

令和 2 年 9 月 8 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K01312

研究課題名(和文) 甚大な建物被害を引き起こす震源と地盤構造パラメータの解明

研究課題名(英文) Elucidation of epicenters and deep ground structure parameters that cause enormous damage to buildings

研究代表者

境 有紀 (Sakai, Yuki)

筑波大学・システム情報系・教授

研究者番号：10235129

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：建物の大きな被害を引き起こす1-1.5秒の成分が大きくなる深部地盤構造と震源の組み合わせについて検討した。その結果、深部地盤構造の伝達関数の1-1.5秒の成分が大きい、かつ、震源スペクトルの1-1.5秒成分が大きい場合に大きな1-1.5秒成分となることがわかった。

更に、深部地盤構造と震源の「掛け算」ではなく、どちらもある一定以上であることが条件であることもわかった。つまり、深部地盤構造と震源の両方が条件を満たしたときに大きな1-1.5秒成分が出るということである。そして、大阪平野の上町断層がその条件を満たしていることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本成果が意味することとしては、予め深部地盤構造と震源を調べておけば、どの断層でどの場所で建物の大きな被害に結びつく1-1.5秒の成分が出るかが予めある程度わかるということである。深部地盤構造の伝達関数も震源スペクトルも比較的簡単に計算できるので、全国の多くの活断層、あるいは、日本各地の深部地盤構造について計算を行うことができる。

具体的には、日本全国の深部地盤構造の伝達関数、および、大地震が想定される断層の震源スペクトルを計算することで、1-1.5秒成分が出る危険度マップのようなものが作成できることになり、防災上、非常に有益な情報を得ることができる。

研究成果の概要(英文)：The combination of the deep ground structure and the epicenter, which increases the 1-1.5 second component that causes the large damage to the building, was examined. As a result, it was found that the large 1-1.5 second component of the transfer function of the deep ground structure and the large 1-1.5 second component of the source spectrum were large.

Furthermore, it was found that the condition is that both of the deep ground structure and the epicenter are not "multiplication", but both are above a certain level. In other words, a large 1-1.5 second component appears when both the deep ground structure and the epicenter satisfy the conditions. Then, it was confirmed that the Uemachi fault of the Osaka plain satisfies the condition.

研究分野：構造力学

キーワード：深部地盤構造 震源 1-1.5秒 伝達関数 震源スペクトル

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

国内には数多くの断層の存在が確認されており、これらの断層における大地震の発生が危惧されている。想定される地震への対策のために、強震動予測手法による被害想定が必要となるが、人命の損失に繋がる建物の大きな被害を引き起こす周期 1-1.5 秒の応答の大きな地震動が発生する条件は、未だ分かっていない。

### 2. 研究の目的

そこで、強震動予測手法の 1 つである有限差分法を用いて様々な断層を対象に強震動シミュレーションを行い、その結果を震源や地下構造のパラメータによって整理することで、どのような場合に 1-1.5 秒応答の大きな地震動が発生するかを調べた。

### 3. 研究の方法

既往の検討から、建物の全壊といった大きな被害は、日本の建物の多くを占める木造建物や中低層非木造建物が塑性化したときの等価周期に当たる、周期 1-1.5 秒の揺れによって引き起こされることがわかっている<sup>1)</sup>。そこで、本研究では、地震調査研究推進本部が長期評価を行った断層を対象に、差分法を用いて地震動の周期 1-1.5 秒の弾性加速度応答(以下、1-1.5 秒応答)を計算することで、どのような場合に建物被害が大きくなるか検討を行った。

差分法で短周期まで計算する際に問題となるのが、格子数の増加による計算負荷の増加であるが、近年は計算機の性能も向上しており、格子間隔を細かくした周期 1 秒程度までの計算も可能である。これに加えて、既往の検討により、周期 1.2 秒<sup>2)</sup>までの成分が正しく計算できれば良いと考えられるため、有効周期を 1.2 秒とすることで、計算負荷を低減し、様々な震源や地下構造をパラメータとした検討を可能にしている。

