

地盤の不整形性を考慮した震度ハザードマップへのアプローチ SITE AMPLIFICATION EVALUATION IN THE CASE OF NON-HORIZONTAL AND NON-LINEAR STRATIFICATION

古本吉倫¹, 桑原 優²

- 1 長野工業高等専門学校・環境都市工学科・furumoto@nagano-nct.ac.jp
2 岩手大学・工学部

概 要

不整形地盤における地盤震動解析を行うため、傾斜基盤面上の先端と下端における地盤モデルから1次元的地震動伝達関数を求め、それらを重ね合わせることで傾斜基盤上の堆積地盤面における2次元地震動伝達関数を補間推定する手法を開発した。本手法により、従来行われてきた等価線形化法などの地盤震動解析法の結果をそのまま用いて不整形地盤での地盤震動解析が可能となったうえ、実際の地盤への適用が極めて簡単な手法となった。具体的な地形を対象に地震ハザードマップを作成したところ、従来手法にもとづくマップと比べ使いやすさが向上することがわかった。

キーワード：震度ハザードマップ、液状化、不整形地盤、FDEL

1. はじめに

本研究では、不整形地盤を含む地域の震度ハザードマップを簡便に作成する方法を考案する。自治体ごとのハザードマップを作成することで地域防災に貢献することを目的とする。

一般に地震動予測は図1のように震源から地表への地震動の伝播メカニズムを想定して算出されるが、表層地盤はボーリング調査(点測定)に基づき数100m四方の独立した成層地盤メッシュとして扱われる。このため、基盤が傾斜している地盤構造に急激な変動がある(=不整形地盤)地域において予想される波動の反射・屈折は考慮されていない。不整形地盤では、地震波が複雑に反射・屈折を繰り返すため、理想的な成層地盤の場合と比べ、地震動増幅特性が複雑になってしまう。すなわち、従来の地震動予測は隣

接するメッシュ間で起こると考えられるエネルギー収支の相互作用が考慮されておらず、不整形地盤の予測には精度的に問題がある。

本研究はこの問題点を解決し、精度の高い地震動予測図を作成しようとするものである。

2. 従来の地震動推定法

地震動は堆積地盤内で大きく増幅するため、正確な地震動予測を行うには地盤震動解析技術の高精度化が不可欠である。しかし、現実には地盤調査には限界があり、地盤を正確にモデル化すること自体が困難である。このため、地震被害想定において震度分布図を作成する際には、地域を数百mないしkm四方のメッシュに分割した

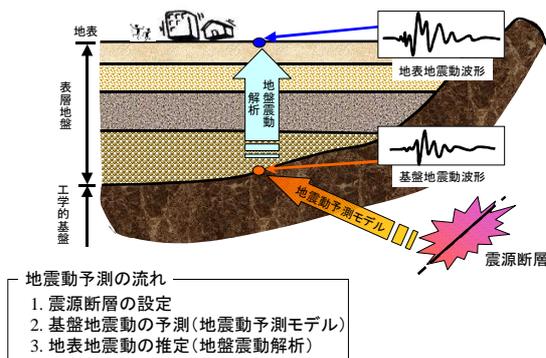


図1 地震動予測の流れ

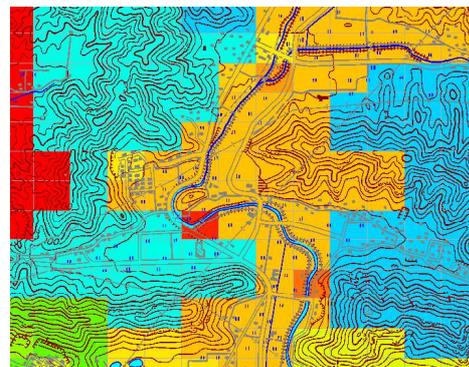


図2 地盤区分の例(250mメッシュ)
(地盤が軟弱なほど暖色に着色)

