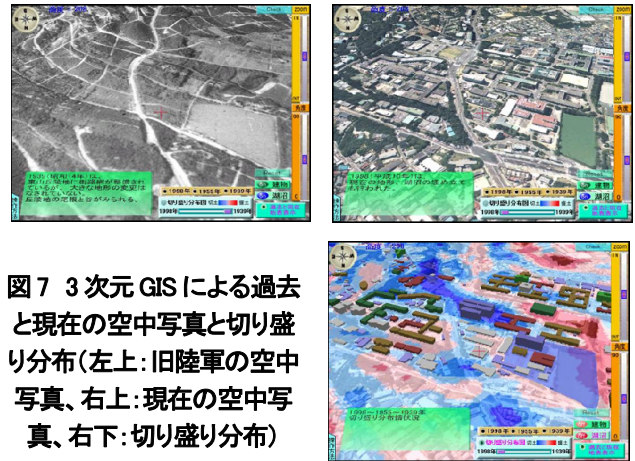


図7 3次元GISによる過去と現在の空中写真と切り盛り分布(左上:旧陸軍の空中写真、右上:現在の空中写真、右下:切り盛り分布)

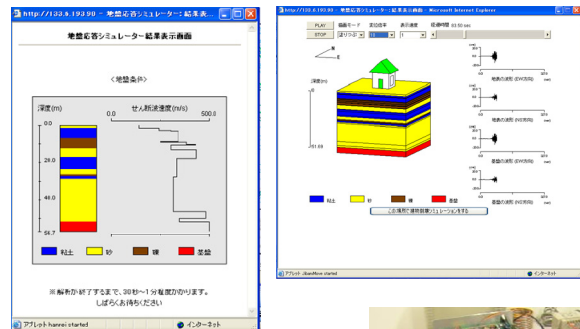


図8 任意点の地盤速度構造の推定(左)と統計的グリーン関数法と全応力逐次非線形応答解析による地盤応答の動画(右)



図9 推定地震動を準リアルタイムに再現する2軸卓上振動台

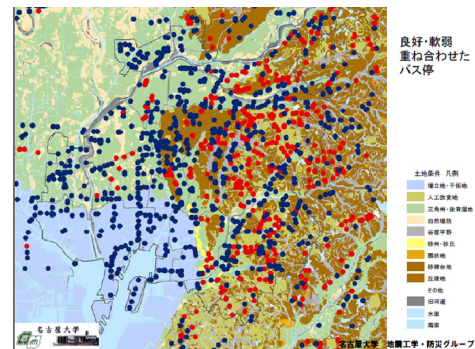


図10 地盤の良否を示すバス停名と地形区分

7. おわりに

地震災害軽減を目的とする地震工学研究者としてできることは、災害軽減に必要な基礎的なデータを取得し、現象を理解し、来るべき地震災害の姿を予測した上で、災害被害の軽減策を考え、社会を動かすことである。

そのためには、基礎研究と総合的・実践的な研究をバランスよく実施し、研究成果を社会が使える形に還元して提供することが必要である。中でも、各地域の研究拠点でもある大学は、地域（地盤・地理・歴史）の特性を踏まえ、敵（地震・揺れ）の強さと、己の実力（建物の耐震性・地域社会の対応力）を明らかにした上で、地域に応じた災害軽減策を提案する役割を担っている。

その際に、地盤情報は最も重要な役割を果たす。地盤の地層は土地を形成した歴史を語っており、敵の強さである地震動を増幅する役割と、己の強さの源泉である建物を堅固に支える役割を担っている。

国が主導すべき調査・研究と、地域でなければできない調査・研究を分別した上で、地盤情報に関わる研究成果を、各地の災害被害の軽減に繋げていけるようにしたい。住民の人たちに、地域固有の地盤の作られ方を話しながら、土地の歴史を語れば、ハザードの話も興味をもってくれる。そうすれば、我が国の最重要課題である耐震化も自ずと進むはずである。

夢と現実、グローバルな視点とローカルな実践力、IT活用と基礎情報の信頼度、先端性と地道なデータ取得、情報の公開と隠ぺい、アクセス性とセキュリティ、便利さと冗長性など、相克する課題を解決しながら、Think Globally, Act Locally をモットーに地盤情報を活用する道を考えていきたい。

