

地震防災・耐震設計と表層地盤増幅

Soil Amplification related to Earthquake Disaster Mitigation and Seismic Design

福和伸夫¹⁾

高橋広人²⁾

Nobuo FUKUWA

Hirohito TAKAHASHI

A lot of seismic hazard maps are recently made by several organizations for their individual purposes. The resolution, accuracy and output values of each hazard map depend on their usage and the amount of soil data. Here, the soil modeling methods and the soil amplification calculation techniques which are used for making hazard map are demonstrated. Also, a new attempt to model surface soil layers in wide region, where a lot of boring data are furnished, is proposed. This is applied for a 50m mesh hazard map in Nagoya city.

1. はじめに

近年、主として地震防災を目的に、様々な地震ハザードマップが作られ、多くの住民の目に触れるようになってきた。一方、建築界でも改正基準法の導入以降、建築構造物への設計用入力地震動策定の重要度が高まってきている。最近では、作成目的の異なるハザードマップが、様々な機関から多数提示されるために、利用者に混乱が生じている例も見られる。今年度末には、地震調査推進本部から地震動予測地図が公表される予定であり、現時点で、現況を整理しておくことが必要と思われる。

ハザードマップ作りや設計用入力地震動の評価において、表層地盤での地震動増幅効果のウェイトは極めて高く、地盤のモデリングが結果を大きく左右する。表層のモデリングは、地震動評価の目的、アウトプットする情報、用いることのできる地盤データの質と量、解析手法、ハザードマップの解像度などに依存する。

そこで、本論では、表層地盤のモデル化の際の参考にして頂くことを意図し、筆者が多少なりとも関わったハザードマップ作りや設計用入力地震動評価について、表層地盤のモデル化をどのように行ったかの事例紹介を行うことにする。

2. 既往ハザードマップの予測法と地盤モデルの概要

ここで紹介するのは、時期を追って、愛知県の東海地震被害予測(1993)¹⁾と名古屋市の東海地震・東南海地震・濃尾地震被害予測(1997)²⁾、愛知県設計用入力地震動研究協議会での地震動予測(2002)³⁻⁴⁾、中央防災会議における東海地震(2002)及び東南海・南海地震の震度予測(2003)⁵⁾、愛知県の東海・東南海地震等地震被害予測(2003)⁶⁾、名古屋市の東海・東南海地震に対する地震マップ(2004)⁷⁾、名古屋市三の丸地区での官庁免震改修用設計用入力地震動(2004)⁸⁾である。以後、簡単のために、これらの略称として、愛知1993、名古屋1997、協議会2002、中防2002、中防2003、愛知2003、名古屋2004、三の丸2004、と称することとする。

これらの地震動評価について、地震動評価の目的、ハザードマップのメッシュサイズ、工学的基盤の取り扱い、工学的基盤での地震動評価方法と表層地盤の地震応答解析方法、出力項目、深部地盤と浅部表層地盤のモデル化方法、評価結果の検証方法などについて、要約して整理した結果を表1に示す。また、東海・東南海地震連動時を想定した震度分布マップと地震動評価結果を図1に一覧して示す。

以下には、表1に従って、それぞれの地震動評価における地盤のモデル化と地震応答解析の概要について示すことにする。

3. 愛知1993・2003と名古屋1997

愛知1993・2003と名古屋1997は、地域防災計画策定のための基本的な被害数量把握を主目的としている。愛知1993では東海地震を、名古屋1997では東海地震、東南海地震、濃尾地震を、愛知2003では東海地震、東南海地震、東海・東南海地震、養老・桑名・四日市断層による地震、猿投・境川・大高・高浜断層による地震、伊勢湾断層による地震を想定地震として選んでいる。

ここでは、建築物などの被害予測に、地震動強さと被害との回帰式を用いているため、地震動強さ(震度・最大加速度・最大速度など)を評価することが主目的になっている。これらの地震動評価における表層地盤モデル化のフローは図2の通りである。

愛知1993と名古屋1997の評価方法はほぼ同一で、想定地震のみが異なっている。用いたデータは、愛知県は約1600本、名古屋市は約400本の標準貫入試験データである。解像度は、地盤データ量を勘案し、500mメッシュとしている。各メッシュを代表する柱状図として、地盤モデルを316種類(名古屋市は77種類)にモデル化し、メッシュ毎に代表地盤モデルを付与している。S波速度はN値から既往の回帰式を用いて求めている。深部地盤のモデルについては、重力データなどを踏まえてモデル化している。地震基盤位置の地震動は、翠川・小林の方

