

北海道の地震動観測記録によるサイト特性設定の試み (その1: 平均S波速度の深度条件によるばらつきの検討)

Study of Site Amplification factors by Earthquake in Hokkaido
Part1: Depth setting of average shear-wave velocity

飛島建設(株) 技術研究所 ○正員 三輪 滋 (Shigeru Miwa)
飛島建設(株) 技術研究所 正員 上明戸 昇 (Noboru Kamiakito)
(独) 寒地土木研究所 正員 佐藤 京 (Takashi Satoh)
(独) 寒地土木研究所 正員 石川 博之 (Hiroyuki Ishikawa)
飛島建設(株) 技術研究所 正員 池田 隆明 (Takaaki Ikeda)

1. はじめに

地震動評価・およびリアルタイム地震防災に用いるための基盤から地表までのサイト特性(増幅特性)の設定では国土数値情報を用いた松岡・翠川の方法¹⁾が用いられることが多い。この方法では、国土数値情報により分類された微地形を基準とし、主要河川からの距離や標高によって表層30mの平均S波速度を算出し、平均S波速度から最大速度の増幅度に変換するものである。著者らは、北海道の観測地震動に基づき、北海道のサイト特性設定を試み、微地形区分を考慮したサイト特性について検討を進めている²⁾³⁾。本報では地震動の推定精度向上のために観測点数を増やす事を考えてサイト特性設定手順における平均S波速度の深度を変えた場合における経験的関係式設定時の散布図ばらつきの傾向を調べ、深度条件に対する回帰係数の変動について検討した結果について報告する。

2. サイト特性設定手順と平均S波速度

サイト特性設定手順は、松岡・翠川の方法に従うものとし、以下に記す。

- ①地震観測記録を用いて観測所の地盤特性から平均S波速度を求め、観測記録から求められた工学的基盤から地表への速度振幅最大値における増幅度を求め、平均S波速度と増幅度の散布図から経験的関係式(回帰係数)を設定する。
- ②地表面の情報として国土数値情報⁴⁾を元とした微地形区分を設定し、区分に対して標高、河川からの距離と平均S波速度の経験的関係式(回帰係数)を設定する。
- ③操作①、操作②から得られた経験的関係式を用いる事で観測所の無い座標点における増幅度を推定する。このとき国土数値情報、標高、主要河川からの距離を入力パラメータとして対応座標における増幅度を推定する。
- ④推定された座標に対する増幅度から北海道全域の増幅度分布を設定し、これをサイト特性とする。

図1にサイト特性設定の流れと本報における検討範囲を示す。また、本報における工学的基盤は既報¹⁾の調査に基づき $V_s=400\text{m/s}$ 以上としている。また、地表面の観測記録のみである観測所においては、工学的基盤に対応する観測記録の速度最大値から3次メッシュ(45秒×

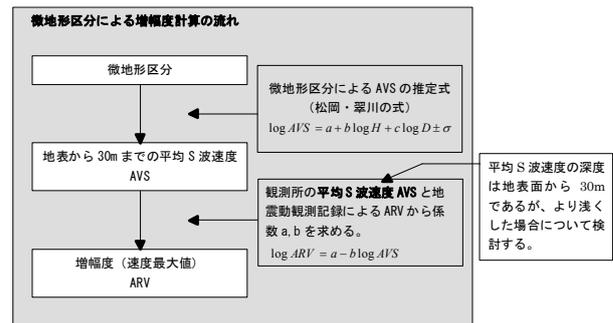


図1 サイト特性設定手順と検討範囲

30秒)に対応する補間値を求め、これを工学的基盤の速度最大値として使用して地盤増幅度を求めている。

以上の操作における中で操作①における平均S波速度は深度30mによるものである。計算式を以下に示す。

$$\text{平均S波速度 } AVS(d) = \frac{D}{\sum \frac{D_i}{V_{si}}} \quad \dots (1)$$

D: 全層厚(30m)

D_i : 各層の厚さ(m)

V_{si} : 各層のS波速度(m/s)

この平均S波速度について、より浅い条件とすることが可能であれば観測記録から求められる地盤増幅度のデータ数を増やす事ができると考え、段階的に深度条件を変えた場合の係数およびばらつきの変動について検討する。

