

### 3. 3. 5. 2 表層地質とサイト特性

#### 3. 3. 5. 2. 1 研究課題全体の成果

##### (1) 業務の内容

(a) 業務題目：表層地質とサイト特性

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
東京工業大学	教授	翠川三郎	smidorik@enveng.titech.ac.jp
東京大学	教授	纈纈一起	koketsu@eri.u-tokyo.ac.jp
東京工業大学	特別研究員	若松加寿江	wakamatu@enveng.titech.ac.jp
地震防災フロンティア研究センター	チームリーダー	松岡昌志	matsuoka@edm.bosai.go.jp
工学院大学	教授	久田嘉章	hisada@cc.kogakuin.ac.jp
千葉大学	教授	中井正一	nakai@tu.chiba-u.ac.jp

(c) 業務の目的

過去の被害地震で被害の大きさは地盤条件に大きく支配され、地震による危険度を評価する上で、地盤条件が重要であることが認識されてきた。そこで、大地震時の地震動の特性や被害の大きさを評価する上で、深い地盤構造のみならず表層地盤による地震動の増幅特性も正確に把握することが重要となる。

地盤の増幅特性を評価する方法として、地盤モデルを作成して解析的に地盤の増幅特性を計算することが行われている。しかしながら、首都圏などのような広い範囲を対象として地盤の増幅特性の分布を知ろうとした場合には、利用できるデータが限られていたり、膨大な手間がかかることなどから、地盤モデルに基づく解析的な方法を利用することには多大な困難を伴う。そこで、より簡単な情報から得られる地形地盤分類を用いた方法を用いるのが現実的となる。

全国を網羅する地形地盤データベースとして国土数値情報がある。地形地盤分類と地盤の増幅特性との関係を介して、国土数値情報を利用した広域での震度分布予測も既に行われている。しかし、国土数値情報には、1km メッシュという制限があること、地形分類が県毎に異なり統一されていないこと、バグがあること、などの問題点もある。また、地形地盤分類と地盤の増幅特性との関係にも、地域性があることなど、検討すべき課題が残されている。

ここでは、首都圏や近畿圏、中京圏などの都市圏を対象として、より詳細な地形・地盤分類データベースを作成する。また、地形・地盤分類と地盤の増幅特性との関係についても、地震被害データ、常時微動、地震記録、地盤データなどを用いて、検討する。さらに、両者の結果を総合して、強震動予測や地震被害想定に資するための地盤の増幅度マップを作成する。

(d) 5（あるいは計画年数）ヵ年の年次実施計画

1) 地形・地盤分類データベース作成として、首都圏のプロトタイプ版を作成した。2) 地形・地質とサイト特性の関係の検討として、関東地震の被害と表層地盤の関係、常時微動特性と表層地盤の関係、横浜市の地震記録にみられる地盤特性と表層地盤の関係、地盤の平均S波速度の地域性について検討を行った。

2) 平成 15 年度 :

1) 地形・地盤分類データベース作成として、首都圏のものを完成させ、近畿圏、中京圏および東北仙台圏のプロトタイプ版を作成した。2) 地形・地質とサイト特性の関係の検討として、国土数値情報を利用した震度分布予測手法の適用、関東地域の地震記録にみられる地盤特性と表層地盤の関係、長周期地震動と地盤構造の関係について検討を行った。

3) 平成 16 年度 :

1) 地形・地盤分類データベース作成として、近畿圏、中京圏および東北圏のものを完成させ、南海道地域(中国地方南部、四国地方全域、九州地方東部)のプロトタイプ版を作成する。2) 地形・地質とサイト特性の関係の検討として、地形・地盤分類データベースを利用した地盤増幅推定手法の改良、関東地域の地震記録にみられる地盤特性と表層地盤の関係の定量化、などについて検討を行う。

4) 平成 17 年度 :

1) 地形・地盤分類データベース作成として、南海道地域(中国地方南部、四国全域、九州地方東部)のものを完成させ、札幌圏のプロトタイプ版を作成する。2) 地形・地質とサイト特性の関係の検討として、地形・地盤分類データベースを利用した震度分布予測手法の改良、全国の地震記録にみられる地震記録にみられる地盤特性と表層地盤の関係の定量化、などについて検討を行う。

5) 平成 18 年度 :

1) 地形・地盤分類データベース作成として、札幌圏のものを完成させ、web 上で各地域のデータベースを公開する。2) 地形・地質とサイト特性の関係の検討として、全国地盤増幅度マップの作成、これを利用した巨大地震の震度分布予測、などを行う。

(e) 平成 15 年度業務目的

1) 地形・地盤分類データベース作成として、平成 14 年度は首都圏のプロトタイプ版を作成した。本年度は、これを修正して、首都圏のものを完成させる。また、近畿圏、中京圏および東北仙台圏のプロトタイプ版作成を試みる。2) 地形・地質とサイト特性の関係の検討として、平成 15 年度に東北地域および北海道で 3 つの被害地震が発生したことから、これらの観測記録を用いて国土数値情報を利用した震度分布予測手法の適用性を検討する。地震記録にみられる地盤特性と表層地盤の関係については、平成 14 年度は横浜市のみの記録で検討したが、本年度は対象を広げて関東地域全体の地震記録を用いてさらに検討を進める。また、2003 年十勝沖地震で大きな問題となった長周期地震動と地盤構造の関係についても検討を行う。

## (2) 平成15年度の成果

### (2-1) 地形・地盤分類データベースの作成

若松加寿江（東京工業大学）

松岡昌志（地震防災フロンティア研究センター）

#### (a) 業務の要約

地震時の表層地盤の増幅特性の評価をはじめ広域のハザード評価システム等において地形・地盤参照データベースとして利用されることを前提として、東京を含む首都圏と阪神地域を含む近畿圏などを対象に約250m四方のメッシュごとの地形・地盤分類GISデータベースを作成した。

#### (b) 業務の成果

地形・地質に関する既存の数値データベース(表1参照)は、これまでも地盤の増幅特性の評価<sup>1)~5)</sup>などに利用されてきたが、原図となった紙媒体の地形分類図や地質図の持つ以下の問題点を含んだまま数値化されたため、表層地盤特性データベースとしては不十分である。1) 分類基準や名称が地域によって異なる、2) 表層の地盤特性を十分反映していない、3) 小縮尺(1/10万~1/100万)の地図を原図としているため地形・地質境界線の精度が低い、4) 作成地域が限定されている、5) 沖積低地に関する情報が少ない。また、1)~5)の問題点を解消した日本全国地形・地盤分類メッシュマップ<sup>6)</sup>も、メッシュサイズが約1km四方と大きく、詳細なハザード評価には適していない。

