

2024 年能登半島地震におけるジオテキスタイル補強盛土の地震時挙動の数値解析的考察

名古屋大学 正会員 ○酒井崇之

名古屋大学 フェロー会員 中野正樹

前田工織株式会社 正会員 辻慎一郎

1. はじめに

ジオテキスタイル補強土は、阪神淡路大震災や東日本大震災において高い耐震性を示した¹⁾。2007 年に発生した能登半島地震において被災したのと里山海道では、8 箇所においてジオテキスタイル補強土および石灰改良土を用いて本復旧が行われた²⁾。そして、2024 年能登半島地震においては、復旧された盛土は軽微な変形に留まり、崩壊することはなかった。本研究では、2007 年に本復旧された盛土をモデル化し、2024 年の能登半島地震において kik-net で観測された地震動を入力し、地震時の挙動を調べた。そして、復旧された盛土の耐震メカニズムに関する考察を行った。なお、解析には GEOASIA³⁾を用いた。

2. 解析対象とモデル化

能登有料道路復旧工事記録誌²⁾における縦-9 盛土を対象とした。図-1 に解析断面の盛土部のみ拡大した図を示す。図-2 は解析全断面を示す。盛土高さ 32m、天端幅 13m の盛土である。表-1 に本研究で用いた SYS Cam-clay model⁴⁾の材料定数

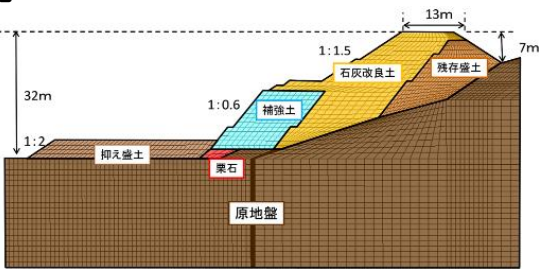


図-1 解析断面(盛土のみ拡大)

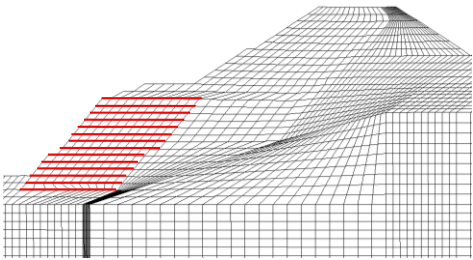


図-3 ジオテキスタイルを入れた箇所

を示す。紙幅の都合上、盛土の大部分を占める補強土と石灰改良土のみ示した。補強土部分は締固めやすい購入材料で造成され、最大乾燥密度は 2.09g/cm³ で、最適含水率は 8.9% である。石灰改良土については、2007 年の能登半島地震において被災した盛土を石灰改良した材料である。なお、残存盛土や現地盤については、著者らが過去に実施した 2007 年能登半島地震における盛土崩壊の再現で用いた材料定数を用いた⁵⁾。ジオテキスタイルのモデル化については、図-3 の赤線が示す部分について、節点間の距離が変わらない条件を入力する⁶⁾ことでジオテキスタイルを表現した。図-4 は入力地震動を示す。2024 年能登半島地震において kik-net 富来観測点の地中で観測された地震動⁷⁾の EW 成分を用いた。その他の解析モデルの詳細については、文献 8)を参照されたい。

表-1 材料定数

		石灰改良土	補強土
弾塑性パラメータ			
圧縮指数	$\tilde{\lambda}$	0.098	0.040
膨潤指数	$\tilde{\kappa}$	0.030	0.002
限界状態定数	M	1.400	1.750
NCL の切片	N	2.090	1.440
ポアソン比	ν	0.300	0.200
発展則パラメータ			
正規圧密土化指数	m	1.700	5.000
構造劣化指数	a	0.500	10.00
	b	1.000	1.000
	c	1.000	1.000
塑性指数	c_s	0.100	1.000
回転硬化指数	b_t	0.300	0.001
回転硬化限界定数	m_b	0.500	0.500
初期値			
構造の程度	$1/R^*$	220	1.10
比体積	v	2.367	1.428
応力比	η	0.000	0.000
異方性	ζ	0.000	0.000

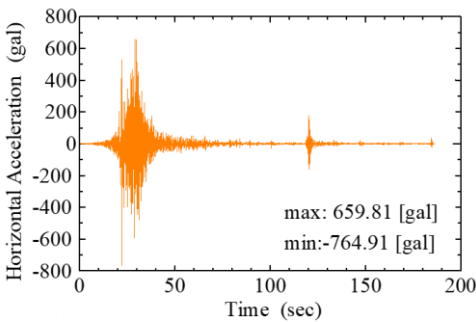


図-4 入力地震動

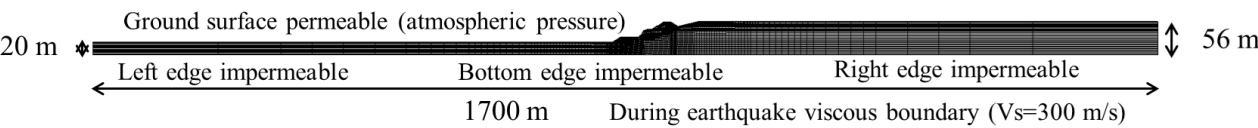


図-2 解析全断面

ジオテキスタイル補強土、石灰改良土、盛土、地震応答解析、令和 6 年能登半島地震

〒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土木工学専攻 TEL: 052-789-2734

3. 解析結果

図-5は地震終了時におけるせん断ひずみ分を示す。石灰改良土にひずみが15%程度発生したが、補強土はほとんどひずみが発生していない。実際の現場においても、補強土では変形がほとんど確認されていない。天端において軽微な変形が確認されたが、同様の結果得られた。定性的に挙動を再現することができたと考えられる。

