

数値解析によるジオテキスタイルを用いた補強盛土工法の耐震メカニズムの把握

ジオテキスタイル 地震応答解析 盛土

名古屋大学 国際会員 ○酒井 崇之 中野 正樹

1. はじめに

2007年に発生した能登半島地震において、のと里山海道(旧能登有料道路)の道路盛土が崩壊し、ジオテキスタイル補強盛土工法により復旧された。本研究では、復旧したのと里山海道の盛土を詳細なデータを用いてモデル化し、地震応答解析を実施し、地震時のジオテキスタイル補強土の挙動を調べた。また、ジオテキスタイルが無い場合についても計算を行い、両者の比較をして、ジオテキスタイル補強土の耐震メカニズムについても調べた。解析には土骨格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 Cam-clay model¹⁾を搭載した水～土連成有限変形解析コード(GEOASIA²⁾)を用いている。



図-1 解析全断面

2. 解析条件

解析断面を図-1に示す。解析は盛土や地盤が進行方向に等断面で構成されているものとして、平面ひずみ条件で全断面を用いて計算を行った。水理境界は図-1に示す通りである。

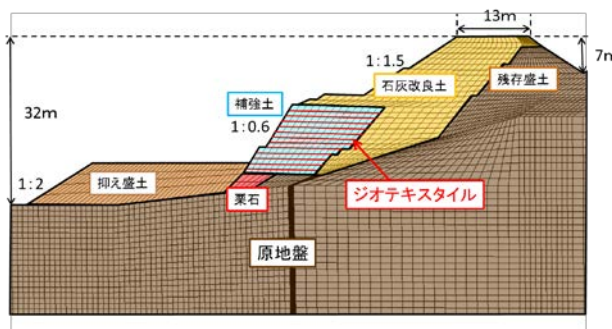


図-2 解析断面(盛土のみ拡大)

なお、盛土と地盤は水が供給されており、常に飽和状態であることを仮定している。地震時には、側方要素の反射を考慮し、側方要素単純せん断境界を地盤の両端に設定した³⁾。また、地震波の全反射を防ぐために、地盤の下端の水平方向に粘性境界⁴⁾($V_s=300\text{m/s}$)を設けている。

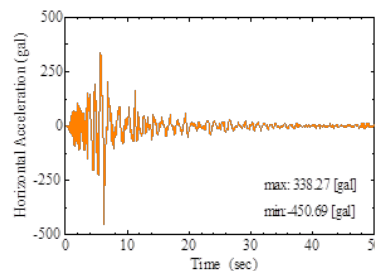


図-3 入力地震動

図-2に図-1の解析断面の盛土部のみ

拡大した図を示す。盛土は高さ32m、天端幅13mであり、補強土部分の勾配は1:0.6で急勾配である。盛土の施工過程は、水～土二相系弾塑性体として高さ約1mの有限要素を順次追加することにより表現する。この時の盛土施工速度は、能登有料道路復旧工事記録誌⁵⁾を参考に決定した。また、各種材料定数および初期値は、各材料に対して行った力学試験をSYS Cam-clay modelで再現することで決定した。表-1, 2に材料定数と初期値を示す。ジオテキスタイルのモデル化については、図-2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ことで、ジオテキスタイルを表現した。本稿では、ジオテキスタイルが無い場合とある場合について、解析を行った。

入力地震動を図-3に示す。能登半島地震においてk-net穴水観測点で観測された地震動である⁶⁾。道路がほぼ南北方向に道路が走っている箇所なので、EW成分を使用した。なお、観測点が地表面であるため、翠川の式を用い振幅の補正を行い、補正後の地震動を入力地震動とした。

3. 解析結果

図-4に解析結果を示す。ジオテキスタイル無しの場合は、補強土部分に円弧状にせん断ひずみが生じているが、ジオテキスタイルありの場合は、生じておらず、ジオテキスタイルによる補強の効果が得られていることがわかる。

表-1 材料定数

材料名			
	抑え盛土		
	石灰改良土	補強土	栗石
	原地盤		
	残存盛土		
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	0.300	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_r	0.300	0.001
回転硬化限界定数	m_b	0.500	0.500

表-2 初期値

材料名	構造の程度 $1/R^*_0$	比体積 v_0	応力比 η_0	異方性 ζ_0
抑え盛土	4.00	2.250	0.00	0.00
石灰改良土	145	2.367	0.00	0.00
原地盤	1.20	1.600	0.54	0.54
残存盛土	7.50	2.140	0.54	0.54
補強土	1.10	1.428	0.00	0.00
栗石	1.00	1.593	0.00	0.00

図-5, 6 は, 図-4 に示す赤点における要素の力学挙動である. また, 図-7 に同じ要素の軸差応力とジオテキスタイルに発生する張力の経時変化を示す. 軸差応力の値に注目すると, 地震時に発生する最大軸差応力はジオテキスタイルの有無に拘らずほとんど同じである. しかし, ジオテキスタイル補強土の方が大きく除荷されている. 過圧密比(R の逆数)の値が, ジオテキスタイルありの方が大きくなっていることは, それを裏付けている. 図-7 は地震開始から 0~10 秒を拡大して示した. ジオテキスタイルが除荷挙動を示している時, ジオテキスタイルに発生する張力が大きくなるのがわかる. 逆に, 土の軸差応力が大きい時は, ジオテキスタイルの張力が小さい. つまり, まず土が地震を受け, 軸差応力が大きくなり, 土骨格が変形しようとする. そして, 土骨格が少し変形しようとする, それを束縛するために, ジオテキスタイルに張力が発生する. この時, 土は除荷されていく.

