

北海道の地震動観測記録を用いた表層地盤の増幅度推定

Estimation of site amplification factors by earthquake in Hokkaido

佐藤 京* 西 弘明** 上明戸 昇*** 池田 隆明****

Takashi Satoh, Hiroaki Nishi, Noboru Kamiakito and Takaaki Ikeda

* (独) 土木研究所 寒地土木研究所 (〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸 1 条 3-1-34)

**博士 (工学), (独) 土木研究所 寒地土木研究所 (〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸 1 条 3-1-34)

***博士 (工学), 飛島建設(株) 技術研究所 (〒270-0222 千葉県野田市木間ヶ瀬 5472)

****飛島建設(株) 技術研究所 (〒270-0222 千葉県野田市木間ヶ瀬 5472)

The purpose of this paper is to set the ground site amplification factors using the strong motion record of Hokkaido. The results come from the tendency which is similar for 6 selected earthquakes. For the estimation of ground site amplification factors, geomorphology classification by the Digital National Land Information was used. It was concluded that there were areas which do not show the tendency of site amplification factors as estimated by the strong motion records of Hokkaido. Investigating the cause, it found that there were regional characteristics and the influence was stronger than the geomorphology classification. Therefore, when attempting to focus on a specific area, the tendency calculated by the site amplification factors of the strong motion records, was further improved.

Key Words: *Hokkaido, Site Amplification Factors, Strong Motion Records, Digital National Land Information*

キーワード: *北海道, 表層地盤の増幅度, 地震動観測記録, 国土数値情報*

1. はじめに

近来, 国内では被害地震が多発しており, 防災への意識が向上している. 例えば, 中央防災会議¹⁾は, 内閣の重要政策に関する会議の一つとして, 内閣総理大臣をはじめとする全閣僚, 指定公共機関の代表者及び学識経験者により構成されており, 防災基本計画の作成や, 防災に関する重要事項の審議等を行っている. 2007 年 8 月の時点では東南海・南海地震等に関する専門調査会, 首都直下地震避難対策等専門委員会が調査審議中であり, 地震による被害想定や減災計画が審議されている. また, 平成 7 年の阪神・淡路大震災を契機として地震調査研究推進本部が設置され, 地震に関する調査結果の収集, 整理, 分析, 評価が実施されている²⁾. その活動成果として全国を対象に統一的方法で地震動予測地図が作成され「全国を概観した地震動予測地図」³⁾として公表されている.

表層地盤の増幅度は, このような地震動予測地図において, 表層の地盤特性を示す情報のひとつであり, 面的に増幅度を用いる場合には, 地盤中に仮定した基盤(工学的基盤)における地震動最大値に対して, 地震波が伝搬した地

表面の最大値の比が用いられる.

断層のずれにより発生した地震波は地中を伝搬し表層地盤から地表に伝わるが, 近傍の観測点で異なる特性の波形が見られる事例があり, この原因は主として表層地盤の違いによる影響を受けるためである⁴⁾. 最近発生した 2007 年能登半島地震における加速度時刻歴でも, 富来では短周期成分が卓越し, 穴水, 七尾では 1.5~2 秒の比較的長い成分が卓越しており, 震源近傍の観測点同士であっても表層地盤の条件の違いで大きく波形形状が異なっていた. このような表層地盤の影響は増幅度で表される.

以上の点からも面的な地震動推定において表層地盤の増幅度を考慮する事は重要であり, 増幅度の推定方法の検討を行い, その精度を向上させる事は地震防災に寄与すると考えられる.

主な増幅度推定手法としては, 地形分類による手法とボーリングデータを用いる手法⁵⁾の 2 通りがある. 本稿では簡易であり全国で利用できる地形分類の方法を対象として検討する. これまでに提案されている主な増幅度推定方法を以下に記す. 表層地盤の増幅度推定手法としては国土数値情報⁶⁾を用いた翠川・松岡の方法⁷⁾が挙げられ, この

手法で算出された増幅度を面的に補間する事で増幅度分布が作られる。この方法は、国土数値情報により分類された微地形区分を基準としている。また、主要河川からの距離および標高から経験的關係式を用いて表層 30m の平均 S 波速度を算出し、この平均 S 波速度から経験的關係式を用いて最大速度の増幅度を算出する方法である。ただし、経験的關係式は関東地方のデータに基づくものである。これに対して、久田らは国土数値情報によるメッシュ間隔が約 1km である点の改善を考え、500m メッシュで地形分類を整備し、翠川・松岡の方法を用いて、より細かな分解能の増幅度マップを作成している⁸⁾。また、藤本・翠川は、平均 S 波速度の経験的關係式設定において日本列島を東北、中央、西南の 3 地域に分けて平均 S 波速度の係数設定を行い、翠川・松岡の方法に対して地域性を考慮した検討を行っている⁹⁾。さらに若松らは、国土数値情報による地域区分の分類について全国的に適用する際の不統一性を指摘し、新たな地形分類基準を提案している¹⁰⁾。

我々は、藤本・翠川が地域性を考慮して 3 地域に分けた予測計算とする事で精度向上が行えた知見に着目した。日本の地質は中生代中期以降に繰り返された造山運動を元として、その上に様々な堆積物が加わった複雑な構造を形成している。そのため、地域性を考慮する事で表層地盤の増幅度（サイト特性）の推定精度をさらに改善できる可能性がある。本稿では、日本の中でも地域性に特徴があると考えられる北海道を対象として表層地盤の増幅度推定に関わる検討を実施する。

2. 検討内容

図-1 に本稿における検討項目の概要を示す。初めに、北海道内の観測記録による表層地盤の増幅度計算を試みる。ただし、地中の観測記録の無い地点においては KiK-net の観測記録を面的に補間した数値を用いて増幅度を求める事とした。

次に、翠川・松岡の方法に従い、北海道の微地形区分と観測記録、観測点の平均 S 波速度を用いて表層地盤の増幅度推定のための回帰係数を再設定する。

さらに、細分化した地域特性を考慮した場合の増幅度推定を試みる。微地形区分を考慮した増幅度推定式では想定と異なる特性を示した区分があり、その補正を試みる。

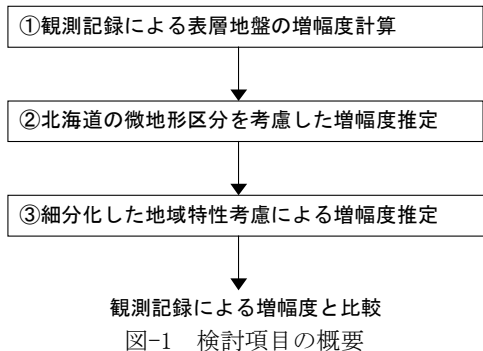


図-1 検討項目の概要

最後に北海道の観測記録による増幅度と本稿における増幅度推定値を比較し、既往の方法の一つとして翠川・松岡の方法による推定値と並べて対応状況を確認する。

3. 観測記録による表層地盤の増幅度

3. 1 検討条件

北海道の観測記録による表層地盤の増幅度の設定を試みる。表層地盤の増幅度は水平方向の最大速度によるものとした。北海道の地震動観測網としては、佐藤らが地震情報伝達システム（WISE）を独自に構築している¹¹⁾。地表の最大速度は、この観測網に加えて KiK-net¹²⁾、K-NET¹³⁾、JMA（気象庁）の観測データを用いた。工学的基盤の最大速度は KiK-net の地中観測データから面的な補間値を求め、その他（K-NET、WISE、JMA）の観測点に対応する工学的基盤の最大速度を仮定する事で、各観測点に対する増幅度を求めた。観測記録による表層地盤の増幅度計算式を (1) 式に示す。

$$\text{表層地盤の増幅度} = \frac{\text{地表観測点の最大値 (KiK-net, K-NET, WISE, JMA)} \dots (1)}{\text{基盤観測点の最大値 (KiK-netの観測点を補間)}}$$

