

北海道における表層地盤増幅率の検討

佐藤 京¹・池田憲二¹・山本明夫²・篠原秀明²・佐々木克憲³

¹正会員 独立行政法人 北海道開発土木研究所 (〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目)

²正会員 応用地質株式会社技術本部 (〒330-8632 埼玉県さいたま市土呂町 2-61-5)

³応用地質株式会社技術本部 (〒330-8632 埼玉県さいたま市土呂町 2-61-5)

北海道開発土木研究所が管理している地震情報伝達システム (WISE) における地震動予測の精度向上を図るために、北海道における表層地盤の増幅率に関して検討を行った。ここでは、北海道全域の地震動予測を行うために、まず観測点 105 箇所の地盤情報をとりまとめ、重複反射理論により伝達関数を求め、工学的基盤における最大速度を求めた。一方、国土数値情報の微地形区分から表層地盤の増幅率を求め、前述の最大速度にこの増幅率をかけて地表の最大速度を求めた。この結果と実際の観測記録の最大速度との比較を行った結果、良い対応をしていることが確かめられた。最終的に、国土数値情報による増幅率を使って、北海道全域の最大速度分布を作成した。

KeyWords : real-time monitoring system, strong motion records, seismic response
digital national land information

1. はじめに

北海道開発土木研究所が管理している地震情報伝達システム (Warning Information System of Earthquake : WISE) は、地震時の道路や河川の被災状況を早期に把握し、利用者に情報を伝達するという役割があり、情報の速時性や確実性が要求される。北海道全域の地震動予測を精度良く求めることが、この後の土木構造物の被害予測の精度に結びつき、さらにこれらの情報によって効率の良い初動体制をとることができる。^{1) 2)}

ここでは、地震動予測方法として、まず地震観測点の地盤情報を収集整理して、地表の観測記録を工学的基盤に戻し、その最大値を補完して全道の工学的基盤における地震動を求める。そして、国土数値情報の微地形区分³⁾から推定される表層地盤の増幅率を求めて、両者をかけることによって地表における地震動を求める方法をとることにした。本稿ではこの方法による地震動の算出結果を実際の観測記録との比較検討を行うとともに、北海道全域における地震動分布を算出した結果を述べる。