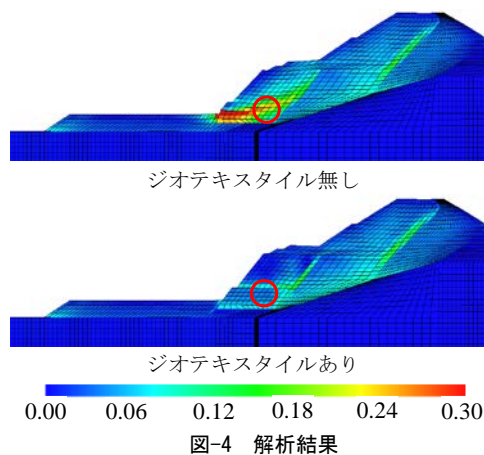


図-4 解析結果

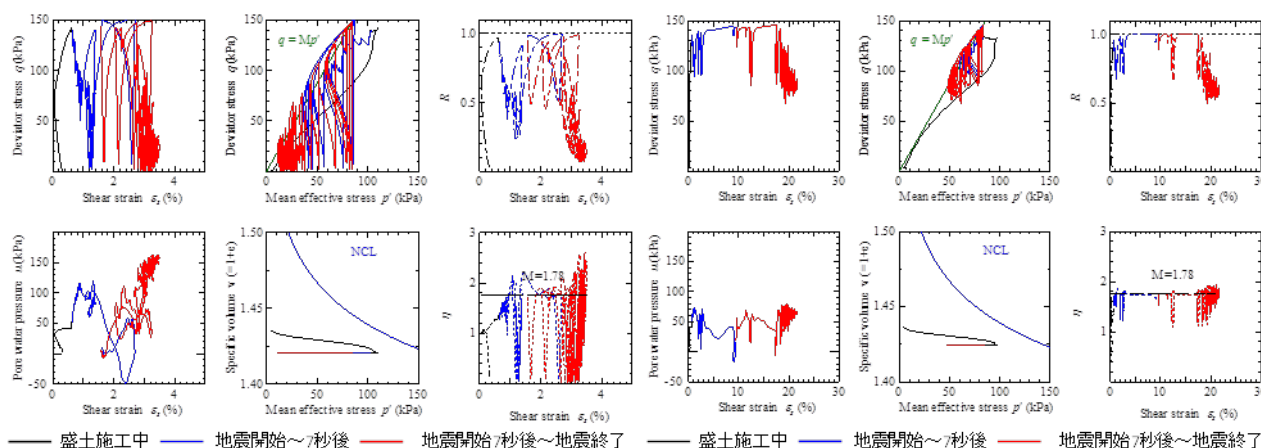


図-5 要素の力学挙動 (ジオテキスタイルあり)

図-6 要素の力学挙動 (ジオテキスタイル無し)

図-8 は, ジオテキスタイルの地震発生 7 秒後における張力分布である. 図に示すように, 法面付近では, 大きい張力が発生しておらず, 盛土内部で大きい張力が発生した. この解析結果は, ジオテキスタイルによって盛土補強する時には, 盛土の

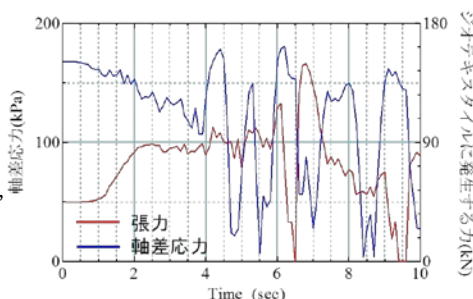


図-7 ジオテキスタイルに発生する張力と軸差応力の経時変化

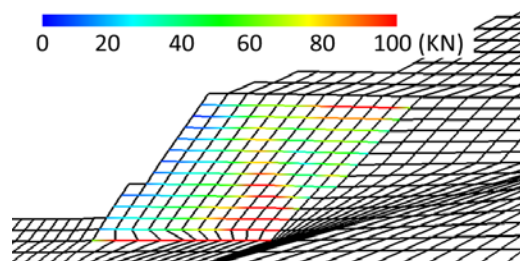


図-8 張力分布

内部の方に引張り強度や剛性の高い材料を用いた方が良いことを示唆している.

4. 結論

本稿では, ジオテキスタイル補強盛土工法により作製された盛土に対し地震応答解析を実施し, ジオテキスタイル補強土の耐震性とその耐震メカニズムについて調べた. 以下に結論を示す. 1)ジオテキスタイル補強土は優れた耐震性を示す. 2)ジオテキスタイル補強土を用いると, ジオテキスタイルを用いない場合に比べ, 地震中に土要素が大きく除荷される. 3)地震時, 土要素が除荷されているとき, ジオテキスタイルに大きい張力が発生している. ジオテキスタイルの張力が小さいときは, 土要素に大きい軸差応力が発生している. 4)ジオテキスタイルに発生する張力は, 法面付近では, 小さく, 盛土内部で大きい.

参考文献) 1) Noda, T. et al, Soil-water coupled finite deformation analysis based on a rate-type equation of motion incorporating the sys cam-clay model, Soils and Foundations, Vol.48, No.6, pp.771-790, 2008 2) Asaoka, A. et al, Anelasto-plastic description of two distinct volume change mechanisms of soils, S&F, Vol.42, No.5, pp.47-57, 2002, 3) 吉見吉昭, 福武毅芳: 地盤液状化の物理と評価・対策技術, 技報堂出版, 2005, 4) William, B., Joyner and Albert T. and F. CHEN.: Calculation of nonlinear ground response in earthquakes, Bulletin of the Seismological Society of America. Vol.65, No.5, pp. 1315-1336, 1975, 5) 石川県土木部, 石川県道路公社: 平成 19 年度 3 月 25 日能登半島地震 能登有料道路復旧工事記録誌, 2008, 6) 防災科学技術研究所強震ネットワーク Kik-net.