計算値は観測記録である加速度情報を直接積分により速度情報へ変換し、周波数範囲は 0.1Hz から 10.0Hz の時間軸波形とした。増幅度検討対象とする強震観測記録は KiK-net の観測記録から選定した。北海道周辺で発生した既往地震として 2000 年 7 月 1 日から 2004 年 10 月 8 日の期間における観測記録を観測点数順に並び替え、上位 24 地震について地震観測点分布を確認し、任意に 6 地震を抽出した。表-1 に選定した 6 地震の情報を示す。表-2 に選定した地震毎の観測記録点数を示す。また、A04～A06 の地震については観測記録点の分布状況を確認したところ、観測点の少ない地域があるため、検討対象範囲外の条件を定めて記す。

表-1 観測記録による増幅度設定用に選定した強震記録

地震番号	年月日	時刻	マグニチュード Mj	震源東経 [°]	震源北緯 [°]	震源深さ [km]	震源位置
A01	03/09/26	06:08	7.1	143.7	41.7	40	十勝沖(十勝沖地震余震)
A02	03/09/26	04:50	8.0	144	41.8	40	釧路沖(十勝沖地震本震)
A03	03/05/26	18:24	7.0	141.3	38.8	70	宮城県沖
A04	01/08/14	05:11	6.2	142.4	41	40	青森県東方沖
A05	03/09/29	11:36	6.5	144.6	42.6	40	釧路沖(十勝沖余震)
A06	02/10/14	23:12	5.9	142.3	41.2	50	青森県東方沖

*掲載情報は JMA 公表値¹⁴⁾

表-2 観測記録点数

観測データ		KiK-net	K-NET	WISE	JMA
地震番号	A01	105	152	3	32
	A02	104	169	120	44
	A03	86	109	84	8
	A04 ^{注1)}	81	115	84	10
	A05 ^{注2)}	80	85	49	8
	A06 ^{注3)}	69	85	72	4

注 1 : 北緯 44.5 以上を検討対象範囲外とした。
注 2 : 東経 140.5 度以下を検討対象範囲外とした。
注 3 : 北緯 44.0 度以上を検討対象範囲外とした。

3. 2 工学的基盤の条件

工学的基盤の条件設定を行うために KiK-net の地中観測点の深度における S 波速度の頻度状況を確認した。KiK-net の北海道観測点 112 データに関する地中観測深度の S 波速度頻度分布を図-2 に示す。図-2 の S 波速度の頻度分布に加え、地中観測点の S 波速度を $V_s=400\text{m/s}$ 以上から 1000m/s 以上まで (100m/s 刻み) の条件とした場合の北海道における KiK-net 観測点の分布状況を確認して、KiK-net 観測点の選定条件を S 波速度 400m/s 以上とした。ただし、工学的基盤の S 波速度を幅広い条件で決めているため、結果としてばらつきを持つ条件であると考えられる。

3. 3 基盤速度分布と地表速度分布

図-3 に地震番号 A01 から A06 までの工学的基盤の最大速度分布を示す。設定条件を以下に記す。観測記録は KiK-net の観測記録とし、加速度データを直接積分により速度へ変換し、周波数範囲が 0.1Hz から 10.0Hz の時刻暦波形とした。最大速度は NS, EW の 2 方向から水平方向における速度の大きさを求め、その最大値とした。メッシュ補間は曲率最小化アルゴリズム ($t=0.2$)¹⁵⁾ を使用した。分布図の最大値は選定地震により大きく異なるため、それぞれ傾向がわかる範囲の表示色設定とした。

図-4 に地震番号 A01 から A06 までの地表面の最大速度分布を示す。地表面の最大速度分布は、KiK-net, K-NET, WISE, JMA の地表面観測記録から設定した。

3. 4 観測記録による表層地盤の増幅度分布

図-5 に観測記録から設定した表層地盤の増幅度分布(サイト特性)を示す。観測点上で対応する基盤地震動最大値

と地表面地震動最大値から増幅度を算出して分布図を作成した。周波数領域は 0.1Hz ~ 10.0Hz を用いた。地表面地震動最大値データは、KiK-net, K-NET, WISE, JMA の観測波形最大値(速度)からメッシュ補間値を作成した。メッシュ補間は曲率最小化アルゴリズム ($t=0.2$) を使用した。得られた増幅度分布は、地震観測地点の情報から面的に補間して作成した分布図であるため、細かな特性形状は示せないが、観測記録に基づく特性を示す図として有用であると考えられる。

また、今回選定した観測記録による表層地盤の増幅特性は太平洋側が高い倍率を示す結果が得られており、選定した地震から設定された増幅特性分布は同様の特性となる結果が得られている。

観測記録におけるサイト特性の分解能について記す。検討対象とした地震の中でも代表的な地震である A02 (2003 年十勝沖地震本震) の地中観測点においては、工学的基盤の設定元である KiK-net 観測点は 104 地点であり、この観測点間の平均的な距離は 22.8km である。ただし、工学的基盤の特性は局所的な影響による変化が地表に比べて小さく、近傍の観測点への補間には大きな影響がないと考えられる。同様に、地震番号 A02 の地表観測点においては、