2. WISE 観測点における地盤データ収集・整理

地表での観測波形から工学的基盤における波形を求めるために、WISE 観測点ごとの地表から工学的基盤までの地盤モデルを作成した。

各観測点の地盤モデルの作成には、WISE 観測点台

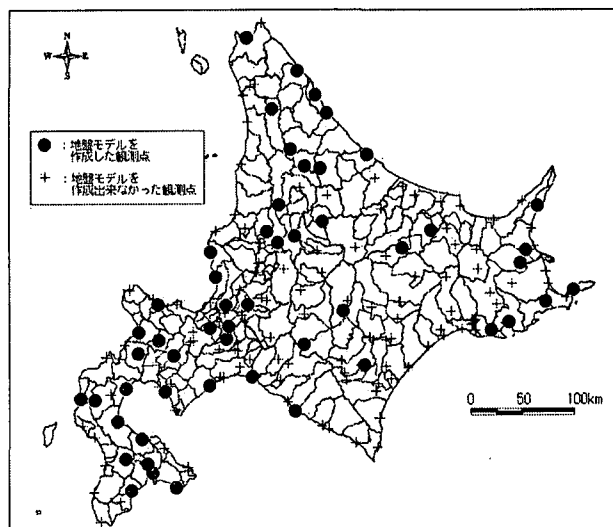


図-1 地盤モデルを作成した地震観測点

帳にボーリングデータがあるものはそれを使用し、無い観測点については、以下のデータを参考に地盤モデルを作成した。

- a) K-net の地盤・PS 検層データ
- b) KiK-net の地盤・PS 検層データ
- c) 既存の地盤図とボーリングデータ

c) のデータから S 波速度構造を作成する際に PS 検層データが無い観測点については、道路橋示方書耐震設計編⁴⁾による N 値と S 波速度の関係を用了。

なお、地盤モデルを作成した観測点は、WISE の全観測点 146 点のうち 105 点であった。図-1 に地盤モデルを作成した WISE 観測点分布を示した。

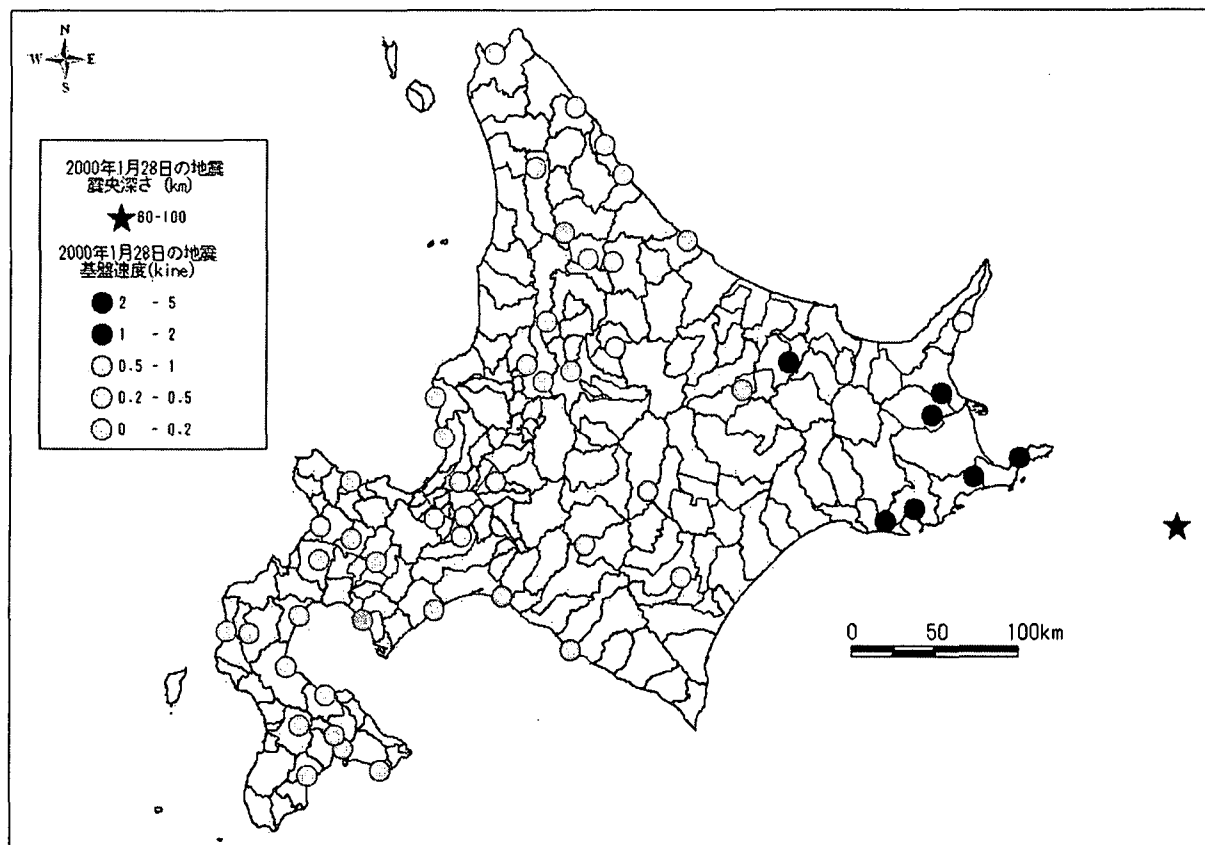


図-2 解析対象地震の震央と工学的基盤における最大速度分布

3. 工学的基盤における地震動分布

(1) 検討対象地震の抽出

WISE システムでは 1997 年から観測を開始しており、現在 1,500 地震を超える強震記録（有珠山噴火に伴う群発地震を除く）が観測されている。

今回の解析にあたっては 1 地震で全道にわたって波形が記録されている地震を用いることにした。そこで、データベースの中からマグニチュードが最も大きく、かつ記録数も多かった、2000 年 1 月 28 日の地震 ($M_j=6.8$) を今回の解析対象地震とした。

(2) 工学的基盤における最大速度分布

2. で得られた各観測点における地表から工学的基盤までの地盤モデルを使用し、線形応答計算によって工学的基盤における加速度波形を求めた。さらに、加速度波形を積分することによって速度波形を求めた。求めた速度波形から、各観測点の工学的基盤における最大速度振幅を求めた。

