

ハザードマップ作成のための地盤増幅評価

東京工業大学 翠川 三郎

1. はじめに

兵庫県南部地震を契機に、わが国は地震活動期に入ったといわれており、その結果、東海地震、東南海・南海地震、首都直下地震などに対して広域でのハザードマップ作成や被害想定が活発に行われている。ハザードマップ作成や被害想定は、1964年新潟地震以降、本格的に行われ始めたが、都道府県単位のものがほとんどであった。一方、東海地震対策のための大規模地震対策特別措置法を受けて、1978年に中央防災会議に地震防災対策強化地域指定専門委員会が設置され、地震防災強化地域指定のための震度分布について検討された。その際に、広い範囲での震度を統一的に計算することが求められ、広域で適用できるよう、より簡単な情報に基づく震度分布の計算手法が必要とされた。本稿では、この強化地域指定のための計算の経緯を振り返りながら、広域での地盤増幅評価に関連する研究について紹介したい。

2. 東海地震の強化地域指定のための計算

1976年頃から東海地震の発生が懸念され、東海地震の地震防災強化地域指定のための専門委員会が1978年9月に設置された。この委員会では、震源域から300km程度以内に位置する、千葉県、埼玉県、群馬県、東京都、神奈川県、山梨県、静岡県、長野県、愛知県、岐阜県の市町村での震度を統一的に計算することが要求された。当時、このような広域での震度分布図(ハザードマップ)を計算するための手法やデータはほとんど整備されていなかった。この委員会の委員であった小林啓美先生は表層地質から地盤増幅を評価することを提案し、採用された。これは、図1に示す表層地質図から、対応する地盤のS波速度を定め、これから地盤の増幅度を評価するものである。

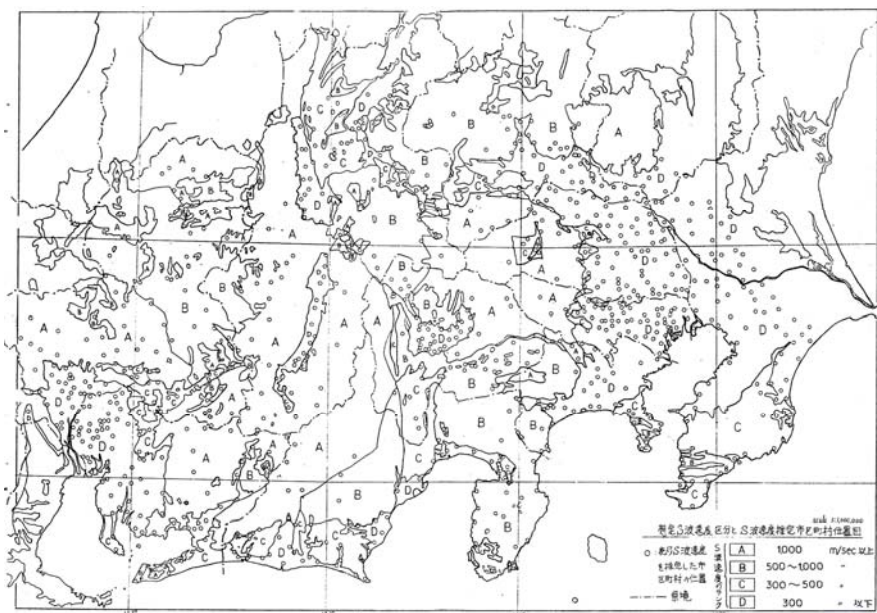


図1 東海・関東地域の地質図(国土庁資料より)

表層地質と地盤増幅の間に相関があることは経験的に古くから指摘されていた（例えば、Medvedev, 1962）。より定量的には、表層地質—表層地盤のS波速度—地盤増幅度の関係を介して、嶋(1977)が東京都の地盤を対象として表層地盤と地盤増幅度の関係を提案していた。翠川・小林(1980)は、前述の委員会での注文を受けて、嶋の考えに倣って、より一般的な関係を提案した。このようにして評価された最大加速度に対する地盤の増幅度に震源断層を考慮して計算された地震基盤での最大加速度(翠川・小林、1979)を乗じて、地表での最大加速度を計算し、対象となる市町村での震度が算定された。この計算は小林啓美先生ご自身により当時愛用のミニコンで徹夜で行われた。筆者は徹夜明けの先生から計算リストを渡され、図2に示す震度6以上になる領域を手書きで描いた。この図が委員会資料として提出され、これを基本として地震防災対策強化地域の指定についての報告書が1979年5月に発表された。この結果は、世界初の大規模予測として新聞でも紹介された(図3参照)。

