

令和元年6月9日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06573

研究課題名(和文) 盆地端部でのやや短周期パルス地震動の増幅を考慮した地震危険度評価手法に関する研究

研究課題名(英文) A Study on a Seismic Hazard Assessment Method Considering the Amplification of Slightly Short-Period Pulse Ground Motion at the Basin Edge

研究代表者

松島 信一 (MATSUSHIMA, Shinichi)

京都大学・防災研究所・教授

研究者番号：30393565

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、やや短周期パルス地震動が基盤の段差構造により増幅的干渉する地域を洗い出し、大被害が生じる恐れのある地域の地震危険度評価を行う手法の開発を目指した。横手盆地東縁断層帯での地震を対象に、推定した横手盆地の詳細地盤構造を用いて強震動予測を行った結果、横手市西部の盆地端部に沿うように最大速度が大きくなる領域が広がり、「震災の帯」が出現する可能性を示した。一方、微動水平上下スペクトル比から基盤の段差構造を推測する方法を構築した上で、基盤に段差構造がある場合のやや短周期パルス地震動の増幅位置を推定する方法を開発し、兵庫県南部地震の神戸市域での「震災の帯」と比較することで提案手法の検証を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

やや短周期パルス地震動は、周期1秒前後が卓越する揺れのことであり、1995年の阪神・淡路大震災は、震源から放出され、神戸市域の基盤の段差構造で増幅されたやや短周期パルス地震動により木造家屋などが倒壊したことが原因であった。以降の地震でもやや短周期パルス地震動が原因で建物被害が生じたが、やや短周期パルス地震動が強くなる箇所の事前予測の研究事例はほとんどない。本研究では、やや短周期パルス地震動が増幅的干渉する地域を推定出来る可能性を示した一方で、基盤の段差構造によって増幅的干渉をする位置を比較的簡易に推定する方法を開発した。これらの成果により、今後の地震対策に資する情報を提供できるものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：This study was aimed to reveal the potential areas where slightly short-period pulse motion are amplified by the constructive interference due to the step structure of the bedrock and assess the seismic hazard of areas with danger of heavy damage. As a result of strong motion estimation for earthquakes occurring on the Yokoto-bonchi-toen fault using an estimated subsurface structure of Yokote basin, area with high peak velocity in the western part of Yokote City was formed along the boundary of the basin, which showed the possibility of a "Damage Belt" to appear. On the other hand, a method to estimate the step structure of the bedrock from the microtremor Horizontal-to-Vertical spectral ratios was constructed and then a method was developed to estimate the location where slightly short-period motion will be amplified when there is a step structure of the bedrock, which was verified by comparing with the actual "Damage Belt" in the City of Kobe during the 1995 Kobe earthquake.

研究分野：地震工学

キーワード：やや短周期パルス地震動 盆地端部 段差構造 増幅的干渉 地震危険度評価 エッジ効果 微動水平 上下スペクトル比 内陸地殻内地震

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

1995年兵庫県南部地震の際に震度7の領域である「震災の帯」が出現し未曾有の大災害となった。この「震災の帯」のうち少なくとも神戸市域については、震源における不均質な破壊過程により生じた周期0.5~2秒のやや短周期パルスが、震源近傍の深い地盤構造の特性によって干渉して増幅され (Kawase, 1996、川瀬・他, 1998、Pitarka et al., 1998、永野・他, 1998、Iwata et al., 1999、Furumura and Koketsu, 2000、松島・川瀬, 2000、松島・川瀬, 2009など) 増幅されたやや短周期パルスが建築物に大きな被害をもたらした (川瀬, 2000、境, 2009、鈴木・他, 2010など) ことが主な原因であることが判明している。震源から放出されるやや短周期パルスの周期特性は断層破壊の不均質性のうちコヒーレントに破壊する強震動生成域の領域 (広さ) に依存し、振幅特性は強震動生成域の中のすべり速度時間関数に依存する (松島・川瀬, 2000)。内陸地殻内地震の破壊過程の不均質性を考慮した強震動予測手法については、いわゆる「入倉レシビ」 (Irikura and Miyake, 2011) が波形インバージョンにより同定された断層破壊過程をもとに経験的グリーン関数法を用いて推定された震源断層モデルをコンパイルして、まとめられている。一方、地下構造モデルについては、神戸市域では兵庫県南部地震後に活断層調査のために行われた反射法探査による副産物として詳細な情報が得られており、それをもとに周期1秒までの地震動の波動伝播を再現できる地下構造モデルが構築されている (Pitarka et al., 1998、永野・他, 1998、Iwata et al., 1999、Furumura and Koketsu, 2000、松島・川瀬, 2009)。しかしながら、地震調査研究推進本部が取りまとめ公表している全国地盤構造モデルは、交付金による重点調査観測の情報が反映されている地域は詳細な情報が得られているものの、その他の地域については十分詳細な情報が得られているわけではない。