*1 名古屋大学大学院環境学研究所

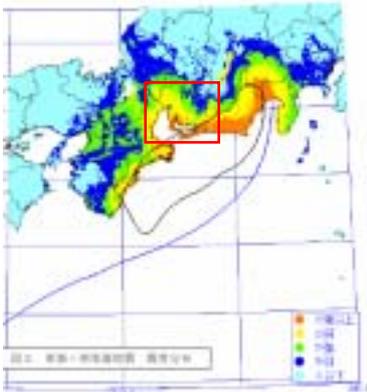
*2 応用地質株式会社中部支社

Nagoya University

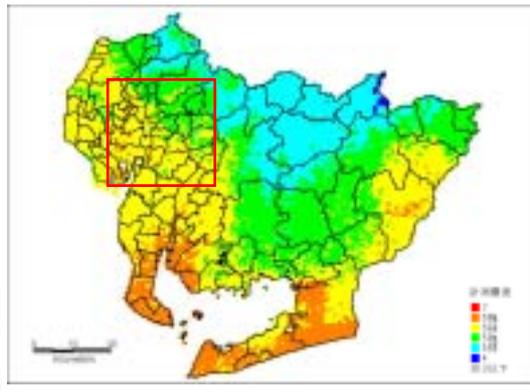
Oyo Corporation

表1 各地震動予測における計算手法、地盤モデル作成方法の一覧

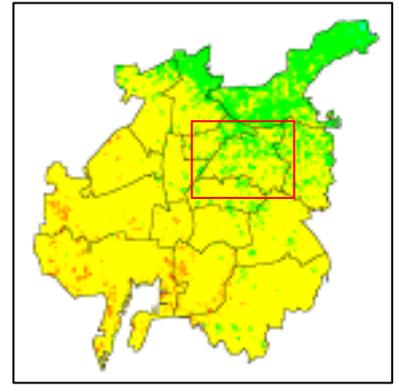
実施機関	愛知県	名古屋市	愛知県設計用入力地震動加研究協議会	中央防災会議	愛知県	名古屋市	名古屋市三の丸地区設計用入力地震動
作成年	1993	1997	2002	2002～2003	2003	2004	2004
目的	・地震対策及び砂防計画策定のための基礎資料の作成	・名古屋市内において考慮すべき設計用入力地震動を設計者(会員)に提供	・名古屋市内において考慮すべき設計用入力地震動を設計者(会員)に提供	・強化地域の見直し・地震対策に関する大綱策定	・地震対策のための基礎資料の作成	・市民や企業の防災意識の向上 ・住宅の耐震改修促進	・名古屋市三の丸地区の建物の免震レトロフィットの設計用入力地震動の作成
メッシュ	・500m メッシュ	・名古屋市内9地点	・名古屋市内9地点	・1km メッシュ	・500m メッシュ	・50m メッシュ	・名古屋市内三の丸地区
工学的基礎	・Vs=500m/s 相当層上面	・Vs=400m/s 相当層上面	・Vs=400m/s 相当層上面	・Vs=700m/s 相当層上面	・Vs=500m/s 相当層上面	・Vs=500m/s 相当層上面	・Vs=400m/s 相当層上面
計算手法	工学的基礎 ・翠川・小林の方法	ハイブリッド法(統計的グリーン関数法 + 3次元有限差分法)	統計的グリーン関数法	統計的グリーン関数法 ・3次元有限差分法	統計的グリーン関数法	統計的グリーン関数法	統計的グリーン関数法により地盤の地震動を計算後、浅部地盤モデルより工学的基礎における地震動を算出
	工学的基礎 ・各地盤モデルに対して等価線形応答計算により入力加速度別・周波数別の増幅率を求め、これを乗算し地盤の加速度応答スペクトルを算定	・有効応答法による地震応答計算	・等価線形法による地震応答計算(東海地震) ・全応力非線形法による地震応答計算(東南海・南海地震)	・等価線形法による地震応答計算(東海地震) ・全応力非線形法による地震応答計算(東南海・南海地震)	・全応力非線形法による地震応答計算	・全応力非線形法による地震応答計算	・有効応答法による地震応答計算
出力結果	・速度応答スペクトル ・震度ランク ・最大加速度 ・最大速度	・加速度波形	・工学的基礎における加速度波形 ・計測震度 ・最大加速度 ・最大速度	・加速度波形(工学的基礎における波形を県内の市町村に提供) ・計測震度 ・最大加速度 ・最大速度 ・SI値	・計測震度 ・最大加速度 ・最大速度 ・SI値	・加速度波形	
地盤モデル作成手法	深部地盤モデル ・既存調査資料収集(温泉井戸などの大深度ボーリングや地質に関する文献資料より、愛知県および周辺の深部地盤を構成する地層を調べ、地質構造を整理 上記に加え、重力値の分布、常時微動計による卓越周期分布を参考として各地層の上面深度を推定し、2.5km×2.5kmメッシュ単位で作成	・既存調査資料収集(大深度ボーリング、反射法探査結果に基づく基礎上面深度と重力値との関係、第三紀層上面深度と重力値との関係を回帰 対象範囲における重力値から基礎、第三紀層の上面深度分布を南北2km間隔の東西断面として作成 反射法探査結果、PS検層データに基づきP波速度と上面深度、層内深度との関係を回帰し、ミラージュ構造として各地層に速度値を付与し速度構造を作成	・既存調査資料収集(屈折法地震探査、PS検層など速度構造が分かっている情報を真とし、個々の調査を個別・デジタル化、反射法探査は時間断面より速度構造の確認を行う 対象範囲におけるP波速度層の分布を調べ、地盤モデルの層数、各層の速度値を設定 速度層毎に調査断面同士を補間、調査のない地域は地質構造を考慮して修正し速度構造を作成	・既存調査資料収集(屈折法地震探査、PS検層など速度構造が分かっている情報を真とし、個々の調査を個別・デジタル化、反射法探査は時間断面より速度構造を確認 対象範囲におけるP波速度層の分布を調べ、地盤モデルの層数、各層の速度値を設定 速度層毎に調査断面同士を補間し、1km×1kmメッシュ単位で作成、調査のない地域は地質構造を考慮し修正 さらに地震記録によるHVスペクトルの卓越周期と比較し地盤モデルを修正	・愛知県(2003)の深部地盤モデルを使用 1km×1kmメッシュ単位の地盤モデルを補間し、250m×250mメッシュの地盤モデルを作成	・継続的グリーン関数法のため深部地盤構造作成の必要は無	
	浅部地盤モデル ・既存調査資料収集(1/25000地形図を元に各メッシュの代表地形(沖積低地、洪積台地、丘陵地、山地)については年代又は岩質で細分類)を設定 PS検層データよりVsとN値の関係を回帰 ボーリングデータ及び既存の文献資料を基に断面図を作成 県内に現れる地層を物性(N値)で区分 、およびボーリング資料を考慮して500mメッシュを代表する柱状図を選定し316種類(名古屋市は77種類)にモデル化(典型化)土質ごとに物性値を付与しS波速度構造を作成 動的変形特性は試験結果を土質別(20種類程度)に整理して設定	・各計算地点におけるボーリング、PS検層データ等の収集 PS検層データがある地点はその速度データを採用し、ない地点は既往の研究結果(VsとN値の関係)から速度構造を設定 動的変形特性は試験結果のある地点は試験結果を採用、ない地点は既往の研究結果から土質別に設定 液状化強度試験のある地点は試験結果を採用、ない地点は建築基礎構造設計指針に基づきN値から設定	・既存調査資料収集(国土数値情報を元に各メッシュの代表微地形を設定 PS検層データよりVsとN値の関係を回帰 微地形別にAVS30と標高又は河川からの距離との関係を回帰 PS検層データがあるメッシュはそのデータを採用 掘進長が30m以上のボーリングデータが5本以上あるメッシュは、最も卓越周期(Tg)が長いデータを採用しVsとN値の関係をモデルを作成 、以外のメッシュは同じ微地形のボーリングで最も近いデータをVsとN値の関係、AVS30と標高又は河川からの距離との関係を用いてS波速度構造を作成 動的変形特性は試験結果を土質別(砂・粘土・砂礫)に整理して設定	・既存調査資料収集(1/25000地形図を元に各メッシュの代表微地形(沖積低地、洪積台地、丘陵地、山地)については年代又は岩質で細分類)を設定 PS検層データよりVsとN値の関係を回帰 ボーリングデータをN値のばらつき小さい範囲で平均、層構造化 文献資料を基に断面図を作成 市内に現れる地層を物性(N値)で区分 、およびボーリング資料を考慮して500mメッシュを代表する柱状図を選定し393種類にモデル化(典型化)土質ごとに物性値を付与しS波速度構造を作成 動的変形特性は試験結果を土質別(10種類程度)に整理して設定	・既存調査資料収集(国土条件図(国土地理院)を元に各メッシュの代表微地形を設定 PS検層データよりVsとN値の関係を回帰 各ボーリングデータをN値のばらつき小さい範囲で平均、層構造化 文献資料を基に断面図を作成 市内に現れる地層を物性(N値)で区分 、およびボーリング資料を考慮して500mメッシュを代表する柱状図を選定し393種類にモデル化(典型化)土質ごとに物性値を付与しS波速度構造を作成 動的変形特性は試験結果を土質別(4種類)に整理して設定	・各計算地点におけるボーリング、PS検層データ等の収集 PS検層データがある地点はその速度データを採用し、ない地点は既往の研究結果(VsとN値の関係)から速度構造を設定(三の丸地区はPS検層データ有) 動的変形特性は試験結果のある地点は試験結果を採用、ない地点は既往の研究結果から土質別に設定 液状化強度試験のある地点は試験結果を採用、ない地点は建築基礎構造設計指針に基づきN値から設定	
予測結果の検証	・過去の被害地震(昭和東南海地震)の被害に基づく震度分布と比較、妥当性を検証	・距離減衰式による最大加速度、最大速度と比較し振幅レベルと比較、妥当性を検証	・過去の被害地震(宝永東海地震、安政東海地震、昭和東南海地震)の被害に基づく震度分布と比較、妥当性を検証	・過去の被害地震(宝永東海地震、安政東海地震、昭和東南海地震)の被害に基づく震度分布と比較、妥当性を検証	・過去の被害地震(宝永東海地震、安政東海地震、昭和東南海地震)の被害に基づく震度分布と比較、妥当性を検証	・AVS30に基づく速度増幅率と応答計算による速度増幅率を比較、妥当性を検証	・距離減衰式および中央防災会議による該当メッシュの予測結果と比較、妥当性を検証