差分法の計算には、防災科学技術研究所が開発・公開している地震動計算ツール GMS<sup>3)</sup>を用いた。GMS は、S 波速度の大きい深部の格子間隔を浅部の 3 倍にする不連続格子を導入しており、精度を保ちつつ計算負荷を低減することが可能である。まず、浅部の格子間隔  $h$  を、式(1)から決定した。式(1)に、周期  $T = 1.2$  s、計算領域で最も小さい S 波速度  $V_{min} = 350$  m/s を代入することで、浅部の格子間隔  $h$  は 70 m 以下と求まる。そこで、浅部の格子間隔は 70 m と設定した。格子間隔の変更は深さ 7000 m で行い、深部の格子間隔は 210 m と設定した。ここで、S 波速度が浅部の 3 倍の 1050 m/s 以上となる層の深さに合わせ、格子間隔を変更する深さを更に浅く設定しても深部の格子間隔が式(1)を満たすことは可能であるが、格子間隔が 3 倍となることで地盤構造モデルの層境界を再現する精度が落ちる恐れがある。そこで、地盤構造モデルの再現性を優先し、J-SHIS の地下構造モデルが約 7000 m までのデータを含むことから、格子間隔の変更を深さ 7000 m で行った。

計算領域の境界には、Cerjan, et al.<sup>4)</sup>による吸収境界を設定した。深部地盤構造モデルは、J-SHIS で公開しているモデル<sup>5)</sup>を用いた。震源パラメータは、全国地震動予測地図 2014 年版<sup>6)</sup>で示されている物を用いた。

$$h \leq \frac{V_{min} T}{6} \quad (1)$$

差分法を用いて計算するのは工学的基盤上の地震動であり、地表の地震動強さを求めるには表層地盤の増幅を考慮する必要がある。本研究では、微地形区分から表層地盤の増幅特性を推定する先名・翠川<sup>7)</sup>の手法を用いて地表の地震動強さを算出した。先名・翠川の手法により求めたスペクトル増幅率の周期 1-1.5 秒の平均値を工学的基盤上の 1-1.5 秒応答に乗ずることで、地表の 1-1.5 秒応答を算出した。各地点の微地形区分は、J-SHIS で公開されている若松・松岡<sup>8)</sup>によるものを使用した。

差分法で求めた 1-1.5 秒応答の値を見て被害の程度を判断するのは難しいため、岡田・高井の震度の被害関数  $D4^9)$ を修正した被害関数を元に、建物の大きな被害と対応するよう

定めた 1-1.5 秒震度<sup>10)</sup>を用いて結果を整理する。1-1.5 秒震度を用いることで、震度 6 弱、6 強、7 でそれぞれ全壊率 1-8%、8-30%、30%以上と被害の程度を簡便に判断することが出来る。また、1-1.5 秒応答を求めるための波形を全ての地点で求めると計算不可が大きいため、代表的な点に絞って波形を求め、面的補間<sup>11)</sup>を行うことで、1-1.5 秒応答の分布を求める。

#### 4. 研究成果

##### 1) 計測震度分布と1-1.5秒震度分布の比較

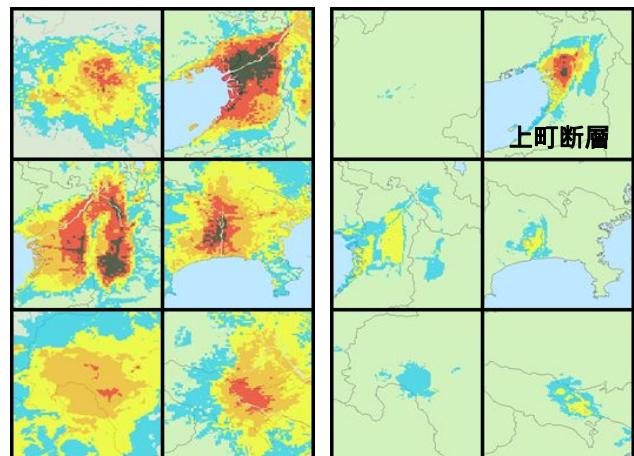
地震調査研究推進本部が長期評価を行った断層のうち、表 1 に示す M7 クラスの 16 断層を対象に差分法による強震動シミュレーションを行った。図 3 に、地震調査研究推進本部が公開している計測震度分布<sup>6)</sup>と、差分法で計算した波形から求めた 1-1.5 秒震度分布の一例を示す。計測震度分布を見ると、多くの断層で最大震度 7 の強い揺れが想定されているが、建物の大きな被害と対応する 1-1.5 秒震度分布を見ると、最大震度 7 となるのは大阪平野の上町断層のみであり、ほとんどの地震で、計測震度は大きくなるものの、建物被害は大きくならないことがわかる。

