

地震情報伝達システム (WISE) における 北海道全域の地震動予測について

Estimation of ground motion of Hokkaido whole area in WISE system

独立行政法人 北海道開発土木研究所
独立行政法人 北海道開発土木研究所
応用地質株式会社技術本部
応用地質株式会社技術本部
応用地質株式会社技術本部

正会員 佐藤 京 (Takashi Satoh)
正会員 池田憲二 (Kenji Ikeda)
正会員 山本明夫 (Akio Yamamoto)
○ 正会員 篠原秀明 (Hideaki Shinohara)
佐々木克憲 (Katsunori Sasaki)

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、道路管理者に震度や加速度などセンサーからの記録や地震時の道路や橋梁の被災状況を早期に把握するための補助として被害予測情報を提供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^{1) 2)}。そこで著者らは、北海道全域の地震動予測を精度良く求め、被害予測の精度向上を目的に調査検討を行っている。

本稿では WISE による地震観測結果を用いた地震動予測方法の検討、および地震動の算出結果と実際の観測記録との比較による妥当性の検討を行った。さらに、北海道全域における地震動分布を算出した結果について述べる。

2. 地震動予測方法の概要

WISE システムによって地震動予測を行うにあたり、以下を前提条件とした。

- ① 地震発生直後に入手できる、地表加速度等の最大値で推定する。
- ② 既存資料を用いて地盤特性を加味する。
- ③ 道路などの土木構造物の被害予測を行うために、北海道全域の予測地震動分布を短時間のうちに求める。

これらのことを踏まえて、図-1 に示す地震動予測の流れを提案し、検討することにした。地震動予測方法としては、まず地震観測点の地盤情報を収集整理して、地表の観測記録より1次元等価線形法を用いて地震観測地点の工学的基盤の地震動を推定する。その最大値を補間して全道の工学的基盤における地震動を求める。次に、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。

3. 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 の観測点台帳にボ

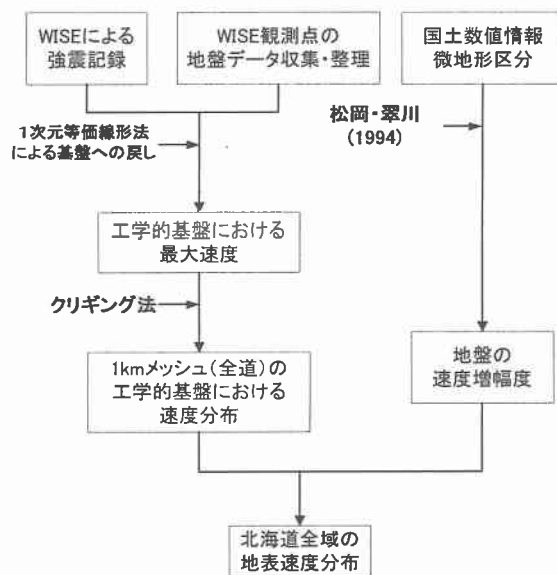


図-1 地震動予測の流れ

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P S 検層データが無い観測点については、道路橋方書耐震設計編⁴⁾によるN値とS波速度の関係を用いた。

なお、地盤モデルを作成できた観測点は、WISE の全観測点146点のうち105点であった。図-2に地盤モデルを作成したWISE 観測点分布を示した。

4. 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1996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。

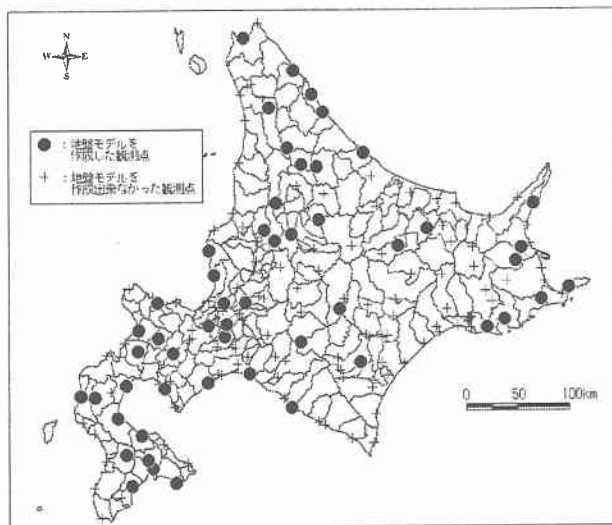


図-2 地盤モデルを作成した地震観測点

(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-3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。

