

【研究ノート】

表層地盤特性を考慮した鋼構造建築物の地震応答解析結果を用いた震度指標の提案

三田凜也¹，永野康行²

¹ 兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科，大学院生

² 兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科，教授 博士（工学）

地震動の強さを評価するとき，計測した加速度を変換し震度階級としているのに対して，建物の揺れは震度階級ではなく計測した加速度が用いられる。

耐震設計における設計条件の一つに地震力を増幅させる又は減衰させる特性を持つ表層地盤の考慮が必要とされており，表層地盤の違いが建物の挙動に影響を与えることが分かっている。そこで，本研究では表層地盤の違いがもたらす建物の揺れに関して，加速度ではなく震度階級による指標を提案する。

シミュレーションの結果，建物の階数に関わらず上階の方が大きく揺れ，最上階が最大の震度となること，表層地盤の違いにより震度が異なることが明らかとなった。

キーワード：表層地盤，震度階級，加速度，時刻歴応答解析

1. はじめに

耐震設計における設計条件の一つに表層地盤を考慮する必要がある。表層地盤は地震動の増幅又は減衰させる特性がある。地震被害のあった地域の調査で，建物の損傷に表層地盤が影響することが時松ら¹⁾や岩野ら²⁾からわかっている。したがって，表層地盤は耐震設計において考慮すべき要素であり，表層地盤によって建物の挙動に違いがあることが分かっている。

震度階級は地震動を観測し，その加速度を計測することによって求められる。地震動を評価するときには計測された加速度よりも一般に震度階級が用いられる。そのため，本研究では，シミュレーションにより，表層地盤特性を考慮したとき，どのように建物が揺れるかを加速度ではなく震度階級によって指標提案することを目的とする。

2. 解析方法

2.1 表層地盤

重複反射理論による1次元波動論による地震応答解析ソフトの ShakePRO-L³⁾ を用いて表層地盤特性を考慮する。表層地盤は昭和55年建設省告示第1793号⁴⁾ で示されている地盤種別3種類とする。3種類の表層地盤を第一種地盤、第二種地盤、第三種地盤（以下、それぞれ第一種、第二種、第三種）として、固有周期を基に再現する。それぞれの表層地盤の固有周期は0.4 s, 0.6 s, 0.8 sである。表層地盤のモデルは一層からなる層厚30 mのものとし、固有周期を基にS波速度を算定する。表1に地盤種別ごとの表層地盤の特性値を示す。せん断歪み依存性は平均・砂質土【古山田・宮本モデル】⁵⁾ を用いる。

入力地震動はあらかじめ ShakePRO-L に搭載されている極稀に発生する地震動の応答スペクトルに適合した、位相の異なる3種類の地震動データを使用する。3種類の地震動はそれぞれ JMA Kobe NS, Hachinohe EW, Random である。図1に入力地震動の加速度応答スペクトルを示す。

表1 地盤種別ごとの表層地盤の特性値

地盤種別	固有周期 s	層厚 m	S波速度 m s ⁻¹
第一種地盤	0.4	30	300
第二種地盤	0.6	30	200
第三種地盤	0.8	30	150

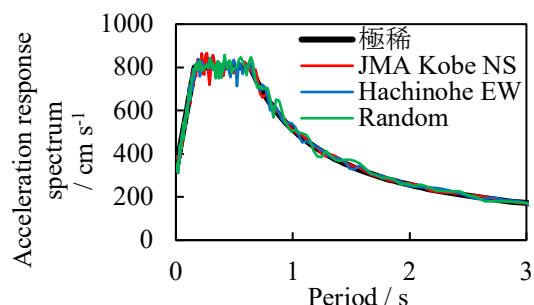


図1 入力地震動の加速度

2.2 上部構造

2.1の解析結果である表層地盤特性を考慮した地震動を上部構造解析の入力地震動とする。上部構造の地震応答解析ソフト DynamicPRO⁶⁾ を用いて、解析対象とする上部構造を他質点系モデルに置き換え、基礎固定として地震応答解析を行う。図2に上部構造モデルを示す。図2において、 i :階、 w_i : i 階の層重量、 h_i : i 階の階高、 k_i : i 階の層剛性である。本研究では、表層地盤と上部構造の相互作用は考慮しないものとする。図3に復元力特性および履歴特性を示す。復元力特性はバイリニアで履歴特性が標準型のものとする。本研究では例題としてS-1, S-4, S-10⁷⁾ の3種類の上部構造を用いる。それぞれ5階建て、10階建て、14階建ての鋼構造建築物である。