3. 対象とする観測点

対象とする観測点は北海道内に観測点を持つ地震観測網であるK-NET⁵⁾、KiK-net⁶⁾、Wise²⁾とした。観測点の地盤情報を確認し、計算可能な深度を確かめた上で深度30m、25m、20m、15m、10mの平均S波速度を算出し観測記録から求めた地盤増幅度との経験的関係式(回帰係数)の変動を検討するものとした。また、検討対象とする選定地震は2003年十勝沖地震とした。図2に対応する観測点の分布図を示す。

4. 対象深さの違いによる平均S波速度の傾向検討

4.1 平均S波速度分布図による傾向検討

図3に観測所に対応する平均S波速度の変動について深度条件30mを基準として昇順並べ替えを行い、観測点に対応する深度条件25m,20m,15m,10mの平均S波速度をプロットしたグラフである。平均S波速度の大きい観測点であるほうが、深度条件を変える事による変動も大きい傾向であると考えられる。また、深度条件の変動による平均S波速度の変動は観測点により異なり、段階的に減少する箇所と変動の小さい箇所が見られる。

4.2 平均S波速度と増幅度の回帰係数設定

平均S波速度と観測記録による増幅度の回帰係数を散布図から設定する。図4に散布図と回帰直線、表1に回帰係数一覧を示す。ただし、左図、左表は平均S波速度の深度条件変更に対してデータ数を一定とした場合、右図、右表は平均S波速度の深度条件変更に対して使用可能データの最大数を用いる場合の図である。回帰係数a,bは $\log ARV = a + b \log AVS \pm \sigma$ における係数a,bに対応する。

作成された散布図上の回帰係数を見ると、深度条件による回帰係数の変動に比べて、平均S波速度と増幅度から示される散布図のばらつきのほうが大きく、今回検討した30mから10mの範囲における回帰係数は同等に扱えるものと考えられる。

一般に平均S波速度は深度条件を浅くするにつれて表層のS波速度に近づく事から減少する傾向となる事が予想される。また、対応する観測記録による増幅度の数値は一定である。深度条件の違いによる回帰直線の傾きの変動を見ると0に近づく傾向が見られる。回帰直線の傾きが0に近づく挙動は予測式から得られる増幅度の

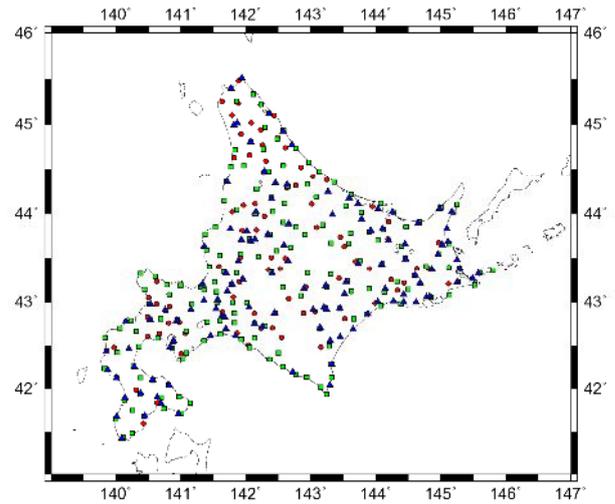


図2 2003年十勝沖地震の観測記録を持つ観測点 (赤：K-NET, 緑：KiK-net, 青：Wise)