#### <引用文献>

Furumura, T., and K. Koketsu, Parallel 3-D simulation of ground motion for the 1995 Kobe earthquake: The component decomposition approach, *Pure Appl. Geophys.*, 157, 1921-1936, 2000

Iwata T., H. Sekiguchi, A. Pitarka, and K. Irikura, Ground motion simulations in the Kobe area during the 1995 Hyogoken-Nanbu earthquake, *Proc. 2nd Int. Symp. on The Effects of Surface Geology on Seismic Motion*, ed. Irikura et al., 3, 1369-1376, 1999

Irikura, K., and H. Miyake, Recipe for predicting strong ground motion from crustal earthquake scenarios, *Pure Appl. Geophys.*, 168, 85-104, 2011, DOI: 10.1007/s00024-010-0150-9

川瀬博、松島信一、三次元盆地構造を考慮した1995年兵庫県南部地震の神戸地域における強震動シミュレーション、*日本建築学会構造系論文集*、第514号、pp111-118、1998、[https://doi.org/10.3130/aijs.63.111\\_4](https://doi.org/10.3130/aijs.63.111_4)

川瀬博、兵庫県南部地震の強震動、地震荷重 - 内陸直下地震による強震動と建築物の応答、*日本建築学会地震荷重委員会限界状態WG*, 319p

松島信一、川瀬博、1995年兵庫県南部地震の複数アスペリティモデルの提案とそれによる強震動シミュレーション、*日本建築学会構造系論文集*、534、33-40、2000、[https://doi.org/10.3130/aijs.65.33\\_3](https://doi.org/10.3130/aijs.65.33_3)

松島信一、川瀬博、1995年兵庫県南部地震での神戸市域における強震動と木造建物被害の再評価、*日本建築学会構造工学論文集*、55B、537-543、2009

永野正行、大野晋、古山田耕司、加藤研一、兵庫県南部地震時の神戸市内における基盤地震動および地盤増幅特性、*日本建築学会構造系論文集*、511、77-84、1998、[https://doi.org/10.3130/aijs.63.77\\_4](https://doi.org/10.3130/aijs.63.77_4)

Pitarka, A., K. Irikura, T. Iwata, and H. Sekiguchi, Three-dimensional simulation of the near-fault ground motion for the 1995 Hyogo-ken Nanbu (Kobe), Japan, earthquake, *Bull. Seismo. Soc. Am.*, 88, 428-440, 1998

境有紀、地震動の性質と建物被害の関係、*日本地震工学会誌*、12-19、2009

鈴木恭平、川辺秀憲、山田真澄、林康裕、断層近傍のパルス性地震動特性を考慮した設計用応答スペクトル、*日本建築学会構造系論文集*、647、49-56、2010、<https://doi.org/10.3130/aijs.75.49>

### 2. 研究の目的

1995年兵庫県南部地震の際に「震災の帯」が出現したのは、震源で生じた周期0.5~2秒のやや短周期パルスが震源近傍の深い地盤構造の特性によって干渉して増幅され、建築物に大きな被害を与えたことに起因している。この現象は兵庫県南部地震に特異な現象ではなく、同様な条件下にある地域では同じ現象が生じることが懸念される。しかしながら、国を挙げて活断層調査は行われているものの、地震から20年を経た今でもやや短周期パルスの増幅現象に着目した地震危険度評価は行われていない。そこで、本研究では、やや短周期パルスが生じ地盤構造による干渉によって増幅されるような地域を洗い出し、詳細な調査・解析を行うことでやや短周期パルスにより大被害が生じる恐れのある地域における地震危険度評価を行う手法を開発する。