##### 2) 深部地盤構造と震源特性が1-1.5秒応答に与える影響

断層によって 1-1.5 秒応答の大きさが異なる理由を調べるために、複数の断層を対象に、

表 1 計算を行った断層モデル

	断層名	Mw	傾斜角[deg]
横ずれ断層	布田川断層帯布田川区間	6.5	90
	鞆断層帯南東部	6.7	90
	高山断層帯	6.9	90
	山崎断層帯・主部南東部モデル3	6.7	90
正断層	平井-櫛挽断層帯	6.6	90
	野稲岳-万年山岳断層帯	6.8	60
逆断層	日奈久断層帯日奈久区間	6.9	60
	長町-利府線断層帯	6.9	40
	長尾断層帯	6.6	35
	関谷断層	6.9	30
	生駒断層帯	6.9	35
	上町断層帯	7.0	70
	青森湾西岸断層帯	6.8	60
	伊那谷断層帯南東部	6.8	60
	伊勢原断層	6.6	60
	立川断層帯	6.8	90



(a) 計測震度 (b) 1-1.5 秒震度  
図 1 2 種類の震度分布の比較(一例)

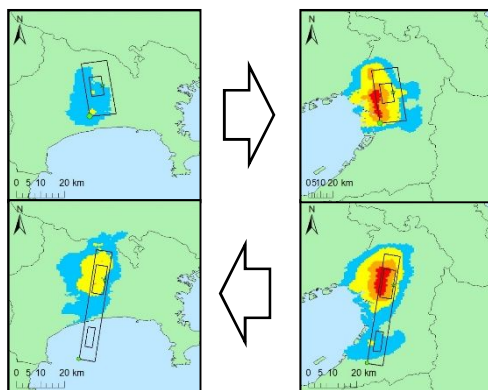


図 2 伊勢原断層(左)と上町断層(右)  
を入れ替えた場合の 1-1.5 秒震度の変化

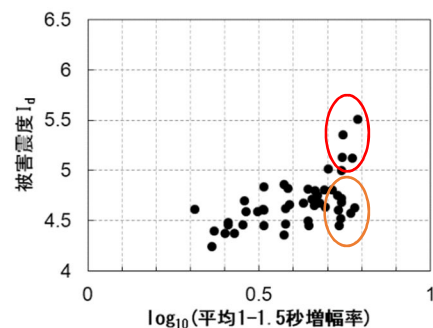


図 3 平均 1-1.5 秒増幅率と被害震度の関係

震源と深部地盤構造を入れ替える計算を行ったところ、図 2 に示す例のように、1-1.5 秒応答が大きくなりやすい深部地盤構造とそうではないものがあることがわかった<sup>1)</sup>。そこで、深部地盤構造の情報から 1-1.5 秒応答の出やすさを調べるために、地震基盤面から工

学的基盤面までのスペクトル増幅率を求め、その周期 1-1.5 秒成分の平均を 1-1.5 秒増幅率と定義した。差分法で求めた工学的基盤上の 1-1.5 秒応答と 1-1.5 秒増幅率を 300km<sup>2</sup> の範囲で基準化し、基準化した 1-1.5 秒応答から求めた 1-1.5 秒震度（以下、被害震度）と、基準化した 1-1.5 秒増幅率の関係を図 3 に示す。図 3 より、深部地盤構造の 1-1.5 秒増幅率が大きくなるにつれて 1-1.5 秒応答が大きくなる傾向が見られるが、赤と青の丸で囲んだケースのように、1-1.5 秒増幅率が大きい深部地盤構造でありながら、1-1.5 秒応答が大きい場合と小さい場合が存在する。赤丸に含まれる上町断層と、青丸に含まれる生駒断層・関谷断層について、震源パラメータの違いが震源から放出される波の振動特性に与える影響を検討したところ、すべり量と面積の違いが 1-1.5 秒成分の差を生じたと考えられる<sup>[3]</sup>ことから、生駒断層・関谷断層のパラメータを上町断層と同じ値にして計算を行ったところ、図 4 に示すように上町断層と同程度の 1-1.5 秒応答が生じた。従って、1-1.5 秒応答の大きさには、震源と深部地盤構造の双方が影響を与えていると考えられる。