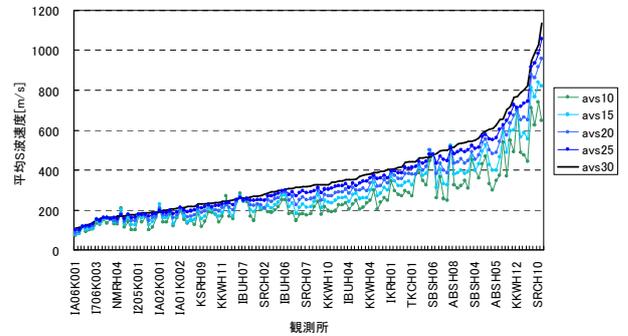


図3 観測所に対応する平均S波速度の変動

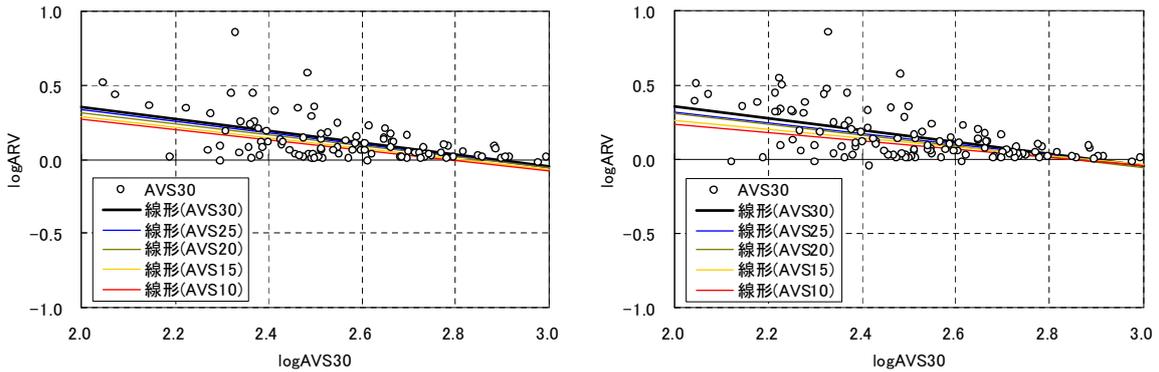


図4 散布図と回帰係数

(左：データ数を一定とした場合、右：使用可能データの最大数を用いた場合)

表1 回帰係数一覧 (左：データ数を一定とした場合、右：使用可能データの最大数を用いた場合)

	AVS30	AVS25	AVS20	AVS15	AVS10
係数 a	1.15	1.12	1.07	1.01	0.94
係数 b	-0.40	-0.39	-0.38	-0.36	-0.34
標準偏差 σ	0.13	0.13	0.13	0.14	0.14
データ数 N	121	121	121	121	121

	AVS30	AVS25	AVS20	AVS15	AVS10
係数 a	1.15	1.04	1.03	0.87	0.81
係数 b	-0.40	-0.36	-0.36	-0.30	-0.29
標準偏差 σ	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17
データ数 N	121	127	229	259	357