### 3. 研究の方法

(1) 兵庫県南部地震の際の神戸市域のような、M7クラスの地震が発生する可能性のある活断層近傍に深い地盤構造がある地域を特定する。特定した地域について、活断層情報と地盤構造情報を収集し、やや短周期パルスを対象とした震源モデルおよび地盤構造モデルの構築方法を確立する。

(2) 特定した地域について、震源モデルと地盤構造モデルを組み合わせてやや短周期パルスに着目した強震動予測を行い、「震災の帯」のような現象が現れるかどうかを明らかにする。

(3) やや短周期パルスとその増幅特性について着目し、水平成層構造による増幅特性との比較による地震危険度評価を行い、現行の設計基準と照らし合わせた上で、必要に応じ地震荷重の割り増し係数など導入のような対応策の必要性を判断する方法の開発を行う。

#### 4. 研究成果

(1) 平成 28 年度に既往の活断層情報から M7 クラスの内陸地殻内地震となる可能性のある活断層を洗い出し、その近傍に盆地構造がある地域について調査し、横手盆地東縁断層帯、生駒断層帯、長野盆地西縁断層帯などが調査対象の候補となった。これらの地域において盆地構造について調査したところ、深い地盤構造が急激に変化する箇所があるため、より詳細な調査を行う必要があることがわかった。

(2) 平成 29 年度に横手盆地において詳細な地盤構造調査を行った結果、最深部で地震基盤の深さが 3km 程度で、既往の研究とくらべ 1km 程度深い構造であることが分かった。また、横手盆地東縁断層帯に近い地域で基盤深さが深くなること、北と南に向かって徐々に基盤が浅くなること分かった。さらに、微動水平上下スペクトル比から地盤の不整形性を評価する手法について、いわき市小名浜地区や宇治市における観測記録を用いて検討を行った。図 1 に、小名浜において観測された微動水平上下スペクトル比と地盤の比較的浅部の段差構造を考慮してスペクトルエレメント法 (De Martin, 2011) による数値解析で求めた計算水平上下スペクトル比との比較を示す。図 2 には、計算に用いた段差構造の断面図を示す。計算水平上下スペクトル比は、拡散波動場理論に基づき加振点と受信点を同一とした場合の Green 関数の虚部の比から求めることができる (Sánchez-Sesma, et al., 2011)。このような不整形地盤が存在する場合に微動水平上下スペクトル比が方位依存性を示し、数値解析によってそれを再現できることを示すことが出来た。

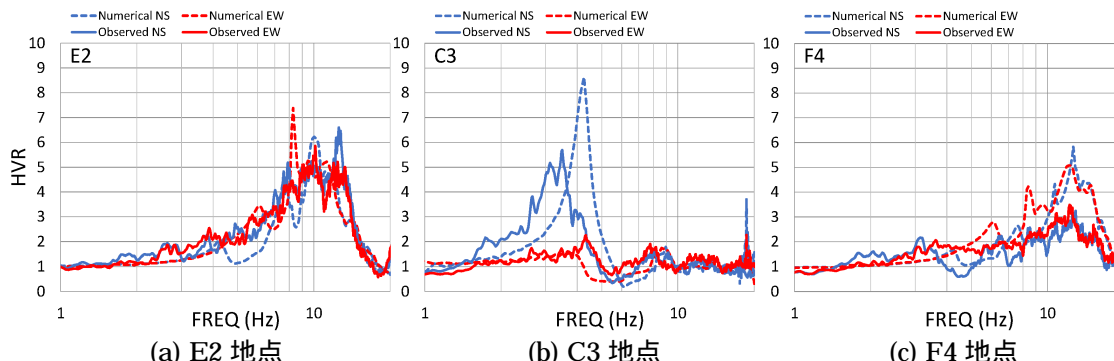


図 1 いわき市小名浜地区での観測と計算の水平上下スペクトル比との比較  
(青：NS/UD、赤：EW/UD、実線：観測、点線：計算、観測点位置は図 2 参照)