表-1 地形・地質に関する既存の数値データベースと問題点

データ名	データの種類	表示形式	対象地域	原地図データの縮尺	調査機関	データベース作成機関	表層地盤特性データベースとしての問題点
国土数値情報	地形分類 表層地質	1kmメッシュ	全国	1/10万 ~1/20万	経済企画庁 (1967~1978)	国土庁・ 国土地理院 (1975)	分類基準と名称が県ごとに異なる。分類に表層の地盤特性が十分反映されていない。原図の地形境界線の精度が低い。人工改変地の情報が古い。
100万分の1日本地質図第3版	地質	ポリゴン 及び250mメッシュ	全国	1:1,00万	地質調査所 (1995)	地質調査所 (1995)	沖積低地(完新統)に関する情報が少ない。原図縮尺が1/100万のため地質境界線の精度が低い
土地条件図	地形分類	ポリゴン	主要地域	1/2.5万	国土地理院 (1965~)	座間ら (2001)	山地・火山地・丘陵が区別して分類されていない。原地形が表示されていない人工改変地の占める面積が多く、地形・地盤特性が不明。
日本全国地形・地盤・分類メッシュマップ	地形分類	1kmメッシュ	全国	1/5万	若松ら(既存の成果物を参考)	若松ら (2002)	全国的な分類基準で作成されているが、メッシュサイズが大きい。
全国地形分類図	地形分類	500mメッシュ	全国	1/10万 ~1/20万	経済企画庁 (1967~1978)	久保ら (2003)	分類名称は統一されているが、原図の分類基準が県ごとに異なるため、全国が等質に分類されていない。原図の地形境界線の精度が低い。
土地分類基本調査(地形分類図, 表層地質図)	地形分類 表層地質	ポリゴン または 50mメッシュ	全国(逐次刊行中)	1/5万	経済企画庁・都道府県 (1952~)	1都8県 (2003.4現在)	分類基準と名称が県ごとに異なる。また同一県内でも図幅により分類基準が異なる場合がある。

そこで、本業務では、表層地盤の増幅特性の評価をはじめ広域のハザード評価を詳細に行うために、1kmメッシュ単位の日本全国地形・地盤分類メッシュマップ<sup>6)</sup>に基づき、より解像度の高いメッシュマップを作成することにした。構築対象地域は、図1に示すように、東北仙台圏、首都圏、中京圏、近畿圏で、基準地域メッシュを縦横4等分したメッシュ(約250m四方)ごとに属性を持たせた。メッシュ数は、東北仙台圏約26万メッシュ(約170×150km)、首都圏約64万メッシュ(約270×250km)、中京圏約33万メッシュ(約180×150km)、近畿圏約32万メッシュ(約180×150km)、合計約155万メッシュである。データベースは、GISソフトMapInfoによる標準形式で構築している。

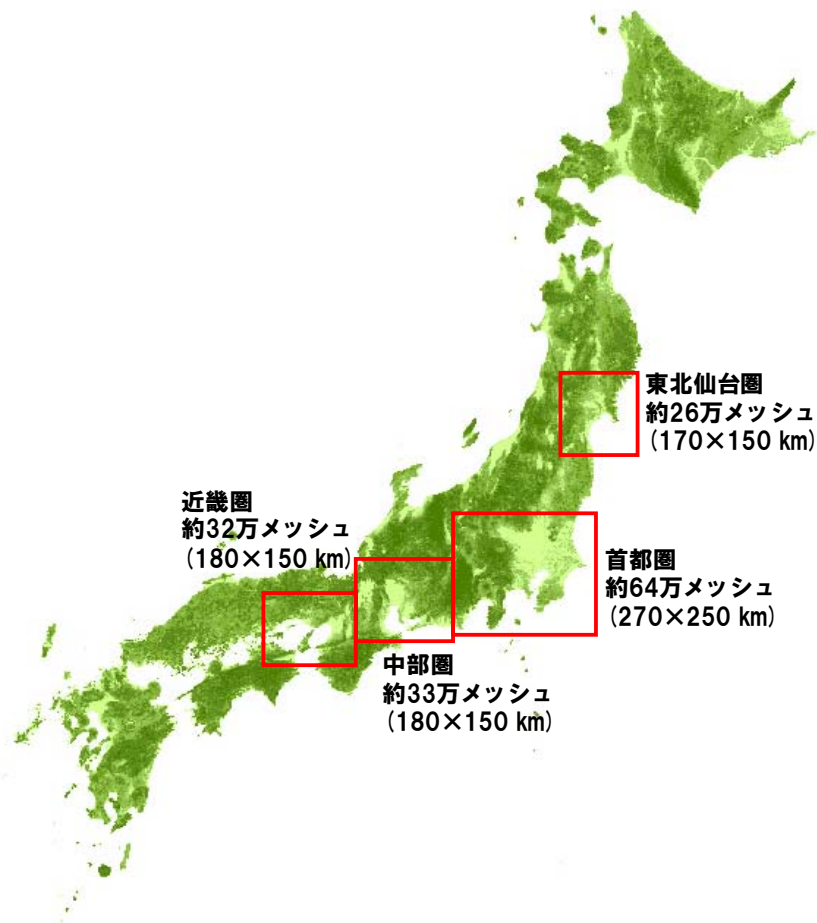


図1 平成15年度の地形・地盤分類データベースの作成対象地域  
(プロトタイプ版を含む)

地形分類は、日本全国地形・地盤分類メッシュマップ<sup>6)</sup>に用いられている分類基準に準拠した。この分類基準は、純地形学的な分類基準を踏襲しつつ、かつ表層地盤条件の判読という工学的利用用途を考慮している。本業務ではデータベースのメッシュサイズが約250m四方と細かいため、1kmメッシュには現れない小面積の微地形区分である「磯・岩礁」、「河原」、「河道・水路」を追加した(表2参照)。

表2 本業務で用いた地形・地盤分類基準

No.	分類	定義・特徴
1	山地	1kmメッシュにおける起伏量（最高点と最低点の標高差）が概ね200m以上で、先第四系（第三紀以前の岩石）からなる標高の高い土地。
2	山麓地	先第四系山地に接し、土石流堆積物・崖錐堆積物など山地から供給された堆積物等よりなる比較的平滑な緩傾斜地。
3	丘陵	標高が比較的小さく、1kmメッシュにおける起伏量が概ね200m以下の斜面からなる土地。
4	火山地	第四系火山噴出物よりなり、標高・起伏量の大きなもの。
5	火山山麓地	火山地の周縁に分布する緩傾斜地で、火砕流堆積地や溶岩流堆積地、火山体の開析により形成される火山麓扇状地・泥流堆積地などを含む。
6	火山性丘陵	火砕流堆積地のうち侵食が進み平坦面が残っていないもの、または小面積で孤立するもの。
7	岩石台地	河岸段丘または海岸段丘で表層の堆積物が約5m以下のもの、隆起サンゴ礁の石灰岩台地を含む。
8	砂礫質台地	河岸段丘または海岸段丘で表層に約5m以上の段丘堆積物（砂礫層、砂質土層）をもつもの。
9	ローム台地	河岸段丘または海岸段丘で表層が約5m以上のローム層（火山灰質粘性土）からなるもの。
10	谷底低地	山地・火山地・丘陵地・台地に分布する川沿いの幅の狭い沖積低地。表層堆積物は山間地の場合は砂礫が多く、台地・丘陵地・海岸付近では粘性土や泥炭質土のこともある。
11	扇状地	河川が山地から沖積低地に出る所に形成される砂礫よりなる半円錐状の堆積地。勾配は概ね1/1000以上。
12	自然堤防	河川により運搬された土砂のうち粗粒土（主に砂質土）が河道沿いに細長く堆積して形成された微高地。
13	後背湿地	扇状地の下流側または三角州の上流側に分布する沖積低地で自然堤防以外の低湿な平坦地。軟弱な粘性土、泥炭、腐植質土からなる。砂丘・砂州の内陸側や山地・丘陵地・台地等に囲まれたポケット状の低地で粘性土、泥炭、腐植質土が堆積する部分を含む。
14	旧河道	過去の河川の流路で、低地一般面より0.5～1m低い帯状の凹地。
15	三角州・海岸低地	三角州は河川河口部の沖積低地で、低平で主として砂ないし粘性土よりなるもの。海岸低地は汀線付近の堆積物よりなる浅海底が陸化した部分で、砂州や砂丘などの微高地以外の低平なもの。海岸・湖岸の小規模低地を含む。
16	砂州・砂礫州	波や潮流の作用により汀線沿いに形成された中密ないし密な砂または砂礫よりなる微高地。過去の海岸沿いに形成され、現在は内陸部に存在するものも含む。
17	砂丘	風により運搬され堆積した細砂・中砂が表層に約5m以上堆積する波状の地形。一般に砂州上に形成されるが台地上に形成されたものを含む。
18	干拓地	浅海底や湖底部分を沖合の築堤と排水により陸化させたもの。標高は水面よりも低い。
19	埋立地	水面下の部分を盛土により陸化させたもの。標高は水面よりも高い。
20	磯・岩礁	基盤の岩が露出、または岩塊が多い海岸
21	河道・水路	雨や雪などの表流水の流路となる細長い凹地で、常時に水流がある部分
22	河原	雨や雪などの表流水の流路となる細長い凹地のうち、常時は水流がない（冠水していない）部分

