傾斜・水平地盤上の盛土および安定処理工法による盛土の地震応答解析

名古屋大学大学院(正)〇中野正樹,野田利弘,浅岡顕,(学)酒井崇之,黒田進司 中日本高速道路株式会社(正) 稲垣太浩

弾塑性パラメータ

1. 序論

2007年3月に発生した能登半島地震は、能登有料道路の道路盛土に大規模な崩壊をもたらした.その多く は傾斜地盤上の盛土で,水平地盤上の盛土被害は少なかった ¹⁾. 一方,その北端から能登空港を繋ぐ能越自動 車道は、大きな被害はなかった.ここでは、建設当時に盛土材としての強風化凝灰岩が高い含水比を示したた め、石灰改良を施し、さらに法面勾配を 1.8 にしていた.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,改良土を使用した盛土との比較も併せ て示す. なお解析には SYS カムクレイモデル 2を搭載した水~土 表-1 材料定数

連成有限変形有限要素解析(GEOASIA)³⁾を用いた.

地盤

2. 解析条件

解析断面として,能登有料道路では2断面,大規模崩壊により 車道が半壊した断面と、そこから40m程度離れた崩壊に至らなか った断面を選定した.前者は地盤が 15°程度傾斜しており、後者 は傾斜のない地盤である.また,能越自動車道では,傾斜盛土を 有する大断面を選定した、解析断面を、水理境界条件とともに図 -1 に示す⁴⁾. 表-1,2 に能登有料道路及び,能越自動車道の盛土と 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想定し,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.また地盤は、盛土と 同じ凝灰岩であることから、材料定数は同じとし、しかし風化作 用を受けていないことから地盤の比体積を原位置にあわせ小さく している. 能越自動車道の盛土, 地盤ともに能登有料道路と同じ

凝灰岩であることから,石灰による改 良効果を初期値のみを変化させること で表現した. 盛土上2段と下3段で設 計強度や石灰添加量がそれぞれ異なる ため、現場密度試験と一軸圧縮試験を 再現することで初期値を決定している. 一軸圧縮試験の再現結果を図-2 に示す.

軸差応力のピーク後の軟化挙動は、供試体にせん断 帯が発生し、供試体全体としての応力を表していな いと解釈し、ピークまでの挙動を再現している. 全 ての盛土で,比体積と構造の程度は各層内で一様均 質とし、盛土高さに応じて過圧密比を分布させた. また,盛土表面(境界)での水理条件として表面水位 図・2 一軸圧縮試験の再現

限界状態定数 M	1.400	1.400
NCL の切片 N	2.090	2.090
圧縮指数 $\tilde{\lambda}$	0.098	0.098
膨潤指数 $\tilde{\kappa}$	0.030	0.030
ポアソン比 <i>v</i>	0.3	0.3
発展則パラメータ		
構造劣化の塑性尺度 (IREV)	4	4
$-D_v^p \geq D_s^p$ の割合 c_s	0.1	0.1
構造劣化指数 a (b=c=1.0)	0.3	0.3
正規圧密土化指数 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/cm3)	2.727	2.727
透水係数 k(cm/s)	1.0×10^{-7}	1.0×10^{-4}

表-2 初期值

	地盤	能登有料	能越上段	能越下段
初期比体積 v_0	1.60	2.140	2.711	2.792
初期応力比70	0.5454	0.5454	0.5454	0.5454
初期構造 1/R ₀ *	1.2	7.5	12000	80000
初期異方性らの	0.5454	0.5454	0.5454	0.5454



が一致するように設定している.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. なお図-3 に示す入力地震波は、解析対象に最も近い K-net 穴水観測点⁶で観測した地表波の 0.25 倍で、計算で

強風化凝灰岩・固化材・斜面・地震応答解析・盛土・有限要素法 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 TEL:052-789-4622 得た出力地表波は観測波とほぼ等しくしている.

3. 解析結果

図-4 に能登有料道路の水平および傾斜地盤上 の盛土のせん断ひずみ分布を,経過時間とともに 示す.水平盛土は地震後に法尻にせん断ひずみが 発生するものの,盛土全体としては大きな変形も 見られず、実際の挙動と同じである。20年間後 であっても健全であった. 傾斜盛土は地盤と盛土 の境界に非常に大きなせん断ひずみが発生し,天





端での沈下量は平均で1.0m, 天端は約3°も傾き道路としての機能を失う.図-5は図-4の〇印で示した点の 要素挙動である.水平盛土では地震中に正の過剰間隙水圧が発生しており、地震後に水圧の消散とともに圧縮 (圧密)が起きているため、地震後に安定した状態を維持している. 傾斜盛土では水平盛土とは対照的に、地 震中盛土堤内で不の過剰間隙水圧が発生し、地震直後に若干膨張する.またせん断ひずみが100%も出ている.

しかし、最終的には圧密を起こし、実際の傾斜盛土のような壊滅的な破壊には至らなかった.



(a)水平地盤上の盛土の要素挙動



図-6は能越自動車道の盛土のせん断ひずみ分布であるが、地盤が傾斜して いるにも拘らず、せん断ひずみは最大で 6%程度であった. また、大きな 上載荷重が作用する盛土下段のひずみが小さいのは、上段に比べ設計強度 が大きく、石灰添加量も多いためで、効率的な設計であったことがわかる.

4. まとめ

本論文によって得られた知見を以下に示す.

1) 水平盛土と傾斜盛土では地震中・地震後の挙動が違い、特に地震中 に発生する過剰間隙水圧の正負が盛土の破壊に大きく影響を及ぼす.

とが、数値解析からも確認できた.

5. 謝辞

国土交通省北陸地方整備局金沢河川国道工事事務所から能越自動車道のデータを提供して頂いた. ここに付 して感謝の意を表する.



12

²⁾ 盛土材の石灰改良が、地震に対し変形抑制などの効果をもたらすこ

参考文献 1) 土木学会 · 地盤工学会 (2007): 2007 年能登半島地震被害調査報告書 2) Asaoka et al. (2002): An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanisms of soils, S & F, 42(5), pp.47-57. 3) Noda et al. (2008): Soil-water coupled finite deformation analysis based on a rate-type equation of motion incorporating the SYS Cam-clay model, S & F, 48(6), pp.771-790.4) 地盤の液状化発生か ら流動までを予測対象とする解析手法に関する研究 5)酒井崇之他(2008): 突き固めにより作製した強風化凝灰角礫岩試料の力学 特性の把握, 平成19年度土木学会中部支部研究発表会, pp.257-258. 6)防災科学技術研究所強震ネットワーク K-net, http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/

図-6 石灰改良盛土のせん断ひずみ分布