

## 斜面の地震時残留変形に及ぼす入力地震動の周波数特性の影響

鳥取大学 学生会員 ○佐々木 萌絵  
鳥取大学 正会員 小野 祐輔

## 1. 研究背景と目的

地震によって斜面に生じる残留変形には、作用した地震動の周波数特性が強く影響していると考えられる。しかしながら、地震動の周期特性と斜面に生じる残留変形の関係については未解明な点が多い。そこで、本研究では、地震動の卓越振動数と斜面の固有振動数との大小関係に着目し、この関係に応じて斜面の残留変形に現れる特徴の違いを検討した。検討は2次元弾塑性有限要素法による数値解析を用いて行った。

## 2. 解析方法

解析モデルを図1に示す。解析モデル全体に対してモール・クーロン型弾塑性平面ひずみ要素モデルを用い、材料物性値は表1のように設定した。解析モデルの底面及び側面は水平・鉛直両方向とも節点変位を拘束した。減衰は1次モードに対して5%になる初期剛性比例型として与えた。弾性モデルを用いた解析から斜面の固有振動数を計算した結果、1次モードが2.05 Hzであった。地震動は水平方向のみに入力した。地震動を作用させる前に自重解析を行い、初期応力状態を設定した。

入力として用いた地震動の一覧を表2に示す。まず気象庁の強震観測データ<sup>1)</sup>の中から水平方向の最大加速度が500galを超えたものを選んだ。さらに、地震波の卓越振動数を調べ、解析モデルの固有振動数より低いものと高いものそれぞれ3波を選択した。地震動の卓越振動数の影響について調べるため、すべて最大加速度を600galにスケールリングして解析に用いた。実際に入力として用いた地震波の加速度波形を図2に、フーリエ振幅スペクトルを図3に示す。

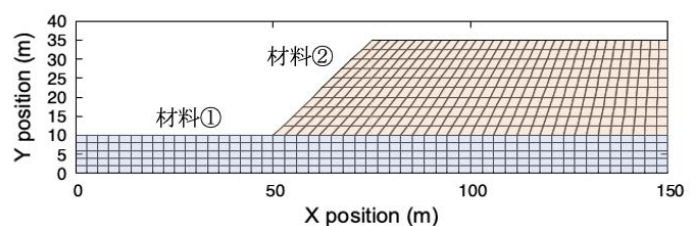


図1 設定した斜面モデル

表1 斜面モデルの物性値

	材料1	材料2
密度 (kg/m <sup>3</sup> )	1.98×10 <sup>3</sup>	1.98×10 <sup>3</sup>
内部摩擦角 (°)	35.0	35.0
粘着力 (kN/m <sup>2</sup> )	50.0	25.0
せん断波速度 (m/s)	360	180
ポアソン比	0.364	0.364

表2 解析に用いた入力地震動

解析ケース	地震名	観測点	成分	最大加速度 (gal)	卓越振動数 (Hz)
Case1	能登半島地震 (2007)	石川県志賀町富来領家町	EW	570.2	1.6 付近
Case2	静岡県東部の地震 (2011)	静岡県富士宮市弓沢町	NS	544.4	1.6
Case3	胆振地方中東部の地震 (2019)	北海道厚真町鹿沼	NS	662.2	1.5~1.8
Case4	三陸はるか沖地震 (1994)	青森県八戸市湊町	NS	602.3	4.0
Case5	岩手県沿岸北部の地震 (2008)	岩手県大船渡市大船渡町	EW	610.8	4.4
Case6	宮城県沖の地震 (2011)	宮城県栗原市栗駒	EW	605.0	3.8