まず日本全国地形・地盤分類メッシュマップに基づき大まかな属性を決定し、ついで縮尺1/5万の地形図や地形分類図を参考にして地形境界を修正しマップの分解能の向上を図った。なお、一つのメッシュ内に複数の微地形区分が存在する場合は、原則としてメッシュ内で最も広い面積を占める微地形区分をそのメッシュの属性として与えた。以上の方法で首都圏のメッシュマップを完成させた。近畿圏、東北仙台圏および中京圏についてはプロトタイプ版を作成した。一例として近畿圏のメッシュマップを図2に示す。

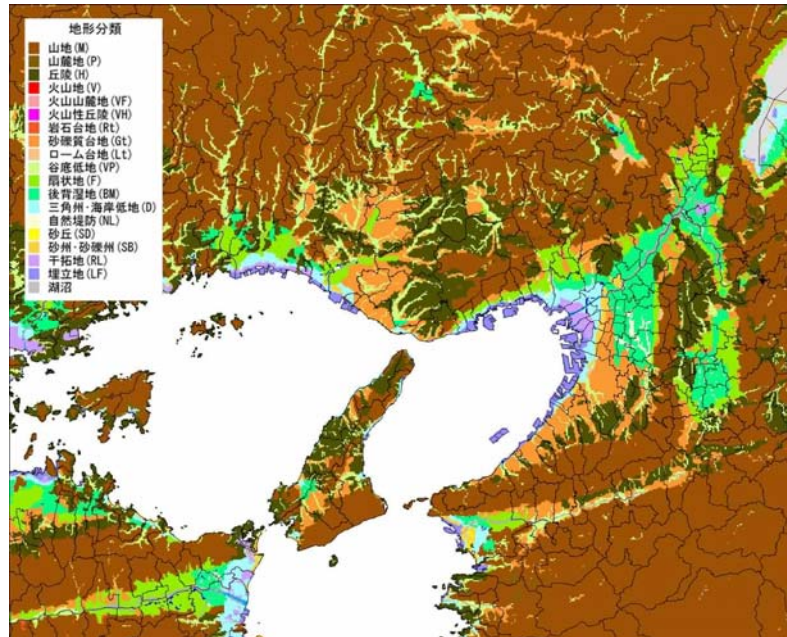


図2 近畿圏の地形・地盤分類データベース

(c) 結論ならびに今後の課題

地震時の表層地盤の増幅特性の評価など広域ハザード評価のための地形地盤データベースをGISを用いて約250m四方のメッシュ単位で構築した。これに基づき首都圏の液状化ハザードマップを作成した。結果は過去の液状化履歴と概ね一致したが、谷底低地は堆積物の土質等を考慮したさらに細かい分類が必要であることが分かった。首都圏については完成版を、近畿圏、中京圏および東北仙台圏についてはプロトタイプ版を作成した。また、今後地盤の増幅特性評価などのケーススタディを実施する予定である。

(d) 引用文献

- 1) 翠川三郎, 松岡昌志: 国土数値情報を利用した地震ハザードの総合的評価, 物理探査, Vol. 48, No. 9, pp. 519-529, 1995.
- 2) 西阪理永, 福和伸夫, 荒川政知, 銭傑: 国土数値情報を活用した地盤増幅度と地震動の予測, 第2回都市直下地震災害総合シンポジウム論文集, pp. 341-344, 1997.
- 3) 大西淳一, 山崎文雄, 若松加寿江: 気象庁地震記録に基づく地点増幅特性と地形分類との関係, 土木学会論文集 No. 626/I-48, pp. 79-91, 1999.
- 4) 座間信作, 遠藤真, 細川直史: 土地条件図に基づく地盤の増幅度の推定, 消防研究所報告, Vol. 92, pp. 16-24, 2001.
- 5) 久保智宏, 久田嘉章, 山明寛, 大井昌弘, 石田瑞穂, 藤原広行, 中山圭子: 全国地形分類図による表層地盤特性のデータベース化、および、面的な早期地震動推定への適用, 地震2, Vol. 56, No. 1, pp. 21-37, 2003.
- 6) 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.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
若松加寿江, 松岡昌志	大都市圏を対象とした地形・ 地盤分類 250m メッシュマッ プの構築	土木学会地震工学論文集	平成 15 年 12 月 10 日

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

### (3) 平成 16 年度業務計画案

#### (2-2) 表層地盤の影響を考慮した震度分布図の作成

翠川三郎（東京工業大学）

##### (a) 業務の要約

従来提案してきた表層地盤の影響を考慮して簡便に震度分布図を作成する手法の妥当性を検討するために、2003年に発生した3つの被害地震（5月26日の宮城県沖の地震、7月26日の宮城県北部の地震、9月26日十勝沖地震）に適用した。その結果、計算された震度分布は観測された震度分布をおおむね再現していることを確認した。

##### (b) 業務の成果

2003年には、5月26日に宮城県沖の地震( $M_w$ 7.0)、7月26日に宮城県北部の地震( $M_w$ 6.0)、9月26日に十勝沖地震( $M_w$ 8.0)が発生し、広範囲にわたって大きな揺れが観測された。そこで、国土数値情報を用いて全国レベルでの広域地震動マップを作成する手法により、これらの3地震に対する震度分布を計算し、これらと実際の震度分布の比較から、本手法の妥当性を検討した。

防災科学技術研究所のK-NETおよびKiK-net、気象庁、地方自治体、国土交通省の各機関により観測された強震記録・震度データを使用し、宮城県沖の地震では2,187地点、宮城県北部の地震では1,312地点、十勝沖地震では1,491地点での計測震度データを得た。広域地震動マップを作成する手順は次の通りである。まず、震源深さによる距離減衰特性の違いを考慮した地震動強さの距離減衰式<sup>1)</sup>を用いて、工学的基盤( $V_s$ が600m/s程度)での最大速度の分布を求める。地盤の増幅特性は、国土数値情報における地形情報から経験的に平均S波速度を求め<sup>2)</sup>、さらに地盤の平均S波速度と地盤増幅度の関係<sup>3)</sup>を介して、地盤の増幅度を推定する。得られた工学的基盤での最大速度と地盤増幅度を掛け合わせることで最大地動速度が求められる。つぎに、最大地動速度を、計測震度と地震動強さ指標の関係<sup>4)</sup>を用いて計測震度に変換する。