図-2 に解析対象地震の震央と各観測点の工学的基盤における最大速度分布を示した。

4. 国土数値情報を用いた地盤の増幅率

広範囲の地震動強さの分布を推定する有効な手段として、松岡・翠川 (1994)³⁾ による国土数値情報を利用した地震動予測方法がある。この方法は、国土数値情報に含まれる微地形区分から深さ 30m までの平均 S 波速度を推定し、さらに、最大速度振幅に

対する地盤の増幅率と S 波速度の関係から地表の最大速度分布の予測を行うものである。

ここでは、国土数値情報の微地形区分³⁾をもとに松岡・翠川 (1994) の方法を用いて、1km 標準メッシュ³⁾での表層地盤（地表から深さ 30m）の最大速度振幅に対する地盤の増幅率を求めることとした。

(1) 国土数値情報

国土数値情報とは日本全国の地盤情報を含むデータベースである³⁾。このデータベースには海岸線、標高、河川流路といった地形情報や表層地質、地形分類、土壌分類などの地盤情報が含まれている。これらは、緯度方向で 30 秒、経度方向で 45 秒の標準地域メッシュ（約 1km×1km）の第 3 次地域区画ごとに与えられている³⁾。

(2) 増幅率算定方法

松岡・翠川 (1994) による国土数値情報を用いた地盤増幅率の算定方法は、以下の手順で行った。

①国土数値情報の 1) 微地形区分、2) 平均標高、3) 主要河川からの距離を使用し、以下の (1) 式によって地表から地下 30m までの平均 S 波速度を求める。

$$\text{LogAVS} = a + b \cdot \text{LogH} + c \cdot \text{LogD} \pm \sigma \cdots (1)$$

AVS : 地表～地下 30m までの平均 S 波速度 (m/s)

a, b, c, σ : 微地形区分による係数および標準偏差 (表-1)

H : 平均標高 (m)

D : 主要河川からの距離 (km)

表-1 微地形区分による係数一覧⁴⁾

微地形区分	a	b	c	σ
(1) 埋立地	2.23	0	0	0.14
(2) 人工改変地	2.26	0	0	0.09
(3) 三角州・後背湿地 ($D \leq 0.5$)	2.19	0	0	0.12
(4) 三角州・後背湿地 ($D > 0.5$)	2.26	0	0.25	0.13
(5) 自然堤防	1.94	0.32	0	0.13
(6) 谷底平野	2.07	0.15	0	0.12
(7) 砂州・砂丘	2.29	0	0	0.13
(8) 扇状地	1.83	0.36	0	0.15
(9) ローム台地	2.00	0.28	0	0.11
(10) 砂礫台地 (段丘)	1.76	0.36	0	0.12
(11) 丘陵	2.64	0	0	0.17
(12) その他 (火山など)	2.25	0.13	0	0.16
(13) 先第三紀	2.87	0	0	0.23

ただし、先第三紀については、時代区分を用いて以下のように平均S波速度を設定した

時代区分	平均S波速度 (m/s)
新第三紀	700
古第三紀	1,000
中生代	2,000
古生代	3,000

表-2 微地形区分による係数一覧

微地形区分	観測点数
埋め立て地	0
人工改変地	0
三角州1	5
三角州2	1
自然堤防	4
谷底平野	5
砂州・砂丘	1
扇状地	13
ローム	6
砂礫台地	8
丘陵地	2
その他	2
新第三紀	5
古第三紀	0
中生代	2
古生代	0