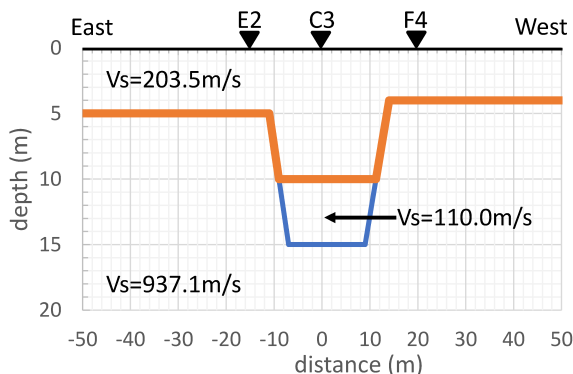


図 2 いわき市小名浜地区で推定される段差構造の断面と各層の S 波速度

(3) 平成 30 年度には、構築した横手盆地の詳細地盤構造 (図 3a) を用いて東縁断層帯横手盆地東縁断層帯南部 (M7.3) が活動した場合の横手市域における強震動予測を行った結果 (図 3b、図 3c) 横手市の西側で盆地端部に沿うように南北に最大速度分布の大きな地域が広がり、横手市周辺に「震災の帯」が出現する可能性が示唆された。また、エッジ効果による波の増幅的干渉を定量的に評価するために微動水平上下スペクトル比から段差構造を推測する方法を構築した。さらに、基盤構造に段差構造がある場合の地下構造によるやや短周期パルスによる地

震動増幅位置推定方法について検討を行い、兵庫県南部地震の際の神戸市域における増幅位置による検証を行った結果、本研究で提案する増幅位置推定の指標として利用できることを示した(図4、図5)。