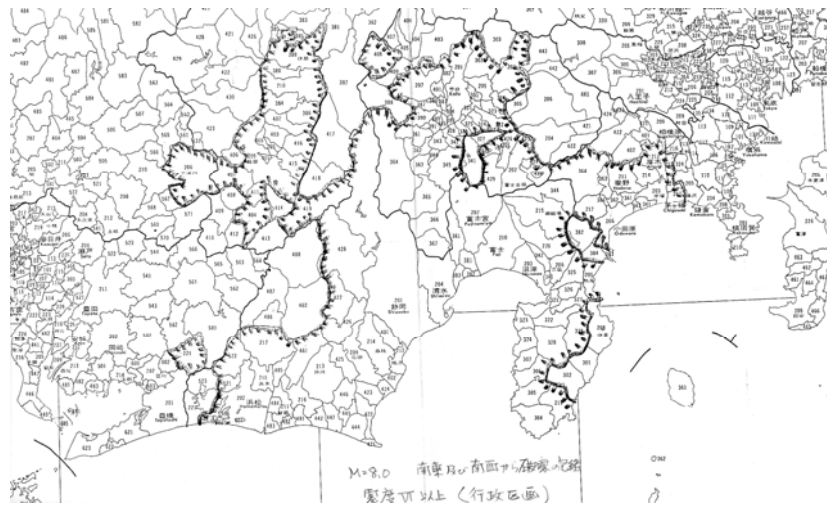


図2 東海地震により震度6以上となる領域（国土庁資料より）

図3 地震防災対策強化地域の指定に関する当時の新聞記事

この報告書には、小林啓美先生の強い意見により「なお、今回の指定の対象とすべき地域の外周で、自然斜面のすべり及び崩壊、地盤の液状化又は長周期の地震波によるものの被害を想定しなければならない地域等については、今回の指定に引き続き詳細な地盤資料、深部地質構造資料等に基づいて検討を行う必要があると考える。」が追記された。このフォローアップとして、1980年に豊橋―天竜川河口で人工地震による地下探査が行われたが、長周期地震動の計算までには至らなかった。2003年10月に入倉孝次郎京大教授(当時)と筆者が内閣府にあてた意見書「長周期地震動に対する構造物の被害予測の重要性について」は、現在議論されている長周期地震動問題の契機となったが、この問題は既にこの時点から言及されていたものである。

3. 微地形と地盤増幅

上述の計算作業を通して感じられたことは、広域で地盤データを均一な分布で収集することは非常に困難でほとんど不可能に近いこと、そのため、広域での地盤増幅を評価するには表層地質のような地盤分類に頼らざるをえないこと、である。とはいえ、表層地質を用いると、低地部は沖積地盤1種類となり、低地部での揺れ易さの違いを評価できないという問題点も感じた。その後、小林先生のお勧めもあって、若松加寿江氏に微地形分類についてご教示していただくようになった。米国でのGISを活用した研究(Borcherdt et al., 1991)にも刺激され、全国データベースである国土数値情報の地形分類を利用して広域での地盤の増幅度の分布を簡便に推定する方法を提案し(翠川・松岡, 1995)、その後改良も加えた(藤本・翠川, 2003b)。

微地形分類を用いる利点のひとつは、一般的な地質分類では沖積層の1種類となる低地がいくつかの種類に分類できることである。微地形分類は、地形の形成年代だけでなく形成過程を反映したものであるため、地盤の構成と関係が深い。図4に示すように、同じ沖積低地でも形成過程の違いで、河川の上流側に形成される扇状地、下流側に形成される自然堤防や三角州などに区分することができる。図5に示すように、これら各地形の地盤の平均S波速度(深さ30mまで)の値には違いがあり、埋立地・干拓地、デルタ・後背湿地で遅く、砂州・砂丘、自然堤防、谷底低地、扇状地の順で早くなっており、単純な地質区分に比べて分解能が向上している。