観測記録に基づく震度分布と本手法により計算された震度分布を比較した結果を図3に示す。宮城県沖の地震の場合(図3a)には、東北地方から関東・中部地方にかけての広い範囲で両者は良好な対応を示すが、北海道南部での計算値は低めの値を示している。宮城県北部の地震の場合(図3b)は、北海道地方から関東地方にかけて観測値と計算値は比較的良く対応している。十勝沖地震の場合(図3c)には、北海道南部での計算値は実測値と良好な対応を示すものの、北海道北部および東北地方では計算値が高めの値を示す場合がある。

計測震度の観測値と計算値の関係を図4に示す。本手法から計算される計測震度は、一般に観測記録を±1程度の精度で推定できている。ただし、宮城県沖の地震での震度3程度以下の観測点(主に北海道南部に分布)では計算値が低めの値を示す場合があり、十勝沖地震での震度2~4程度の観測点(大部分が東北地方に分布)では計算値が高めの値を示す場合がみられる。宮城県沖の地震(震源深さ約70km)において太平洋側に位置する北海道南部での観測値が大きめの値を示したことは、この地域では異常震域の影響により地震動が大きくなったと考えることで定性的には説明できる。

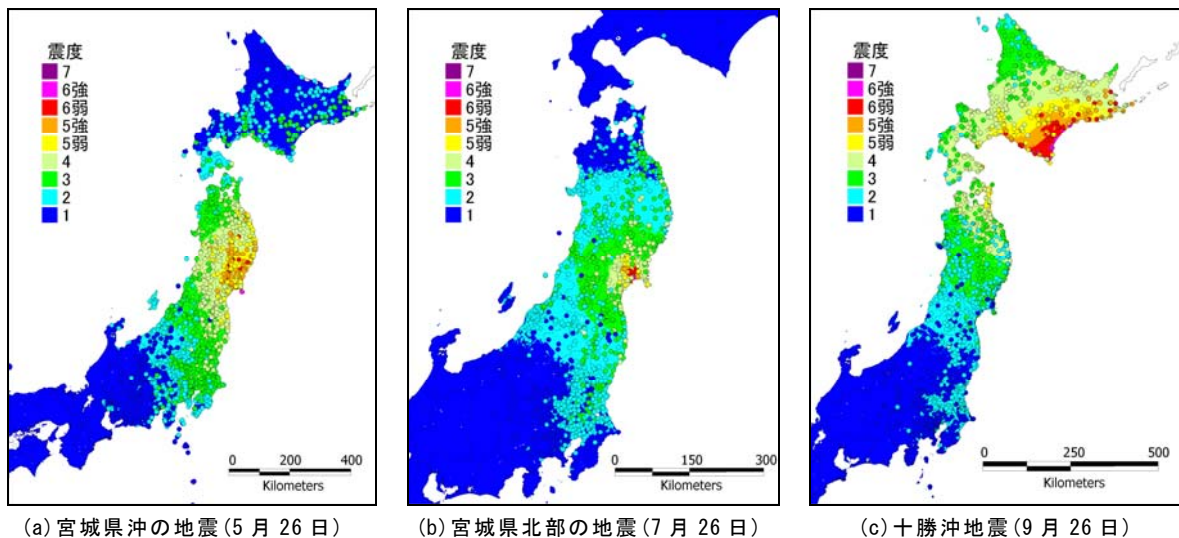


図3 計測震度分布の比較

これに対して、十勝沖地震(震源深さ約40km)の東北地方では、太平洋側・日本海側ともに同程度の計測震度を示しており、異常震域による影響では説明することが困難である。東北地方において計算値が観測値に比べて1以上大きい地点での地形分類は、山地やその周辺部の観測点が多いようにみえる。図5は、K-NETおよびKiK-net観測点での最大速度の観測値と計算値を、深さ30mでの地盤のS波速度(以下、 $V_s30$ )ごとに示したものである。図より、観測値と計算値は良好な対応を示しているが、地震によらず $V_s30$ が小さいほど計算値は過小評価となっているようにみえる。

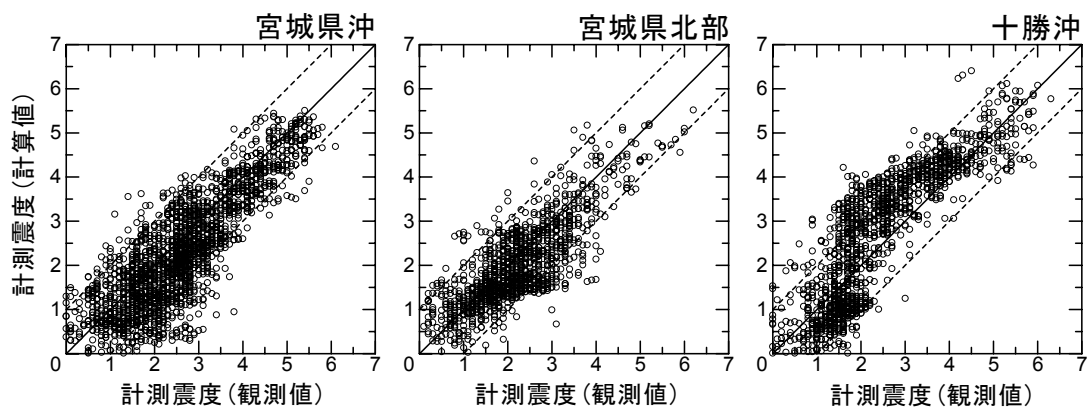


図4 計測震度の観測値と計算値の比較

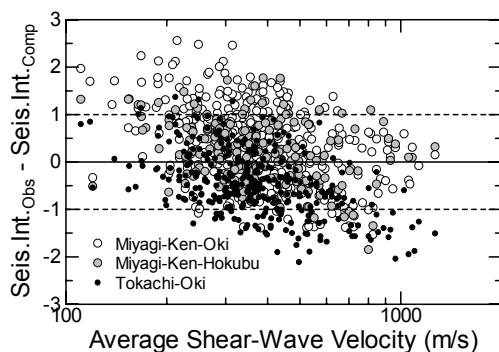


図5 最大地動速度の観測値と計算値の比較

(c) 結論ならびに今後の課題

広域地震動マップ作成手法の妥当性を検証するため、2003年に発生した3地震に対する計測震度の分布を計算し、これを観測記録に基づく震度分布と比較した。その結果、本手法により計算された震度分布は、全般に観測記録に基づく震度分布を良好に再現できることを確認した。ただし、地震によらず  $V_{s30}$  が小さいほど計算値は過小評価となっているようにみえることから、この原因と改善について今後検討する必要がある。

(d) 引用文献

- 1) 翠川三郎, 大竹 雄: 震源深さによる距離減衰特性の違いを考慮した地震動最大加速度・最大速度の距離減衰式, 第11回日本地震工学シンポジウム論文集, Paper No. 117, 2002.
- 2) 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, Vol. 3, No. 3, pp. 13-27, 2003.
- 3) Midorikawa, S., Matsuoka, M. and Sakugawa, K.: Site effects on strong-motion records observed during the 1987 Chiba-ken-toho-oki, Japan earthquake, Proc. of the 9th Japan Earthquake Engineering Symposium, Vol. 3, pp. 85-90, 1994.
- 4) 翠川三郎, 藤本一雄, 村松郁栄: 計測震度と旧気象庁震度および地震動強さの指標と

の関係，地域安全学会論文集，pp. 51-56，1999.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
藤本一雄， 翠川三郎	広域地振動マップ－2003年の3 地震の場合－	地球惑星科学関連学会 2004 年合同大会	平成 16 年 5 月 11 日（予 定）

