

【研究ノート】

## 表層地盤の地震応答解析結果を用いた震度指標の提案

三田凜也<sup>1</sup>, 松原郁洋<sup>2</sup>, 荘所直哉<sup>3</sup>, 永野康行<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 兵庫県立大学環境人間学部環境人間学科, 大学生

<sup>2</sup> 兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科, 大学院生

<sup>3</sup> 兵庫県立大学環境人間学部環境人間学科, 准教授 博士 (工学)

<sup>4</sup> 兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科, 教授 博士 (工学)

本研究では, 表層地盤の種類がもたらす地震動増幅の違いを時刻歴応答解析の結果を用いて, 震度指標を提案する. 地盤種別 3 種類の表層地盤モデルを作成し, 地震による地表での時刻歴応答解析の結果からわかる加速度を震度へと変換し, 震度指標を提案する,

解析結果から変換した震度から表層地盤を弾性とした場合, 第三種, 第二種, 第一種の順に計測震度が大きくなったが, 表層地盤を弾塑性とした場合, 計測震度は途中まで弾性と同じような増加傾向にあったが, その後は第三種が最も計測震度が小さくなり, 第一種と第二種の計測震度がより大きくなり, 減災や復興の面から表層地盤を考慮した建物の利用や新築, 地震被害予測や対策などは第三種が必ず最も大きく揺れるといった単純な結果ではなかったため, 実データを基にして再検討する必要がある.

キーワード: 表層地盤, 震度, 加速度, 時刻歴応答解析

### 1. 序論

地震によって働く力の要素として, 主な要素として慣性力があるがその他に地域による揺れの違いや表層地盤の硬さによる地震動増幅の違いなどがある. 地震の揺れは計測器などを用いて地表の加速度を観測している. しかし, 地震の揺れを評価するとき, 計測された加速度よりも加速度を震度に変換したものの方がよく用いられている.

人は地表で生活するため地震による被害を想定する際に, 表層地盤は揺れを増幅させるものとして考慮する必要がある. 建物を建てるときに表層地盤は硬さにより 3 種類に分類されているので, どのような表層地盤であると, 同じ地震でもどれくらい揺れの増幅が大きくなるのかを明らかにすることで, 減災の面では個人が選択する活動したり住んだりするための建物が地震による被害を受けやすい表層

地盤の上に立っているのかどうかを判断すること可能となる。また、復興の面では地震被害の予測の精度が向上し対策がより迅速になることに寄与する。

本研究は、表層地盤の種類がもたらす地震動増幅の違いを時刻歴応答解析の結果を用いて、震度指標の提案を行うことを目的としている。提案手法では地盤種別 3 種類の地盤モデルを作成し、時刻歴応答解析の結果から気象庁が提案している加速度を震度に変換する方法を用いて震度指標を作成する。

## 2. 研究手法

### 2.1 地盤モデル

1 層からなる 2 つの地盤モデル (図 1, 2) を地盤の地震応答解析ソフト ShakePRO-L 用いて解析を行う。地盤種別 3 種類は第一種地盤, 第二種地盤, 第三種地盤 (以下第一種, 第二種, 第三種とする) でそれぞれ地盤の固有周期が 0.4 s, 0.6 s, 0.8 s とされている。

$$T_c = 4H / V_s \tag{1}$$

式(1)において  $T_c$  を地盤の固有周期(s),  $H$  を表層地盤の層厚(m),  $V_s$  をせん断波速度(m/s)とする。1 つの地盤モデル 1 (図 1) は表層地盤の層厚 30 m で一定として式(1)からせん断波速度を決定したものである。もう 1 つの地盤モデル 2 (図 2) は表層地盤の層厚を変数として、層厚に対応したせん断波速度を式(1)から決定したものである。

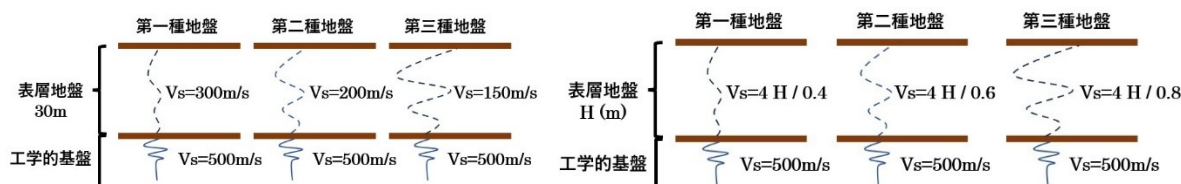


図 1 地盤モデル 1

図 2 地盤モデル 2

地盤モデル 1 では入力地震波の倍率, 質量密度, 地盤モデル 2 では表層地盤の層厚を変数とし, JMA 神戸 NS 位相, 八戸 EW 位相, 乱数位相の 3 種類の告示波を用いて表層地盤の時刻歴応答解析を行う。

