

応答スペクトルに基づく福岡都市圏の建物被害率分布に関する研究

鈴木 貫太

1. はじめに

現在多くの自治体が行っている地震被害想定において、建物被害率は建物の建設年代に応じた被害率曲線を用いて、計測震度や最大速度などから推定される。しかし、境・ほか(2001)¹⁾は、計測震度や最大速度が必ずしも建物の被害率と相関がよくないことを指摘し、建物の被害率を適切に予測する指標として、加速度応答スペクトルのある特定の周期帯の平均値を用いる手法を提案した。この手法は、計測震度や最大速度よりも精度よく建物の被害率を推定できるが、自治体における被害想定において適用された例はない。

そこで本研究では、警固断層帯南東部における地震を例に、加速度応答スペクトルから建物被害率分布を推定し、福岡県が想定する建物被害率分布と比較することで、両者の違いについて考察を行う。

2. 対象とする地震の概要

今回対象とする地震は、玄海灘から福岡平野にかけて北西-南東に分布する警固断層帯の南東部における地震である。この地震の気象庁マグニチュード(Mj)は7.2、地震発生時には断層近傍の地表面で、2m程度の左横ずれが生じる可能性があるとして想定されている。平均活動間隔は約3100~5500年であるのに対し、最新の活動時期は約3400~4300年前であり、今後30年以内の地震発生確率は0.3~6%であると指摘されている²⁾。なお、同断層帯の北西部は2005年に福岡県西方沖の地震(Mj7.0)として活動しており、玄海島を中心に多くの被害をもたらした。

警固断層帯南東部の地震に対しては、防災科学技術研究所によって、3次元有限差分法と統計的グリーン関数法を組み合わせた、いわゆるハイブリッド法により強震動予測が行われ、J-SHIS³⁾においてその結果が公開されている。想定断層モデルは、破壊開始点とアスペリティの違いによって4つのケースに分けられている。アスペリティが1つで断層南東側深部から破壊が開始するケース1a、断層北西側深部から破壊が開始するケース1b、異なる大きさのアスペリティが2つで断層南東側深部から破壊が開始するケース2a、断層北西側深部から破壊が開始するケース2bの4つである。

3. 対象地域の概要

本研究の対象地域の範囲は、建物数と人口の多く、福岡県が平成18年度に行った「地震に関する防災アセスメント調査」³⁾において建物被害率が特に高いとされた福岡市中央区を中心とした約20km×20kmとした(図1)。なお、福岡県が行った「地震に関する防災アセスメント調査」では、断層破壊過程を考慮して計算された各地点の地震基盤上の地震動とそれぞれの地点の地盤の非線形増幅特性から地表の地震動を算出し、その地震動と建物の構造種別、用途、建築年代などごとに設定された建物被害の基準との関係から建物被害分布を想定している³⁾。



図1 対象地域と警固断層南東部の位置

4. 解析の概要

4.1 応答スペクトルを用いた建物被害率の算定

境・ほか(2013)⁴⁾は1995年兵庫県南部地震から2011年東北地方太平洋沖地震における強震観測記録とその観測点周辺の建物の実被害データを用いて、大破・全壊以上の建物被害率をより正確に推定する指標について検討し、その適切な指標として、減衰20~30%の応答スペクトルの周期1~2秒、あるいは1~1.5秒の平均値を提案した。そこで、本研究では減衰20%の加速度応答スペクトルの周期1~1.5秒の平均値を用いて、建物被害率を推定する。

4.2 工学的基盤における地震動

本研究では、J-SHIS によって公開されている警固断層帯南東部の地震の3次元シミュレーションによる波形データを用いる。J-SHIS によって公開されている波形データは、約 1 km 四方メッシュごとに計算された表層 30 m の平均 S 波速度 (AVS_{30}) が 600 m/s の工学的基盤における水平動 2 成分 (NS、EW) の速度波形である。

この速度波形の NS 成分、EW 成分のそれぞれを微分して加速度波形を算出し、減衰 5% の応答加速度を求め、これらをベクトル合成した応答波形の最大値を読み取ることで各メッシュにおける工学的基盤上の加速度応答スペクトルを算出する。

4.3 地盤増幅率の計算

得られた工学的基盤における減衰 5% の加速度応答スペクトルに地盤増幅率を掛けることで地表における減衰 5% の加速度応答スペクトルを算出する。地盤増幅率について、Morikawa and Fujiwara (2013) における浅部地盤による地震動の増幅に関する補正項を用いる。