5. 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) ⁵⁾ 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

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

6. 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-4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-4より、ばらつきはあるものの、解析結果と観測記録の間には、比較的よい相関を得ることができた。

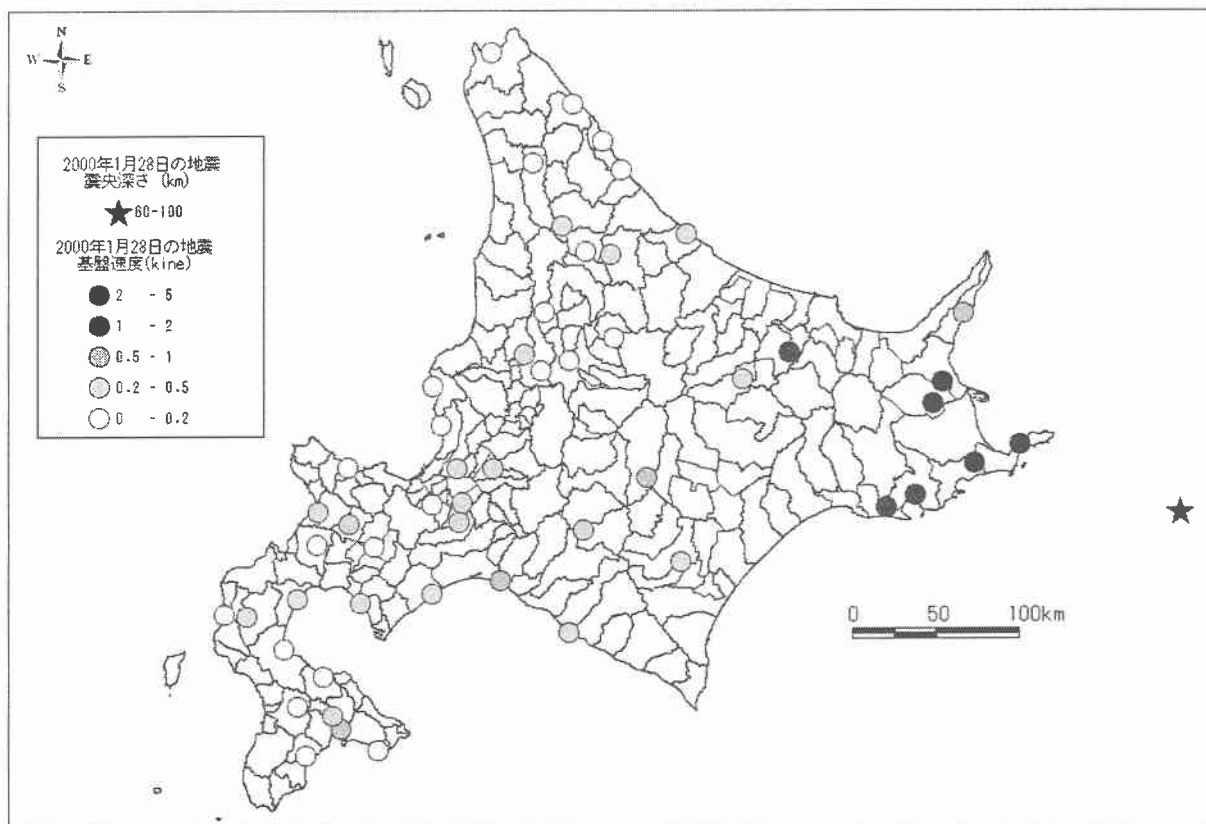


図-3 解析対象地震の震央と工学的基盤における最大速度分布

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

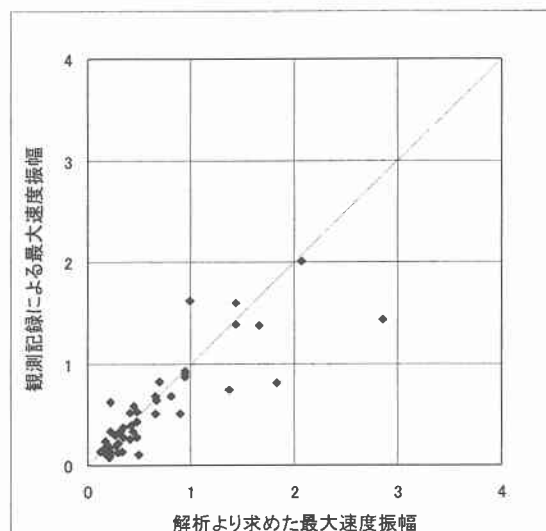


図-4 解析結果と観測記録との相関

7. 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⁾を用いて北海道全域の工学的基盤における最大速度振幅を 1km 標準メッシュごとに計算する。