### 3) 1-1.5 秒応答が大きくなる震源と深部地盤構造の組み合わせ

震源特性と深部地盤構造がどちらも 1-1.5 秒応答に大きな影響を与えることが分かったため、図 4 の結果を震源と深部地盤構造の両方をパラメータとして整理し直した。横軸に深部地盤構造の 1-1.5 秒増幅率、縦軸に震源スペクトルの 1-1.5 秒成分を取り、差分法による計算結果を図 6 に示す。図 6 より、1-1.5 秒応答の大きさを表す被害震度が大きくなるのは深部地盤構造の 1-1.5 秒増幅率と震源スペクトルの 1-1.5 秒成分がどちらも大きい場合であり、震源スペクトルの 1-1.5 秒成分のみが大きくても、深部地盤構造の 1-1.5 秒増幅率が大きくない場合には被害震度はあまり大きくならないことがわかる。

下線は 3 断層本来のモデルを上町断層の地盤に置いた際の被害震度

		元にするモデル		
		上町断層	生駒断層	関谷断層
アスペリティ領域のすべり量と面積	上町断層の値	5.52	5.44	5.48
	生駒断層の値	5.16	5.20	
	関谷断層の値	5.24		5.11

被害震度 5.1 5.2 5.3 5.4 5.5 5.6

図 5 震源パラメータを変えた場合の 1-1.5 秒応答比較

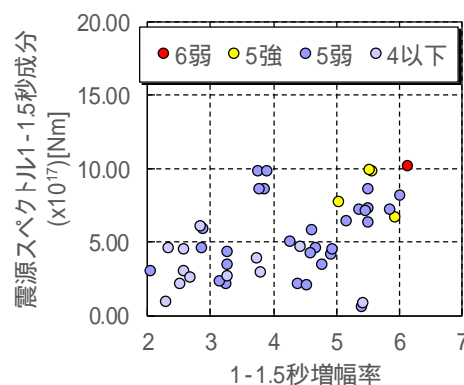


図 6 震源と深部地盤構造の 1-1.5 秒成分と工学的基盤の被害震度の関係

以上の検討より、大きな建物被害を引き起こす周期 1-1.5 秒の応答が大きくなるのは、震源と深部地盤構造がどちらも 1-1.5 秒成分を出しやすい場合であることがわかった。

### 4) まとめ

本研究では、強震動予測手法の 1 つである有限差分法を用いて内陸の様々な断層を対象に強震動シミュレーションを行い、建物の大きな被害と相関のある 1-1.5 秒応答を計算することで、どのような場合に大きな建物被害を引き起こす地震動が発生するか検討を行った。その結果、大きな建物被害が生じるのは、震源と深部地盤構造が共に周期 1-1.5 秒の成分を出しやすい場合であることが分かった。このうち、震源パラメータを正確に推定することは困難であるが、深部地盤構造は震源パラメータよりも精度よく推定できるため、