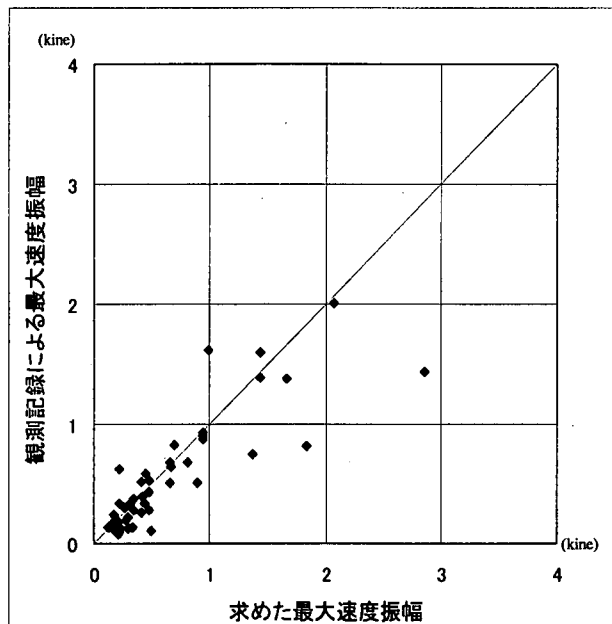


図-3 観測記録との相関図

- ②①で求めた AVS を用い、以下の (2) 式で地表から地下 30m までの最大速度増幅率を求める。

$$\text{LogARV} = 1.83 - 0.66 \cdot \text{LogAVS} \pm 0.16 \cdots (2)$$

ARV : 最大速度増幅率

5. 地表における最大速度振幅の算出と観測記録との比較

(1) 地表の最大速度振幅

3. で求めた工学的基盤における最大速度振幅と
4. で求めた速度増幅率を掛け合わせ、WISE の各観測点が属するメッシュの最大速度振幅を求めた。

(2) 解析結果と観測記録との比較

まず、表-2 に今回検討に用いた 105 の観測地点の微地形区分が、松岡・翠川 (1994) の設定している微地形区分のどれに当てはまるかを示した。WISE の観

測点では扇状地が最も多くなっており、次にロームまたは砂礫の台地が多くなっている。16 の微地形区分の内 12 区分に分類されており、今回の検討が広範囲の微地形区分による検討であることがわかった。

次に、(1) で求めた地表の最大速度振幅と WISE 観測点で記録された最大速度値の比較を行った。図-3 に解析より求めた地表最大速度と観測記録の最大速度の関係を示す。図-3 より、ばらつきはあるものの、解析結果と観測記録との間には、比較的よい相関を得ることができた。

6. 北海道全域における地表速度分布の作成

WISE には、北海道全域における地震動分布の予測および土木構造物の被害予測を行い、地震時の初動体制へ情報を提供する役割がある。そこで、今回の検討結果をもとに、北海道全域における地震動の分布を求めることを試みた。求める地震動は速度振幅とし、以下の手順によって分布図を作成した。

- ① WISE 観測点における加速度記録を、観測点の増幅率を使って工学的基盤に戻す。
- ② 工学的基盤の加速度波形を積分して速度波形にし、その最大速度振幅を求める。
- ③ 各観測点の工学的基盤における最大速度振幅をもとに、クリギング法⁶⁾を用いて補間し、工学的基盤における 1km 標準メッシュの最大速度振幅を計算する。
- ④ 得られた 1km メッシュの最大速度振幅に国土数値情報から求めた増幅率を掛け合わせ、地表の速度分布を求める。

図-4 に上記の方法で求めた北海道全域の地表最大速度分布を示した。同図には、WISE で観測された加速度波形から積分して速度波形を求め、その最大速度もプロットしている。予測結果は、観測結果と良い対応をしており、また微地形分布を反映した結果となっている。

