

P48. 熊本地震における地形を考慮した地震動解析の試み

Study of analyze earthquake ground motion considering the topography in the Kumamoto Earthquake.

○正木光一, 稲垣賢亮, 平松晋一(応用地質株式会社), 山本明夫 (元 応用地質株式会社)

Koichi Masaki, Yoshiaki Inagaki, Shinichi Hiramatsu, Akio Yamamoto

1. はじめに

阿蘇大橋付近で発生した大規模斜面災害について、三次元の地形効果により地震動が大きくなり、斜面崩壊被害が発生した可能性があるという観点から、三次元解析を試み考察したものである。三次元解析については、有限要素法による地震応答解析に基づく方法(BESSRA(2013)¹⁾)を導入し、その計測震度および最大地表加速度と地形および崩壊箇所の分布を比較して、三次元効果を考察した。

2. 調査の手順

今回の三次元解析は、新しく開発された広域地震応答解析システム(BESSRA(2013)¹⁾: Bird's-Eye-viewed Slope analysis for Seismic Risk Assessment)により行った。このシステムは、若井ほか(2008)²⁾の解析プログラムをコアに、入出力をGUI(Graphical User Interface)化して整備したものである。この解析システムの詳細については、山本ほか(2013)³⁾において解説している。

(1) 解析手法の概要

解析手法の概要を、解析手法フローチャートとして図1に示した。

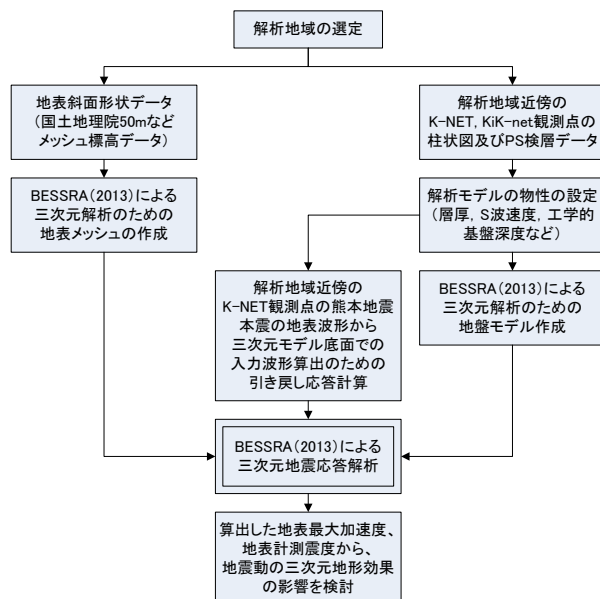


図1 解析手法フローチャート

(2) 解析範囲の設定

斜面の三次元地震応答解析を行う範囲は、阿蘇大橋の被害の原因となった斜面を含み、阿蘇の外輪山を含む、図2の範囲(東西方向1.85km×南北方向2.15km)

とした。

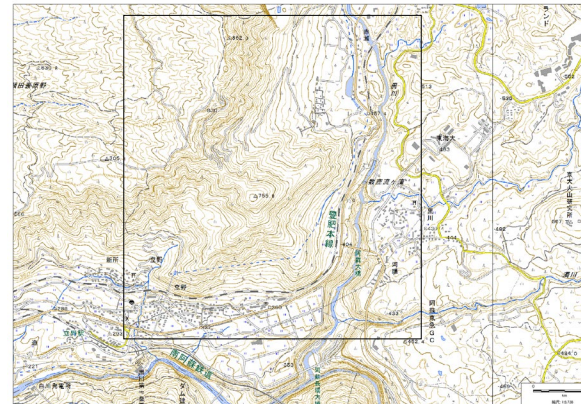


図2 BESSRA(2013)¹⁾による解析範囲図

(3) 入力波形

入力波形は、2016年熊本地震の本震の観測記録であるK-NET 大津(KMM005)の観測記録を用いた。K-NET観測点については地表観測記録のみが公開されているため、観測波形を地表から三次元モデル底面の厚さに相当する深度まで、地震応答解析を用いて引き戻し、入力波形を作成した(図3)。入力波形の継続時間は20秒間とし、入射波+反射波[E+F]条件としている。