Morikawa and Fujiwara (2013) の浅部地盤による地震動の増幅に関する補正項は AVS_{30} の関数として与えられており、 $AVS_{30} = 350$ m/s 相当の地盤からの増幅率を計算することができる。そこで、 $AVS_{30} = 600$ m/s、つまり工学的基盤から地表までの地震動の増幅を、① $AVS_{30} = 350$ m/s 相当の地盤から地表までの増幅と、② $AVS_{30} = 350$ m/s 相当の地盤から $AVS_{30} = 600$ m/s、つまり工学的基盤までの増幅に分けて考える。 $AVS_{30} = 350$ m/s 相当の地盤から地表までの補正項 G_{s1} 、 $AVS_{30} = 350$ m/s 相当の地盤から工学的基盤までの補正項 G_{s2} は周期ごとに与えられた回帰係数 V_{smax} 、 p_s を用いてそれぞれ(1)式、(2)式で表される。

$$G_{s1} = p_s \cdot \log \left(\frac{\min(V_{smax}, AVS_{30})}{350} \right) \quad (1)$$

$$G_{s2} = p_s \cdot \log \left(\frac{\min(V_{smax}, 600)}{350} \right) \quad (2)$$

工学的基盤から地表までの増幅率 amp は G_{s1} 、 G_{s2} を用いて(3)式で表される。

$$\log amp = G_{s1} - G_{s2} \quad (3)$$

また地表における減衰 5% の加速度応答スペクトル SA_s は工学的基盤における減衰 5% の加速度応答スペクトル SA_b を用いて(4)式で表すことができる。

$$SA_s = SA_b \times amp \quad (4)$$

ここで、 AVS_{30} は速度波形と同様に J-SHIS において、約 250 m 四方メッシュごとに与えられている。そのため、地表における減衰 5% の加速度応答スペクトルは

約 250 m 四方メッシュごとに得ることができる。

4.4 応答スペクトルにおける減衰定数の影響の補正

本研究では建物被害率と関連の高い減衰 20% 加速度応答スペクトルを用いるため、4.3 節で得られた地表における減衰 5% の加速度応答スペクトルを減衰 20% の加速度応答スペクトルに変換する必要がある。そこで、対象範囲全メッシュにおける各周期の工学的基盤における減衰 5% の加速度応答スペクトルと減衰 20% の加速度応答スペクトルの比の平均を、4.3 節で得られた地表における減衰 5% の加速度応答スペクトルにかけることで、地表における減衰 20% の加速度応答スペクトルを求めた。周期ごとの減衰 5% の加速度応答スペクトルに対する減衰 20% の加速度応答スペクトルの比とそれらの平均値を図 2 に示す。

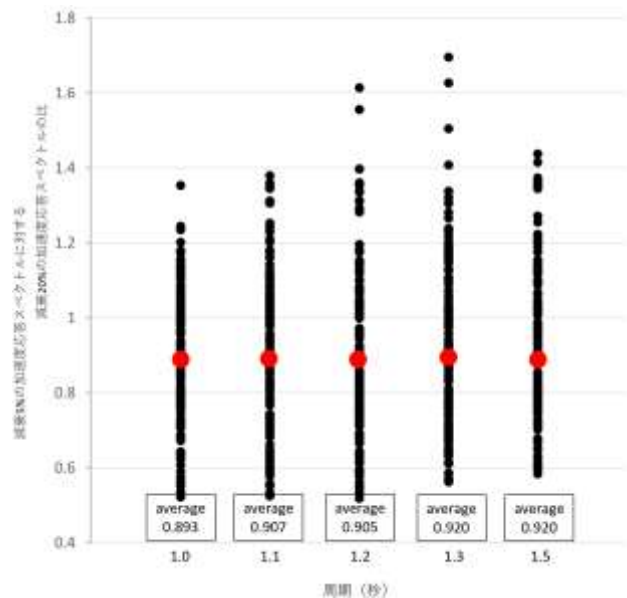


図 2 周期ごとの減衰 5% の加速度応答スペクトルに対する減衰 20% の加速度応答スペクトルの比

4.5 建物被害率の計算

4.4 節で算出した地表における減衰 20% の加速度応答スペクトルの周期 1~1.5 秒の平均値から建物被害率 D を算出する。(5)式で表される中澤・境 (2016) ⁵⁾ の被害関数を用い、建物被害率を算出する。

$$D = \Phi(2.78 \times \log A_{1-1.5} - 9.46) \quad (5)$$

ここで、 Φ は標準正規分布の累積確率で、 $A_{1-1.5}$ は減衰 20% の加速度応答スペクトルの周期 1~1.5 秒の平均値である。

5. 解析結果と考察

図 3 に周期 1~1.5 秒の各周期における計算された工学的基盤から地表までの地震動の増幅率の分布、図 4 に地表における減衰 20% の加速度応答値の分布を示す。地震動の増幅率 2 倍以上を示す地域は周期 1 秒に