正確な地下構造モデルを構築することで、被害の生じやすい場所をある程度推定することができると考えられる。

#### 引用文献

- 1) 境有紀：2011 年東北地方太平洋沖地震で発生した地震動と建物被害の対応性 - 建物の大きな被害をより正確に推定する地震動強さ指標 - ,日本建築学会構造系論文集 ,第 78 巻 ,第 683 号 , pp.35-40 , 2013 .
- 2) 木野暢之, 境有紀：建物の大きな被害を正確に推定するための強震動予測手法に関する検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 II, 189-190, 2014.9.
- 3) 青井真, 早川俊彦, 藤原広行：地震動シミュレータ：GMS, 物理探査, Vol.57, pp.651-666, 2004 .
- 4) Charles Cerjan. Dan Kosloff. Ronnie Kosloff. Moshe Reshef. : A nonreflecting boundary condition for discrete acoustic and elastic wave equations. GEOPHYSICS, VOL. 50, NO.4, pp.7.5-7.8, 1985 .
- 5) 藤原広行, 河合伸一, 青井真, 森川信之, 先名重樹, 工藤暢章, 大井昌弘, はお憲生, 早川讓, 遠山信彦, 松山尚典, 岩本鋼司, 鈴木晴彦, 劉瑛：強震動評価のための全国深部地盤構造モデル作成手法の検討, 防災科学技術研究所研究資料, 第337号, 2009 .
- 6) 地震調査研究推進本部：全国地震動予測地図,  
[https://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic\\_hazard\\_map/shm\\_report/shm\\_report\\_2014/](https://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic_hazard_map/shm_report/shm_report_2014/)  
(参照 2020-6-16)
- 7) 先名重樹, 翠川三郎：地形・地盤分類に基づく地震動のスペクトル増幅率の推定, 日本地震工学会論文集, 第9巻, 第4号, 2009 .
- 8) 若松加寿江, 松岡昌志：全国統一基準による地形・地盤分類 250m メッシュマップの構築とその利用, 地震工学会誌 No.18, pp.35-38, 2013 .
- 9) 中澤駿佑, 境有紀：深部地盤構造が建物被害に与える影響, 日本建築学会大会学術講演会梗概集, 構造 II, pp.1161-1162, 2016 .
- 10) 岡田成幸, 高井伸雄：地震被害調査のための建物分類と破壊パターン, 日本建築学会構造系論文集, 第 524 号, pp.65-72, 1999 .
- 11) 新井健介, 境有紀：建物被害と相関を持つ地震動強さ指標を用い構造種別や層数を考慮した地震被害推定システムの開発, 日本地震工学会論文集, 第 11 巻, 第 4 号, pp.88-107, 2011 .

#### 発表済み論文

- 1) 中澤駿佑, 境有紀：深部地盤構造が建物被害に与える影響, 日本建築学会大会学術講演会梗概集, 構造 II, pp.1161-1162, 2016 .
- 2) 中澤駿佑, 境有紀：建物被害に影響を与える深部地盤構造および震源パラメータの検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 II, 163-164, 2017.8 .
- 3) 中澤駿佑, 境有紀：大きな建物被害を引き起こす震源と深部地盤構造の組み合わせ, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 II, 691-692, 2018.9.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 汐満将史, 境有紀, 五十田博, 荒木康弘, 松森泰造	4. 巻 第83巻, 第747号
2. 論文標題 既存木造建物を対象とした復元力特性モデルの開発	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本建築学会構造系論文集	6. 最初と最後の頁 717-726
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 103130/aijs83717	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 中澤駿佑, 境有紀	4. 巻 構造II
2. 論文標題 建物被害に影響を与える深部地盤構造および震源のパラメータの検討	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 日本建築学会大会学術講演梗概集	6. 最初と最後の頁 163-164
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 中澤駿佑, 境有紀
2. 発表標題 大きな建物被害を引き起こす震源と深部地盤構造の組み合わせ
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三木彩加, 境有紀
2. 発表標題 実被害データを用いた木造建物の経年劣化の推定
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 早川森, 境有紀
2. 発表標題 揺れの数が多い地震動の危険性とその原因
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 汐満将史, 境有紀, 五十田博, 荒木康弘, 松森泰造
2. 発表標題 極短周期地震動を入力した旧耐震木造住宅の実大振動実験 その4 極短周期地震動で大きな被害が生じなかった要因の検討
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中澤駿佑, 境有紀
2. 発表標題 建物被害に影響を与える深部地盤構造および震源のパラメータの検討
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中澤駿佑・境有紀
2. 発表標題 深部地盤構造が建物被害に与える影響
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----