様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

平成 ３０ 年　 ６ 月 １９ 日現在

機関番号：５３６０１
研究種目：基盤研究(C)（一般）
研究期間：2015～2017
課題番号：１５Ｋ０６２１７

研究課題名（和文）不整形地盤における地震動増幅率を考慮した震度および液状化ハザードマップの作成

研究課題名（英文）ON MAKING SEISMIC HAZARD MAP AND LIQUEFACTION HAZARD MAP CONSIDERING NONLINEAR SEISMIC GAIN OF SOIL LAYERS ON INCLINED BASEMENT

研究代表者
古本　吉倫（FURUMOTO, YOSHINORI）

長野工業高等専門学校・環境都市工学科・教授

研究者番号：９０３０３５１０

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　2,800,000円

研究成果の概要（和文）：不整形地盤における傾斜基盤面の上端と下端における地盤モデルから１次元的に地震動伝達関数を求め、それらを重ね合わせせることにより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入力データ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、FL法による簡易液状化判定への適用が極めて簡単となった。具体的な地形を対象に地震および液状化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。

研究成果の概要（英文）：A method of interpolating and estimating two-dimensional earthquake motion transfer function on sedimentary ground surface with inclined base layers was developed, by one-dimensionally obtaining earthquake motion transfer functions from the ground model at the top and bottom of the inclined base layers surface in the irregular-shaped early stage and superimposing them. By using this method, it becomes possible to analyze ground motion on inclined base layer using the input data of the ground motion analysis method such as the equivalent linearization method which has been done as it is, and it is possible to analyze the ground motion is extremely easy. Earthquake and liquefaction hazard maps were created for specific topography, and it was found that usability was improved as compared with the map based on the conventional method.

研究分野：土木工学、地震工学

キーワード：地震防災　震度ハザードマップ　液状化ハザードマップ　不整形地盤

１．研究開始当初の背景

(1)一般に地震動予測は震源から地表への震動の伝播メカニズムを想定して算出される(図１)が、表層地盤はボーリング調査に基づき数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、基盤が傾斜していて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。

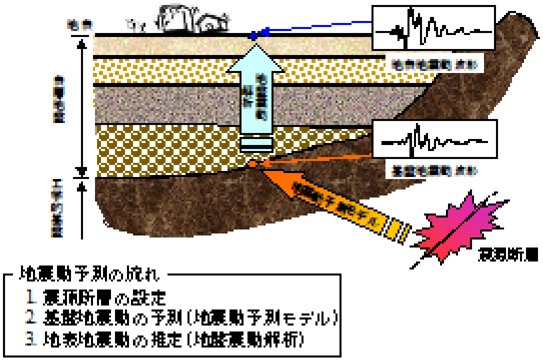

図１地震動予測の流れ

(2)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、従来の地震動推定法では、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。

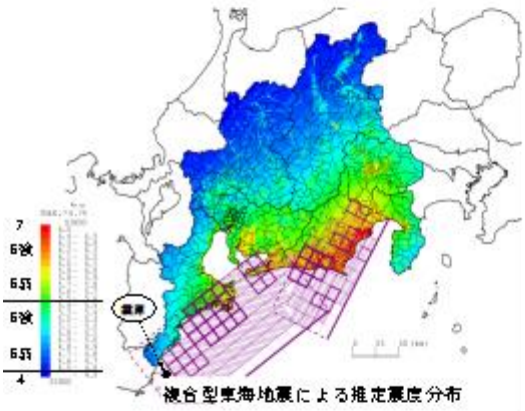

図２ 地域地震動のハザードマップ（広域図）

２．研究の目的

(1)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する。従来法を用いた場合、不整形地盤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る。このことから、不整形性を考慮した詳細な震度および液状化ハザードマップを作成する。

(2)杉戸らによる EMPR（強震動予測法）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、杉基盤面から地表面への地震波の伝達関数の補間法を適用すれば、不整形地盤表面での強震動を予測することができる。長野市等実際の自治体を例に、要注意活断層を想定した地震シナリオを設定し、震度および液状化ハザードマップを作成する。