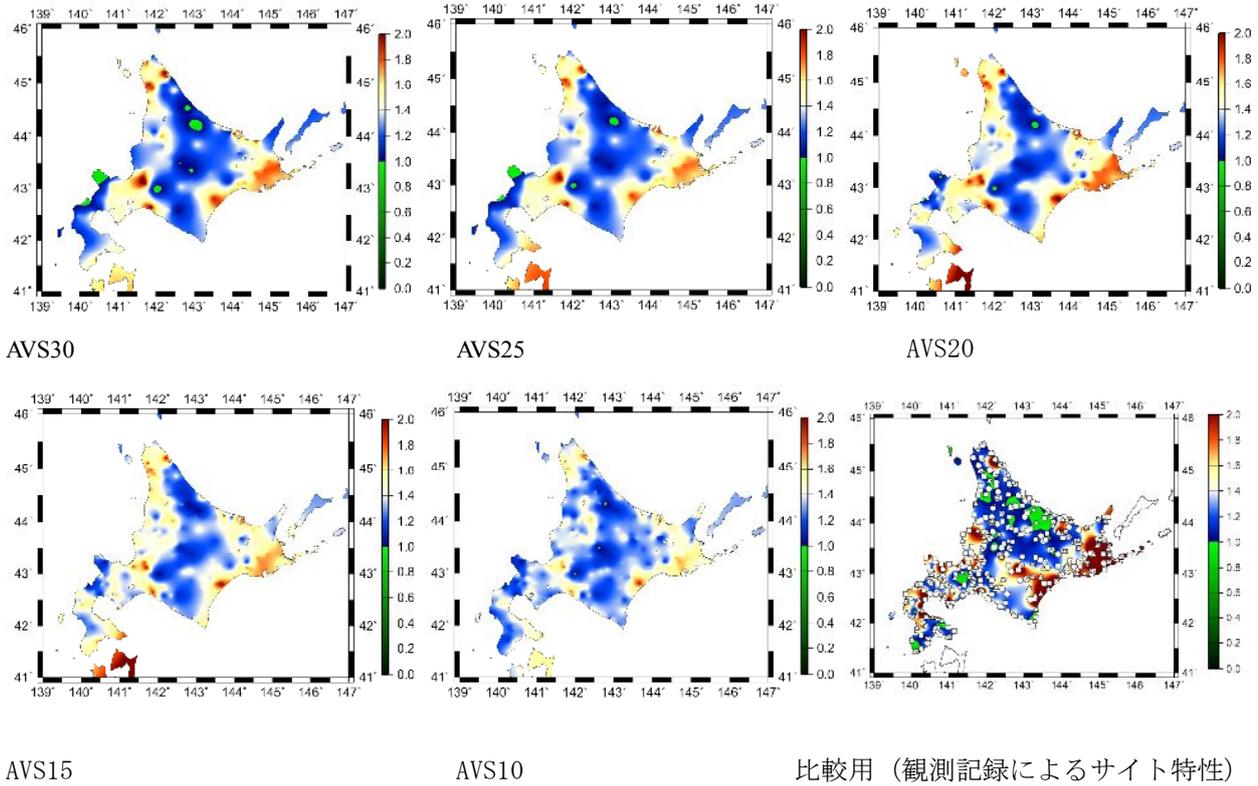


図5 平均S波速度 AVS から求めた最大速度増幅率 ARV (A02の回帰係数による)

増減が小さくなると推定される。

増幅度の数値は1より小さな値がほとんど無く、対数換算した散布図上において回帰係数を作成する元の散布状況は X 軸周辺にプロット点が集中する傾向が見られ、この傾向を反映した回帰係数が設定される事が推定される。平均 S 波速度の深度変化による回帰係数は、データ数を一定とする場合（主として平均 S 波速度の深度条件が変わる事による傾向を見る目的で作成した）、算出可能な最大数をデータとする場合（使用可能なデータ最大数を用いる事で深度条件を浅くした場合には回帰係数設定元のデータをより現実に近い係数が設定される事を見込んで作成した）について示したが、平均 S 波速度と増幅度の散布図のばらつきに対して回帰係数の変動は小さい傾向は双方の場合において同様の傾向が見られている。そのため、サイト特性の変動検討には深度条件に対して算出可能な最大数をデータとした場合の回帰係数を用いて検討するものとした。

4. 3 平均 S 波速度 AVS から求めた最大速度増幅率 ARV

平均 S 波速度 AVS から求めた最大速度増幅率 ARV 分布を図 5 に示す。深度条件は 30m,25m,20m,15m,10m である場合の分布図であるが、平均 S 波速度と増幅度の散布状況におけるばらつきが深度条件による回帰係数の変動より大きいため、全体的に見て同様の分布図が得られている。ただし、細かな傾向としては、深度条件を浅

くするにつれて回帰係数の傾きが 0 に近づく事から凹凸がなだらかなる傾向が見られる。

4. 4 平均 S 波速度の深度条件に対する増幅度の傾向について

図 6 に十勝沖地震観測記録に対して観測点に対応する観測記録による増幅度と平均 S 波速度による増幅度の差の絶対値を求め深度 30m までの平均 S 波速度に対して昇順並べ替えを行った図を示す。

この結果では、観測記録による増幅度と平均 S 波速度の対応は場所により大きな差となっており平均 S 波速度の深度条件による変動はその差に対して微小である傾向である事がわかる。また、平均 S 波速度の深度条件の変化による増幅度の増減も、巨視的には深度を浅くするにつれて観測記録から離れていく傾向であると考えられる。図 7 は観測点に対応する観測記録による増幅度と平均 S 波速度による増幅度の差を求め深度 30m までの平均 S 波速度に対して昇順並べ替えを行ったものである。

この結果では観測記録による増幅度と平均 S 波速度の対応は場所により大きな差となっており平均 S 波速度の深度条件による変動はその差に対して小さい傾向である事がわかる。

平均 S 波速度の深度条件の変化による増幅度の増減も、巨視的にはおよそ-0.2 を境界としてこの値を下回る範囲では平均 S 波速度条件が浅くなるにつれて減少

(差は増加)し、-0.2を越える範囲では平均S波速度の深度条件が浅くなるにつれて増加(差も増加)する傾向が見られる。この傾向をさらに確かめるために深度10mまでの平均S波速度に対して昇順並べ替えを行った図を作成したが、深度が深くなるにつれて差は小さくなる傾向である。

