

地震により発生した傾斜地盤上盛土の遅れ崩壊挙動に及ぼす入力地震波の影響

名古屋大学(学) 酒井崇之 津本翔太
 名古屋大学(正) 中野正樹 野田利弘

1. はじめに

本研究では、2007年3月に発生した能登半島地震において多くの道路盛土が崩壊した¹⁾能登有料道路を対象に、2つの入力地震波を選定し地震応答解析を行い、これらの違いが盛土の変形・崩壊形状に及ぼす影響を示す。そして地震後遅れてすべり破壊を起こした部分の要素挙動に着目し、盛土の崩壊メカニズムを考察し、さらに、地震の周期の違いが崩壊メカニズムに及ぼす影響も併せて示す。解析には土の構成式に骨格構造(構造・過圧密・異方性)とその動きを記述するSYSカムクレイモデル²⁾を搭載した水~土連成有限変形有限要素解析(GEOASIA)³⁾を用いている。

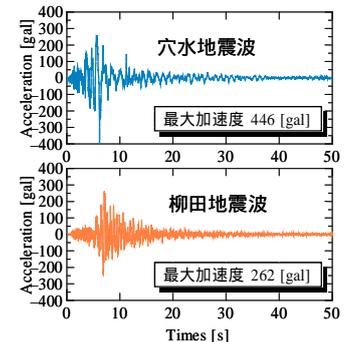


図-1 入力地震波

2. 入力地震波の選定

解析に用いた地震波は、解析対象である能登有料道路北部に最も近いK-net 穴水観測点と、穴水観測点よりも解析対象からは遠いが、能登有料道路の基盤である凝灰角礫岩と一致し、なおかつ良好な地盤のKik-net 柳田観測点から得られた観測地震波である。これらに対し、振幅を調整して解析を行い、得られた応答加速度の最大値が穴水地震波の最大加速度と同程度となった地震波を入力地震波とした。入力地震波を図-1に、応答加速度と観測波の比較を図-2に示す。

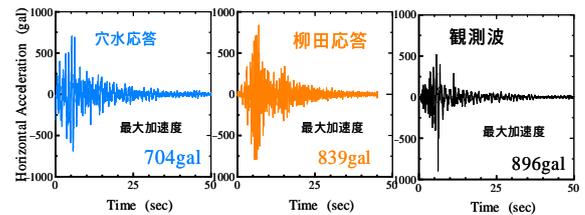


図-2 応答加速度と観測波の比較

3. 解析に用いた地盤・盛土の断面条件と材料定数

解析断面は能登有料道路より、大規模崩壊により車道が半壊した断面を選定した。解析断面を図-3に示す。水理境界条件は図-3に示すように、盛土法面・天端・地表面を大気圧(水圧ゼロ)とし、側面、底面をともに非排水とした。表-1に盛土と地盤の材料定数および初期値を示す⁵⁾。盛土の材料定数・初期値は、現場での締固め施工を再現するように突き固めて作製した供試体を用いて室内力学試験を行うことで決定した。また、盛土は現地発生土を用いているため盛土と地盤の材料は同じとし、崩壊が盛土堤内または盛土と地盤の境界で起こっているため、地盤の初期値は固くて壊れないように設定した。

表-1 材料定数と初期値

	地盤	盛土
弾塑性パラメータ		
限界状態定数 M	1.400	1.400
NCLの切片 N	2.090	2.090
圧縮指数 $\bar{\epsilon}$	0.098	0.098
膨張指数 $\bar{\epsilon}$	0.030	0.030
ポアソン比 ν	0.3	0.3
発展則パラメータ		
構造劣化の塑性尺度 (IREV)	4	4
$-D^*$ と $ D^* $ の割合 c_c	0.1	0.1
構造劣化指数 a ($b=c=1.0$)	0.3	0.3
正規圧密化指数 m	1.7	1.7
回転硬化指数 br	0.3	0.3
回転硬化限界面 m_s	0.5	0.5
土粒子密度 ρ (g/cm ³)	2.727	2.727
透水係数 k (cm/s)	1.0×10^{-7}	1.0×10^{-7}
初期値		
初期比体積 v_0 (飽和単位体積重量 γ_{sat})	1.60 (2.08)	2.140 (1.81)
初期応力比 η_0	0.5454	0.5454
初期構造の程度 $1/R^*$	1.2	7.5
初期異方性の程度 c_v	0.5454	0.5454

計算手順としては、盛土を構築して圧密させた後、図-1の穴水、柳田地震波をそれぞれ入力して十分に過剰水圧が消散するまで放置した。

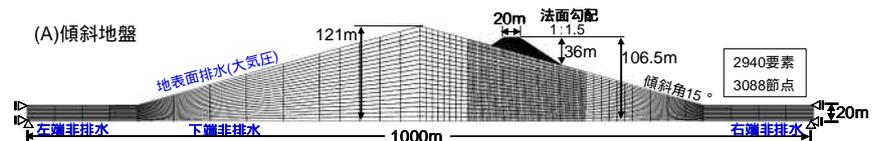


図-3 解析断面

4. 道路盛土の地震中・地震後の変形挙動(解析結果)

図-4に穴水・柳田地震波を入力した場合のせん断ひずみ分布を示す。穴水地震波を入力した場合は地震後2日あたりから天端付近からすべり面が発生し、最終的には図-4に示すような道路の機能を損なうような大規模崩壊に