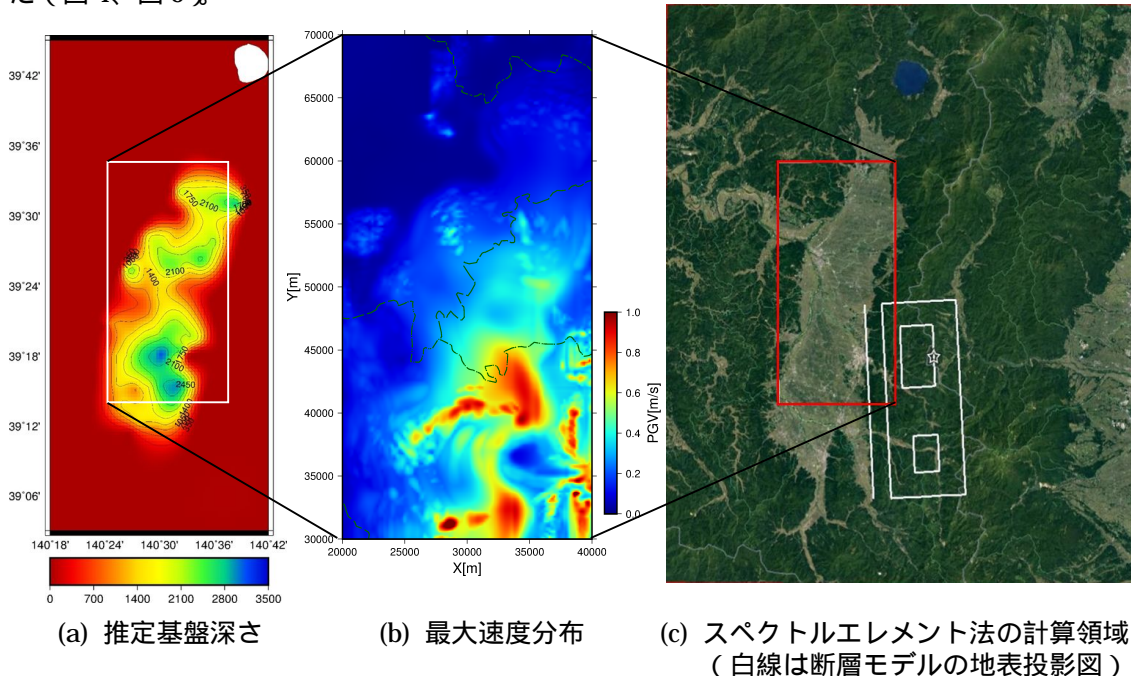


図3 横手盆地東縁断層帯南部(M7.3)が活動した場合の横手盆地における強震動予測

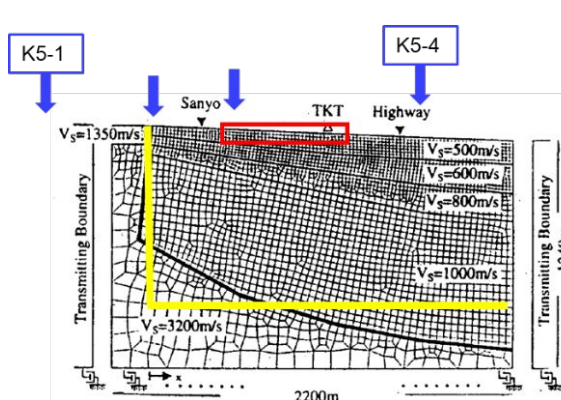


図4 神戸市のJR鷹取位置での簡略化基盤構造(黄実線)と推定される増幅位置(赤矩形)(永野・他(1998)に加筆)

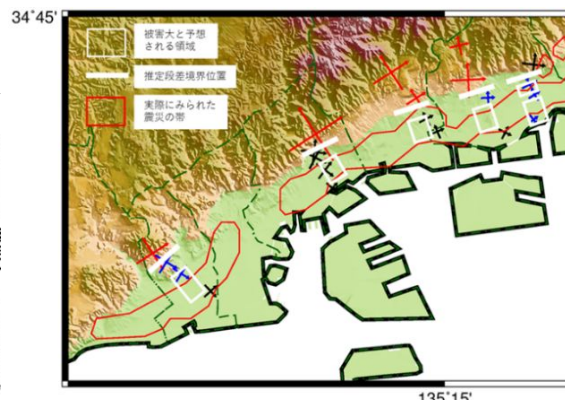


図5 神戸市域における推定段差位置(白太実線)から推定される増幅位置(白矩形)と震災の帯(赤実線)の関係(図4の鷹取断面は、図の最西矩形部)

<引用文献>

De Martin, F., Verification of a spectral-element method code for the Southern California Earthquake Center LOH. 3 viscoelastic case, Bull. Seismo. Soc. Am., 101(6), 2855-2865, 2011, <https://doi.org/10.1785/0120100305>  
 永野正行、大野晋、古山田耕司、加藤研一、兵庫県南部地震時の神戸市内における基盤地震動および地盤増幅特性、日本建築学会構造系論文集、511、77-84、1998、[https://doi.org/10.3130/aijs.63.77\\_4](https://doi.org/10.3130/aijs.63.77_4)  
 Sánchez-Sesma, F. J., M. Rodríguez, U. Iturrarán-Viveros, F. Luzón, M. Campillo, L. Margerin, A. García-Jerez, M. Suarez, M. A. Santoyo, A. Rodríguez-Castellanos, A theory for microtremor H/V spectral ratio: application for a layered medium, Geophys. J. Int. Exp. Lett., 186(1), 221-225, 2011, <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2011.05064.x>

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 1件)

Matsushima, Shinichi, Hiroyuki Kosaka, Hiroshi Kawase, Directionally dependent horizontal-to-vertical spectral ratios of microtremors at Onahama, Fukushima, Japan, Earth, Planets and Space 69:96, 2017.7, DOI 10.1186/s40623-017-0680-9

[学会発表](計 14件)