(a) 中央防災会議 (2003, 1km)



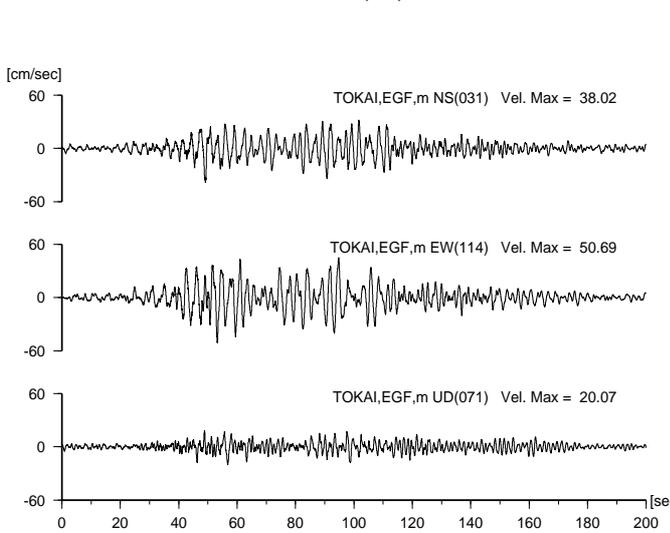
(b) 愛知県 (2003, 500m)



(c) 名古屋市 (2004, 50m)



(d) 名古屋市の地震マップの千種区版 (2004, 50m)



(e) 国土交通省中部地方整備局・愛知県・名古屋市による三の丸地区の免震改修設計用地震動

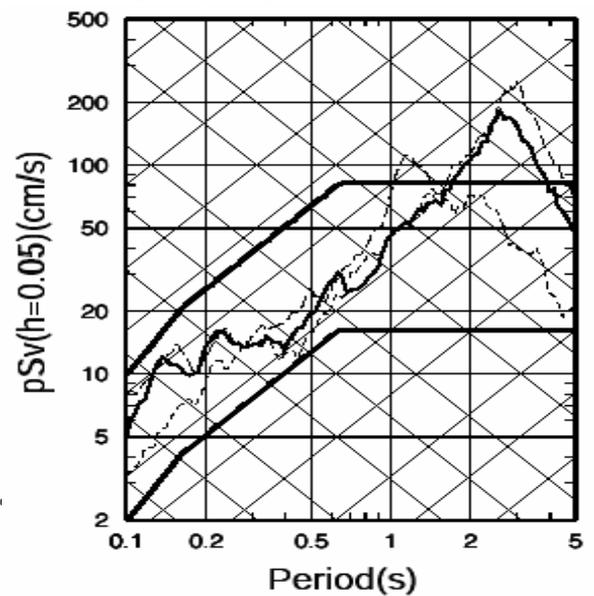


図1 各種の機関による東海・東南海地震連動時の地震動予測のOutput例

法(1979)に準拠して応答スペクトルの形で評価している。地盤の増幅特性については、深い地盤構造は線形で、浅い地盤構造は等価線形で伝達関数を求めている。工学的基盤位置で、代表的地震波を用意し、予め、異なる入射波振幅に対して浅部表層地盤の伝達関数を算定しておき、入射波振幅に応じて伝達関数を補間して増幅特性を評価している。地表の応答スペクトルは、地震基盤での応答スペクトルにこれらの伝達関数を乗じることにより

算定し、最大加速度・速度と応答スペクトル積分値との関係から地震動強さを推定している。

一方、愛知2003では、県下の市町村が活用しやすいように、工学的基盤での地震動波形も併せて評価している。基本的な地盤のモデル化の考え方は、愛知1993と同様であるが、その後、蓄積された地盤データを加え、最新の地盤モデルを作成している。利用した地盤データは、図3に示すとおりであり、特に深部地盤のモデル化に際し