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

## (2-3) スペクトルインバージョンによる地盤増幅率と表層地質の関係

久田嘉章（工学院大学）

額瀨一起（東京大学地震研究所）

### (a) 業務の要約

SK-net と K-net の強震観測データを用いて、関東平野の地盤増幅のスペクトルインバージョンを行い、表層地質との対応関係を調べた。短周期領域（0.1～0.5 秒）では地形分類や Vs30 とに明瞭な関係が見られず、ほぼ一定な増幅率を示すのに対し、長周期領域（0.5～1.5 秒）では地形分類上、地盤条件が悪くなるほど、Vs30 の値が小さくなるほど、増幅率が大きくなることが確認された。

### (b) 業務の成果

首都圏強震動総合ネットワーク (SK-net) と K-net の強震観測データを用いて、関東平野を対象とした地盤増幅のスペクトルインバージョン<sup>1)</sup>を行い、表層地質との対応関係を調べた。図 6 に SK-net・K-net の観測点と使用した地震の震央位置を示す。なるべく多くの観測点で同時に観測された地震を選び、最終的には 17 個の地震 (M4.1～5.8、震源深さ 18km～86km) の 557 観測点から計 4533 波 (9066 成分) の記録を使用した。地盤増幅率のインバージョンには岩田・入倉法<sup>1)</sup>を使用した。この方法は、強震動の S 波部分を震源・伝播・増幅特性に分離し、伝播特性を幾何減衰と Q 値で仮定して、多数の震源・観測記録データを使用し、震源スペクトルと地盤増幅率、及び Q 値を同時にインバージョンする方法である。この手法では震源スペクトルと地盤増幅率にはトレードオフの関係があるため、どちらかを拘束する必要がある。本解析では全観測点の中で最も地盤条件の良いと考えられる K-net の TKY002 (桧原) の地盤増幅率を求めて、これを拘束条件に用いる。地形分類では TKY002 は山地であり、K-net サイトの地盤データでは地質上岩盤で、地下 7m で Vs が 630 m/s を超えている。TKY002 の増幅率の評価には鶴来・他<sup>2)</sup>による経験的サイト増幅評価法を用いた。これは震源スペクトルに経験的  $\omega^2$  モデルを用い、内部減衰には予備解析の Qs 値を仮定して、多数の地震記録から地盤増幅率を計算し、その平均値を用いる方法である。計算の結果、TKY002 では風化層と考えられる表層地盤の影響により、約 9Hz で卓越する地盤増幅率が得られた。

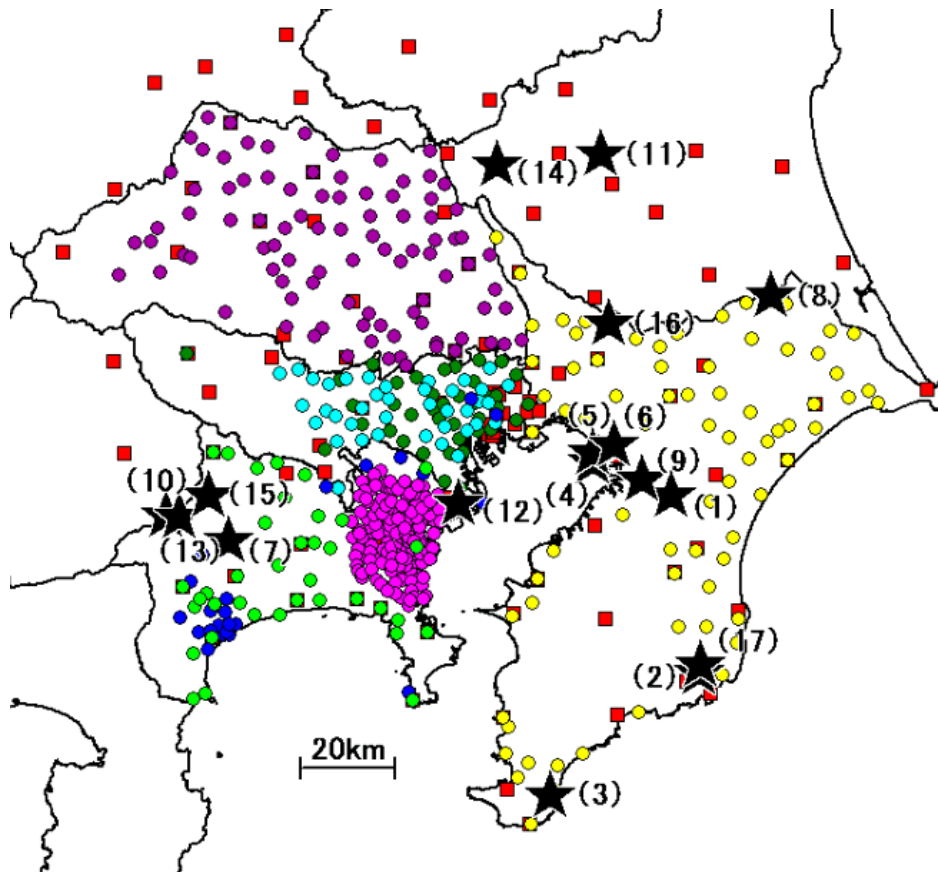


図6 SK-net と K-net の強震観測点と使用した地震の震央位置

この地盤増幅率を拘束条件として、震源・地盤増幅およびQ値のインバージョンを行った。その際、地震の規模が小さいものも含まれており、低振動数側では信頼性が欠けるので解析範囲を0.5~10Hz (0.1~2.0秒)とした。震源スペクトルは経験的震源モデル( $\omega^2$ モデル)と類似した結果が得られた。一方、Q値のスペクトルは既存の結果(加藤・他<sup>3)</sup>、山中・他<sup>4)</sup>、Kinoshita<sup>5)</sup>)と比較し、2Hz以上の高振動数でやや小さな値(高減衰)となった。様々な条件でインバージョン解析を行った結果、Q値は震源スペクトルの大きさに影響するが、地盤増幅率の大きさにはあまり影響しないことを確認している。

得られた地盤増幅率を若松・松岡<sup>6)</sup>による地形分類ごとに整理し、その平均値と分散を求めた例を図7に示す。山地では風化層の影響と思われる表層の影響で5Hz以上の高振動数が卓越し、低振動数は小さな増幅率を示している。一方、丘陵では2~4Hzとより低い振動数で卓越し、扇状地、埋立地と地盤条件が悪くなるにつれて明瞭な卓越振動数が見られず、広い振動数範囲で増幅している。