において最も広く、周期が高くなるにつれて減少する。また、各周期において、博多湾の沿岸地域よりも、少し内陸に入った地域で高い値を示す。これらの地域の多くは、微地形区分上、後背湿地となっており²⁾、軟

弱な地盤で形成されていると考えられる。地表における減衰 20%の加速度応答値は、図中の★印で示した破壊開始点付近は高い値を示す。

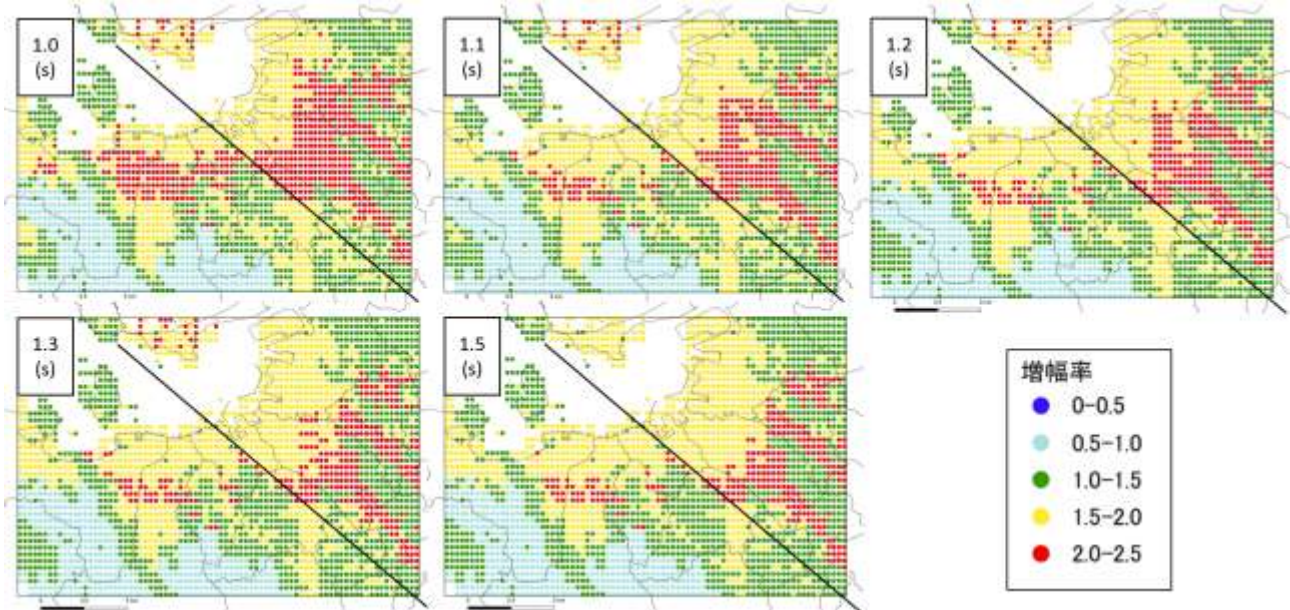


図3 工学的基盤から地表までの地震動の増幅率の分布

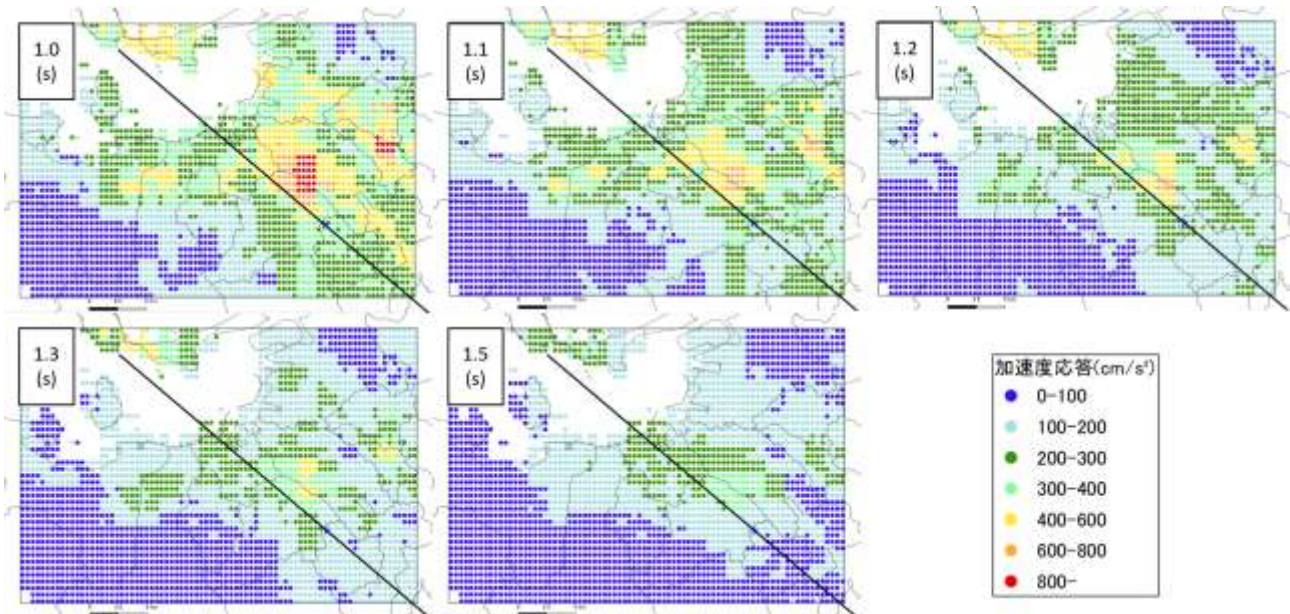


図4 地表における減衰 20%の加速度応答値の分布

6. 考察

6.1 計測震度での比較

中澤・境 (2016)⁵⁾では、岡田・高井による震度の被害関数⁶⁾と(5)式で得られた建物被害率を用いて加速度応答スペクトルの周期 1~1.5 秒に対応する震度 $I_{1-1.5}$ を(6)式の様提案している。

$$I_{1-1.5} = 1.58 \log(A_{1-1.5}) + 1.45 \quad (6)$$

図 5 に、(a)得られた震度 $I_{1-1.5}$ の分布、ならびに(b)福岡県の「地震に関する防災アセスメント調査」によるけ

震度分布、(c)J-SHIS による震度分布を示す。なお、(b)福岡県の震度分布は気象庁の方法を用いて 3 成分の加速度記録から算出された計測震度分布で、約 250 m メッシュごとに求められている。また、(c)J-SHIS の震度分布は約 1 km 四方メッシュ単位の工学的基盤における計測震度を計算し、約 250 m メッシュごとの AVS_{30} を用いて評価された震度増分に基づき、約 250 m メッシュごとに求められている。