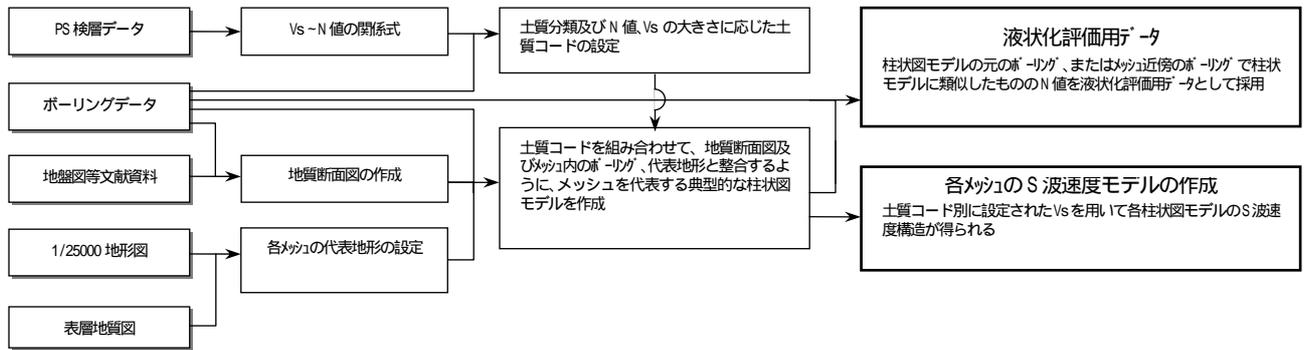
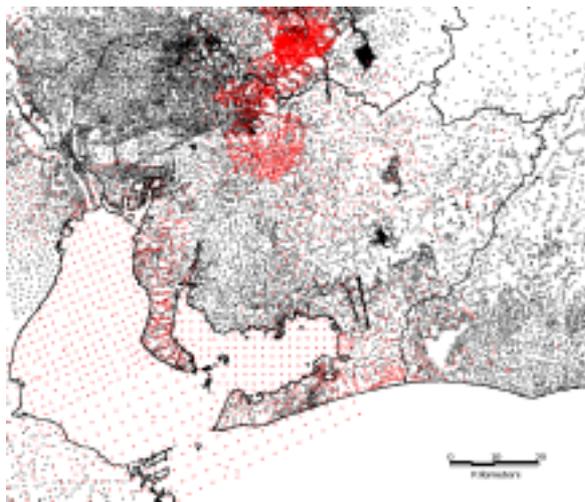
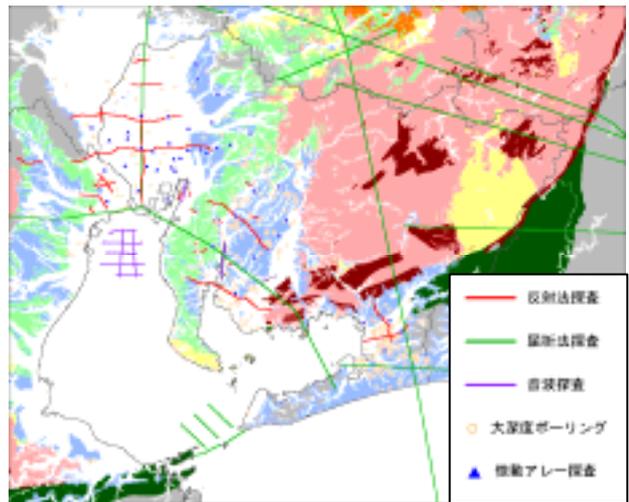


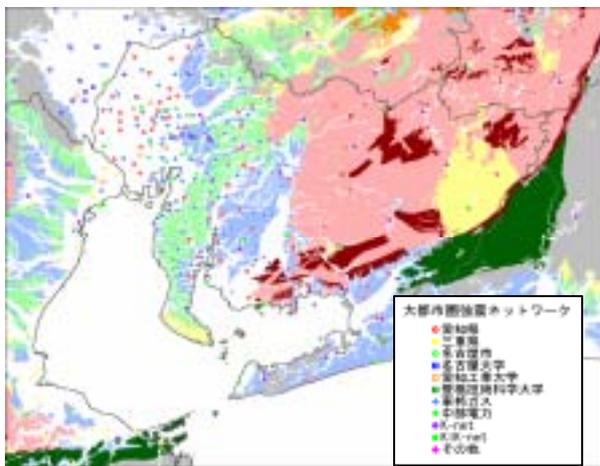
図2 愛知県(1993, 2003)、名古屋市(1998)の表層地盤モデルの作成フロー



(a) 重力異常計測点



(b) 深部地盤探査位置



(c) 強震観測点



(d) 浅層ボーリング

図3 愛知県下で利用可能な主な地盤調査データ

ては濃尾平野地下構造調査の結果を反映している。また、浅部表層地盤のモデル化においても、新たなボーリングデータを追加することにより代表地盤モデルを 393 種類に増している。地震動評価に当たっては、震源断層のアスペリティを考慮し、統計的グリーン関数法を用いている。また、地盤の応答計算には逐次非線形計算を用い、浅部地盤の非線形性を考慮している。

応答評価に当たって留意した点は、浅部表層地盤が厚く堆積する濃尾平野西部において、深部で非線形化が進展することに関する配慮である。この点については十分な研究的知見が存在しないため、工学的な判断を加えながら、拘束圧依存性を考慮することにより、深部での非線形化を抑制することにした。

また、ここでは、愛知県下の被害ボリュームを推定することを第一義としたため、各メッシュでの地盤データ選定に当たっては、メッシュ内の人家が多く存在する地域の平均的増幅特性を反映するように配慮した。

2004 年 9 月 5 日の紀伊半島南東沖地震における震度 4 以上の分布図を図 4 に示すが、図 1(b)の震度分布と比較的良好な対応を示していることが分かる。

4. 中防 2002・中防 2003

中央防災会議は 2001 年の中央省庁再編を機に、国土庁から内閣府に移管され、東海地震に関する専門調査会を発足させ想定震度の再評価を行うと共に、東海地震対策専門調査会で地震防災対策強化地域の見直しと被害予測を実施した。また、東南海地震と南海地震に関しては、東南海・南海地震等に関する専門調査会において、震度予測を行い、地震防災対策推進地域を指定すると共に、地震被害予測を行っている。

いずれにおいても、地震動評価には震源のアスペリティを考慮した統計的グリーン関数法を用いている。また、地盤の増幅特性の評価には、東海地震については等価線形解析を、東南海地震・南海地震については逐次非線形解析を用いている。表層地盤のモデル化のフローは図 5 に示す通りである。

地盤のモデル化に関しては、深部地盤構造は、屈折法探査データを中心に過去の探査データから広域のモデルを設定している。浅部地盤については、1km メッシュ毎

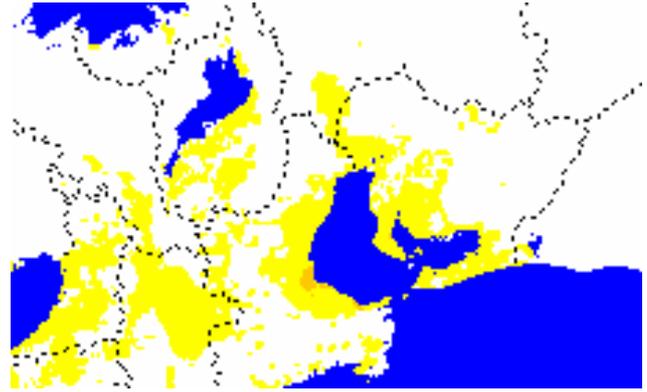


図4 紀伊半島南東沖地震の震度 4 以上の地域（気象庁）

にボーリングデータを選定し、N 値と S 波速度の経験的な関係式を用いて地盤の増幅効果を評価している。

ボーリングデータの選定に関しては、強化地域指定や推進地域指定を主目的としていることから、メッシュ内で地盤増幅が大きくなりやすいデータを採用しているようである。表層地盤の地震応答評価に際しては地盤材料の非線形化によって過度に増幅が低下しないように、動的変形特性の利用に配慮している。また、司・翠川の方法（1999）と松岡・翠川の方法（1993）を組み合わせた経験的方法も、補足的に併用している。