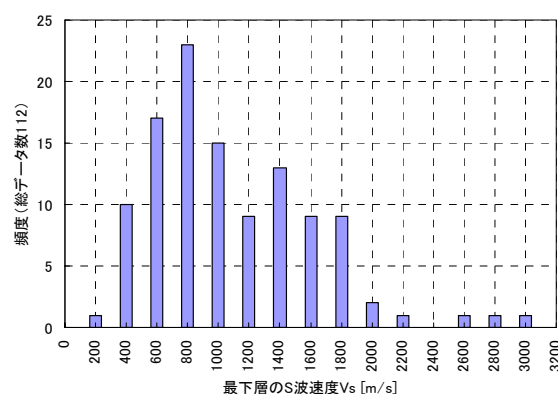


図-2 KiK-net 地中観測深度の S 波速度頻度分布

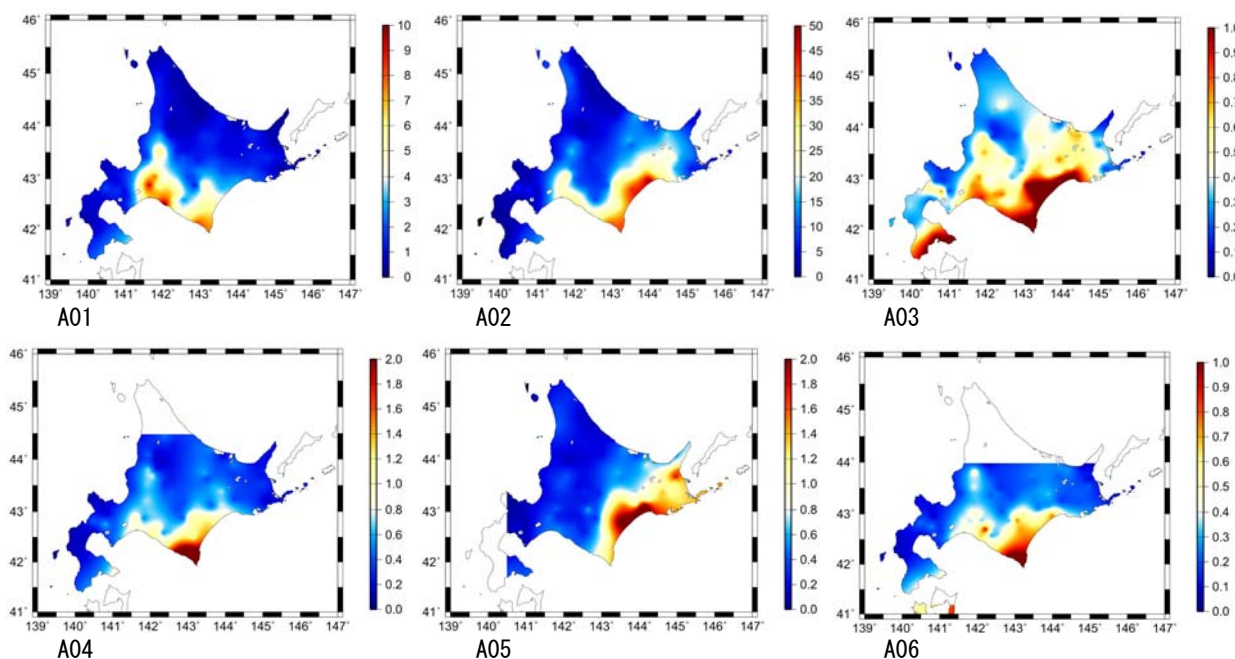


図-3 工学的基盤の最大速度分布

平均的な地表の観測点間の距離は 6.0km であり土木構造物の被害予測に使用する場合、やや粗いと考えられる。そのため、より高密度である 1km メッシュで増幅度分布を推定する検討として、国土数値情報における地形区分を考慮した増幅度について北海道観測記録を元にした回帰係数再設定を試みる。

4. 微地形区分を考慮した表層地盤の増幅度

4. 1 検討条件

微地形区分を考慮した表層地盤の増幅度推定を試みる。本稿における微地形区分を考慮した増幅度推定においては、既往の手法との比較を考慮して翠川・松岡の方

法に従い係数設定を行った。翠川・松岡の方法では、国土数値情報から微地形区分を定め、その微地形区分に対応する計算式に対象地点の標高、あるいは主要河川からの距離を用いる事で、地表から 30m までの平均 S 波速度 AVS を求め、平均 S 波速度 AVS から経験的關係式を用いて増幅度 ARV を求める。

検討内容を以下に記す。初めに平均 S 波速度から表層地盤の増幅度を求める回帰係数の再設定を試みる。次に、北海道の微地形区分に対応する標高および主要河川からの距離から平均 S 波速度を求める回帰係数の再設定を試みる。