後、それぞれに地盤モデルを割り当て、地盤震動解析を行う。その際、成層地盤を仮定し、隣接するメッシュとは独立した1次元解析をそれぞれに対して行っている(図2)。

3. 地震動伝達関数の補間推定法

本研究では、基盤が傾斜した不整形地盤において、基盤から地表までの地震動伝達関数を推定するために、伝達関数の補間推定法を用いる¹⁾。これは成層地盤の伝達関数を、有限要素モデルを用いて予め求めておいた重みを付けて、重ね合わせる手法である。すなわち、図2のように傾斜基盤面上の先端と下端における地盤モデルから、それぞれ1次元的に地震動伝達関数を求め、式(1)を用いてそれらを重ね合わせるにより、傾斜基盤上の堆積地盤面における伝達関数を推定する。伝達関数を求める際にはFDEL(周波数依存型等価線形化法)²⁾を用いる。重ね合わせに用いる重み係数は、傾斜基盤先端からの距離と傾斜基盤の長さをパラメータとし、有限要素法によるパラメトリックスタディによりあらかじめ決定しておく¹⁾。

$$\Omega_x(\omega) = \Omega_1^C(\omega) \cdot \Omega_2^{1-C}(\omega) \dots (1)$$

$$(0 \leq C \leq 1)$$

- $\Omega_x(\omega)$: 推定地点の地震動伝達関数
- $\Omega_1(\omega)$: 傾斜地盤先端の地震動伝達関数
- $\Omega_2(\omega)$: 傾斜地盤下端の地震動伝達関数
- C: 重み係数

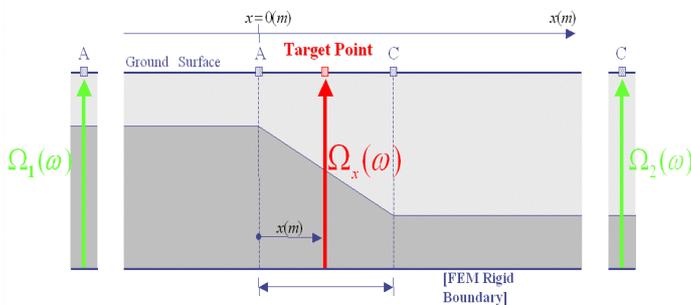


図2 伝達関数の補間推定式とモデル

ここに、底面から地表面の点xでの伝達関数を $\Omega(x)$ 、傾斜基盤先端の地盤モデルにより得られる1次元の伝達関数を Ω_1 、傾斜基盤下端での伝達関数を Ω_2 とする。また、Cは Ω_1 、 Ω_2 に対する重みであり、傾斜角 θ と傾斜部の長さ L_s 、斜面の頂点からの距離xの関数として次式で与えられる。