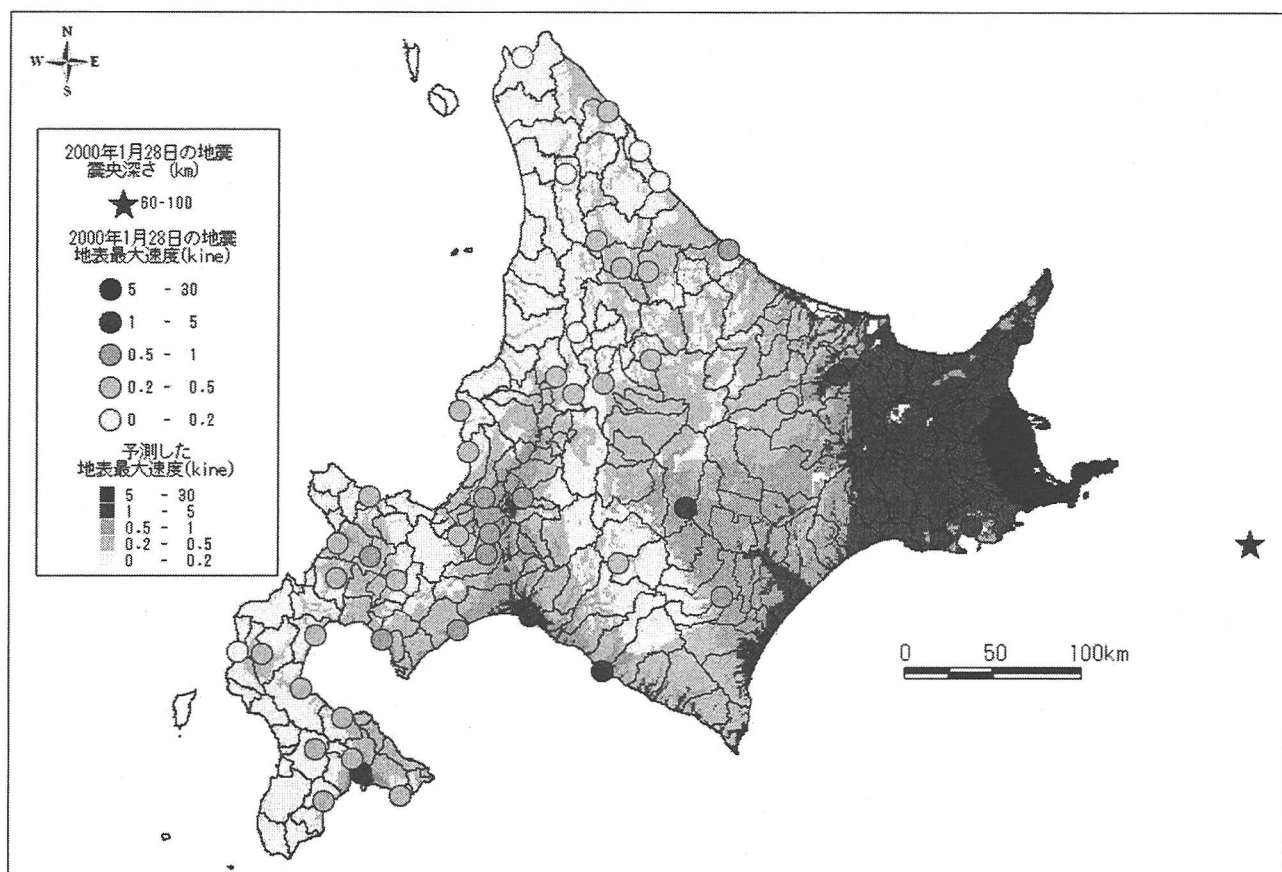


図-4 予測した地表最大速度と観測値の比較

7. おわりに

WISEの地震観測結果と国土数値情報による地盤データをもとに、表層地盤の増幅率の検討を行い、さらに観測結果から北海道全域の地震動分布の予測を求める方法を検討した。今回の検討は2000年1月28日の地震だけで予測結果を検証したものであり、今後の地震観測を進め、その結果を使った種々の検討を行っていくことが精度向上につながると考えられる。以下に今後の検討課題をまとめて示した。

(1) 表層地盤の増幅率の検討

WISEの146観測点のうち、105点について地盤モデルを設定し、検討に用いた。また、残りの41点は地盤モデルを作成することができなかった。今後、実際にボーリング調査を実施していくことも視野に入れつつ、さらに地盤資料収集を進めていくことが必要である。

(2) コンター作成の手法

今回の検討ではクリギング法を用いて工学的基盤における速度コンターを作成した。この手法は一般的なものであるが、他の手法についても検討を進め、より精度が上がる手法を見つけていきたい。

(3) 北海道の地域特性について

松岡・翠川(1994)の方法は関東地方のデータを

もとに提案されたものである。この方法を吟味するために、S波速度構造がわかっている観測点で、いくつかの地震を対象にケーススタディを行い検討していく必要がある。

謝辞：観測地点の地盤情報入手の際に、独立行政法人防災科学技術研究所のK-netおよびKiK-netの地盤情報を利用した。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 小林 将, 中井健司, 島田 武, 佐藤昌志: 北海道開発局の地震情報伝達システムの被害想定に関する現状と課題, 第24回地震工学研究発表会講演論文集, pp. 1281-1284, 1997.
- 2) 佐藤京, 池田憲二, 藤野戸宏樹, 西村克弘: 北海道における加速度距離減衰の検討, 土木学会第55回年次学術講演会, pp. 638-639, 2000.
- 3) (財) 日本地図センター地図研究所研究第1部: 数値地図ユーザーズガイド第2版補訂版, (財) 日本地図センター, 1998
- 4) 社団法人日本道路協会: 道路橋示方書(V耐震設計編)・同解説, 丸善株式会社, 1989.
- 5) 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回地震動シンポジウム, 日本建築学会, 1994.
- 6) 脇田英治: 数値解析のはなし これだけは知っておきたい, 技報堂出版株式会社, 1999