## 3. 結果

### 3.1 表層地盤が弾性的の場合

#### 3.1.1 入力地震波倍率を変えた場合

図 2 のように倍率が高くなるにつれて計測震度は大きくなる。第三種, 第二種, 第一種の順に計測震度は大きくなる。

#### 3.1.2 質量密度を変えた場合

図 3 のように質量密度が大きくなるにつれて計測震度は小さくなる傾向にある。JMA 神戸 NS 位相

の質量密度が 5 ton/m<sup>3</sup> のときのみ、第二種の方が第三種よりも計測震度は大きくなった。

### 3.1.3 表層地盤の層厚を変えた場合

図 4 のように層厚が大きくなるにつれて計測震度は小さくなる傾向にある。八戸 EW 位相の層厚が 10 m のときのみ、第二種の方が第三種よりも計測震度は大きくなった。

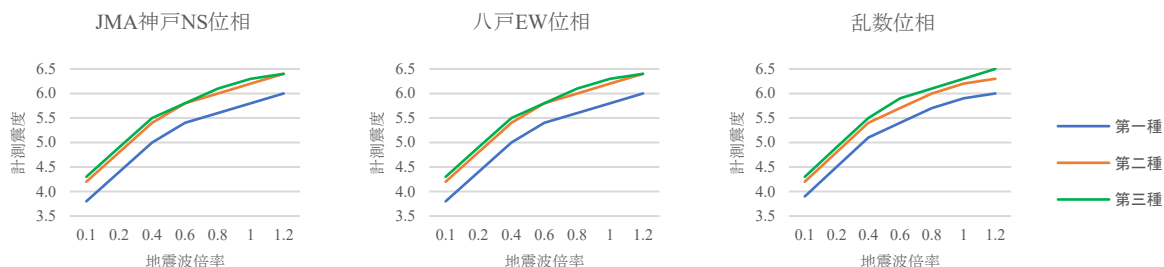


図 2 地震波倍率を変えたときの解析結果

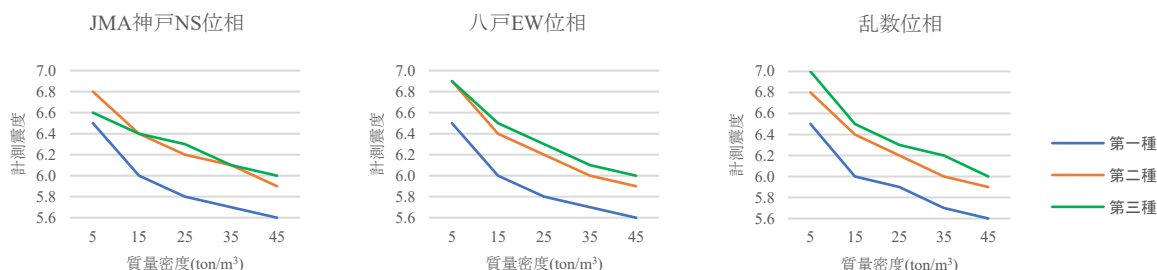


図 3 質量密度を変えたときの解析結果

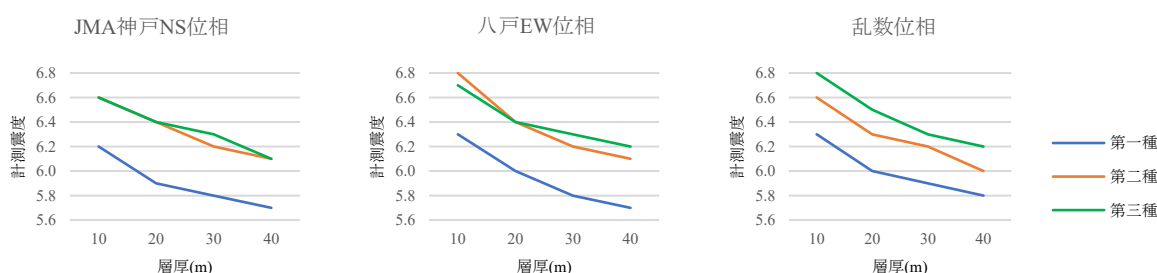


図 4 表層地盤厚を変えたときの解析結果

### 3.2 表層地盤が弾塑性の場合

表層地盤の歪み依存性にあらかじめ解析ソフトに搭載されている、平均：砂質土（古山田・宮本モデル）<sup>2)</sup>を採用する。図 5 のように計測震度が 4.0 までは表層地盤が弾性のときと同じように第三種、第二種、第一種の順で計測震度は大きくなったが、計測震度がおよそ 4.0 から 5.5 まで第一種が他の地盤よりも増加し、計測震度がおよそ 5.5 以降では第一種、第二種、第三種の順に計測震度が大きくなる傾向にあった。