表層地盤の増幅度は係数設定の対象地震の大きさにより変動するものと考えられる。本稿における増幅度は

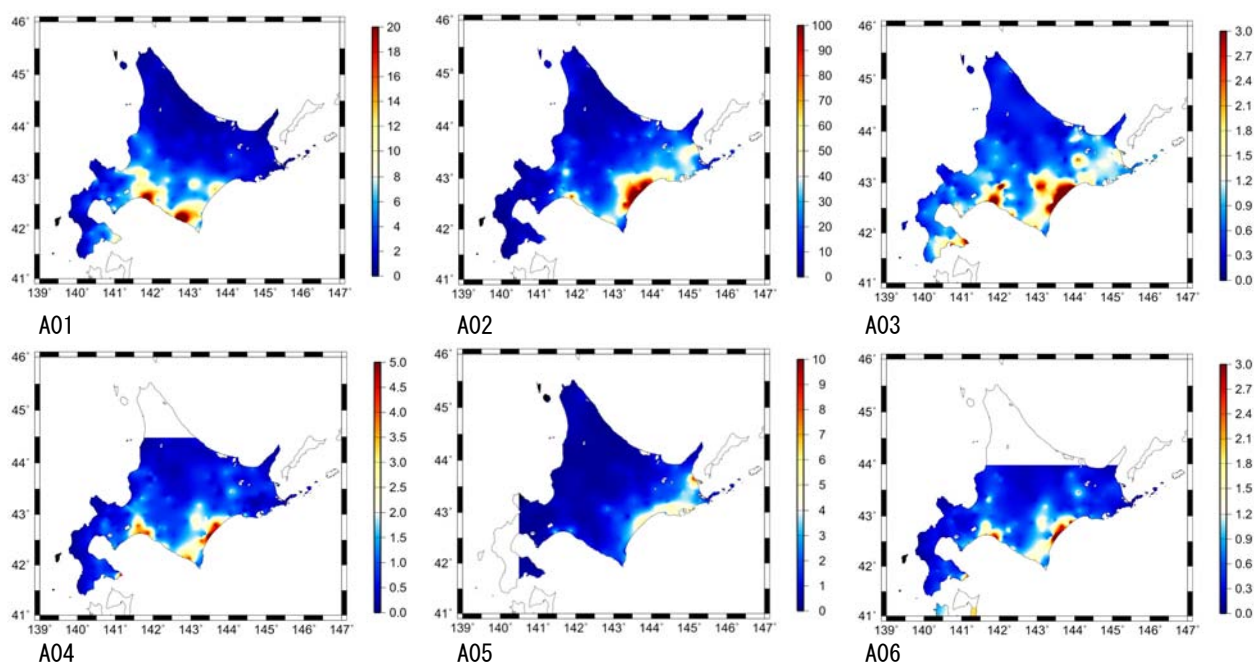


図-4 地表面の最大速度分布

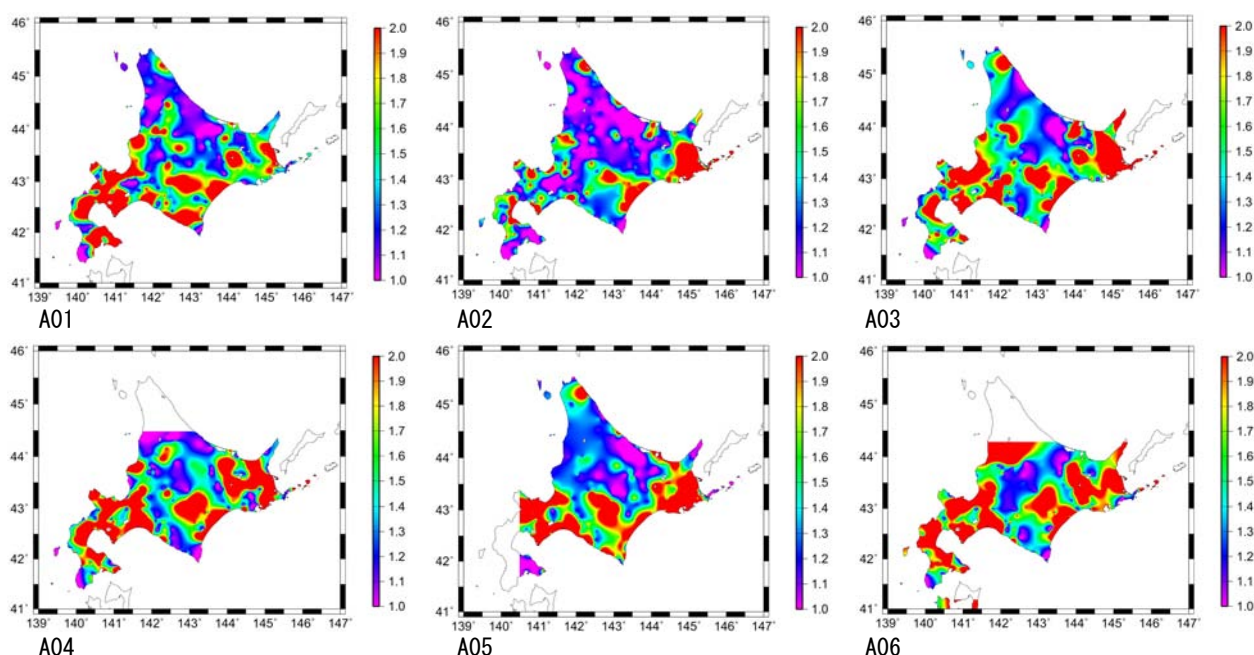


図-5 北海道の観測記録から設定した表層地盤の増幅度分布

土構造物の被害予測に使用するものとし、まず初めに把握しておくべき北海道で観測された代表的な地震として、A02（2003 年十勝沖地震（発生日時 2003 年 9 月 26 日 4 時 50 分））を対象として検討を行った。図 6 に 2003 年十勝沖地震の観測記録を持つ観測点分布を示すが、ほぼ北海道全域に観測記録がある。本稿では、地盤の構造でサイト特性が決まると考え、一つの地震にて検討を行ったが、地震そのものの特性によって非線形の特徴が表れて全体に小さな増幅度になっていると考えられる。そのため、今後多数の地震を用いて検討する必要がある。

4. 2 平均 S 波速度と増幅度

翠川・松岡の方法に従い平均 S 波速度の深度を 30m として北海道の強震観測点の平均 S 波速度と増幅度の関係について検討する。参考として深度を 25m から 5m まで浅くした場合における回帰係数も合わせて求め深度条件を浅くした場合の傾向についても検討する。

平均 S 波速度 AVS の計算式を (2) 式に示す。

$$AVS(D) = \frac{D}{\sum \frac{D_i}{V_{si}}} \quad \dots (2)$$

D: 全層厚 (10~30m)
D_i: 各層の厚さ (m)
V_{si}: 各層の S 波速度 (m/s)

平均 S 波速度と表層地盤の増幅度 ARV の関係式を以下に示す翠川・松岡の方法に従い係数を設定する。

$$\log ARV = a + b \log AVS \quad \dots (3)$$

ARV: 最大速度における表層地盤の増幅度

AVS: 平均 S 波速度

図-7 に深度 30m における平均 S 波速度と表層地盤の増幅度の散布図（計算可能な最大データ数にて回帰係数設定を行った場合）を示す。合わせて回帰直線を示す。また、表-3 に回帰係数 a, b, 標準偏差 σ, 相関係数 r_{xy}, データ

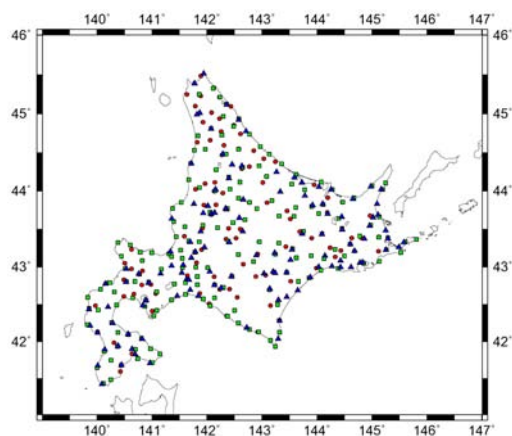


図-6 2003 年十勝沖地震の観測記録を持つ観測点
（赤：K-NET, 緑：KiK-net, 青：Wise）

数 N を示す。参考のため、深度を浅くした場合における回帰係数を求めた結果をならべて示すが、標準偏差からみれば小さな変動の中で深度の大きな条件であるほうが小さい値を示している。本稿では翠川・松岡の方法と比較するために AVS30 を用いるものとする。本検討により得られた平均 S 波速度 AVS30 から表層地盤の増幅度 ARV を求める推定式を以下に記す。

$$\log ARV = 1.08 - 0.38 \log AVS \quad \dots (4)$$

松岡・翠川の方法では回帰係数 b が -0.66 であるのに対して、本稿では -0.38 と小さな値となっている。松岡・翠川の方法において、平均 S 波速度から表層地盤の増幅度を求めたときの対象地震は、1987 年千葉県東方沖地震 (Mj:6.7, 震源位置: 千葉県東方沖) であり、本稿における対象地震は、2003 年十勝沖地震 (Mj:8.0, 震源位置: 十勝沖) である。そのため、本稿で対象とした地震は比較して大規模であり、非線形現象が起こりやすくなっていると推定されるので相対的に増幅度が小さくなっていると考えられる。

4. 3 微地形区分による平均 S 波速度の推定式

北海道の微地形区分から平均 S 波速度を求める事で地域限定の推定式を設定する。微地形区分は国土数値情報から求める。

国土数値情報には多くのデータがあり、自然条件に関する情報として自然地形がある。これは (旧) 国土庁の縮尺 10~20 万分の 1 の土地分類図に基づいたものであり、緯度方向に 30 秒、経度方向に 45 秒 (約 1km×1km) の地域

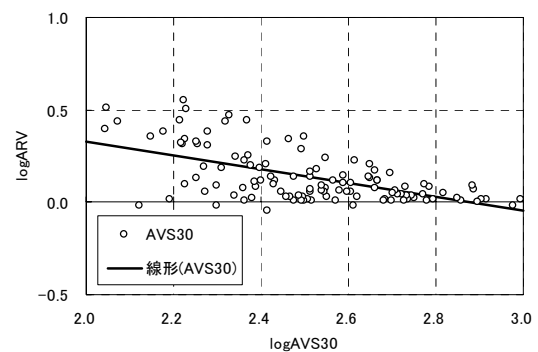


図-7 増幅度 ARV と平均 S 波速度 AVS の散布図
（計算可能な最大データ数を使用した場合）

表-3 回帰係数一覧（選定地震 A02）

	AVS30	AVS25	AVS20	AVS15	AVS10
係数 a	1.08	0.98	1.01	0.85	0.79
係数 b	-0.38	-0.34	-0.35	-0.30	-0.28
標準偏差 σ	0.11	0.12	0.14	0.15	0.16
相関係数 r _{xy}	-0.60	-0.54	-0.45	-0.37	-0.31
データ数 N	119	125	227	257	355