これらの関係に加えて、地震記録から抽出した最大地動速度に対する地盤の増幅度と地盤の平均S波速度との関係を用いて、国土数値情報に含まれるデータにより全国各地での地盤の増幅度が計算される。この方法による地盤増幅度は、内閣府による東海地震および東南海・南海地震の想定震度分布や早期被害評価システム、気象庁の面的震度分布情報、地震調査研究推進本部による全国を概観した地震動予測地図、などで広く利用された。米国カリフォルニアでも同様な地盤増幅度マップが提案されている(Will et al., 2000)。

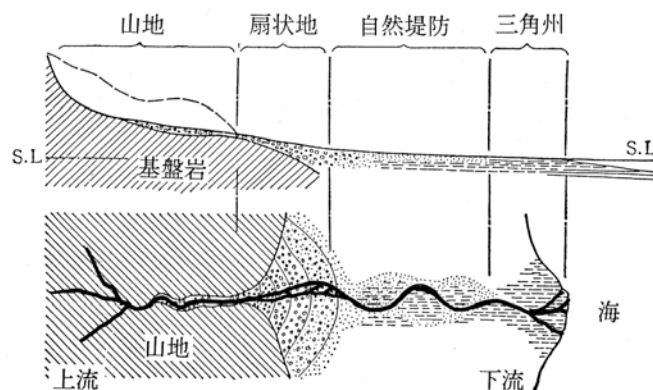


図4 地形分類の模式図 (池田(1975)より)

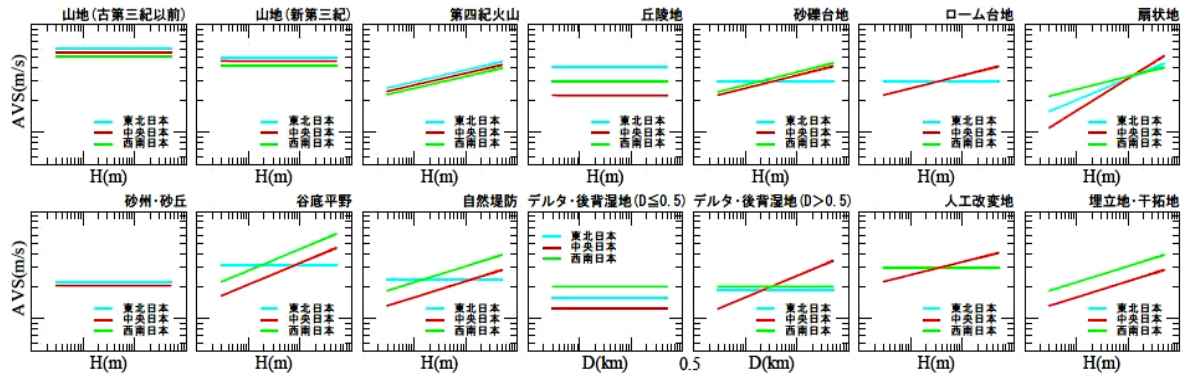


図5 微地形毎の深さ 30m までの地盤の平均 S 波速度 (藤本・翠川(2003b)より)

東海地震については、その後、新たな学術的知見等を踏まえて地震対策の充実強化について検討することが望まれ、2003 年 3 月に中央防災会議は「東海地震に関する専門調査会」を設置し、同年 12 月に想定震度分布を再検討した結果が示された。図 6 が地盤増幅度の分布である。図 1 に比べて低地部での評価が細かくなっていることがわかる。図 7 は、この地盤増幅度と距離減衰式を用いて計算された結果に理論的手法で計算された結果を加えて評価された地震防災対策強化地域の検討の基とする想定震度分布である。

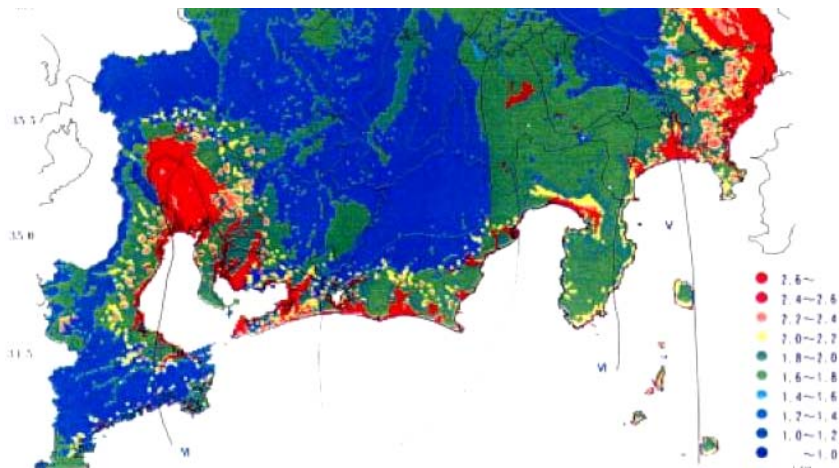


図6 国土数値情報を用いた地盤の増幅度の分布 (内閣府資料より)