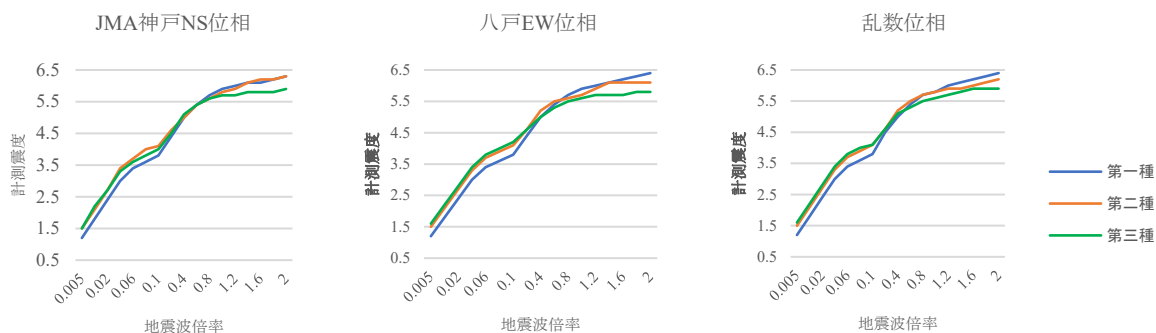


図5 地震波倍率を変えたときの解析結果

#### 4. 結論

表層地盤を弾性としたときは、軟弱であるとされる第三種は計測震度が大きくなり、硬質であるとされる第一種は計測震度が小さくなった。しかし、せん断波速度の差があまり大きくないときには、計測震度にあまり差はないため、第二種と第三種の計測震度に差が出にくかった。

表層地盤を塑性とした場合は、ある程度の計測震度までは弾性と同じように入力地震波が大きくなれば計測震度も増加する傾向にあったが、その後の計測震度では第三種よりも第一種や第二種の方がより大きな計測震度になる。

減災や復興の面からは、表層地盤の種別だけでは地震による被害を受けやすいかどうかや、どのような地震被害予測や対策が、第一種であれば第三種揺れが小さくなるという単純なことではなくなった。課題として、実際に3種類に分類されている表層地盤がどのような影響を与えるかを検討することが挙げられる。

#### 謝辞

ユニオンシステム株式会社が提供しているソフトを使用させていただき研究いたしました。また、立命館大学理工学部環境都市工学科防災システム研究室が配布している表計算シートを使用して研究いたしました。心より感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 気象庁：計測震度の算出方法－強震観測について、  
[https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/kyoshin/kaisetsu/calc\\_sindo.html](https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/kyoshin/kaisetsu/calc_sindo.html) (参照 2023-11-27)
- 2) 官報，建設省告示第 1793 号，1980
- 3) ユニオンシステム：Software library SS21 / ShakePRO-L 解説書，ShakePRO.L.pdf

Note:

## **A proposal of Japanese seismic intensity with time history response analysis results considering surface grounds**

Rinya Mita<sup>1</sup>, Naoki Matsubara<sup>2</sup>, Naoya Shojo<sup>3</sup>, Yasuyuki Nagano<sup>4</sup>

<sup>1</sup> School of Human Science and Environment, University of Hyogo, University Student

<sup>2</sup> Graduate School of Disaster Resilience and Governance, University of Hyogo, Graduate Student

<sup>3</sup> School of Human Science and Environment, University of Hyogo, Associate Professor, Dr. Eng.

<sup>4</sup> Graduate School of Disaster Resilience and Governance, University of Hyogo, Professor, Dr. Eng.

### **Abstract**

In this study, I propose the Japan Meteorological Agency seismic intensity with time history response analysis considering amplifications of earthquake motion caused three types of surface grounds. Those of surface grounds are made and analyzed. Time history response accelerations from the analysis results are converted to the seismic intensity scale.

As results of conversions, in case of elastic surface grounds, each converted seismic intensities is larger in order of category 3 surface ground, category 2, category 1. In case of elastoplastic surface grounds, the seismic intensities are likely to elastic ones to certain intensities, however, after the intensities, conversion seismic intensities of category 3 are the least of three. I viewed that seismic intensities results improved accuracies of disaster resilience and governance, but considering surface grounds is not simple. Therefore, actual surface grounds data need be analyzed and considered.

Keywords: Surface ground, Seismic intensity scale, Acceleration, Time history response analysis