$$\ln(C/(1-C)) = 0.878 + 1.161(x/L_s) \cdot \ln(\theta) \dots (2)$$

4. シナリオ地震に基づく地震動の推定

図3に研究の流れを示す。EMPR(強震動予測法)³⁾を用いて断層パラメータから工学的基盤の地震波を算出する。その後、FDEL(周波数依存型等価線形化法)を用い

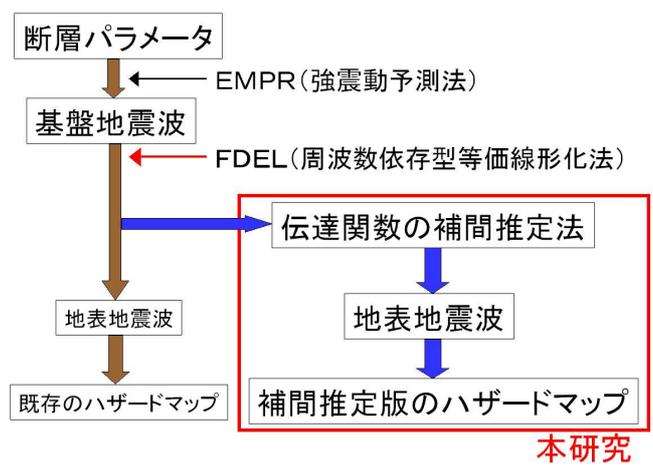


図3 研究の流れ

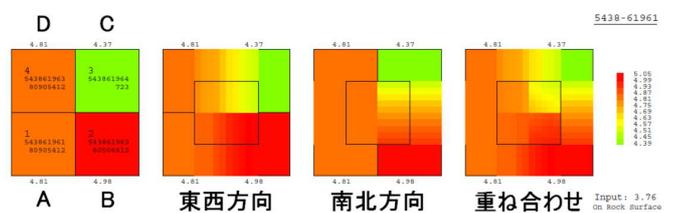


図4 隣接するメッシュによる震度の補間と重ね合わせ

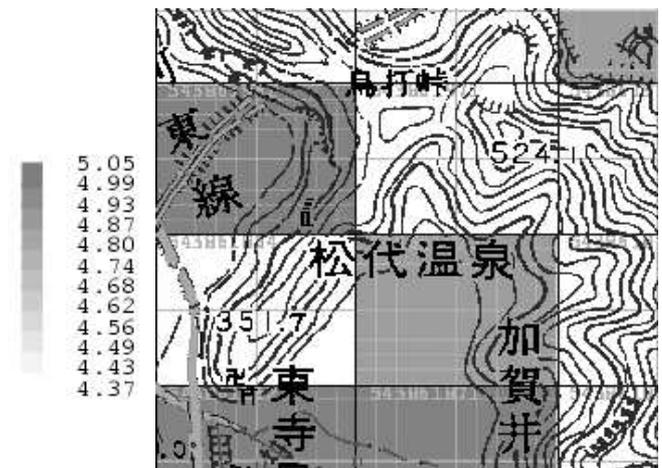


図5 従来法の震度分布図

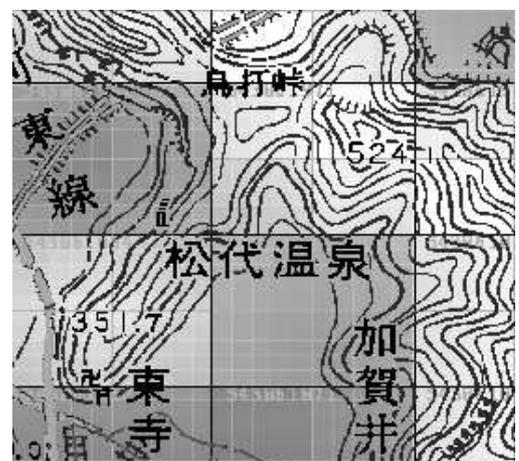


図6 補間推定法による震度分布図

て基盤面から地表面への地震波の伝達関数を算出するが、本研究では基盤の傾斜に応じて伝達関数を補間することにより、高精細化したハザードマップを作成する。

また、図4のように東西方向・南北方向それぞれの補間推定した結果を重ね合わせ、それぞれのメッシュの中心から隣のメッシュの中心までを細分化し、それぞれの震度を表示する。この時、東西方向・南北方向の補間で震度に差がある場合、2つの結果の平均値をとる。この方法を対象地域内で隣接するメッシュ全てに繋げていくことにより、地域全域における震度を表示する。それを地図と重ね合わせることで震度ハザードマップを作成する。

図5、図6には、長野市直下のマグニチュード7.3相当の地震を想定した震度マップの例を示す。この地域は、山の斜面と平地が1つのメッシュ内に存在し、不整形性の影響が見られる場所である。解析の結果、従来法によるもの(図5)では隣り合うメッシュで震度に大きな差が見られる。従来法では、メッシュ内の中心で算出した計測震度を、そのメッシュの震度として震度予測図を作成するが、補間推定法(図6)では周囲のメッシュの情報を考慮してメッシュを細分化し、段階的に震度を表示する。これによって補間推定版では、一つのメッシュ内でも山の方が震度は小さく、平地の方は震度が大きくなるのが段階的に表示されている。

本補間法において使用する地盤のモデルデータは、従来法と全く同じであるが、一つのメッシュの震度を計算する際に、隣接する4つのメッシュの情報を使用するため、従来法よりも信頼性の高い予測が可能となる。

5. 液状化判定法 (FL 法)

液状化安全率 F_L は式(3)により求める。本研究では伝達関数の補間推定法により算出した地震波を用いて、地下20mまでの地震時せん断応力比(L)の分布を求める。この際、通常は地表の最大加速度を用いるが、ここでは、計測震度と対数の関係式で導かれる実効加速度を用いた。式(4)により、液状化指数PLを求め、液状化危険度を判定する^{5,6)}。

$$F_L = \frac{C_w \cdot R}{L} \quad \dots (3)$$

$$P_L = \int_0^{20} (1 - F_L) \cdot (10 - 0.5x) dx \dots (4)$$

($F_L \geq 1.0$ の場合、 $F_L = 1$ とする)