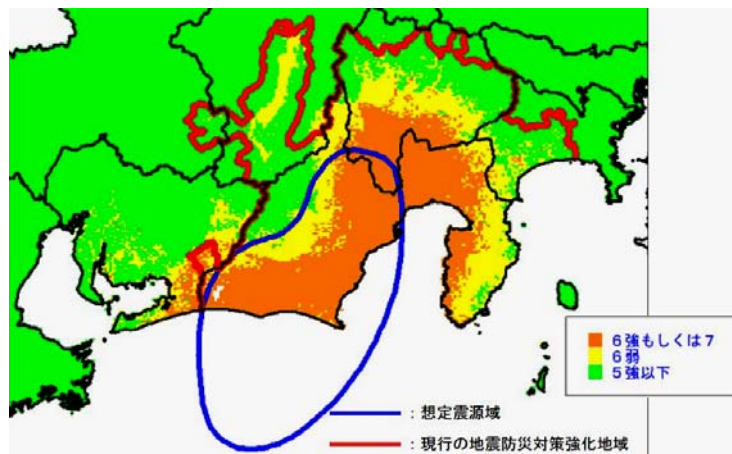


図7 地震防災対策強化地域の検討の基とする想定震度分布 (内閣府資料より)

4. 今後に向けて

上述のように、広域でのハザードマップ作成のために、国土数値情報に含まれる地形分類を用いた地盤の増幅度の推定手法は広く利用されている。当然の事ながら、この手法にも改善すべき点がいくつか残されている。問題点を列挙すると、

- 1) 国土数値情報が有する問題（バグ、地形分類の不統一、メッシュ単位が 1km）
- 2) 地盤の非線形性の影響が考慮されていないこと。
- 3) 深い地盤構造の影響が考慮されていないこと。
- 4) 地盤の増幅度に周期特性の概念がないこと。

これらのうち、1)の問題については、若松・松岡らが、統一的な地形分類法により、全国については 1km メッシュで、大都市圏については 250m メッシュでデータを作成しており(若松ほか、2004；若松・松岡、2004)、データの質的向上の努力がなされている。2)の問題については、最大加速度および最大速度に対する地盤の増幅率はそれぞれ地盤のひずみレベルが 3×10^{-4} および 10^{-3} 程度までは影響がないことを確認している(藤本・翠川、2003a)が、それ以上のレベルでどの程度の影響がでるのかは今後の課題であり、新潟県中越地震での記録などを利用してさらに検討を進める必要がある。

3)および 4)の問題については、前述の国土庁の委員会の資料に小林啓美先生の書き込みがあり(図 8 参照)、それから推測するに、筆者にも当時から宿題として与えられていたようである。3)については、関東平野での観測記録から抽出した地盤の増幅度には周期 1 秒以上で深い構造の影響がみられ、基盤深さである程度の評価ができることを確認している(増井・翠川、2004)が、より定量的な関係については検討中である。なお、同様の検討は南カリフォルニアの観測記録に対しても行われている (Field, 2000)。

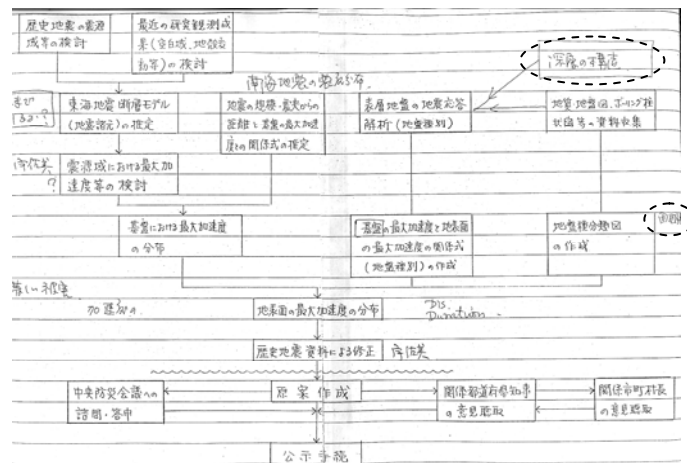


図 8 東海地震の震度分布計算の流れ (国土庁資料より)