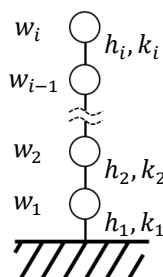


図2 上部構造モデル

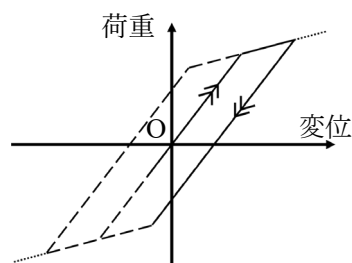


図3 履歴特性

2.3 震度変換

2.2の解析結果である加速度を気象庁⁸⁾ が提案している手法を用いて計測震度に変換する。

3. 結果

図 4 に 3 種類の入力地震動による上部構造の解析結果から得られた加速度を変換した計測震度の平均を示す。(a)–(c) にそれぞれ S-1, S-4, S-10 ごとの平均計測震度を示す。同様に (d)–(f) に第一種地盤, 第二種地盤, 第三種地盤ごとの平均計測震度を示す。表 2 に計測震度と震度階級が対応した気象庁震度階級を示す。

どの上部構造でも階が上がるにつれて計測震度は大きくなる傾向があった。また, どの場合でも, 最上階で計測震度が最大となった。S-4, S-10 の場合, 最上階での計測震度は地盤種別に関わらず同じような値となったが, S-1 の場合, 第二種地盤のときに特に計測震度が大きくなった。また, 第一種地盤では, S-4, S-10 の場合, 1 階から低層階で計測震度が増加し, 低層階から中層階で一度減少した後, 中層階から最上階までに再度増加した。

