

傾斜および水平地盤上道路盛土の地震時変形・破壊形状に及ぼす入力地震波の影響

名古屋大学(学) ○酒井崇之 黒田進司 板橋一志

名古屋大学(正) 中野正樹 野田利弘 山田英司 中井健太郎

1. はじめに

2007年3月の能登半島地震では盛土の大規模崩壊が発生したが、その多くは傾斜地盤上の盛土で、比較的
水平地盤上の盛土被害は少なかった¹⁾。本報告では、傾斜地盤と水平地盤上の各道路盛土の地震時変形・崩
壊形状が異なることを数値解析により再現する。また、計測地震波から実際の入力地震波の正確な推定は困
難であることから、推定されるいくつかの入力地震波を選定し、これらの違いが盛土の変形・崩壊形状に及
ぼす影響も併せて示す。なお解析には土の構成式に骨格構造(構造・過圧密・異方性)とその働きを記述する
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⁾を用いた。

2. 入力地震波の選定

能登半島地震で計測された地震波は、K-net、Kik-net⁴⁾、気象庁などがあり、
その中で解析に用いた入力地震波は、解析対象である能登有料道路北部に程
近く、能登有料道路の基盤である凝灰角礫岩と一致する地盤から得られた
Kik-net 柳田観測点のものとした。Kik-net は地表波と121m深さの地中波を
地層構造、N値、S波・P波速度とともに示しており、この地盤はS波速度
が810m/sと大きく波の増幅を無視できる良好な地盤であった。開放基盤面
である地表波と地中波の観測値がほぼ等しくなった理由は、入射角や反射波の
影響など複雑で、真の入力地震波は特定できないため、可能性のある入力地
震波として、(a)過小評価側の地表波の1/2倍、(b)地中波の0.7倍、(c)過大評
価側の地中波、の3種類の地震波を解析領域底面に水平に入力し、盛土の崩
壊モードを検証する。それぞれの地震波を図-1に示す。

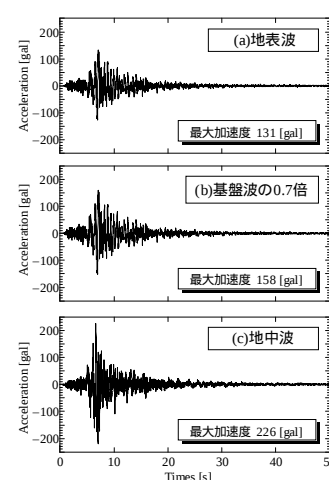


図-1 3種類の検討地震波

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と、そこから40m
程度離れた箇所まで崩壊に至らなかった断面の
2断面を選定した。前者(A)は地盤が15°程
度の傾斜を有しており、後者(B)は傾斜のない
地盤であった。解析断面を図-2に示す。水
理境界条件は図-2に示すように、盛土法面・

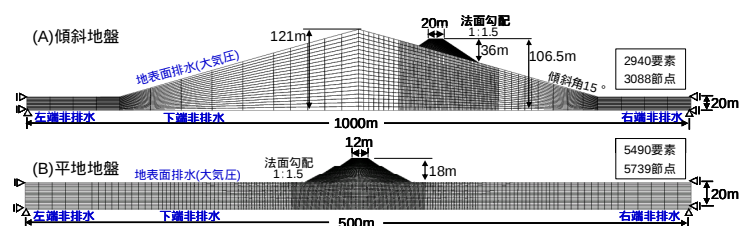


図-2 解析断面

天端・地表面を大気圧(水圧ゼロ)とし、側面、底面をと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。
計算手順は盛土構築～地震波入力～圧密放置までの一連の流れを再現する。
(A)(B)2つの盛土を構築し、図-1の(a)(b)(c)の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圧密放置を行った。

表-1 材料定数と初期値

	地盤	盛土
弾塑性パラメータ		
境界状態定数 M	1.400	1.400
NCLの切片 N	2.090	2.090
圧縮指数 λ	0.098	0.098
膨張指数 λ^*	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 (REV)	4	4
$-D^*/c$ 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_b	0.5	0.5
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.727	2.727
透水係数 k (cm/s)	1.0×10^{-7}	1.0×10^{-4}
初期値		
初期比体積 v_0	1.60	2.140
(飽和単位体積重量 γ_{sat})	(2.08)	(1.81)
初期応力比 η_0	0.5454	0.5454
初期構造の程度 $1/R_0$	1.2	7.5
初期異方性の程度 c_v	0.5454	0.5454

4. 道路盛土の地震中・地震後の変形挙動 (解析結果)