図-6は、要素1の要素の力学挙動を示す。密度が高いため、地震前から過圧密状態にある。そのため、塑性膨張を伴う硬化挙動が顕著であり、地震中に平均有効応力 p' が増加していく。そのため、剛性が増加するため、地震中に変形しづらくなる。加えて、過圧密状態である場合、塑性変形がおきづらくなるため、地震中に変形しなかった。

図-7は、要素1の軸差応力 q 、過圧密 R 、せん断ひずみ ε_s （黒線）、要素1付近におけるジオテキスタイルの張力（赤線）の経時変化を示す。ジオテキスタイルに発生する張力が大きいとき、軸差応力 q が小さくなる。つまり、土骨格は除荷されるため、過圧密 R が蓄積していく。一方で、 q が大きいときは、ジオテキスタイルの張力は小さくなっている。このように、土骨格とジオテキスタイルが交互に地震動に対して抵抗することにより、ジオテキスタイル補強土は高い耐震性が得られる。

4. おわりに

2024 年能登半島地震において、多くの盛土が崩壊してしまったが、一方で、2007 年に復旧した盛土は崩壊に至らなかった。解析においても、定性的に挙動を再現することができた。このような事例に着目し、今後、高い耐震性を持つ盛土を施工において参考にしていくべきだと考える。

参考文献

- 1) Koseki, J. (2012): Use of geosynthetics to improve seismic performance of earth structures, *G&G*, 34, 51-68.2) 石川県土木部, 石川県道路公社 (2008): 能登有料道路復旧工事記録誌
- 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), 771-790.4) Asaoka, et al. (2000): Super loading yield surface concept for highly structured behavior. *S&F* 40(2), 99-110. 5) 酒井崇之, 中野正樹(2012): 地震後に発生した傾斜地盤上盛土の大崩壊に関する水～土連成有限変形解析による再現, 地盤工学ジャーナル, 7 (2), 421-433. 6) Asaoka et al. (1998): Displacement/traction boundary conditions represented by constraint conditions on velocity field of soil, *S&F*, 38(4), 173-181. 7) 防災科研 K-NET, KiK-net, <https://www.doi.org/10.17598/NIED.0004>. 8) 酒井他 (2014): ジオテキスタイル補強土を用いた盛土の耐震メカニズムの数値解析による把握, 地盤工学会特別シンポジウム-東日本大震災を乗り越えて-, 189-197.

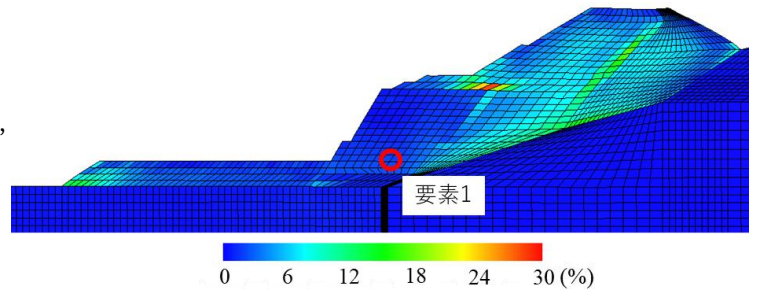


図-5 解析結果（せん断ひずみ分布）

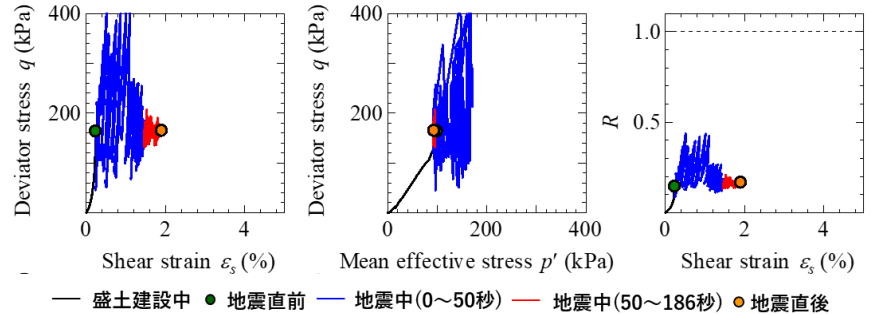


図-6 要素1の力学挙動

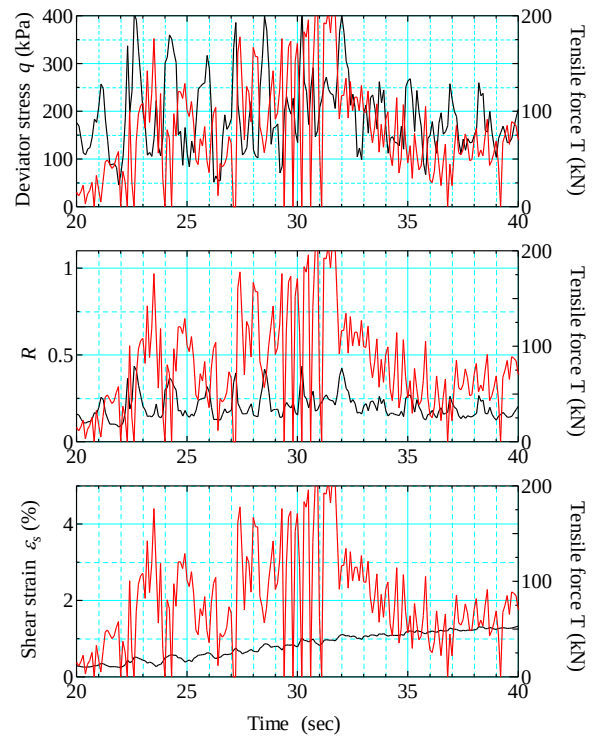


図-7 要素1の力学挙動（経時変化）