参考文献

- 1) 福和伸夫, 荒川政知, 小出栄治他: GIS を用いた既存地盤資料を活用した都市域の動的地盤モデル構築, 日本建築学会技術報告集, 第9号, pp.249-254, 1999.12
- 2) 中村仁, 福和伸夫, 高橋広人他: 常時微動計測に基づく名古屋市域の地盤震動特性と地盤構造推定に関する研究, 構造工学論文集, pp.413-421, 2000.3
- 3) 福和伸夫, 飛田潤, 中野優: 名古屋地域強震観測研究会における地域の強震観測データ活用の試み, 日本地震学会ニュースレター, Vol.11, No.5, pp.14-17, 2000.1
- 4) 飛田潤, 福和伸夫, 中野優他: 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
- 5) 福和伸夫, 飛田潤, 西阪理永: 学内LANの利用による環境振動モニタリングシステム, 日本建築学会技術報告集, 第5号, pp.158-162, 1997.12
- 6) 福和伸夫, 高井博雄, 飛田潤: 双方向災害情報システム「安震システム」と携帯型災害情報端末「安震君」, 日本建築学会技術報告集, 第12号, pp.227-232, 2001.1
- 7) 小出栄治, 福和伸夫, 正木和明他: 建物観測のための

- インターネット活用型低コスト地震計の開発, 日本建築学会技術報告集, 第23号, pp.453-458, 2006.6
- 8) 福和伸夫, 飛田潤, 中野優他: 名古屋市域の地盤・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
 - 9) 福和伸夫, 佐藤俊明, 早川崇他: 濃尾平野の地盤調査とそのモデル化, 月刊地球号外 37号, pp.108-118, 2002.5
 - 10) 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
 - 11) 濱田俊介, 宮田善郁, 高橋広人他: 中山間地域における地震ハザードマップの精度向上にむけて, 地域安全学会, No.9, pp.131-136, 2007.11
 - 12) 高橋広人, 福和伸夫, 鈴木康弘他: 地形改変の進んだ丘陵地における強震動予測のための表層地盤モデルの構築—名古屋大学東山キャンパスを例として—, 日本建築学会構造系論文集, 第618号, pp.33-39, 2007.8
 - 13) 福和伸夫, 飯田正憲, 西阪理永他: 地震動評価地理情報システム' QuSE' の構築, 日本建築学会技術報告集, 第6号, pp.225-229, 1998.10
 - 14) 福和伸夫, 久保哲夫, 飯吉勝巳他: 愛知県名古屋市を対象とした設計用地震動の策定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, pp.81-94, 2001.9, pp.129-135, 2002.8, pp.155-160, 2003.9, pp.529-534, 2004.9
 - 15) 宮腰淳一, 中田猛, 福和伸夫他: 名古屋市の丸地区における耐震改修用の基盤地震動の作成, 日本地震工学会年次大会, 2005.1
 - 16) 高橋広人, 福和伸夫, 林宏一他: 地盤モデルに基づく2地点間の伝達関数と地震観測記録を用いた任意地点における地震動の推定, 日本建築学会構造系論文集, 第609号, pp.81~88, 2006.11
 - 17) 石田栄介, 福和伸夫: JAVA による都市防災情報統合GISのインターネットへの展開, 日本建築学会技術報告集, 第5号, pp.287-291, 1997.12
 - 18) 飛田潤, 福和伸夫, 高橋広人: ウェブGISによる堆積平野の深部地盤構造データベース, 日本建築学会技術報告集, 第24号, pp.435-438, 2006.12
 - 19) 福和伸夫, 坂上寛之, 花井勉他: 耐震化を促進するための地域防災力向上シミュレータ, 日本地震工学会論文集, 第7巻, 第4号, pp.5-22, 2007.7
 - 20) 福和伸夫, 佐武直紀, 原 徹夫他: 長周期構造物の応答を再現するロングストローク簡易振動台の開発, 日本建築学会技術報告集, 第25号, pp.55-58, 2007.6
 - 21) 小出栄治, 佐武直紀, 太田賢治他: 耐震教育・啓発用の小型二軸振動台の開発, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.631-632, 2006.8
 - 22) 河合真梨子, 岩田朋大, 福和伸夫他: 地震ハザードの説明力向上のための地名活用に関する研究, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.673-676, 2006.8