※例えば [AVS30] は深度 30m までを条件とした平均 S 波速度とする。

基準メッシュごとに与えられている。メッシュは 20 万分の 1 の 1 次メッシュ (2/3 度×1 度)、それを緯度・経度方向に 8 分割した 2 次メッシュ (5 分×7.5 分)、さらに 2 次メッシュを緯度・経度方向に 10 分割した 3 次メッシュ (30 秒×45 秒) に細分化されている。さらに標高については、3 次メッシュを緯度・経度方向に 4 分割した 1/4 細分区分で与えられている。我々は翠川・松岡の方法に従う微地形分類を同様に設定する事で、全国を対象とした場合の回帰係数と比較を行う事ができると考え、3 次メッシュにおいて与えられた地形分類を用いて翠川・松岡の方法に基づき微地形区分を行う事とした。藤本・翠川の方法、若松らの方法に対する比較についても本来行うべき項目であるが、今後の課題とする。

本検討において国土数値情報から微地形区分に変換する際の対応表を表-4 に示す。図-8 に北海道内の微地形区分の分布図を示す。但し、微地形区分によっては深度 30m までの平均 S 波速度情報を持つ観測点が無いものがある。そのため、観測点データから 3 次メッシュ点上の補間データを求めておき、回帰係数は散布図で観測点データ分布と補間データの分布状況を確認して、以下の 3 通りの方法から選択し設定する。

- ①対象区分内に深度 30m までの平均 S 波速度データ (AVS30) を持つ観測点がある場合、観測点の平均 S 波速度データに対して回帰係数を設定する。
- ②深度 30m までの平均 S 波速度データ (AVS30) は持たない観測点においても、観測記録を用いて推定式 (4) の逆算から観測点上の AVS30 が仮定できる場合、「観測記録による AVS30」として回帰係数を設定する。
- ③区分に因らない AVS30 の 3 次メッシュの補間値を観測点上の AVS30 を用いて求め、対象区分の位置に対応する補間値を対象区分の AVS30 として回帰係数を設定する。

また、分布形状から有効な回帰係数が設定できない場合や、分布形状から傾き 0 に近い場合は、平均値を求め、傾き 0 の回帰式の係数とした。

平均 S 波速度の推定式は翠川・松岡の方法に従い、以下の回帰式を用いて係数の設定を行った。

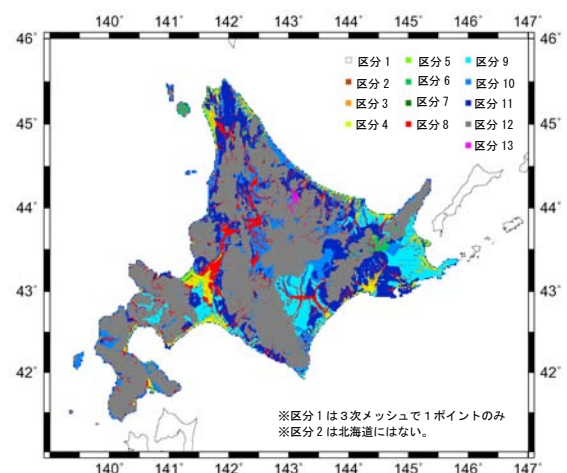
$$\text{LogAVS} = a + b \log H + c \log D \quad \cdots (5)$$

AVS: 平均 S 波速度 (深度 30m)

H: 標高 (m)

D: 主要河川からの距離 (km)

図-9 に回帰係数設定のための散布図を示す。区分 1 においては対象地点が 1 箇所であるため、固定値とした。区分 2 においては北海道内に対応する区分が無いため、翠川・松岡の方法における係数を括弧付きで記す。区分 3 においては、観測記録による AVS30 の分布状況を見て平均値として回帰係数を設定した。区分 4 においては、観測記録による AVS30 のばらつきが大きいため、AVS30 を持つ観測点データの平均値から回帰係数を設定した。区分 5 においては観測記録による AVS30 の分布状況を見て平均値として回帰係数を設定した。区分 6 においては観測記録による AVS30 はばらつきが大きいため補間データから回帰係数を設定した。区分 7 においては設定対象となる観測点がないため、補間データを対象とし、分布形状から平均値として係数を設定した。区分 8 においては観測記録による AVS30 の分布状況を見て回帰係数を設定した。区分 9 においては観測記録による AVS30 と補間データの形状がほぼ同じであり、観測記録による AVS30 から有効な回帰係数設定が困難であると考え補間データを用いて回帰係数の設定を行った。区分 10 においては、観測記録による AVS30 の分布形状を見て係数設定を行った。区分 11 においては観測記録による AVS30 から係数設定を行った。区分 12 においては観測点による AVS30 と補間データの分布がほぼ一致しており、観測記録による AVS の分布形状はばらついているため、補間データから回帰係数設定を行った。区分 13 においては対象となる観測点が無いため、補間データによる係数設定とし分布形状を確認して平均値による係数設定とした。回帰係数の一覧を表-5 に示す。



結果として、係数cは全て0となっている。係数cを回帰係数として設定する際に河川からの距離が影響する場合、河川から離れるにつれて地盤は固くなると考えられるため、傾きがプラスとなり、AVS30が増加する傾向になると推測される。そのような傾向が見られない場合は河川からの距離が影響していないと考え、傾きを0として設定する事とした。

4. 4 北海道観測記録に基づき微地形区分を考慮したサイト特性

図-10に、北海道観測記録に基づき微地形区分を考慮したサイト特性を示す。北海道の観測記録による増幅度分布（図-5、A02）と比べると、概ね同様の起伏が見られ、微地形区分毎の影響を反映して、細かな形状が現れ観測記録

による増幅度分布に比べて細かな分解能での推定が行われている。しかし、十勝支庁付近における特性は、地盤条件から考えれば河川に近づくほど高い値を示す傾向が想定されるが、そのような傾向とならない課題が生じている。北海道の増幅度分布を微地形区分のみから地域特性を反映させようとすると区分によっては表現しきれない部分があると考えられ、さらに細区分することで改善される問題であるか検討する。