３．研究の方法

(1)【地震動伝達関数の補間推定法の開発】
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。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、傾斜基盤面の上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、補間式を用いてそれらを重ね合わせることにより、傾斜基盤上の堆積地盤面における伝達関数を推定する。重ね合わせに用いる重み係数は、傾斜基盤上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。

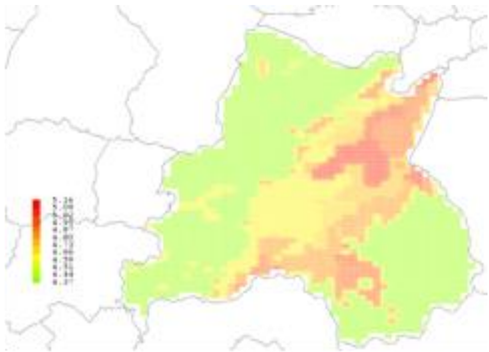

図３　補間推定法による長野市の震度ハザードマップ

(2)【シナリオ地震に基づく地震動の推定】
EMPR(強震動予測法)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、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。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。

(3)【液状化判定法(FL 法)による液状化ハザードマップの作成】液状化安全率 FL は道路橋示方書に定められた簡易液状化判定法により求める。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。液状化安全率 Fl より液状化指数 PL を求め、メッシュごとの液状化危険度を判定する 。

４．研究成果

(1)【シナリオ地震に基づく長野市の地震危険度】長野市に直下型の地震被害をもたらす可能性の高い信濃川断層の破壊パターン（地震シナリオ）を３通り考慮した。それぞれの地震シナリオに従い、EMPR における基盤地震動を計算するとともに、今回提案した伝達関数の補間手法を用い、メッシュごとに地表地震動と液状化指数 PL 値を推定した。さらに、シミュレーションによる震度分布と液状化指数により道路構造物の被害予測を行った。(H27 年度)

(2)【2014 年 11 月 22 日に発生した長野県北部地震におけるアンケート震度調査】信州大学震動調査グループと共同で、2014 年 11 月 22 日 に発生した長野県北部の地震について、周辺自治体の協力の元、住民に対しアンケート調査を実施し、体感による地震動分布図をまとめ報告書を作成した。体感による震度分布はシミュレーション結果と大きく矛盾はしなかった。(H28 年度)

(3)【区間別地震危険度の算出】糸魚川静岡構造線を震源とする中小地震における地震危険度解析を行った。具体的には、M６相当の中小規模の地震を引き起こす可能性のあるエリアを仮定し、断層の長さを固定し、最も被害が大きくなる断層エリアを探索した。周辺の人口分布を参考に、震度曝露人口（＝ある震度に曝されている人口）を指標として、防災上最も重要な震源エリアを抽出した。(H28 年度)

(4)【微動アレー探査技術の応用による地盤調査手法の検討】地震動予測および液状化危険度解析のために、地盤ボーリングデータは必須であるが、調査に必要な標準貫入試験データや PS 検層結果が、必ずしも十分に得られるものではない。そこで、地盤情報を補完す るため、微動アレー探査技術を応用して、地下の弾性波速度構造を推定し、地震動予測に応用する方法を試みた。(H28 年度)

(5)【長野市の地震危険度分析のための地震シナリオの細分化】長野市に直下型の地震被害をもたらす可能性の高い信濃川断層の破壊パターン（地震シナリオ）をさらに細分化した。信濃川断層を M6.5 相当の地震規模に区間分けを行い、最も震度曝露人口が大きい区間、および最も震度曝露人口が小さい区間を割り出した。それぞれの地震シナリオに従い、EMPR における基盤地震動を計算するとともに、今回提案した伝達関数の補間手法を用い、メッシュごとに地表地震動と液状化指数 PL 値を推定した。さらに、シミュレーションによる震度分布と液状化指数により道路構造物の被害予測を行った。(H29 年度)