5. 名古屋 2004

名古屋市は愛知 2003 の地震動評価結果を踏まえて、市民啓発用のハザードマップを作成した。ここでは、住民の耐震診断・耐震改修を促進することを主目的としており、小中学校での防災教育、地域での防災ワークショップや DIG（災害図上訓練）などでの利用を念頭においている。このため、住民が揺れを実感できるマップを高解像度で提示することが求められた。マップ作成に当たっては、防災ボランティア、自主防災組織や一般住民などの利用者を中心とした委員会が設置され、啓発に使えるハザードマップのあり方について中心に議論された。その結果、各区ごとに A1 サイズで 50m メッシュのハザードマップを作成し、各戸配布することになった。ハザードマップの表面には、図 1(d)に示したように、家の輪郭も見える形で、震度、液状化危険度、土砂災害危険箇所、

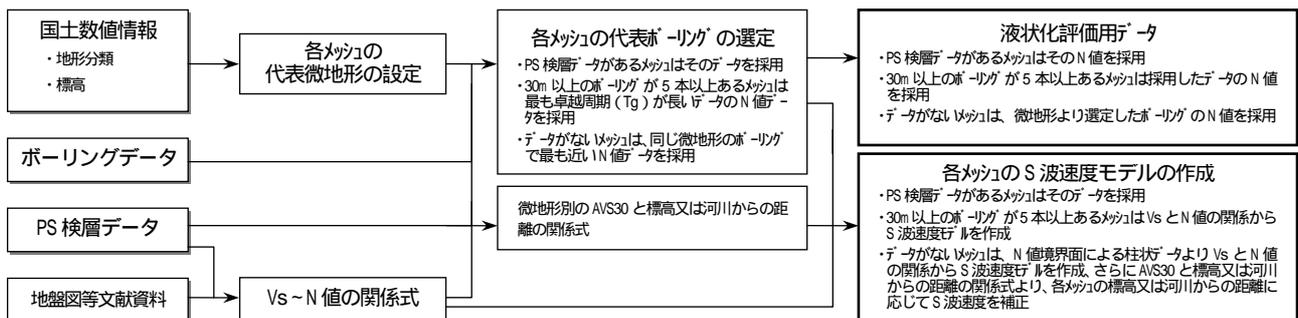


図5 中央防災会議の表層地盤モデルの作成フロー

避難所などの情報が書き込まれている。裏面には、啓発や教育に利用できる説明が A4 の紙面に分割して解説されている（<http://www.shobo.city.nagoya.jp/bousai/jisinmap/jisinmaptop.htm>）。

ここでは、愛知 2003 で評価された東海・東南海地震連動時の工学的基盤位置での地震動波形をインプットとして用いており、主として高解像度のマップに耐えられる浅部表層地盤のモデル化に注力した。モデル化のフローは図 6 に示す通りである。

図 7 に示すように、現時点で、名古屋市内で利用可能な地盤データは、ボーリングデータが約 40000 本、PS 検層データが約 300 本である。他地域に比べ、データ量は豊富であるが、名古屋市内を 50m メッシュで分割したメッシュ数 13 万に比べると十分ではない。そこで、ボーリングデータの N 値データを活用して、ボーリングが存在していない地点の地層構造を推定する方法を創出した。

まず、各ボーリングデータの N 値分布に基づいて、N 値による層構造を作成した。同一層と見なす N 値のグルーピング方法については、PS 検層データが存在する地点で、検討した。得られた各ボーリング地点の地層境界面を基に、地点間の補間を行い、名古屋市全域の N 値地層

境界面を推定した。図 8 に名古屋市内の栄を通る東西断面位置の地層境界断面を、ボーリングデータと共に示す。また、図 9 に、このようにして得られた地層境界深さ分布の一例として、第三礫層上面位置の分布図を示す。得られた結果は、土質工学会中部支部が編纂した最新名古屋地盤図（1988）に掲載されている深さ分布と良い対応を示している。

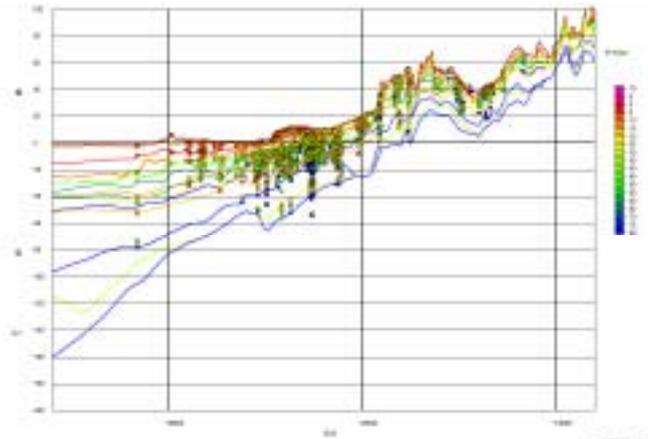


図 8 名古屋市東西断面の N 値分布と N 値地層境界（図 9 内に線で示した東西断面位置）

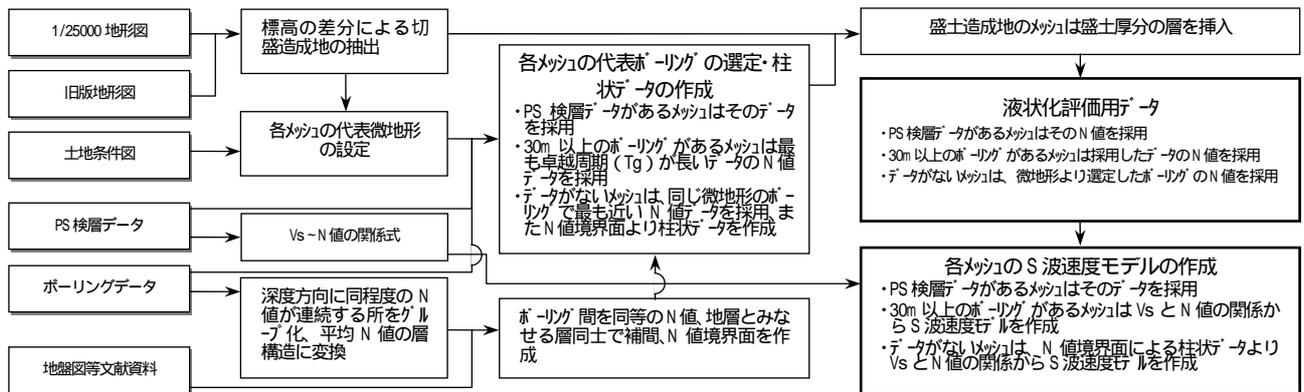
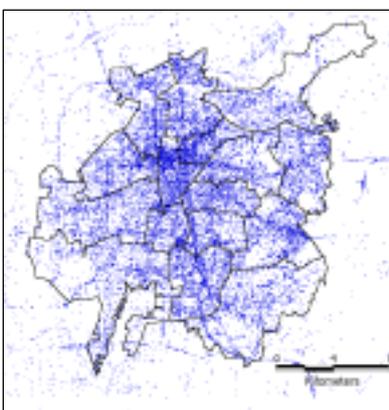