(a)震度 $I_{1-1.5}$ の分布と(c)J-SHIS の震度分布では全体

的に(c)J-SHIS の震度分布の方が震度は高いが、震度が
高い場所、低い場所は一致している。また、(a)震度 $I_{1-1.5}$
の分布と(b)福岡県の震度分布では、震度が低い場所は
一致しているが(b)でのみ震度が高くなっている場所
があり、J-SHIS において計算された地震波形は被害率
と相関の高い周期 1~1.5 秒に強い応答を示さない地震
動であることが考えられる。

6.2 被害率分布との比較

図 6 に(a)本研究で得られた建物被害率分布と、(b)福
岡県の「地震に関する防災アセスメント調査」の被害
率分布を示す。(a)本研究による被害率の分布は、地盤
増幅率の大きな地域が広がる断層の東側で大きい。ま
た、(b)福岡県の結果における被害率の最大が 30%以上
であるのに対して、(a)本研究の結果は最大でも 5%程
度であり、全体的に被害率が小さい。このような傾向
は中澤・境 (2016)⁵⁾でも指摘されている。なお、中澤・
境 (2016)⁵⁾では、計測震度の値が同じ場合でも、深部
の地盤構造の違いによって、建物被害が大きくなる地
震動とそうでない地震動があることを指摘しており、
本研究で扱った地震動は後者のケースに当たると考え
られる。