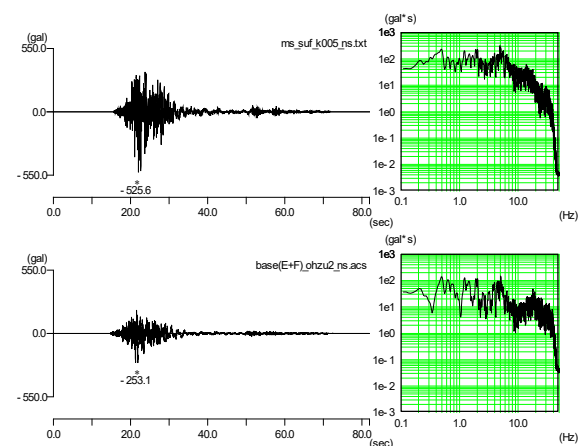


図3 K-NET 大津の地表観測記録(上段)と三次元モデル底面に引き戻したの入力波形(下段) <NS成分>

(4) 地形データ

地表斜面形状については、国土地理院DEM(Digital Elevation Map)データを用いて、50m×50mメッシュのデータを作成した。

(5) 地盤モデルと物性値の設定

解析に用いた地盤構造(S波速度の層構造)については、PS検層結果⁴⁾をとりまとめ、解析に用いる地盤構造を設定した。モデル底面は解析範囲全域で一律

標高 T.P.+110.1m, 地層の構造は 8 層構造とし, 地表面からモデル底面までの全体の厚さに占める各層の層厚比が三次元メッシュ全体で等しいものとして, 三次元地盤構造を設定した.

設定した地山の物性は, 現地調査の PS 検層測定結果データによる S 波速度を基本として設定した. 表 1 に設定した物性値を示した. ここで, 第 1 層の動的変形特性曲線は岩崎・龍岡・吉田(1978)⁵⁾の沖積粘土, 第 2 層～第 4 層は岩崎・龍岡・高木(1977)⁶⁾の砂の標準曲線を用いた. 第 5 層～第 8 層は, せん断ひずみによらず $G/G_0=1.0$ にほぼなるように設定した.

UW モデルの履歴パラメータ $b \cdot \gamma_{G0}$ と n は, 動的変形特性曲線の $h \sim \gamma$ 曲線にフィットするように図 4 のように設定した. レーリー減衰の係数 α と β は, 強震動に大きく影響する周波数帯域 (0.5~6Hz) を考慮して, 周波数 0.5Hz と 6Hz で,それぞれ初期減衰比の値と等しくなるように設定した.

表 1 BESSRA(2013)¹⁾解析のために設定した物性値一覧表

層 No.	層相	層厚比	単位体積重量 ρ (kN/m ³)	S 波速度 V_s (m/sec)	初期剛性率 $G_0 = \rho V_s^2$ (kN/m ²)	ポアソン比 ν	弾性率 E (kN/m ²)
1	表層	0.0033	14.9	108	1.77×10^4	0.45	5.14×10^4
2	風化層 1	0.0060	15.7	127	2.58×10^4	0.40	7.23×10^4
3	風化層 2	0.0119	16.7	162	4.46×10^4	0.40	1.25×10^5
4	中間層	0.0129	17.2	228	9.10×10^4	0.35	2.46×10^5
5	岩盤	0.0152	17.4	302	1.61×10^5	0.35	4.36×10^5
6	岩盤	0.0341	17.4	389	2.68×10^5	0.30	6.96×10^5
7	岩盤	0.0645	19.2	583	6.66×10^5	0.30	1.73×10^6
8	岩盤	0.8520	21.6	951	1.99×10^6	0.25	4.97×10^6

層 No.	粘着力 C (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (degree)	初期減衰比 h	レーリー減衰係数 α	レーリー減衰係数 β	履歴パラメータ $b \cdot \gamma_{G0}$	履歴パラメータ n
1	500	30	0.05	2.900×10^{-1}	2.449×10^{-3}	1.00	3.10
2	500	30	0.05	2.900×10^{-1}	2.449×10^{-3}	1.30	1.78
3	500	30	0.05	2.900×10^{-1}	2.449×10^{-3}	1.53	1.58
4	500	40	0.05	2.900×10^{-1}	2.449×10^{-3}	1.25	1.80
5	500	40	0.0465	2.697×10^{-1}	2.277×10^{-3}	17.27	1.88
6	500	40	0.0465	2.697×10^{-1}	2.277×10^{-3}	17.27	1.88
7	980	45	0.0138	8.004×10^{-2}	6.758×10^{-4}	17.18	1.98
8	980	45	0.0138	8.004×10^{-2}	6.758×10^{-4}	17.18	1.98