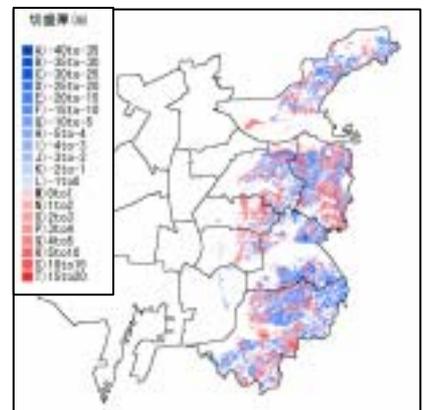
図 6 名古屋市(2004)の表層地盤モデルの作成フロー



(a) 浅層ボーリング



(b) P S 検層



(c) 切盛分布

図 7 名古屋市内で利用可能な地盤調査データ

次に、PS 検層地点のデータを基に、N 値・地層年代と Vs の関係、N 値・土質種別・地層年代と Vs の関係を求め、Vs を推定した。図 10 に、このようにして得られた Vs 分布の一例を、既存 PS 検層結果と比較して示す。他の PS 検層地点でも同様の検証を行い、表層地盤の伝達特性の比較を行い、本手法の妥当性を確認している。

さらに、局所的な地形の改変効果を考慮するために、昭和初期と現在の 1/25000 地形図をデジタル化し、地形改変データを切盛分布図として整備した(図 7(c))。一例として、名古屋市東部丘陵地に位置する千種区の昭和初期の地形図と現在の地形図と対比して、図 11 に示す。図中には昭和初期に存在した池の位置を印で示す。また、両図から得られた切盛分布図を図 12 に示す。図のように、丘陵地は宅地造成時の地形改変が広範囲に行われていることがわかる。盛土の地盤定数については、既存の PS 検層結果を「埋立地」、「埋立地以外の沖積地」および「段丘および丘陵地」に区分して、盛土の平均的な Vs 値を設定した。最終的には、N 値地層境界モデル化の最表層に盛土データを付加することにより微視的な切盛の効果を検討した。

微地形の影響を見るために、千種区南東部にある名古屋大学東山キャンパスの地震マップの拡大図を、図 13 に示す。図中(b)(c)には 1891 年と現在の地形図を示し、図(b)中には、谷筋部分を明示する。図から、キャンパス造成のために、大規模な地形改変が行われたことが分かる。かつての谷筋を盛土した場所では、液状化危険度が指摘されており、逆に尾根筋を切土した場所では震度が小さく評価されている。さらに、尾根筋と谷筋の境界部は土砂災害危険地域になっている。名古屋大学東山キャンパス内では多点の強震観測が行われており、切盛状況による地震動強さの差が観測でも明らかになっている。このように、地形改変データを加えることによって、住民が実感しやすいハザードマップが作られている。

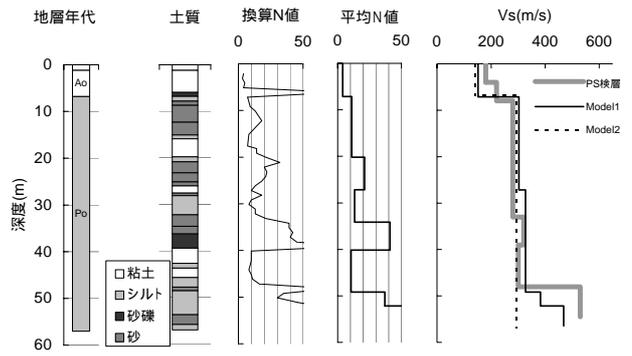
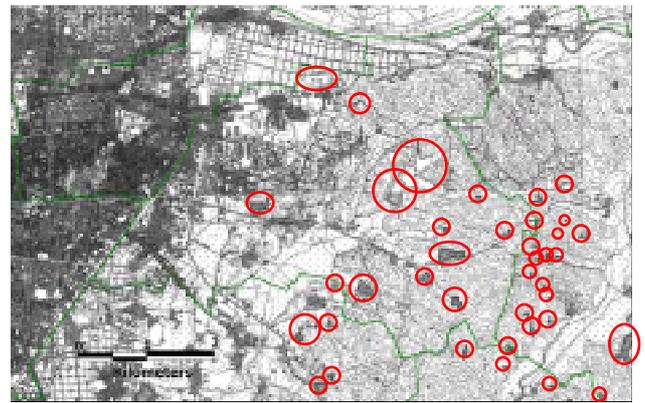
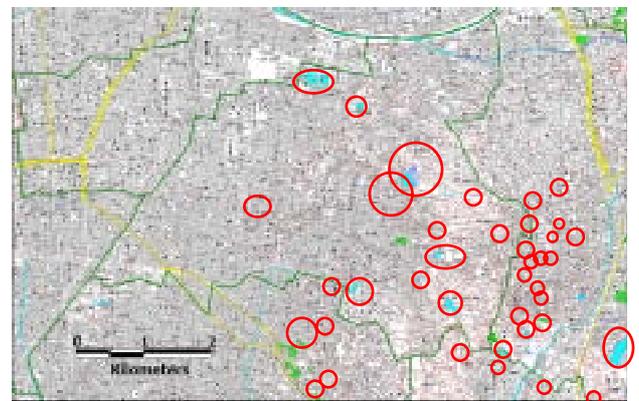


図 10 PS 検層地点におけるモデル化の適用例 (名古屋市東部地点)