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-5 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。

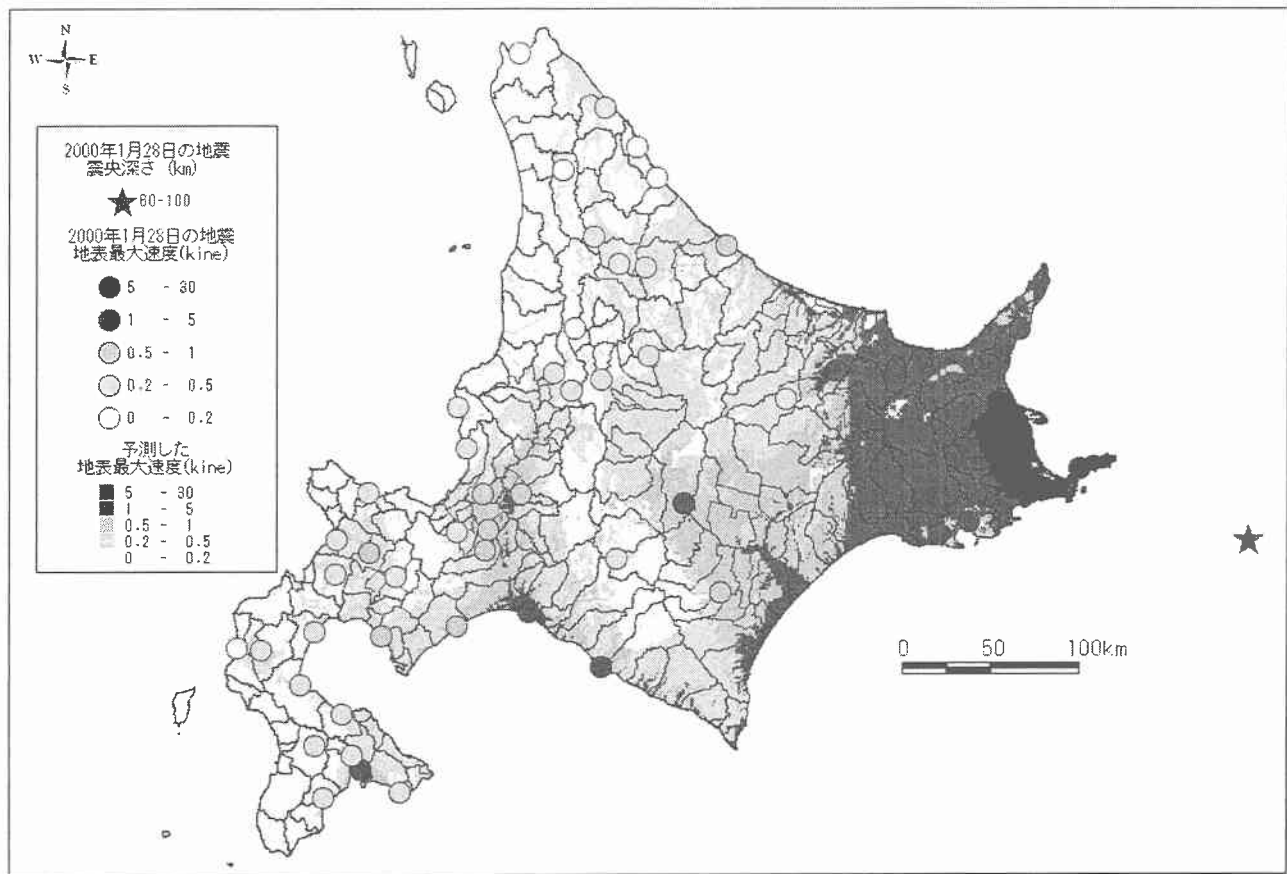


図-5 予測した地表最大速度と観測値の比較

8. 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った。さらに観測結果をもとに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日の地震のみを用いて予測結果の検証をしたものである。今後、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観測点で地盤調査を実施している地点は少なく、近傍の地盤資料をもとに地盤モデルを設定したものが多く、そのうち105点について地盤モデルを設定し、検討に用いた。残りの41点は地盤資料が無く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き、地盤モデル設定の精度を上げ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・マイクログローニング, 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