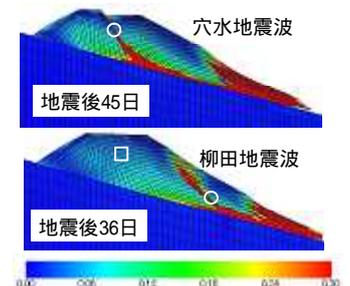


図-4 せん断ひずみ分布1

至った。これは実際に起きた崩壊形状に似ている。
 また、柳田地震波を入力した場合、法面内から地震後13日で円弧すべりに近い崩落面が入り、道路自体には大きな影響を及ぼさない表層崩壊を起こした。

図-5 に穴水地震波を入力した時のすべり面付近のせん断ひずみが大きい土要素の挙動を示す(図-4中○印)。図-5 で示す土要素は地震中に負の過剰間隙水圧が発生している。その後2日をかけて過剰間隙水圧が消散とともに、吸水膨潤して比体積増加を示している。そして2日以降せん断ひずみが進展し、すべり面が発生している。この際に比体積の増加が顕著に起こり、また、過圧密の解消や、構造の高位化といった塑性膨張が起きている。柳田地震波も程度の差こそあれ、同様の傾向であり、同様のメカニズムで崩壊していると考えられる。つまり、時間遅れで発生するすべり面は、地震中の負圧の発生、その後の吸水膨張が主な原因である。

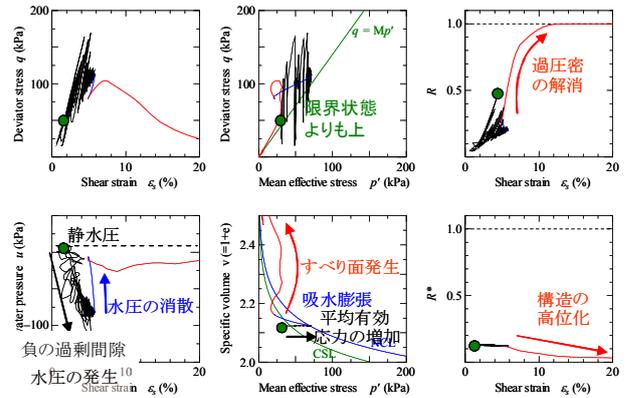


図-5 穴水地震波すべり面付近要素挙動

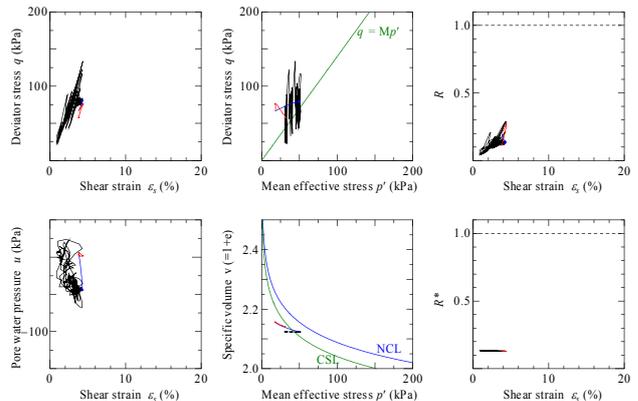


図-6 柳田地震波穴水すべり面付近要素挙動

図-6 には柳田地震波における図-4□印における要素の挙動を示している。なお、柳田地震波における□印と穴水地震波における○印は同じ要素である。図-5 と図-6 を比較した時、両者とも負圧の発生や、

吸水膨張を起こしているが、図-6 の方が発生している応力などの値が全て小さいため、大きなすべり面を形成していない。応答加速度の最大値で言えば、柳田地震波の方が大きいものにも拘らず、このような結果となったのは、地震時挙動において、最大振幅の大きさは影響が小さいことを示唆している。

5. 周期が違う地震波の地震時応答解析

地震時挙動における周期の違いの影響を調べるために、振幅は同じとし、図-1 で示した穴水地震波の周期を0.5倍、2倍した地震波を作成し入力した。それぞれ地震波以外の条件は全て4章で示した解析結果と同様である。図-7 は0.5倍、2倍とした時の地震時応答解析を示す。図-7(a)は柳田地震波を入れた時の解析結果に非常に似ているが、一方で図-7(b)の周期を2倍とした時は地震中に大規模崩壊に至った。つまり、周期の違いが崩壊挙動に大きく影響することがわかる。

6. まとめ

本論文によって得られた知見を以下に示す。

- 1) 入力地震波によらず遅れ崩壊を示す盛土に対し、そのすべり面での要素挙動に注目すると、地震中の負の過剰間隙水圧発生、その後の水圧の消散に伴う吸水膨張が起こっている。
- 2) 長周期地震波を入力すると、地震時に大規模崩壊を起こすなど、周期の違いが盛土の崩壊挙動に大きく影響する。

参考文献

- 1) 能登半島地震災害技術報告書 pp.45-77,(2007)
- 2) Asaoka et al. (2002): "An elasto-plastic description of two distinct volume change ...," S&F, 42(5), 47-57.
- 3) Noda et al. (2008): "Soil-water coupled finite deformation analysis based on a rate-type ...," S&F, 48(6), 771-794.
- 4) 防災科学技術研究所ホームページ 基盤強震観測網 KIK-net, <http://www.kik.bosai.go.jp/kik/>
- 5) 盛土材として利用された強風化凝灰角礫岩の力学特性把握と盛土の地震応答解析,(2007)

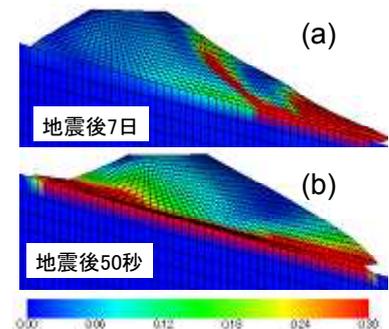


図-7 せん断ひずみ分布 2