5. 細分化した地域特性考慮による増幅度推定

5. 1 課題と検討内容

北海道の観測記録を用いた増幅度分布の推定において、微地形区分による地域特性の反映のみでは、地域によって観測記録から設定した増幅度分布の傾向、および地盤の特

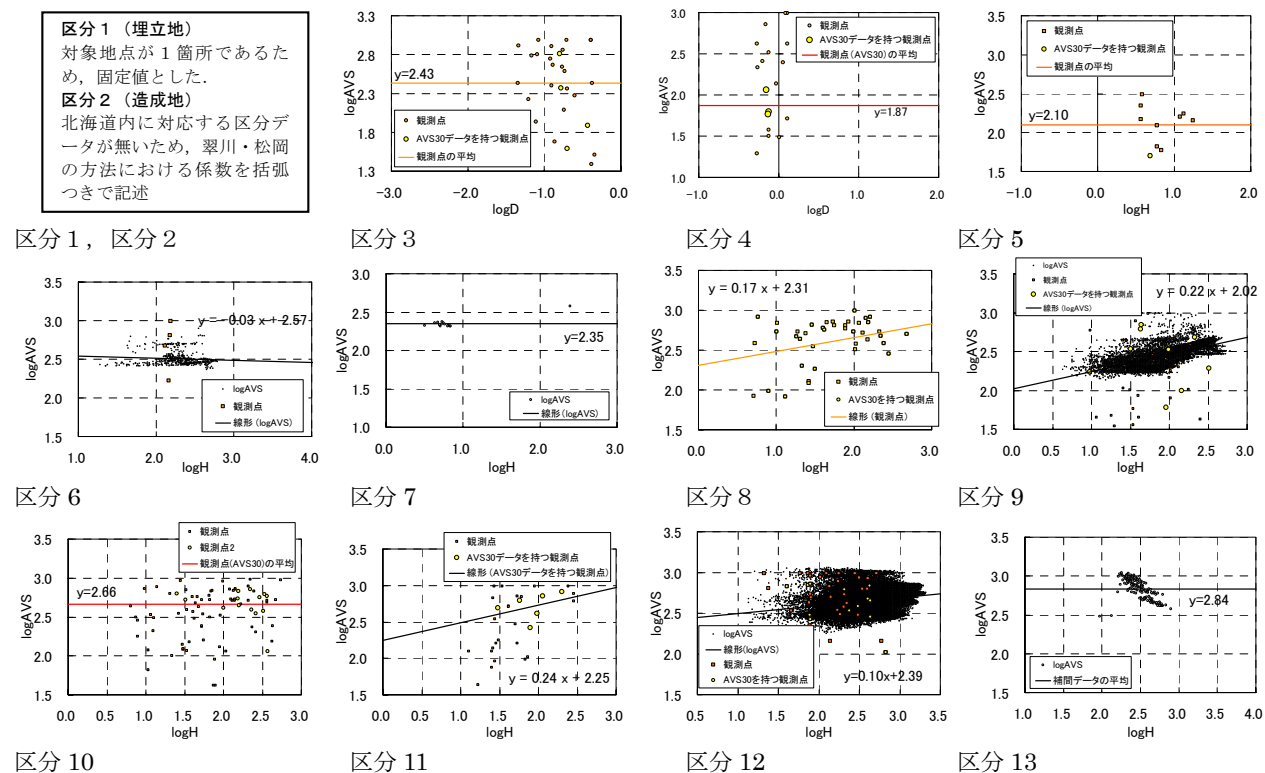


図-9 回帰係数設定のための散布図

表-5 微地形区分による係数一覧

微地形区分	a	b	c	微地形区分に する観測点数	N(観測点情報 による)	N(推定式(4)の 逆算による)	N(補間処理に よる)	手法
①埋立地	2.6	0	0	0	0	0	1	5
②造成地	-2.26	0	0	0	0	0	0	5
③三角州・後背湿地(D≤0.5)	2.36	0	0	8	7	28		4
④三角州・後背湿地(D>0.5)	1.87	0	0	10	3	20		4
⑤自然堤防	2.1	0	0	7	1	10		4
⑥谷床	2.57	-0.03	0	0	0	4	528	3
⑦砂州	2.35	0	0	0	0	2	16	4
⑧扇状地	2.31	0.17	0	27	21	40		2
⑨ローム台地	2.04	0.21	0	14	10	42	8191	3
⑩砂礫台地	2.66	0	0	23	0	14		3
⑪丘陵	2.25	0.24	0	19	6	33		3
⑫その他	2.39	0.1	0	26	14	51	42761	3
⑬先第三紀	2.84	0	0	0	0	2	148	4

手法1・・・観測点のAVS30に対して回帰係数を設定する。
 手法2・・・推定式(4)の逆算から求めたAVS30に対して回帰係数を設定する。
 手法3・・・補間処理により求めた3次メッシュ上のAVS30に対して回帰係数を設定する。
 手法4・・・平均値を求め、傾き0の回帰係数を設定する。
 手法5・・・その他(区分に対応する地点が1点のみである場合、区分がない場合。)

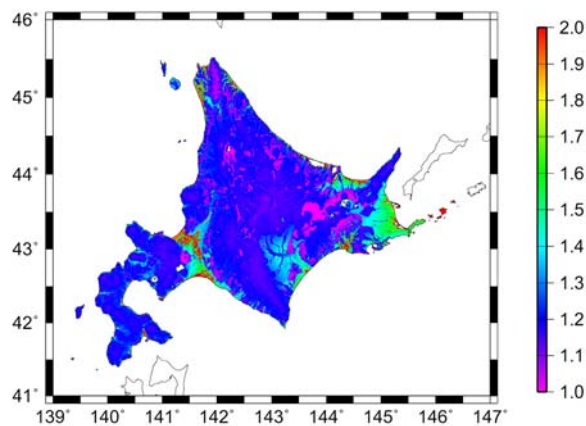


図-10 微地形区分を考慮した増幅度分布

性から想定される傾向とは異なる部分が一部生じている。北海道は北米プレート、太平洋プレート、ユーラシアプレートの影響を受けて形成された胴体部を、南北に走る中軸衝突帯、日高衝突帯を持ち、さらに千島列島から延びてきた火山フロントにより北東部、南東部、中央部に分けられる。このように分断された地域特性を考えると、北海道の中で同一区分であっても地域毎に特性が異なる可能性がある。故に、同一の微地形区分の中で地域を細分化した場合について検討する。検討対象は、扇状地の区分を対象としたものであるが、他の微地形区分においても地域を分ける事で異なる傾向が見られる可能性があるため、特徴的な地域を選定できる微地形区分を検討対象とした。

5. 2 範囲選定による回帰係数検討

図-11 に、微地形区分毎の検討範囲の選定設定を示す。区分3（河川からの距離が500m以内の三角洲）では、検討用の選定範囲をエリア1からエリア4までの4範囲とした。区分4（河川からの距離が500mを超える三角洲）

では、検討用の選定範囲をエリア1からエリア4までの4範囲とした。区分5（自然堤防）では、検討用の選定範囲を、エリア1からエリア3までの3範囲とした。区分6（谷床）は、検討用の選定範囲をエリア1の1範囲とし、範囲選定を行う前後での変化を調べる事とした。区分8（扇状地）では、検討用の選定範囲をエリア1からエリア3までの3範囲とした。区分9（ローム台地）では、検討用の選定範囲をエリア1からエリア5までの5範囲とした。区分11（丘陵）では、検討用の選定範囲をエリア1からエリア2までの2範囲とした。区分12（その他）では、検討用の選定範囲をエリア1からエリア4までの4範囲とした。これらの選定範囲を元に各々の散布図を作成し回帰係数を求めた。