キーワード 卓越振動数, 固有振動数, 斜面崩壊, 有限要素法

連絡先 〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南 4-101

鳥取大学工学部社会システム土木系学科地盤工学研究室 TEL0857-31-5286

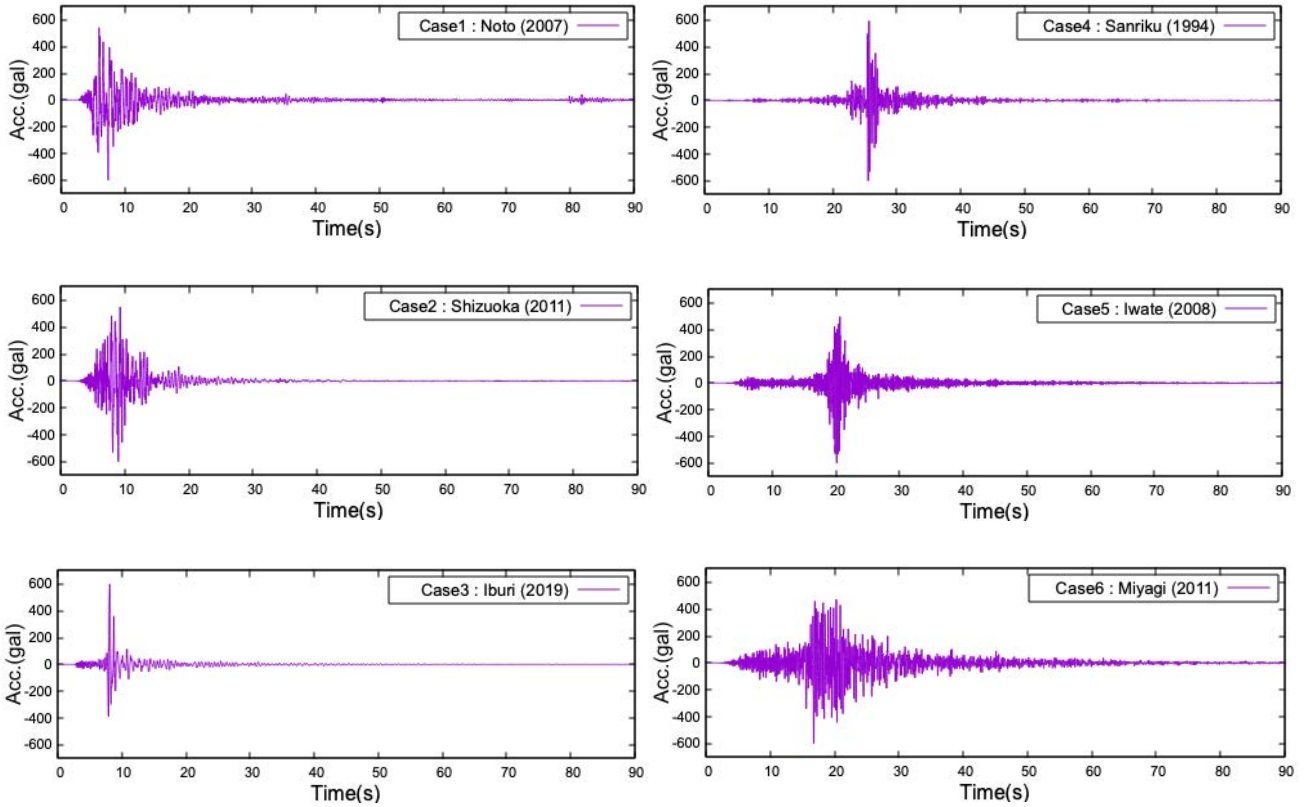


図 2 最大加速度 600gal にスケーリングした入力地震動

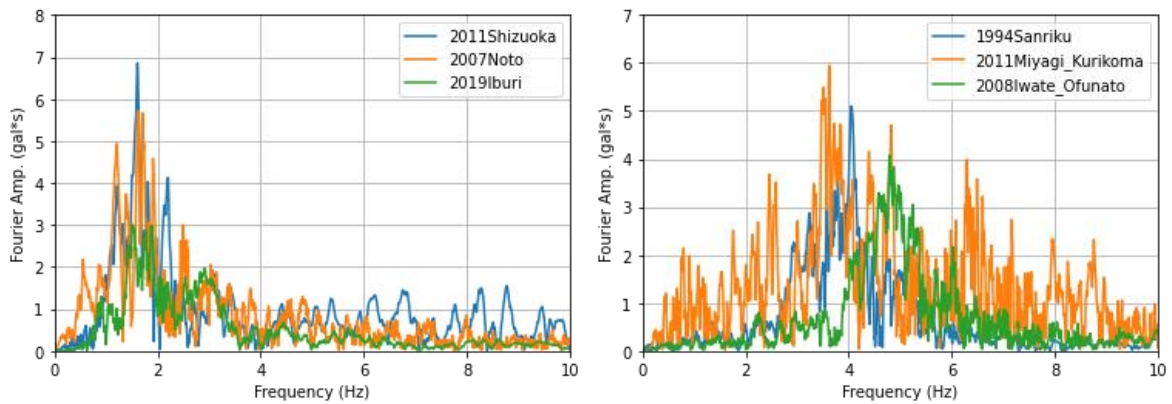


図 3 入力地震動のフーリエ振幅スペクトル

(左：低振動数成分が卓越 右：高振動数成分が卓越)

### 3. 解析結果

各ケースにおける斜面の残留変形状態を図 4 に示す。この図では、各節点の最大残留変位が 10m となるように変位を正規化して表示している。Case5 のみ形状が他と大きく異なった。その他のケースでは、斜面の形状は入力地震動の卓越振動数の成分によらず似たものとなった。

次に、斜面崩壊リスクの評価に用いられる Arias intensity に着目し、残留変位との関係を図 5 に整理した。図 1 に示した斜面モデルの右向きを正としているため、残留変位は負の値をもっている。残留変位は、入力地震動の卓越振動数が斜面の固有振動数より高いケース(図中の A)と比較して、斜面の固有振動数より低いケース(図中の B)で水平成分、鉛直成分ともに大きくなる傾向がみられた。一方で、卓越振動数がどちらのケースも Arias intensity の値が大きくなるほど水平成分、鉛直成分の残留変位が大きくなる傾向にあった。

4. まとめ

本研究では、地震動の卓越振動数と斜面の固有振動数との大小関係に着目し、この関係に応じて斜面の残留変形にどのような違いが現れるかを検討した。検討には2次元弾塑性有限要素法による数値解析を用いた。その結果、以下の知見が得られた。