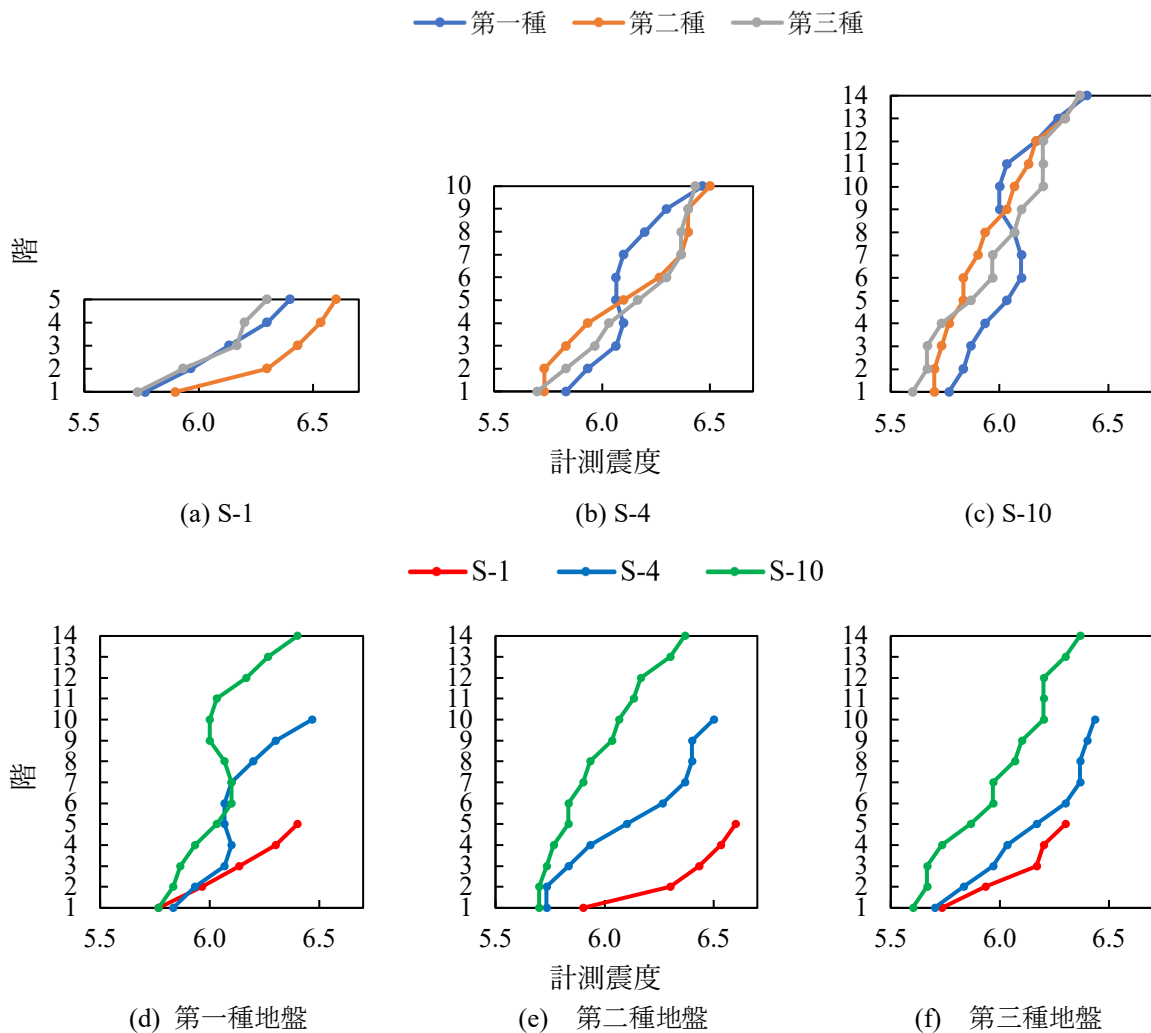


図 4 解析結果の加速度から変換した平均計測震度

表 2 気象庁震度階級⁸⁾

震度階級	計測震度
0	0.5 未満
1	0.5 以上 1.5 未満
2	1.5 以上 2.5 未満
3	2.5 以上 3.5 未満
4	3.5 以上 4.5 未満
5 弱	4.5 以上 5.0 未満
5 強	5.0 以上 5.5 未満
6 弱	5.5 以上 6.0 未満
6 強	6.0 以上 6.5 未満
7	6.5 以上

4. 謝辞・参考文献

謝辞

解析にはユニオンシステム株式会社より導入している「研究室パック」のうち Shake PRO-L と Dynamic PRO を使用した。また、震度変換には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た。ここに記し、謝意を表す。

参考文献

- 1) 時松孝次, 新井洋, 関口徹: 2004 年新潟県中越地震時に表層地盤の非線形振動増幅特性が小千谷の木造住宅被害に与えた影響, 日本建築学会構造系論文集, No. 620, pp. 35-42, 2007.10
- 2) 岩野武尊, 田村良一: 2007 年新潟県中越沖地震による柏崎中心部の建物被害と表層地盤特性について, 日本建築学会北陸支部研究報告集, No.61, pp.70-73, 2018.7
- 3) ユニオンシステム株式会社: Software library SS21 / ShakePRO-L 解説書, ShakePROL.pdf
- 4) 官報, 建設省告示第 1793 号, 1980
- 5) 古山田耕司, 宮本裕司, 三浦健司: 多地点での原位置最終試料から評価した表層地盤の非線形性, 第 38 階地震工学会研究発表会, pp.2077-2078, 2003
- 6) ユニオンシステム株式会社: Software library SS21 / DynamicPRO 解説書, dynpro.pdf
- 7) 日本建築防災協会: 構造設計・部材断面事例集, pp.496-501, 2007
- 8) 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 (参照 2024-11-29)

Note:

A Proposal of Japanese Seismic Intensity with Time History Response Analysis Results of Steel Structural Buildings Considering Surface Ground

Rinya Mita¹, Yasuyuki Nagano²

¹ Graduate School of Disaster Resilience and Governance, University of Hyogo, Graduate Student

² Graduate School of Disaster Resilience and Governance, University of Hyogo, Professor, Ph.D.

Abstract

Seismic motion is evaluated by seismic intensity in Japan, whereas building shaking is evaluated by acceleration. One of the design conditions for resistance to earthquakes is the consideration of surface ground that amplify or attenuate seismic forces, and it is known that differences in surface ground affect the behavior of buildings. Therefore, this study proposes an index of building shaking caused by differences in surface ground, based not on acceleration but on seismic intensity class.

The simulation results show that the upper floors of a building sway more regardless of the number of floors, and that the top floor has the largest seismic intensity, and that the seismic intensity varies depending on the difference in surface soils.

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