R: 動的せん断強度比

C_w : 地震動特性による補正係数

L: 地震時せん断応力比

PL: 液状化指数

液状化による被害確率			
$0 \leq PL < 5$	0%	$5 \leq PL < 10$	25%
$10 \leq PL < 15$	50%	$15 \leq PL < 20$	75%
$20 \leq PL$	100%		

6. ケーススタディ

図7に、補間推定法を組み込んだ FDEL(地盤震動解析)を使用し、長野市における震度予測を行った結果を示す。対象地域を人口集中地点、軟弱地盤地点、地盤変化地点の項目で選定し、補間推定法を組み込んだ FDEL による解析を従来法と比較した。

解析にあたり、旧長野市(平成16年)の範囲内の地盤データ⁶⁾を使用した。入力地震動はマグニチュード7.3相当の直下型地震を想定し、対象範囲内の全域の工学的基盤面において同じ値とする。解析結果を比較する地点は、人口集中地点として三輪、軟弱地盤地点として富竹・篠ノ井、地盤変化地点として安茂里・松代の5地点を選定した。

地盤変化地点(安茂里、松代)は、山の斜面と平地が1つのメッシュ内に存在し、不整形性の影響がもつとも出る場所である。解析の結果(図7、図8参照)、山を含むメッシュにおいて従来法によるものでは隣り合うメッシュで震度に5.50と4.50の差が見られるが、補間推定版のFDELではその差がほとんどなくなり、震度の差は4.80と4.62になった。これにより、メッシュに関係なく山の形状に合った震度表示が出来ている。

次に、地域直下のマグニチュード7.3相当の地震を想定して解析を行い、震度ハザードマップ(図10、図11)及び、液状化ハザードマップ(図12、図13)を作成した。解析例として、長野市篠ノ井～松代付近を対象としたものを示す。

従来法によるハザードマップでは隣り合うメッシュで震度、PL値にそれぞれ大きな差が見られる。これは、メッシュ内の中心で算出した地表地震波データを、そのメッシュの地表地震波データとして、ハザードマップを作成しているために起こると考えられる。本研究では、補間推定法を用いることで、波動の反射と屈折の影響を考慮してメッシュを細分化し、段階的に震度、PL値を表示することができた。これにより、従来法のように、単純にメッシュの分割数を細かくしても、補間推定版のように、震度やPL値を段階的に表示することができないということがわかる。このことから、震度及び、液状化危険度を予測する際に補間推定を行うことで、地域ごとに不整形性を考慮した詳細なハザードマップが作成できることがわかった。

7. まとめ

本研究では、不整形地盤を含む地域の震度ハザードマップを簡便に作成する方法について考察した。従来法ではメッシュの境界で大きく震度が変化する場合があるが、地震動の伝達関数を補間することにより、震度やPL値が段階的に変化する状態を表示できるようになった。このことから、不整形性を考慮した詳細な震度ハザードマップが作成できることがわかった。