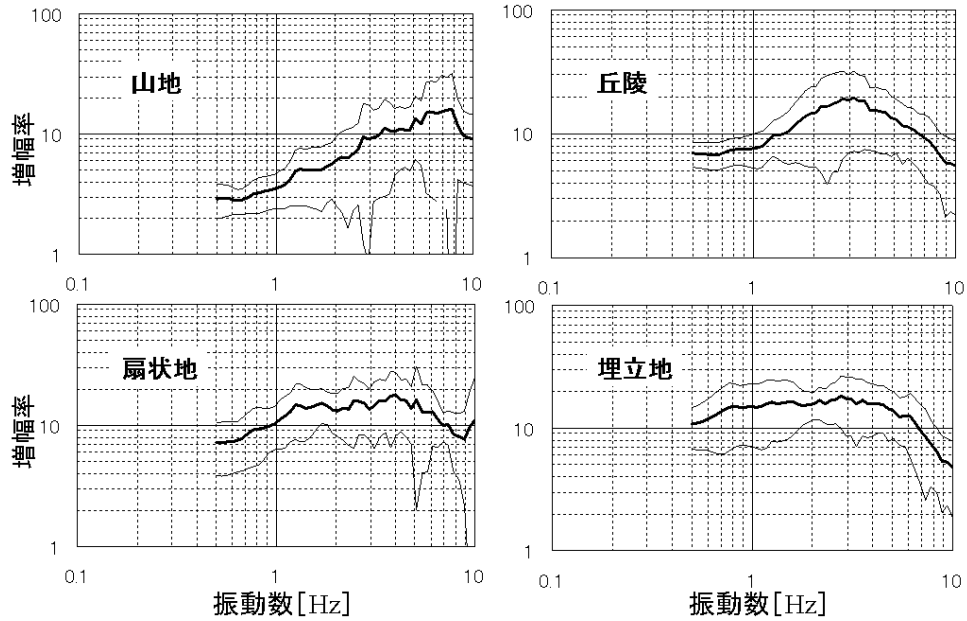


図7 地形分類（若松・松岡、2003）と地盤増幅率の関係（括弧内数値はデータ数）

地形分類と地盤増幅の関係をより定量的に見るため、内山・翠川<sup>7)</sup>などに習い、短周期領域（0.1～0.5秒；標準的加速度応答スペクトルの一定領域）と、長周期領域（0.5～1.5秒；速度応答スペクトルの一定領域）に分け、地形分類ごとの地盤増幅率の平均値を計算し、結果を図8に示す。図で左から右に向かうにつれて地盤条件が悪くなるが、短周期領域では地形分類による差が明瞭に見られないのに対し、長周期領域では地盤条件が悪くなるに従い増幅率が大きくなっている。

次に表層地盤のより物理的な特性と地盤増幅率の関係を見るために、K-net と横浜高密度強震計ネットワークの観測点のS波速度データを利用し、 $V_{s30}$ （表層30mの平均S波速度）を求め、これと短周期・長周期領域での平均的地盤増幅率との関係を求め、その結果を図9に示す。その際、S波速度が30mまで求められていない観測点では司・翠川<sup>8)</sup>に習い、最下層の $V_s$ を30mまで延長して使用している。図より、短周期領域では $V_{s30}$ と増幅率には明瞭な対応関係が見られないのに対し、長周期領域では $V_{s30}$ が大きくなるに従い増幅率が小さくなる明瞭な関係が見られる。

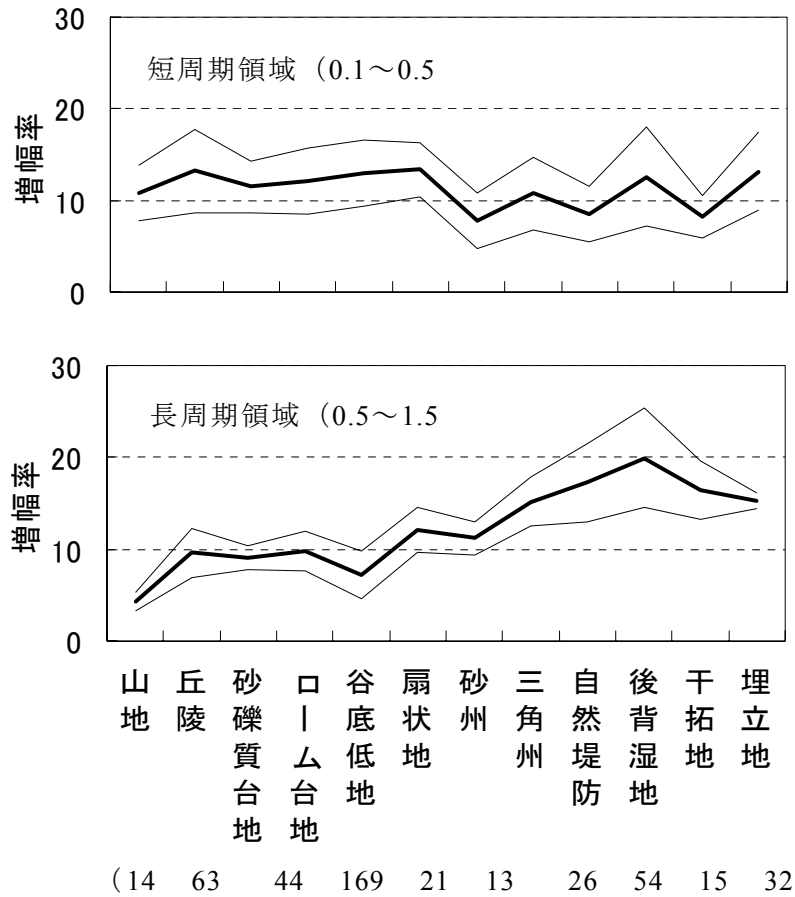


図8 地形分類（若松・松岡、2003）と、短周期領域（0.1～0.5秒）および長周期領域（0.5～1.5秒）の平均的地盤増幅率の関係（下段の括弧内数値はデータ数）

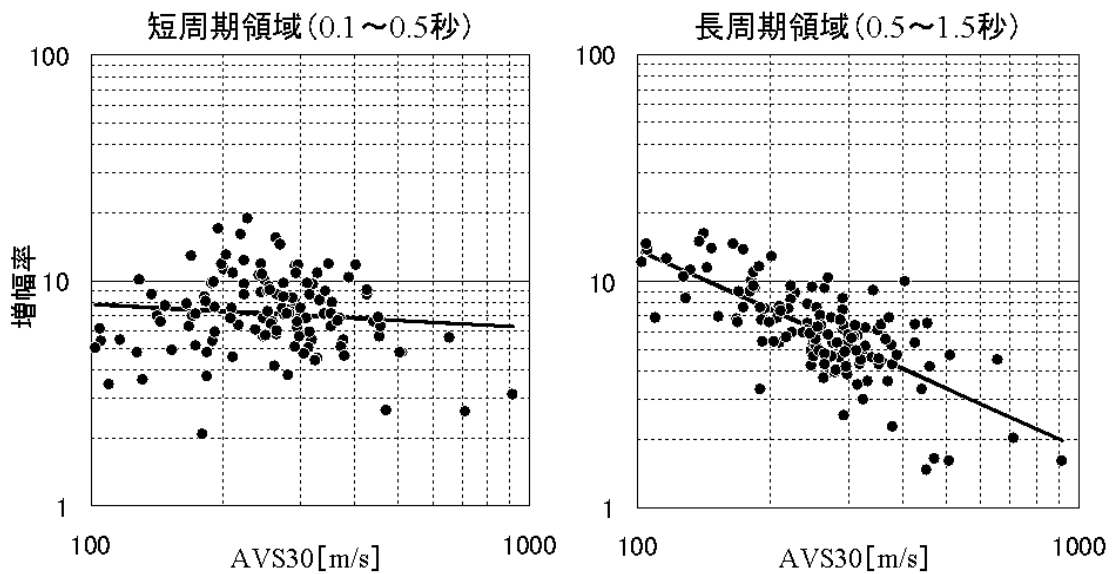


図9 地形分類（若松・松岡、2003）と Vs30 の関係

(c) 結論ならびに今後の課題

SK-net と K-net の強震観測データを用いて、関東平野の地盤増幅のスペクトルインバージョンを行い、地形分類と Vs30 などの表層地質との対応関係を調べた。ここで求められた増幅率は地震基盤以浅の地盤構造による増幅率であり、表層地盤による増幅率とは完全に対応するわけではないが、短周期領域 (0.1~0.5 秒) では地形分類や Vs30 とに明瞭な関係が見られず、ほぼ一定な増幅率を示すのに対し、長周期領域 (0.5~1.5 秒) では地形分類上、地盤条件が悪くなるほど、Vs30 の値が小さくなるほど増幅率が大きくなることが確認された。今後は、関東平野の深い地盤構造の理論的な増幅率等を求め、ここで求めた増幅率から分離することで表層地盤の増幅率を求め、地形分類や Vs30 などとのより定量的な経験的増幅率を求める予定である。