すなわち、平均S波速度について深さ条件による傾向は見られる。しかし、観測記録による増幅度との対応という観点からみれば小さな差異である。また、検討条件内について深さ条件を変える事による標準偏差の変動は0.13から0.14である点からも平均S波速度の深さ条件は今回の検討範囲内では同等のものとして使用できると考えられる。以上の傾向について実的な利用を考えると平均S波速度の深度条件を浅くできれば使用できる観測点数を増やす事ができる。

また、今回の検討条件から考えられる変動傾向として、K-NETでは深度20mまでを基準として地盤データの調査が行われているが、それまでに基盤層が現れた場合その深さで調査を停止している。この条件による観測点情報が深度を浅くするにつれて増加するという事は表層まで硬い層であり増幅度が1に近い情報が散布図上に増える傾向にあるものと考えられる。

5. まとめ

サイト特性の設定を行う際、平均S波速度の深度条件を変えた場合のばらつきについて検討した。その結果、深度条件の変化に対して大きなばらつきとならない事を確かめた。そのため、条件によっては、選定可能な観測点を用いて回帰係数の設定を行う事でより多くの実測値に基づき係数設定が行える可能性があると考えられる。

【謝辞】

本検討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。

【参考文献】

- 1)松岡昌志, 翠川三郎: 国土数値情報とサイスミックマイクロゾーニング, 第22回地盤振動シンポジウム資料集, 23-34, 1994
- 2)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.
- 3)上明戸 昇, 三輪 滋, 佐藤 京, 池田 隆明, 金子孝吉, 岡田 慎哉: 北海道の地震動観測値によるサイト特性設定の試み, 土木学会北海道支部 平成17年度年次技術研究発表会, 2006.2
- 4)国土数値情報, <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>
- 5) <http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/>
- 6) <http://www.kik.bosai.go.jp/kik/>

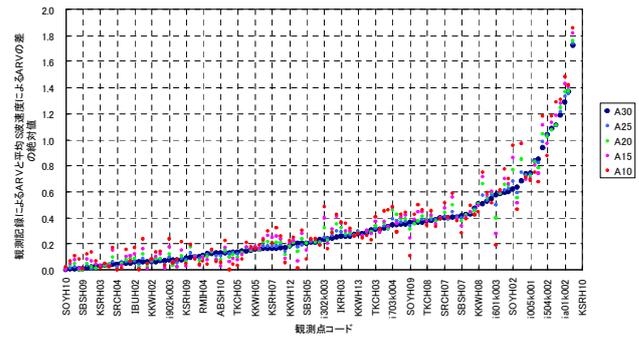


図6 観測記録による増幅度ARVと平均S波速度による増幅度ARVの差の絶対値 (データ数を同数として設定した回帰係数による)

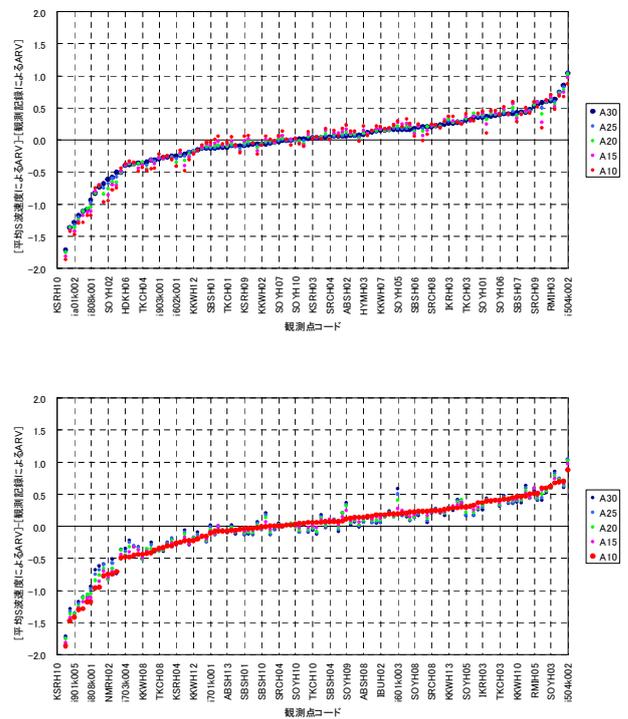


図7 微地形区分と増幅度の関係式による傾向 (上: AVS30を基準とする, 下: AVS10を基準とする)