(6)【人的被害の予測】シミュレーションによる震度分布と液状化予測結果により、地震シナリオ毎の死傷者数の概算を行った。これらのデータは道路被害の予測とあわせることにより、地震被害時の緊急車両の配車システムを考慮するための基礎データとなる。(H29 年度)

<引用文献>

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
⑦ 長野県地震対策基礎調査専門委員会平成 27 年長野県地震対策基礎調査報告書
⑧ 能島鴨呂・久世益充・杉戸信太・鈴木康夫：震度曝露人口による震災ポテンシャル評価の試み，自然災害科学 J. JSNDS 23-3(2004)363-380.

５．主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計２件）

① 渡辺太一,和田彩花,古本吉倫:信濃川断層帯における区間別地震危険度解析,長野工業高等専門学校紀要,51 (2017.6),1-7.[査読無]
② 和田彩花,古本吉倫,柳澤吉保:シナリオ地震に基づく長野市の地震危険度について、長野工業高等専門学校紀,50(2016.6),1-3.[査読無]

〔学会発表〕（計９件）

① 渡辺太一,町田哲,和田彩花,古本吉倫:地震センサーネットワークの最適配置について,(公社)日本地すべり学会研究発表会(長野), 56(2017.9). [査読無]
② 津金達郎,古本吉倫,小坂共栄,信州大学震動調査グループ:2014 年長野県北西部地震のアンケート震度分布 -その特徴と震度分布図の活用,日本地質学会(愛媛),124(2017.9).[査読無]
③ 津金達郎,塩野敏昭,竹下欣宏,古本吉倫,信州大学震動調査グループ:長野盆地浅川扇状地における地震動 -2014 年長野県北西部地震で現れた強震地域,日本地質学会(愛媛),124(2017.9).[査読無]
④ Yoshinori Furumoto, Ayaka Wada, Tetsu Machida, Taichi Watanabe and Michelle Bong: Optimum Arrangement of Seismic Intensity Monitoring Points for Immediate Estimation System of Wide-Area Distribution of Seismic Intensity, IGNITE- AICCE17 (Penang) (2017.8), 147 (PaperID: 2017-01-11-0059).[査読有]
⑤ 蓁目智沙, 中下惠勇, 田中智, 佐々木孝雄, 大庭哲哉, 古本吉倫, 信州大学震動調査グループ:微動アレー探査技術を活用した広域地盤・震度予測システムの開発,地盤工学研究発表会発表講演集,51(2017.7).[査読無]
⑥ 小坂共栄,津金達郎,信州大学震動調査グループ(小坂共栄,原山智,竹下欣宏,津金達郎,高橋康,古本吉倫,富樫均,田辺政貴,田辺智隆,山浦直人,井関芳郎,小野和行,塩野敏明,宮澤洋介,小松宏昭,遠藤正孝,田中俊廣,太田勝一):地震に強い街づくりへの取り組みとその普及,地学教育と科学運動,78,(2017.6),16-20.[査読無]
⑦ 津金達郎、小坂共栄、宮澤洋介、古本吉倫：信州大学震動調査グループ(2016)、長野県大町市の表層地盤と「揺れやすさマップ」、日本地質学会第 123 年学術大会講演要旨、(2016.9)、186.[査読無]
⑧ 蓁目智沙、中下恵勇、田中智、佐々木孝雄、大庭哲哉、古本吉倫、信大震動調査グループ：微動アレー探査技術を活用した広域地域地盤・震度予測システムの開発、第 51 回地盤工学研究発表会(2016.9).[査読無]
⑨ 羽田祐貴,柳沢吉保,古本吉倫,轟直希,和田彩花,高山純一:救命救急時間を考慮した地震被害時の救急駆けつけ搬送体制,平成 27 年度土木学会中部支部研究発表会,豊田工業高等専門学校,(2016.3).[査読無]

６．研究組織

(1)研究代表者

古本吉倫(FURUMOTO YOSHINORI)
長野工業高等専門学校・教授
研究者番号：９０３０３５１０