4)の問題はあまり手がつけられていない。カリフォルニアでは地盤の S 波速度は深さとともに漸増し、明瞭なインピーダンス比を有する層境界がない場合が多く、地盤増幅に周期特性が強く見られない傾向にある。そのため、モデル化がしやすく、耐震設計用スペクトルに地盤種別毎の周期依存の地盤増幅度が導入されている(FEMA, 1995)。しかし、わが国の場合、明瞭なインピーダンス比を有する層境界があり、地盤増幅に周期特性が強く見られる場合が少なくない。そのため、地盤の卓越周期という概念を導入する必要がある、これを最小限の地形的情報から、いかに評価できるかが問題となろう。

これらの問題を解決するには、各種地盤での地盤データに基づいて、地盤の増幅度に関わる物理量と地形的情報との相関をより綿密に検討する必要がある。そのためには様々な機関が所有している多量の地盤データを統合的に収集・管理する仕組みが必要である(防災科学技術研究所地下構造データベース検討WG、2004)。このような仕組みの重要性は以前から指摘されているが、なかなか実現に至っていない。地盤データの共有化と活用について一般社会の十分な理解が得られていないことも、この大きな原因のひとつである。今後、このような仕組み作りにも協力していきながら、小林啓美先生から与えられた(はずの)課題を解決していきたいと考えている。

参考文献

- Borcherdt, R. et al.: Methodology for Predictive GIS Mapping of Special Study Zones for Strong Ground Shaking in the San Francisco Bay Region, Proceedings of the Fourth International Conference on Seismic Zonation, Vol.3, pp.545-552, 1991.
- 防災科学技術研究所地下構造データベース検討WG：地震防災のための統合化地下構造データベース構築の必要性について、39pp.、2004.
- FEMA(Federal Emergency Management Agency): NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings Part 1-Provisions, FEMA222A, 290pp., 1995.
- Field, E.H.: A Modified Ground-Motion Attenuation Relationship for Southern California that Accounts for Detailed Site Classification and a Basin-Depth Effect, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.90, No.6B, pp.S209-S2221, 2000.
- 藤本一雄・翠川三郎:2001年芸予地震の強震記録に基づく地盤増幅度に対する地盤の非線形性の影響、日本地震工学会論文集、第3巻、第1号、pp.47-58、2003a.
- 藤本一雄・翠川三郎：日本全国を対象とした国土数値情報に基づく地盤の平均S波速度分布の推定、日本地震工学会論文集、第3巻、第3号、pp.1-15、2003b.
- 池田俊雄：地盤と構造物、鹿島出版会、275pp.、1975.
- 増井大輔・翠川三郎：工学的基盤での地震記録に見られる地盤増幅特性、土木学会第59回年次講演会講演概要、Vol.1、pp.1533-1534、2004.
- Medvedev, S.V.: Engineering Seismology, Academy of Sciences of the U.S.S.R., 260pp., 1962.
- 翠川三郎・小林啓美：地震断層を考慮した地震動スペクトルの推定、日本建築学会論文報告集、第282号、pp.71-81、1979.
- 翠川三郎・小林啓美：震源域及びその周辺での地表面最大加速度分布の推定、日本建築学会論文報告集、第290号、pp.83-94、1980.
- 翠川三郎、松岡昌志：国土数値情報を用いた地震ハザードの総合的評価、物理探鉱、第48巻、6号、pp.519-529、1995.
- 嶋悦三：東京都23区の予想震度分布、第5回地盤震動シンポジウム-地盤種別と地震動-資料集、pp.61-65、1977.
- 若松加寿江・松岡昌志・久保純子・長谷川浩一・杉浦正美：日本全国地形・地盤分類メッシュマップの構築、土木学会論文集、No.759/I-67、pp.213-232、2004.
- 若松加寿江・松岡昌志：地盤分類データベースの作成、大都市大震災軽減化特別プロジェクト「大都市圏地殻構造調査研究計画」平成15年度成果報告書、pp.502-506、2004.
- Will, C.J. et al.: A Site-conditions Map for California Based on Geology and Shear-Wave Velocity, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.90, No.6B, pp.S187-S208, 2000.