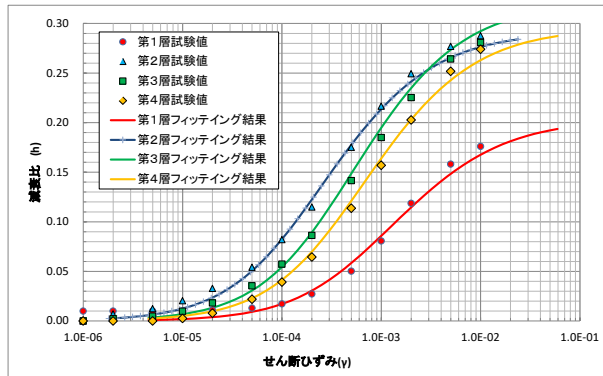


図 4 履歴パラメータの設定図
(減衰比(h)～せん断ひずみ(γ)関係図)

3. 解析結果

BESSRA(2013)¹⁾による解析結果から地表の加速度波形を用いて計測震度を計算し, 図 5 に崩壊地付近の計測震度図を示した. 阿蘇大橋付近に絞ってみると地

震動と崩壊地・開口亀裂分布が重なり,震度と地震による変状がかなり調和的であると考えられる.また黒川沿いの台地状の崩壊も見事に表れている.通常はあまり被害のない台地であるが,地震動で増幅されやすい地形が関与している結果であるものと考えられる.また,阿蘇大橋の両アバットにおける震度が高く,地震時にかなりの動的影響を構造物に与えたことが想定される.これまでも地震時には尾根部において高い地震動が現れることは, 三次元の地形効果として一般に言われていることであるが, 今回大規模に崩壊した外輪山の内側にある尾根および台地状の平坦地形でも高い地震動が現れることが確認できたといえる.

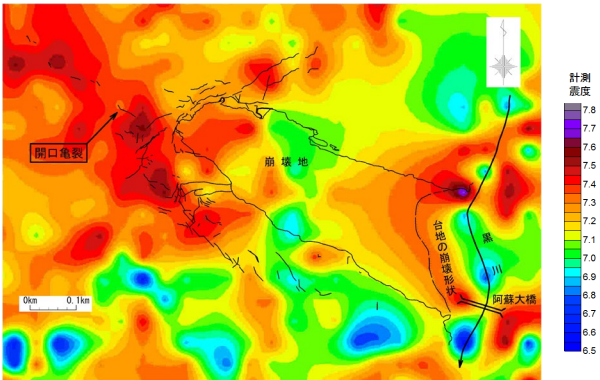


図 5 BESSRA(2013)¹⁾による解析結果 2 次元平面図
(計測震度)

文献

- 1) BESSRA. Bird's-Eye-viewed Slope analysis for Seismic Risk Assessment, BESSRA 研究会. 2013, <http://geotech.ce.gunma-u.ac.jp/bessra/> [閲覧日 2014 年 1 月 1 日].
- 2) 若井明彦, 田中頼博, 安部真郎, 吉松弘行, 山邊康晴, 渡邊泰介. 中山間地の地震時斜面崩壊リスクを評価するための有限要素法に基づく広域被害予測システム. *J. of the Jpn. Landslide Soc.*, vol. 45, No.3, 2008, p.207-218.
- 3) 山本明夫, 岡本由貴, 眞鍋俊平, 飛田健二, 若井明彦. 広域での地震時の斜面崩壊危険度の評価方法について. 応用地質技術年報, No.33, 2013, p.1-16.
- 4) 阿蘇大橋地区復旧技術検討会 公開資料 http://www.qsr.mlit.go.jp/site_files/file/n-kisyahappyou/h28/data_file/0926/data/shiryou4.pdf
- 5) 岩崎敏男・龍岡文夫・吉田精一(1978): 共振法・振動三軸両試験による沖積粘性土の動的変形係数, 第 13 回土質工学発表会講演集, p.569-572.
- 6) 岩崎敏男・龍岡文夫・高木義和(1977): 砂のせん断弾変形係数と減衰の歪依存性について, 第 12 回土質工学発表会講演集, p.417-420.
- 7) 吉田望: 地盤の地震応答解析, 2010.