(a) 昭和4年と昭和8年



(b) 現在

図 11 昭和初期と現在の千種区の地形図と溜池分布

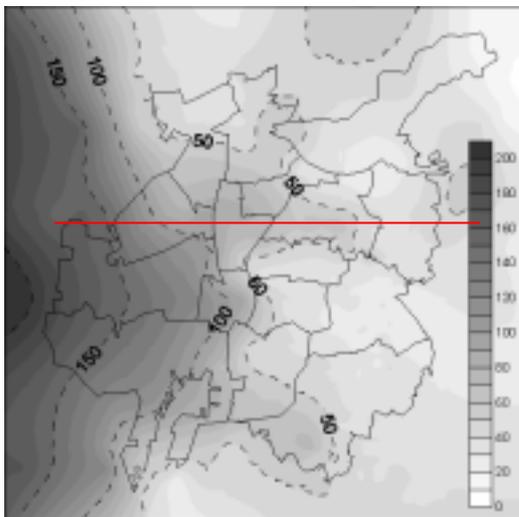


図 9 作成した N 値境界面の深度分布(m) (N 値 50 以上・第三礫層)

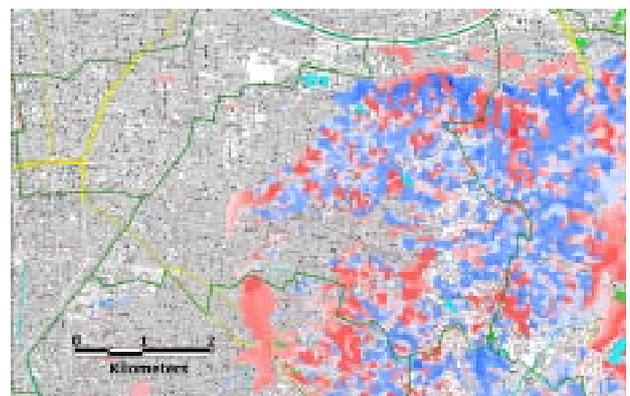


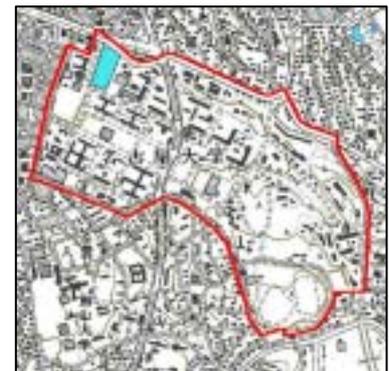
図 12 名古屋市千種区の切盛分布図 (着色部分が切盛部)



(a)地震マップの名古屋大学東山キャンパス拡大図
(色の違いは震度の差、太斜線は土砂崩れ危険地域、細斜線は液状化危険地域)



(b) 1891年(太線は谷筋)



(c) 2001年

図13 名古屋大学東山キャンパスの地震マップと新旧地質図との関係
(谷筋埋土部では液状化危険度高く、切土部分の揺れが小さい)

6. 協議会 2002

建築耐震設計の性能設計化や、中京圏での免震建物の急増の流れを受けて、建築設計者を中心に醸金を集めることにより、地域の設計用入力地震動を策定するための協議会を1999年に設立し、名古屋市および尾張地域の代表地点における地震動評価を行った。

ここでは、確率論的な評価から想定すべき地震を抽出した上で、既往の調査資料に基づいて各想定地震の震源モデルを設定している。また、既往の地盤データを総合

的に活用することにより深部地盤のモデリングを行っている。工学的基盤位置での地震動を、3次元差分法と統計的グリーン関数法のハイブリッド法を用いて評価し、やや長周期域での地震動に対する堆積盆地の3次元構造を考慮している。浅部地盤は、算定位置での既存ボーリングデータ(一部PS検層データ)を用いて、平行成層地盤にモデルし、非液状化地点については全応力解析により、液状化地点については有効応力解析により、逐次非線形応答計算を実施している。



図14 愛知県設計用入力地震動研究協議会の表層・深部地盤モデルの作成フロー

表層地盤のモデル化のフローは図 14 に示す通りである。ここでは、建築物の耐震設計用の地震動作成を念頭においており、ボーリングデータが存在する代表地点での評価を行っているため、評価地点での表層地盤データを用いることができる。ただし、PS 検層データや液状化試験データが無い場合には、既往の経験式に基づいてボーリングデータから、各定数を推定している。

地震動評価結果は、協議会会員に配布されているが、現在、やや長周期域の地震動評価向上のため、地震動の再評価を行っており、2004 年度末に改訂版の再配布を予定している。

7. 三の丸 2004

名古屋市の官庁街である三の丸地区で、国土交通省中部地方整備局が入居する合同庁舎 2 号館、愛知県本庁舎、名古屋市西庁舎が、相次いで免震改修されることになり、3 者共通の設計用入力地震動を策定する機運が盛り上がった。ここでは、協議会 2002 の成果を使う形で、地震動評価を行うことになった。

幸い、当地区では各機関が独自に強震観測を実施しており、利用できる強震観測データが充実していた。このため、地震動評価の方法としては、観測地震動を利用した経験的グリーン関数法を採用することになった。想定地震は協議会 2002 と同様であるが、東海・東南海地震に関しては中央防災会議モデルを用いている。観測地震動

を用いているため、原則として地盤のモデリングは不要であるが、強震時の表層地盤の非線形性を考慮するため、地表で評価した地震動を、評価地点での PS 検層データを用いて工学的基盤位置に戻した上で、現位置での動的変形特性データを利用して地表に再度立ち上げて、地表地震動を予測している。東海・東南海地震運動時（新東海地震と称している）の工学的基盤位置の地震動と応答スペクトルは、図 1(e) に示した通りであり、継続時間の長い 3 秒の周期が卓越した波形となっている。

図 15 に 2004 年紀伊半島南東沖地震の際の名古屋市内の観測記録を速度波形と速度応答スペクトルの形で一覧して示すが、観測された地震動の経時特性や、周波数特性は、予測された三の丸地震動と比較的良く対応していることが分かる。なお、図 15 から、東西・南北 20km 弱の名古屋市内の地震動の特性は地点によって大きく異なっており、地震動に及ぼす地盤の増幅特性の重要性が改めてよく分かる。

8. おわりに

本論では、筆者が多少なりとも関わったハザードマップ作りや地震動評価において、表層地盤のモデル化や応答解析をどのように行ったかを、できる限り整理して示した。これらは、評価の目的や、アウトプット、解像度、利用可能なデータに応じて、異なったものとなっている。今後の地震動評価に参考になれば幸いである。