浜辺亮太、松島信一、盆地端部における段差構造の形状がエッジ効果に与える影響、日本建築学会学術講演梗概集(北陸)、2019.9

Hamabe, Ryota, Shinichi Matsushima, Takashi Azuma, Florent De Martin, A Study on the Influence of the Basin Edge Structure to the Characteristics of the Basin-Edge Effect, 27th IUGG General Assembly, 2019.7

浜辺亮太、松島信一、吾妻 崇、ドゥマルタン フロロン、盆地端部における地震動特性に関する研究、日本地球惑星科学連合 2019 年大会、2019.5

佐藤啓太、松島信一、松下隼人、増田竣介、吾妻 崇、野澤 貴、微動観測記録に基づく横手盆地の推定地下構造の増幅特性評価、平成 30 年度京都大学防災研究所研究発表講演会、2019.2

佐藤啓太、松島信一、松下隼人、増田竣介、吾妻 崇、野澤 貴、微動観測記録に基づく横手盆地の地下構造の推定、第 15 回日本地震工学シンポジウム、OS2-01-03、2018.12

浜辺亮太、松島信一、吾妻 崇、盆地端部における段差構造がエッジ効果の特性に与える影響に関する研究、第 15 回日本地震工学シンポジウム、OS2-01-09、2018.12

佐藤啓太、松島信一、微動観測記録に基づく横手盆地の速度構造と形状推定、平成 29 年度京都大学防災研究所研究発表講演会、A36、2018.2

小林弘和、松島信一、平成 28 年熊本地震の余震記録を用いた熊本県西原村周辺の地盤構造の推定、日本地震学会 2017 年秋季大会講演予稿集、S16-05、2017.10

佐藤啓太、松島信一、生駒断層帯における段差構造と微動水平上下スペクトル比の関係、日本地震学会 2017 年秋季大会講演予稿集、S16-07、2017.10

松島信一、小阪宏之、川瀬博、微動の水平上下スペクトル比の方位依存性から推測される小名浜地区における極表層地盤の不整形性、日本建築学会学術講演梗概集(広島)、Vol. B2、pp.305-306、2017.9

Matsushima, Shinichi, Sato Keita, Fukuoka Yuri, The spatial variability of the directionally dependent microtremor horizontal-to-vertical spectral ratios at the boundary of the basin edge in Uji, Japan, Joint Scientific Assembly of International Association of Geodesy and the International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior, S07-7-05, 2017.8

松島信一、佐藤啓太、横手盆地の盆地境界の推定のための地下構造調査、平成 28 年度京都大学防災研究所研究発表講演会、P61、2017.2

松島信一、吾妻 崇、野澤 貴、市村 強、1847 年善光寺地震の震源断層モデルの構築及び強震動シミュレーション、日本地震学会 2016 年秋季大会講演予稿集、S15-P06、2016.10

Matsushima, Shinichi, Toga Kobayashi, Hiroyuki Kosaka, Hiroshi Kawase, Directionally Dependent H/V Spectral Ratios of Microtremors at Onahama, Fukushima, Japan, 5th IASPEI/IAEE International Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion, August 15-17, 2016, P204D, 2016.8.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年：  
国内外の別：

○取得状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

## 6 . 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：吾妻 崇

ローマ字氏名：(AZUMA, Takashi)

所属研究機関名：国立研究開発法人産業技術総合研究所

部局名：地質調査総合センター

職名：主任研究員

研究者番号（8桁）：00356370

### (2)連携研究者

連携研究者氏名：川瀬 博

ローマ字氏名：(KAWASE, Hiroshi)

所属研究機関名：京都大学

部局名：防災研究所

職名：特定教授

研究者番号（8桁）：30311856

連携研究氏名：市村 強

ローマ字氏名：(ICHIMURA, Tsuyoshi)

所属研究機関名：東京大学

部局名：地震研究所

職名：准教授

研究者番号（8桁）：20333833

連携研究者氏名：野澤 貴

ローマ字氏名：(NOZAWA, Takashi)

所属研究機関名：鹿島建設株式会社

部局名：原子力部

職名：担当部長

研究者番号（8桁）：80463587

### (3)研究協力者

研究協力者氏名：ドゥ・マルタン フロロン

ローマ字氏名：(DE MARTIN, Florent)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。