図-12 に細分化したエリアにおいて回帰係数を再設定した条件の散布図を示す。観測点の AVS30、3次メッシュ点上の AVS30 補間データ、細分化前の回帰直線を重ねて示す。区分3のエリア2においては観測点の AVS30 と補間データの分布位置がずれており、観測点の AVS30 は細分化前の回帰係数とは傾向が異なると考え、観測点の AVS30 に対

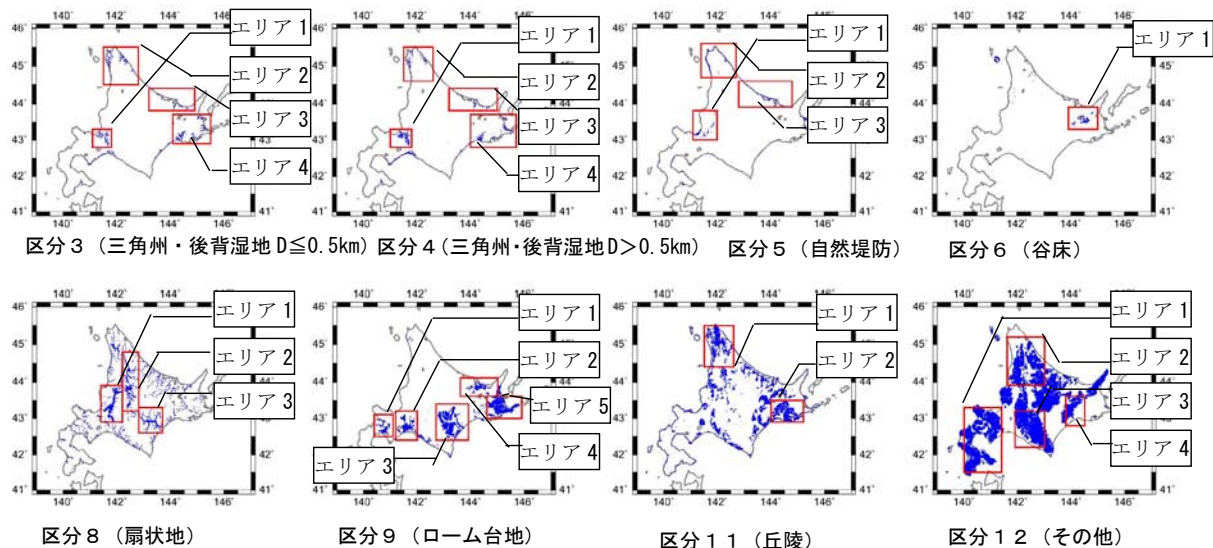


図-11 微地形区分毎の検討範囲選定

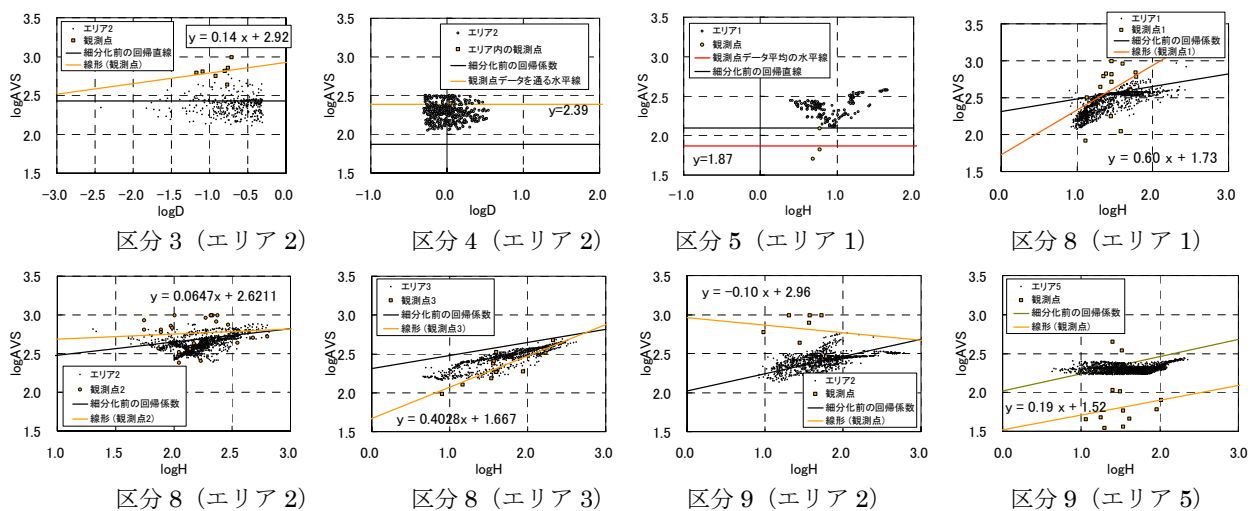


図-12 回帰係数設定のための散布図（細分化検討）

して係数を再設定した。区分4のエリア2において観測点の AVS30 と補間データの分布は同様な位置に分布しており、細分化前の回帰係数と異なる傾向であると考え、観測点の AVS30 に対して係数を再設定した。区分5のエリア1においては観測点の AVS30 と補間データの分布位置は異なる傾向であり、分布形状を確認の上、観測記録から求めた AVS30 に対して回帰係数を設定した。区分8におけるエリア1からエリア2においては、観測点の AVS30 と保管データの分布位置はやや異なり、エリア3においては大きく異なっている。8分類においては、細分化前に設定された回帰係数と異なる傾向であり、対応する範囲における観測点情報を反映させるために観測点の AVS30 に対して回帰係数を設定した。区分9においても観測点の AVS30 と補間データの分布位置は異なる傾向であり、エリア2、エリア5における係数が細分化前の回帰係数に違いがあると考え、係数の再設定を行った。表-6に、条件設定を反映させて修正した微地形区分に対する係数一覧を示す。

区分3においては、北海道全体の観測記録から回帰直線を設定した場合はほぼ0に近い傾きとなったために0として設定していたが、エリア2を限定して回帰直線を設定した場合にはデータの分布に即した傾きが生じ、回帰係数cに傾きが生じている。この結果からは、エリア選定により特徴的な傾向が現れ、地域特性の影響が現れた結果であると考えられる。

5. 3 細分化した地域特性考慮によるサイト特性

検討結果を元に、サイト特性の推定を行った。図-13に、条件設定を反映させて修正したサイト特性を示す。その結果、軟弱な地盤であり高い増幅度を示すと考えられる十勝川流域の扇状地区分が高い値を示す結果となった。図-14に十勝支庁近辺の扇状地区分に位置する観測点上の増幅

度を示す。増幅度は観測記録による増幅度に対して近い値を示す結果が得られている。翠川・松岡の方法による増幅度推定値はばらつきを考慮して標準偏差の範囲内で変動するものとしているが、その中央値について比較した場合、提案手法による増幅度推定値のほうが近い値を示す結果が得られている。