7. まとめ

本研究では、加速度応答スペクトルから建物被害率、
震度を求め、既往のものと比較を行った。得られた知
見を以下にまとめる。

- ・応答のピークの周期帯によっては計測震度が大きく
出ても実際の被害は小さくなる可能性がある。

- ・自治体の被害率算出方法は地盤増幅の大小の影響を
大きく受ける。

今後の課題として中澤・境 (2016)⁵⁾で示されてい
る深部地盤の影響について確認が挙げられる。

参考文献

- 1) 境有紀、吉岡伸悟、額綱一起、壁谷澤寿海：1999年台湾集集地震に基
づいた建物被害を予測する地震動の破壊力指標の検討、日本建築学会
構造系論文集、第 549 号、pp. 43-50、2001
- 2) 防災科学技術研究所：J-SHIS、<https://www.j-shis.bosai.go.jp/map/>（参照
2022 年 2 月 1 日）
- 3) 福岡県：地震に関する防災アセスメント調査報告書、
<https://www.pref.fukuoka.lg.jp/gyosei-shiryo/jishinasesu.html>（参照 2022
年 2 月 1 日）
- 4) 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—、
日本建築学会構造論文集、第 683 号、pp. 35-40、2013
- 5) 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
学会大会学術講演梗概集、pp. 1161-1162、2016
- 6) 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
- 7) 大崎順彦：地震動のスペクトル解析入門、鹿島出版会、p260、1981
- 8) 防災科学技術研究所：浅部・深部統合地盤モデル、<http://www.j-shis.bosai.go.jp/map/>、2019（参照 2022 年 2 月 1 日）
- 9) 境有紀：建物被害と対応した地震動の周期帯の再検討—2007 年能登半
島地震、新潟中越地震のデータを加えて—、日本建築学会構造論文集、
第 642 号、pp. 1531-1536、2009
- 10) 境有紀、額綱一起、神野達夫：建物被害率の予測を目的とした地震動
の破壊力指標の提案、日本建築学会構造系論文集、第 555 号、pp. 85-
91、2002
- 11) Nobuyuki Morikawa and Hiroyuki Fujiwara : A New Ground Motion
Prediction Equation for Japan Applicable up to M9 Mega-Earthquake, J.
Disaster Res., Vol. 8, No. 5, pp. 878-888, 2013
- 12) 総務省統計局：地域メッシュ統計、
<https://www.stat.go.jp/data/mesh/index.html>（参照 2022 年 1 月 1 日）
- 13) 国土交通省：国土交通省国土数値情報ダウンロードサイト、
<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>（参照 2022 年 1 月 1 日）
- 14) 防災科学技術研究所：東日本大震災を踏まえた地震動ハザード評価改
良、防災科学技術研究所、pp. 129-232、2015
- 15) 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、4 号、pp. 88-107、2011

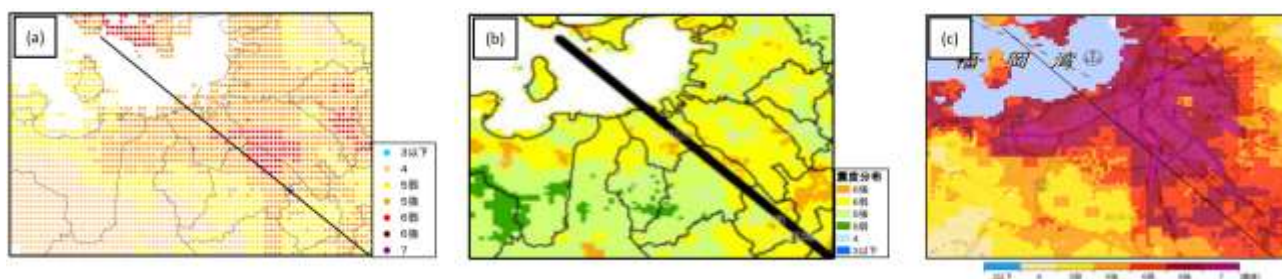


図 5 震度分布 (a):本研究における震度 $I_{1-1.5}$ 、(b):福岡県防災アセスメント調査、(c):J-SHIS

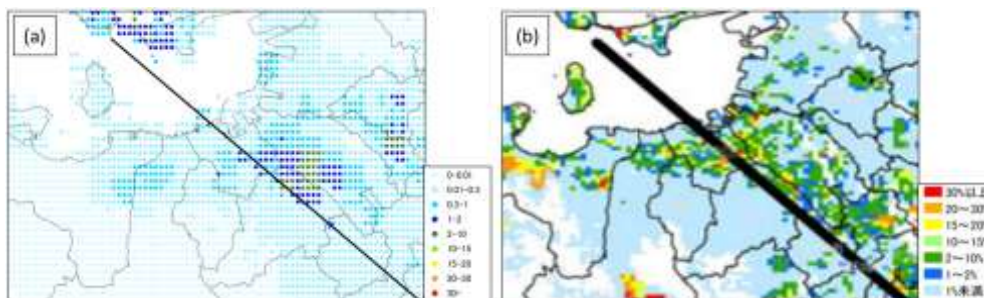


図 6 建物被害率分布 (a):本研究、(b):福岡県防災アセスメント調査)