1. 正規化した斜面の変形形状は、高振動数成分が卓越する入力波を用いた3ケースのうち1ケースのみ大きく異なった。その他のケースでは、入力波の卓越振動数の成分によらずほとんど同じであった。
2. 水平成分、鉛直成分ともに残留変位と Arias intensity の間に明確な対応がみられた。一方で、残留変位は、高振動数成分で卓越する入力地震動を用いたケースと比較して、低振動数成分が卓越する入力地震動を用いたケースで大きくなった。

今後は多数の地震記録を用いて検討を行い、地震動の卓越振動数が斜面の残留変形に及ぼす影響について、より一般性のある知見を得たい。

5. 参考文献

- 1)気象庁：強震観測データ, <https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/kyoshin/jishin/index.html> (最終閲覧 2023年4月7日)
- 2)Arias, A.: A measure of earthquake intensity, *Seismic Design for Nuclear Power Plants*, Massachusetts Institute of Technology Press, Cambridge, MA, pp. 438–483, 1970

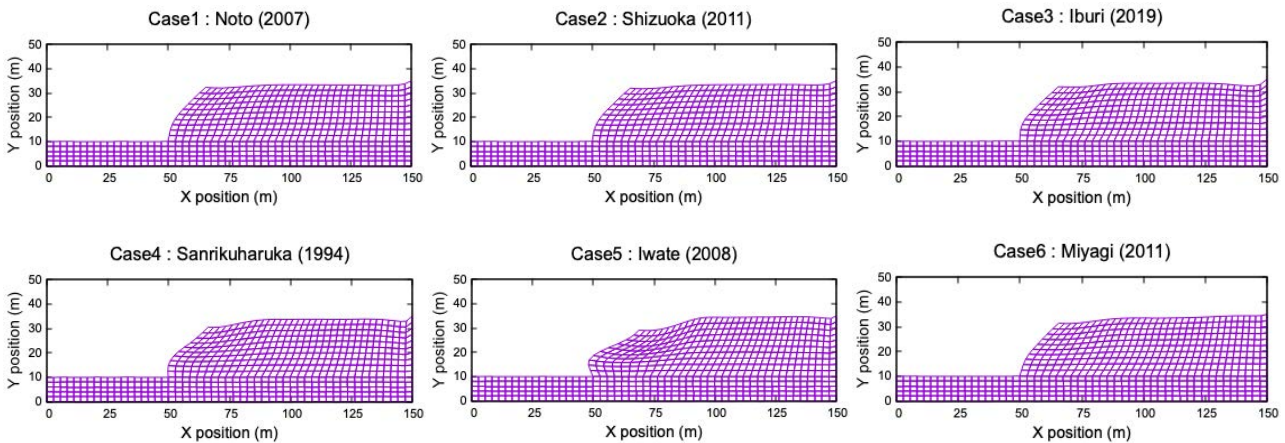


図4 斜面の残留変形状態の比較 (それぞれ最大残留変位が10mとなるように正規化して表示)

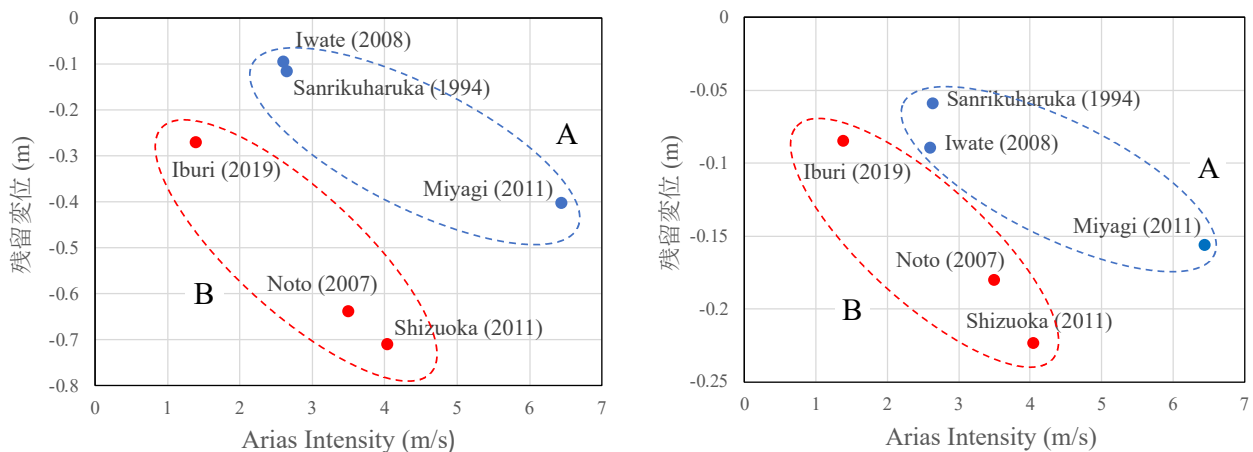


図5 残留変位と Arias intensity の関係  
(左：水平成分 右：鉛直成分)