6. まとめ

北海道に地域を限定した表層地盤の増幅度推定を試みた。本検討により得られた結果を以下に記す。

- ①検討対象として選定した6地震の観測記録を用いて表層地盤の増幅度を設定した。その結果、概ね同傾向の分布が得られている事を確かめた。
- ②北海道における微地形区分を考慮した増幅度推定の係数設定を行った。2003年十勝沖地震の観測記録を用いて、平均S波速度から増幅度を算出する回帰係数を設定した。さらに、翠川・松岡の方法に従い、国土数値情報を元として微地形区分毎の係数を設定した。その結果、概ね観測記録による増幅度と同様の傾向を示す結果が得られた。しかし、軟弱な地盤であり高い値を示すと考えられる十勝川流域（扇状地区分）における増幅度が周囲より低い値を示す課題が生じた。
- ③更に細分化した地域特性を考慮するために微地形区分毎に特徴的な範囲を選定し係数の再設定を試みた。その

表-6 微地形区分に対する係数一覧

微地形区分	係数a	係数b	係数c	N(観測点情報による)	N(推定式(4)の逆算による)	N(補間処理による)	手法
①埋立地	2.6			0	0	1	5
②造成地	-2.26			0	0	0	5
③三角州・後背湿地 (D≤0.5)	2.36			7	28		4
エリア2	2.92		0.14		7		2
④三角州・後背湿地 (D>0.5)	1.87			3	20		4
エリア2	2.39				1		4
⑤自然堤防	2.1			1	10		4
エリア1	1.87				3		4
⑥谷床	2.57	-0.03		0	4	528	3
⑦砂州	2.35			0	2	16	4
⑧扇状地	2.31	0.17		21	40		2
エリア1	1.73	0.6			14		2
エリア2	2.62	0.06			23		2
エリア3	1.67	0.4			9		2
⑨ローム台地	2.04	0.21		10	42	8191	3
エリア2	2.96	-0.1				1021	3
エリア5	1.52	0.19			13		2
⑩砂礫台地	2.66			0	14		3
⑪丘陵	2.25	0.24		6	33		3
⑫その他	2.39	0.1		14	51	42751	3
⑬先第三紀	2.84			0	2	148	4

手法1…観測点の AVS30 に対して回帰係数を設定する。

手法2…推定式(4)の逆算から求めた AVS30 に対して回帰係数を設定する。

手法3…補間処理により求めた3次メッシュ上の AVS30 に対して回帰係数を設定する。

手法4…平均値を求め、傾き0の回帰係数を設定する。

手法5…その他（区分に対応する地点が1点のみである場合、区分がない場合。）

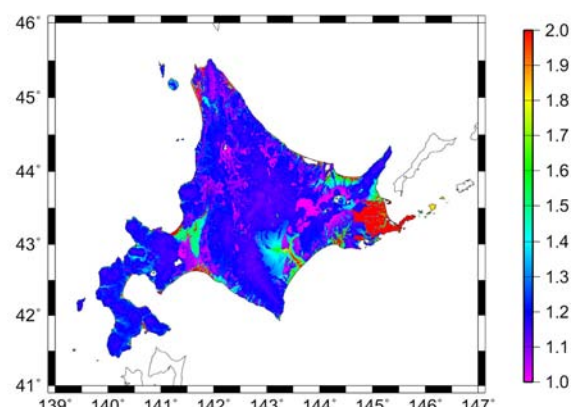


図-13 細分化による係数設定を行った増幅度分布

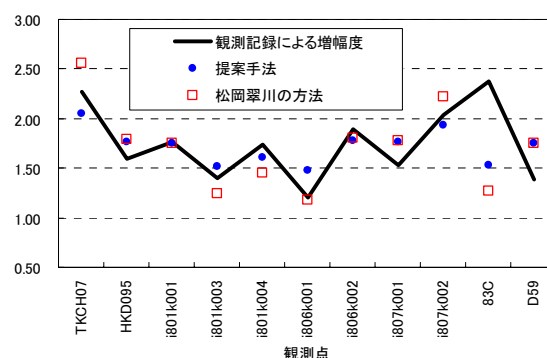


図-14 十勝支庁の観測地点(扇状地区分)の増幅度確認

結果、扇状地の区分においては選定した地域毎に傾向が分かれる特性が見られ、細分化により観測記録による増幅度分布と同様の傾向となり、十勝川流域において高い特性を示す結果となった。さらに、観測地点上の増幅度と比較したところ、ほぼ一致する結果を得た。

さらに進めていくべき今後の課題点を以下に記す。

- ①国土数値情報による微地形区分による分類は、面的な増幅度推定のために有効である手法であるが、精度は低いと考えられる。地域の細分化を含めた精度向上の余地が残るため、今後検討していく。
- ②表層地盤の情報による経験的關係式による増幅度推定手法は散布図にデータをプロットした傾向から考えて高い精度を望みにくいと考えられる。そのため、今後できるだけ多くの地盤調査を行い地盤データを蓄積し各地点の増幅度を求めるべきと考えられる。
- ③本稿では、地盤の構造でサイト特性が決まると考え、一つの地震にて検討を行ったが、地震そのものの特性によって非線形の特性が表れて全体に小さな増幅度になっていると考えられる。そのため、今後多数の地震を用いて検討する必要がある。
- ④本手法から推定したサイト特性の妥当性について、今後、藤本・翠川の方法を含む他機関の方法と比較しながら改善の方法を検討していく。

謝辞

本研究においては防災科学技術研究所の地震観測網である KiK-net, K-NET の観測記録および地盤情報を利用させていただきました。また、気象庁(JMA)の強震波形観測記録を使用させていただきました。

<参考文献>

- 1) 中央防災会議, <http://www.bousai.go.jp/chubou/chubou.html>
- 2) 地震調査研究推進本部, <http://www.jishin.go.jp/main/>
- 3) 「全国を概観した地震動予測地図」2007年版, http://www.jishin.go.jp/main/chousa/07_yosokuchizu/index.htm
- 4) 三輪滋, 池田隆明, 綾部孝之, 沼田淳紀, 2000年鳥取県西部地震における境港市の地盤の地震時挙動, 構造工学論文集, 48A, pp. 445-455, 2002.
- 5) 清水善久, 石田栄介, 磯山龍二, 山崎文雄, 小金丸健一, 中山渉: 都市ガス供給網のリアルタイム地震防災システム構築及び広域地盤情報の整備と分析・活用, 土木学会論文集, No. 738, 283-296, 2003.
- 6) 国土数値情報, <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>
- 7) 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. 6, 519-529, 1995
- 8) 久保智弘・久田嘉章・柴山明寛・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, 56巻, 21-37, 2003
- 9) 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, 13-27, 2003
- 10) 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, 213-232, 2004. 4

- 11) 佐藤 京, 池田憲二, 山本明夫, 篠原秀明, 佐々木克憲: 地震情報伝達システム (WISE) を用いた地盤の地震動増幅度の検討, 第11回日本地震工学シンポジウム, 643-646, 2002.
- 12) 防災科学技術研究所 基盤強震観測網 KiK-net, <http://www.kik.bosai.go.jp/kik/>
- 13) 防災科学技術研究所 強震ネットワーク K-NET, <http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/>
- 14) 気象庁 震度データベース検索, http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/shindo_db/shindo_index.html
- 15) Smith, W. H. F., and P. Wessel, Gridding with continuous curvature splines in tension, Geophysics, vol. 55(3), pp. 293-305, 1990.

(2007年9月18日受付)