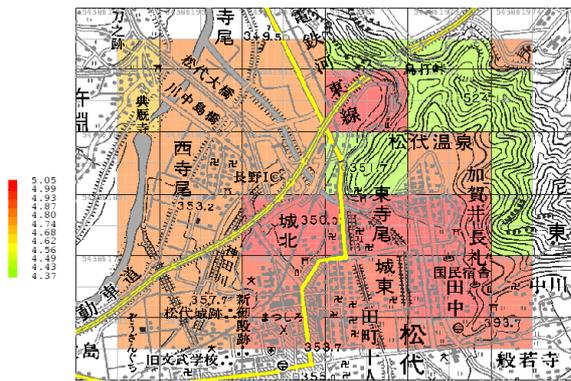


図8 従来法による解析結果

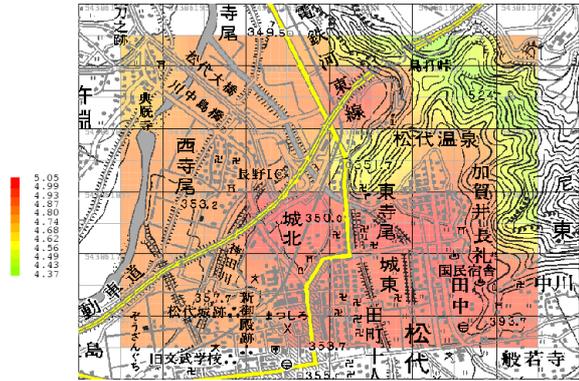


図9 補間推定法による解析結果

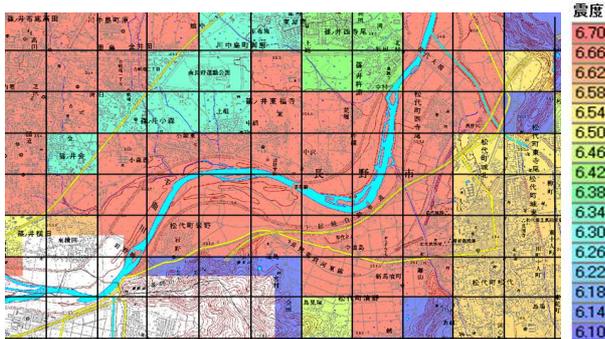


図10 従来法 震度ハザードマップ
(500mメッシュで表示)

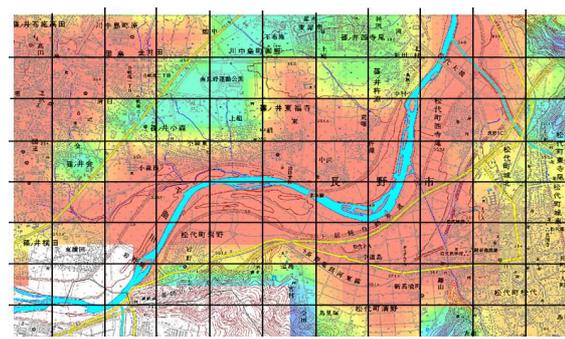


図11 補間推定法 震度ハザードマップ
(500mメッシュで表示)



図12 従来法 液状化ハザードマップ (PL値)
(500mメッシュで表示)

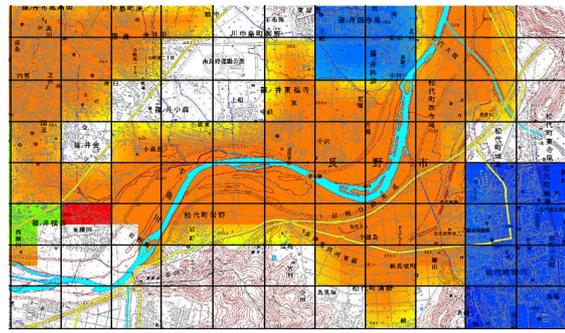


図13 補間推定法 液状化ハザードマップ (PL値)
(500mメッシュで表示)

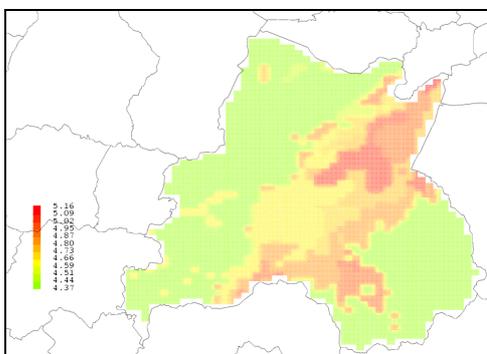


図7 補間推定法を用いて作成した
長野市(旧行政界)の震度マップ

参 考 文 献

1) 古本吉倫, 細木洋輔, 杉戸真太: 不整形構造を有する地盤における地震動伝達関数の簡易推定法, 土木学会地震工学論文集

Vol128, 2005

2) 杉戸真太・合田尚義・増田民夫: 周波数依存性を考慮した等価ひずみによる地盤の地震応答解析法に関する一考察, 土木学会論文集 No. 493/II-27, pp. 49-58, 1994.
3) Sugito, M., Furumoto, Y. and Sugiyama, T.: Strong Motion Prediction on Rock Surface by Superposed Evolutionary Spectra, 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, January 2000.
4) 宮澤明子, 古本吉倫: 地盤の不整形性を考慮した震度ハザードマップについて, 平成 23 年度土木学会中部支部研究発表会, 2012. 3
5) 社団法人 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説V耐震設計編, 平成 17年1月14日
6) 長野県地震対策基礎調査専門委員会: 平成 14 年長野県地震対策基礎調査報告書