図-3 に地盤と地震波の組み合わせが(A)-(a), (A)-(c), (B)-(a)のそれぞれの時間でのせん断ひずみ分布を示す。(A)-(a)は地震波が小さいため, 法面付近に地震後 16 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流出を起こしている。次に(A)-(c)は地震後約 2 分で上流側法面からすべり, その 1 分後に天端中央から 2 度目のすべりを起こし, 道路として致命的なダメージを受けている。一方, (B)-(a)は地震後 20 年圧密放置しても顕著なひずみが発生せず, 崩壊しなかった。

図-4 に(A)-(a)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, 図-5 に(A)-(c)の上流側法面のすべり面付近の土要素の挙動を示す(それぞれ図中○印)。図-4 の土要素は地震後 16 日をかけて過剰間隙水圧が消散し, 平均有効応力が増加する。この間に過圧密解消により塑性膨張を起こし比体積はわずかに増加する。そして膨張に耐え切れずすべり面が発生し約 40 日の時間をかけてじわじわと崩壊に至る。図-5 の土要素は地震後約 3 分で盛土が崩壊するのでほぼ非排水状態である。地震後約 2 分間は, 平均有効応力が増加することによって起こる弾性圧縮と過圧密解消による塑性膨張が同時に進行している。また, 2 分~3 分の間は, 平均有効応力減少による弾性膨張と構造劣化による塑性圧縮が同時に進行している。比体積の変化なく崩壊しているため, (A)-(c)は滑るというより「雪崩」のように崩壊している。

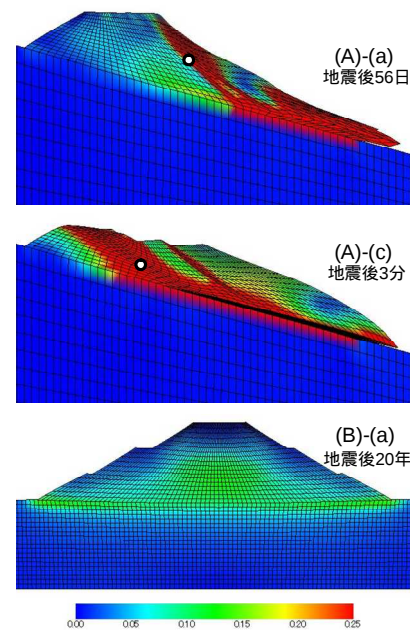


図-3 せん断ひずみ分布

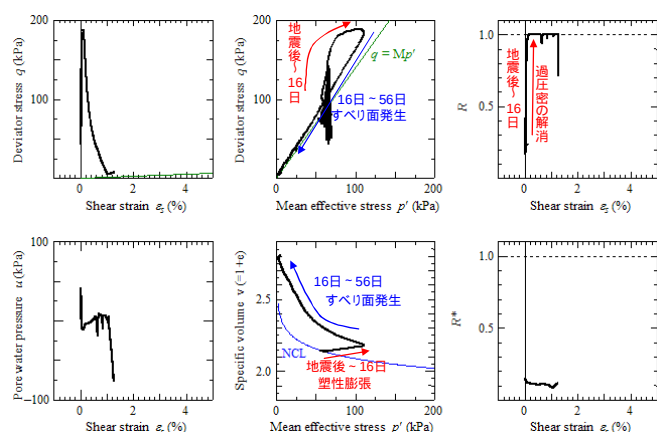


図-4 (A)-(a)のすべり面付近の要素挙動

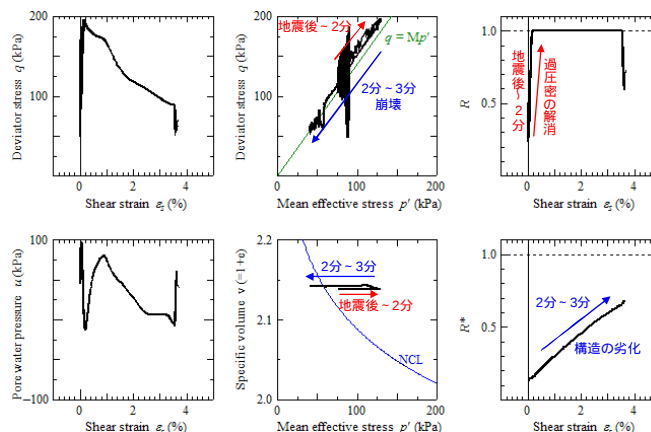


図-5 (A)-(c)のすべり面付近の要素挙動

5. まとめ

本論文によって得られた知見を以下に示す。

- 1) 同じ地震波でも傾斜地盤上盛土は崩壊し, 水平地盤上盛土は崩壊しなかった傾向を, 水~土連成有限要素解析(GEOASIA)のより示すことができた。
- 2) 入力地震波として, 地表波と地中波の特徴から 3 種類の波を想定した。地震波の最大加速度の違いに応じて, 盛土の破壊形状, 地震後の崩壊に要する時間などに大きな差異が見られた。

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)