(d) 引用文献

- 1) 岩田知孝, 入倉孝次郎: 観測された地震波から、震源特性・伝播径路特性及び観測点近傍の地盤特性を分離する試み, 地震 2, 第 39 巻, pp. 579-593, 1986.
- 2) 鶴来雅人, 田居優, 入倉孝次郎, 古和田明: 経験的サイト増幅特性評価手法に関する検討, 地震 2, Vol. 50, pp. 215-227, 1997.
- 3) 加藤研一, 武村雅之, 八代和彦: 強震記録から評価した短周期震源スペクトルの地域性, 地震 2, Vol. 50, pp. 123-138, 1998.
- 4) 山中浩明, 中丸明子, 栗田勝実, 瀬尾和大: 表層の地盤特性を拘束条件にした S 波スペクトルのインバージョンによるサイト特性の評価, 地震 2, 第 51 巻, pp. 193-202, 1998.
- 5) Kinoshita, S. and Ohike, M. : Scaling Relations of Earthquakes that Occurred in the Upper Part of the Philippine Sea Plate beneath the Kanto Region, Japan, Estimated by Means of Borehole Recordings, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 92, No. 2, pp. 611-624, 2002.
- 6) 若松和寿江, 松岡昌志: 大都市圏を対象とした地形・地盤分類 250m メッシュマップの構築, 土木学会地震工学論文集, CD-ROM, 2003.
- 7) 内山泰生, 翠川三郎: 地震記録および非線形応答解析を用いた地盤分類別の地盤増幅率の評価, 日本建築学会構造系論文集, Vol. 571, pp. 87-93, 2003.
- 8) 司宏俊, 翠川三郎: 断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式, 日本建築学会構造系論文集, No. 523, pp. 63-70, 1999.



(f) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
久田嘉章, 川上洋介	関東平野における設計用地震応答スペクトルの提案（その1：地震基盤における地震動）	日本建築学会学術講演梗概集 B	平成 15 年 9 月 7 日
川上洋介, 久田嘉章	関東平野における設計用地震応答スペクトルの提案（その2：工学的基盤における地震動）	日本建築学会学術講演梗概集 B	平成 15 年 9 月 7 日
山田悦子, 久田嘉章, 秋山友昭, 福本俊一	関東平野における設計用地震応答スペクトルの提案（その3：工学的基盤からの地盤増幅に関する検討）	日本建築学会学術講演梗概集 B	平成 15 年 9 月 7 日

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

## (2-4) 長周期地震動の研究

額 起 (東京大学地震研究所)

### (a) 業務の要約

平成 15 年 9 月 26 日に発生した十勝沖地震では、震源域から 200km 以上離れた勇払平野で大きな長周期地震動が発生し、それが原因となって苫小牧地区の石油タンクでのスロッシングや火災につながった。このことが平野部に立地する大都市圏にとって重要な意味を持っていることは明らかであるので、緊急に 2003 年十勝沖地震とそれによる長周期地震動の研究を行った。

### (b) 業務の成果

図 10 に示すように、この長周期地震動は勇払平野より手前の観測点、門別・静内では見られず、平野を越えた室蘭でも見られない。したがって、平野内で発生する盆地表面波が主要な要因となっていると理解できる。また、長周期地震動は過去にもしばしば発生しており (図 11)<sup>1)</sup>、震源の特性ではなく地質構造の影響と改めて確認できる。

この長周期地震動は文字通り周期が 5~8 秒程度と長周期で、継続時間が 100 秒以上と非常に長い。そのため、建物等には大きな被害を与えないが、固有周期の長い大型構造物には強い影響を及ぼし、長い継続時間のため石油タンクなどでは大きなスロッシングにつながりやすい。実際、中規模石油タンクをモデル化して K-NET 苫小牧における観測記録を入力すると、図 12 のように最大 2.68m のスロッシングが発生した。

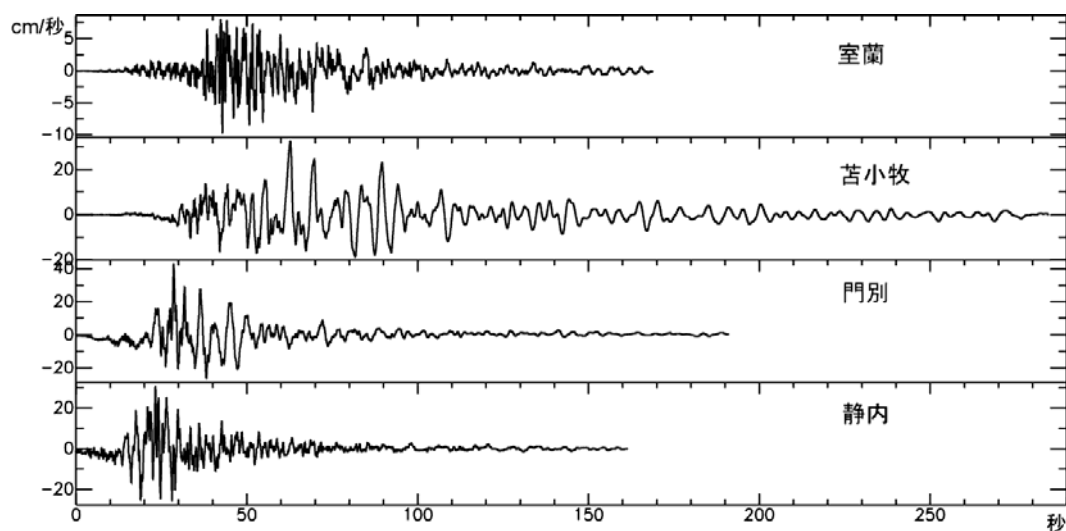


図 10 北海道東部太平洋岸の K-NET 観測点における速度記録.