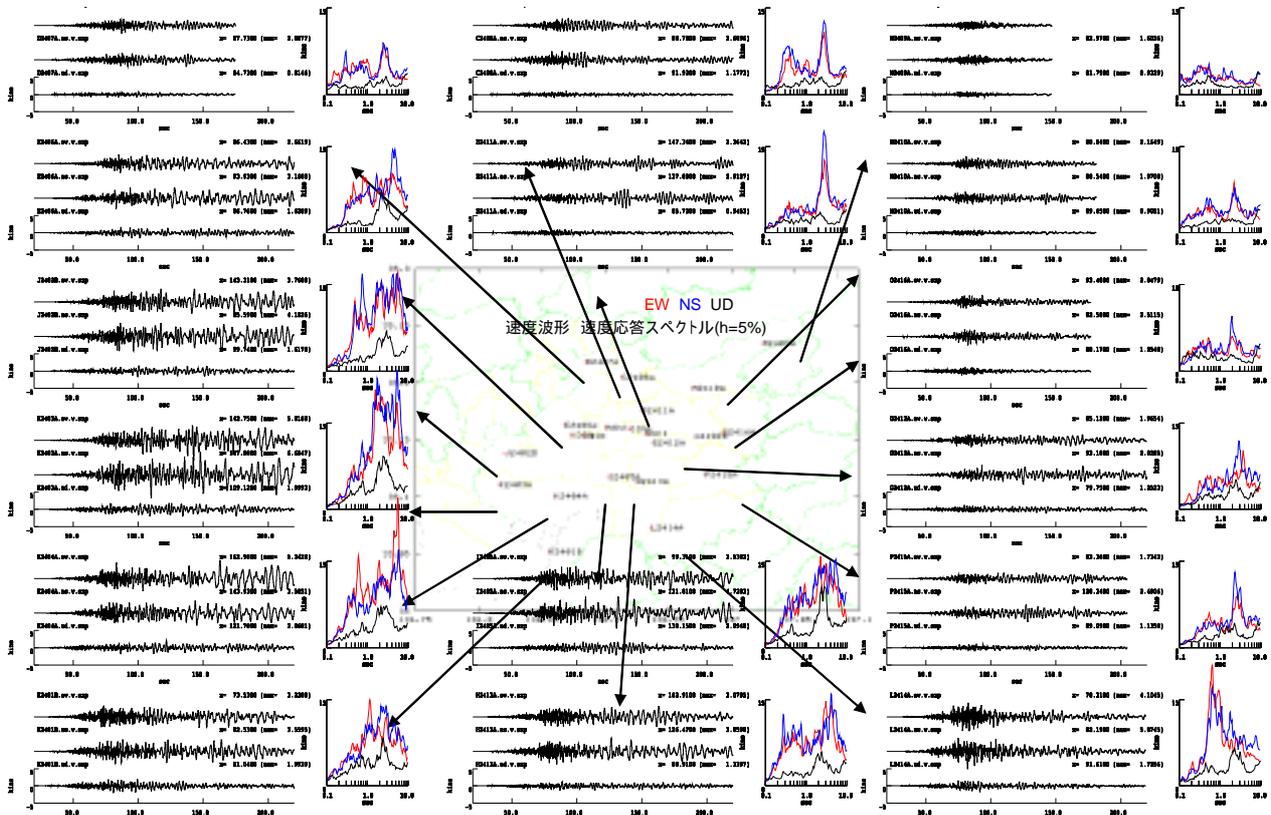


図15 紀伊半島南東沖地震での名古屋市内強震観測点の速度波形（上からEW, NS, UD）と速度応答スペクトル

昨今、強震動評価手法の高度化や、活断層調査、堆積平野地下構造調査、強震観測などの充実により、地震動評価の技術は格段に進展している。しかし、未だ、十分に信頼して設計に用いることができる段階には達していない。特に表層地盤データの質と量、大入力時の非線形特性については不明確な点も多い。

ハザードマップが世の中に氾濫する現在、地震動予測結果を単に示すだけではなく、住民に適切に受け入れてもらい、住民の防災行動を誘導し、地域の防災力を向上する仕組みを作っていく必要がある。このためには、利用できるデータに応じて、身近な地域とそこに住む自分を意識しながら、ハザードを実感できる高解像度のハザードマップを作ることが必要となる。さらに、地域でのワークショップを支援したり、ハザードマップを利用したDIG(災害図上訓練)を実現したりして、地域の防災活動を誘導すると共に、具体的な防災対策の方法に関する情報を提供し、耐震診断や改修を促す教育・啓発に利用することも必要になる。また、社会学・心理学的な研究手法を導入して、住民のハザード情報の受容に関する検討を行い、住民の地域特性や意識啓発レベルに応じて段階的に情報を提供するモデルを構築したりすることも必要になる。

ハザードマップは単にメッシュを細かくしても防災には活かない。等身大の情報になればなるほど「精度」に関する説明責任や、プライバシー問題が生じやすい。行政も、住民のネガティブな反応を恐れて詳細なハザード情報を公表しにくい側面を持っている。このため、情報伝達と受容のモデルを考えることが重要になる。理学・工学のみならず地理学・社会学・心理学との有機的な連携研究が不可欠である。情報利用・情報伝達、合意形成等に関する社会的・心理学的研究成果に基づいて、

住民の地域特性・意識特性を踏まえながら、最適な情報提供法を模索し、行政・住民が安心して利用できるハザード情報提供モデルを構築する必要がある。

参考のために、図16に、筆者らが考えるハザードマップ周辺の留意事項をまとめておく。

参考文献

- 1) 愛知県防災会議地震部会：愛知県東海地震被害予測調査全体報告書, 1995
- 2) 名古屋市防災会議地震災害対策部会：名古屋市地震被害想定調査報告書, 1997
- 3) 福和伸夫, 久保哲夫, 飯吉勝巳, 大西稔, 佐藤俊明：愛知県名古屋市を対象とした設計用地震動の策定 その1 全体計画概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, pp.81-82, 2001
- 4) 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, pp.108-118, 海洋出版, 2002
- 5) 中央防災会議, <http://www.bousai.go.jp>
- 6) 愛知県防災会議地震部会：愛知県東海地震・東南海地震等被害予測調査報告書 平成14年度版, 2003
- 7) 名古屋市：地震マップ, 広報なごや号外, 2004
- 8) 宮腰淳一, 中田猛, 福和伸夫, 柴田昭彦, 白瀬陽一, 齊藤賢二：名古屋市三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
- 9) 高橋広人, 池田善考, 辻岡秀樹, 福和伸夫：名古屋市域浅部地盤のN値とS波速度の関係, 第39回地盤工学研究発表会, 2004
- 10) 高橋広人, 福和伸夫：N値を用いた名古屋市域の浅部地盤のモデル化, 日本建築学会学術講演梗概集 B-2, 構造II, 2004



図16 ハザードマップの信頼性向上と高度利用