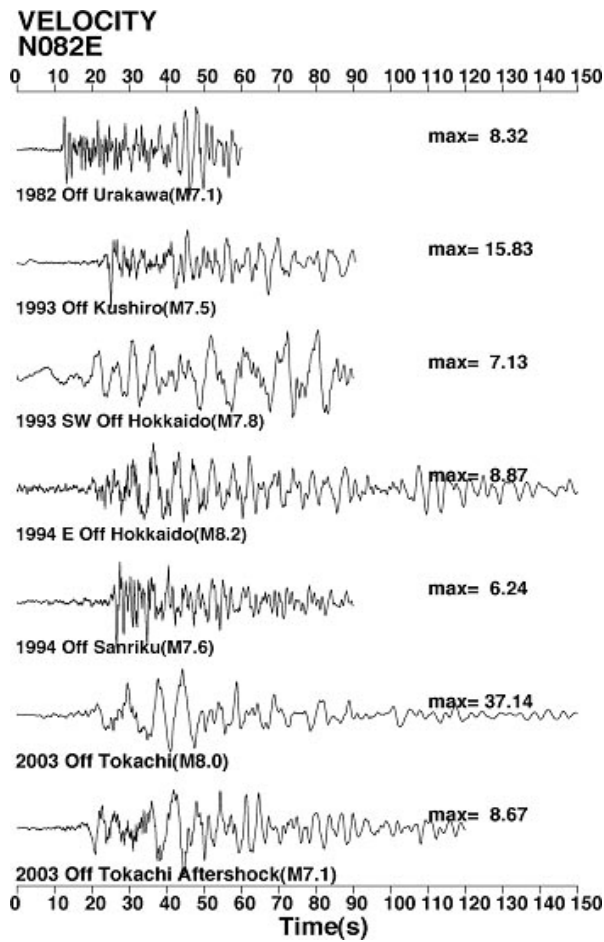


図 11 過去の被害地震の苫小牧での記録

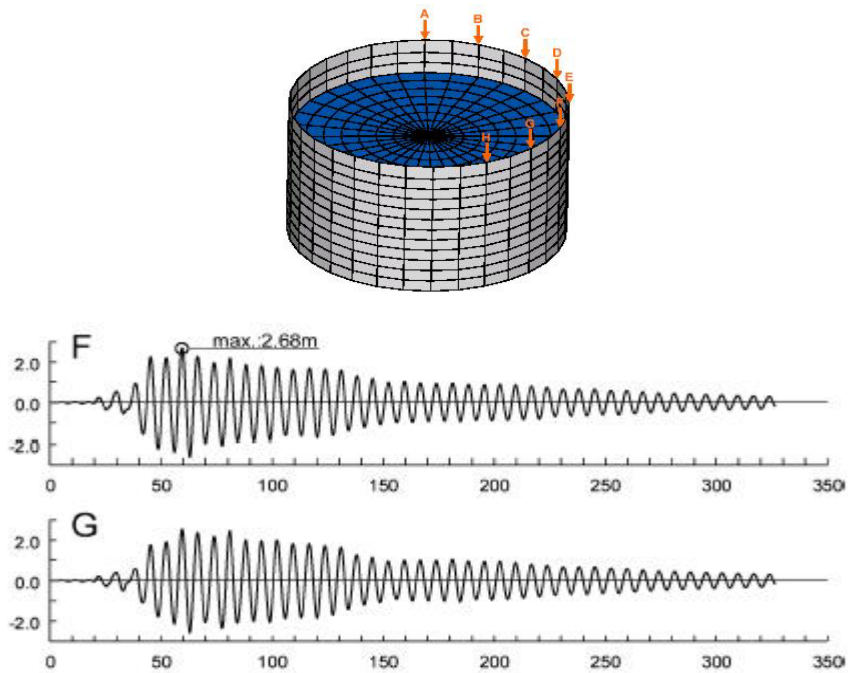


図 12 石油タンクスロッシングの有限要素法シミュレーション

また、勇払平野及びその周辺を海を含めて図 13 上のようにモデル化し、平野外の地中記録を平面波としてモデルへ入力してシミュレーション<sup>2)</sup>を行い、盆地表面波の生成メカニズムの解明をはかった。その結果(図 14 下)によれば、盆地表面波は主に海底下の盆地構造の東端部で発生し、海そのものの存在もその振動特性に影響を与えている。また、勇払平野東端部でも発生しており、その表面波と海からの表面波が苫小牧付近で一緒になって大きな振幅、長い継続時間の長周期地震動を生み出していることが分かった。

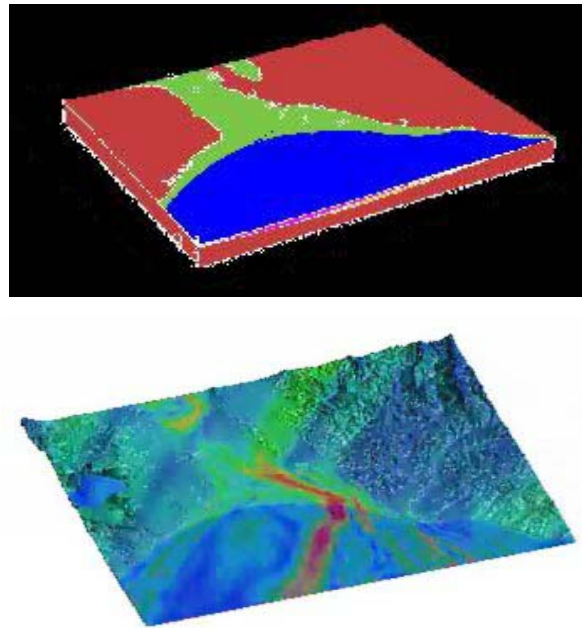


図 13 苫小牧・勇払平野周辺の地下構造モデル(上)と地震動シミュレーション(下)

(d) 結論ならびに今後の課題

2003 年十勝沖地震による長周期地震の発生メカニズムと石油タンクへの影響を、主にコンピュータシミュレーションにより解明した。今後は大都市圏への適応性が課題である。

(e) 引用文献

1) 畑山健, 座間信作, 西晴樹, 山田實, 廣川幹浩: 2003 年十勝沖地震による長周期地震動と石油タンクの被害, 地震 2, 投稿中, 2004.

2) Koketsu, K., Fujiwara, H. and Ikegami, Y.: Finite-element simulation of seismic ground motion with a voxel mesh, Pure Appl. Geophys., in press, 2004.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
瀬瀬一 起	平成 15 年度（2003 年）十勝 沖地震：地震動の特性	2003 年（平成 15 年）十勝 沖地震被害長 重 報告会概要 集	平成 15 年 12 月 5 日
Koketsu, K., Yamanaka, Y., Hikima, K., Kikuchi, M., Furumura, T., and Hatayama, K.	The 2003 Tokachi Oki, Japan, Earthquake: Source Process and Strong Ground Motions	American Geophysical Union Fall Meeting	平成 15 年 12 月 12 日

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

**(3) 平成 16 年度業務計画案**

1) 地形・地盤分類データベース作成として、本年度作成したプロトタイプ版を修正して、近畿圏、中京圏および東北圏の地形・地盤分類 250m メッシュデータを完成させ、北海道地域(中国地方南部、四国全域、九州地方東部)についてはプロトタイプ版を作成する。対象地域のメッシュ数は、近畿圏で約 32 万メッシュ(約 180×150km)、中京圏で約 33 万メッシュ(約 180×150km)、東北仙台圏で約 26 万メッシュ(約 170×150km)であり、北海道地域で約 70 万メッシュ(約 250×300km)の予定である。

2) 地形・地質とサイト特性の関係の検討として、1)で作成した地形・地盤分類データベースを利用して地形分類と地盤の平均 S 波速度の関係を再検討する。また、平成 15 年度の検討から、地盤の平均 S 波速度が小さいほど計算値は過小評価となる傾向がみられることから、この原因について検討した上で、地盤の平均 S 波速度と地盤増幅度との関係について再検討する。これらを総合して、地形・地盤分類データベースを利用した地盤増幅推定手法の改良を試みる。

地震記録にみられる地盤特性と表層地盤の関係については、平成 15 年度は関東地域のデータを用いて検討を行った。平成 16 年度は、関東平野の深い地盤構造の理論的な増幅率等を求め、ここで求めた増幅率から分離することで表層地盤の増幅率を求め、地形分類や地盤の平均 S 波速度などとの、より定量的な経験的増幅率を求める。