

傾斜地盤上の砂質盛土の耐震性向上に有効な工法に関する数値解析的検討

地震応答解析 盛土 押え盛土

名古屋大学 国際会員 酒井崇之 中野正樹

中日本高速道路株式会社 国際会員○稲垣太浩

1 はじめに

近年、大規模地震によって盛土が崩壊する事例が多く見られ、既設盛土の補強が課題となっている。通常、盛土補強には棒状補強がよく挙げられているが、傾斜地盤上の盛土の場合、集水地形となり、盛土内の地下水位が高いことが多く、地震によって水圧が発生すると期待通りの補強効果が得られない恐れがある。特に地震により有効応力が減少しやすい砂質土においては、効果がより低減されやすいと考えられる。また、補強材の錆による劣化等で長期耐久性も懸念される。著者らは、泥岩盛土に対して、置換・押え盛土工による耐震性向上について数値解析的に検討を行い、その効果と補強メカニズムを明らかにした¹⁾。本報告では、砂質土で造成された盛土についても、同様の検討を行い、置換・押え盛土工の優位性を示す。なお、置換・押え盛土工とは、風化が進行する盛土のり面の土を掘削し、地震により軟化しづらい密実な良質土で置き換えるとともに、その置き換え土が押え盛土の役割も果たすという工法である。解析は盛土のゆすり込み沈下からすべり破壊までくまなく表現できる GEOASIA²⁾を用いた。

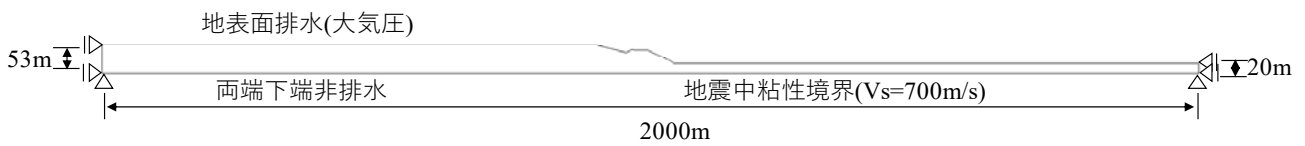


図1 解析全断面図

2 解析条件

図1に解析全断面図、盛土のみ拡大した図を図2に示す。天端幅25m、高さ28m、のり面勾配1:1.8の盛土であり、片側1車線の道路盛土を想定した。傾斜地盤は、1:4の勾配で、段切処理が行われており、段切の高さは1m、幅は4mである。盛土材は、砂質土似た特性を持つ材料であり、対策効果を確認するため緩めのA-b法による締固め度88%とした。

表1 盛土の材料定数

材料名		盛土	押え盛土
弾塑性パラメータ			
圧縮指数	$\tilde{\lambda}$	0.110	0.040
膨潤指数	$\tilde{\kappa}$	0.020	0.002
限界状態定数	M	1.35	1.75
NCLの切片	N	1.765	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	0.500	5.000
構造劣化指数(b=c=1)	a	1.700	10.00
塑性指数	c_s	1.000	1.000
回転硬化指数	b_r	0.100	0.001
回転硬化限界定数	m_b	0.400	0.500
物性			
透水係数(cm/sec)	k	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-4}
土粒子密度(g/cm ³)	ρ_s	2.650	2.697
初期値			
比体積	v_0	1.740	1.350
構造の程度	1/R* ₀	1.50	1.100
異方性	ζ_0	0.000	0.000
応力比	η_0	0.000	0.000

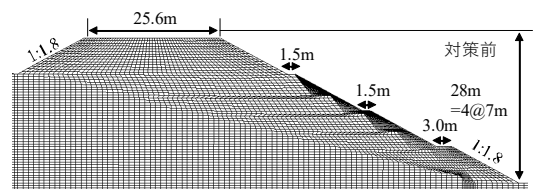


図2 盛土部拡大図

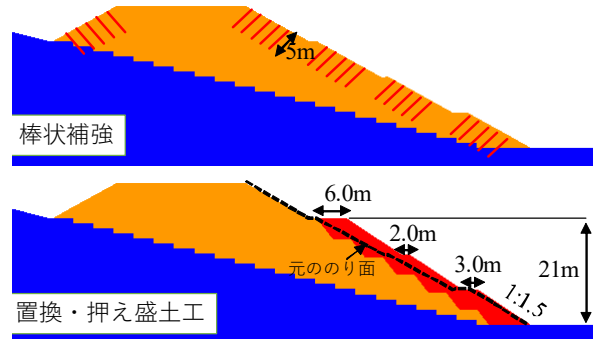


図3 補強後の盛土

盛土材に実施した室内試験結果を、構造概念を考慮した SYS Cam-clay model で再現できており、材料パラメータやモデルの妥当性は確認済みである³⁾。再現によって得られた盛土の材料定数を表1に示す。

平面ひずみ条件を仮定して解析を行い、幅3000mの地盤で側方の影響が無いように十分広く解析領域を設定した。水理境界は両端と下端を非排水条件とし、地表面を排水条件とし、地表面と水位が常に一定であると仮定した。すなわち、盛土、地盤はともに常に飽和状態である。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、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(Vs=700m/s)を設けた。

図3は、補強後の盛土を示す。棒状補強は、通常用いられる中でも最長の5mとし、盛土築造後に鉄筋両端の節点間の距離が変わらない条件を課すことでモデル化した⁴⁾。置換・押え盛土工については、図2の盛土の一部を掘削した

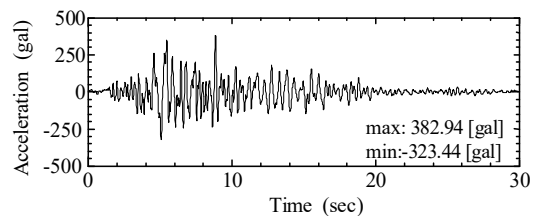


図4 入力地震動

後押し盛土を行った。図3の点線は元ののり面を示している。押し盛土については、鹿島郡で採取された土砂を用いており、B-c法による締固め度95%で締固められている(文献5)の補強土)。押し盛土の材料定数と初期値も表1に示した。盛土築造は、水～土二相系弾塑性体として高さ約0.5mの有限要素を追加することによって表現された。この際、施工速度は0.5m/dayと仮定した。盛土築造により発生した水圧が十分消散するまで、圧密を行った後、図4に示す地震動を工学的基盤面にあたる地盤底面全節点の水平方向に加速度を等しく入力した。なお、入力地震動は兵庫県南部地震において神戸海洋気象台で観測された地震動のEW成分である。

3 解析結果

図5に地震直後におけるせん断ひずみ分布を示す。また、右法肩の沈下量と水平変位も併せて示す。図6には、地震直前および地震直後における平均有効応力分布を示す。補強無し、棒状補強、置換・押し盛土工の順に水平変位と沈下量が小さくなった。置換・押し盛土工を施すことにより水平変位と沈下量がともに60%程度まで軽減される。補強無しの場合、盛土内に30%以上の大きいひずみが発生し、右のり尻部分にも大きいひずみが生じた。棒状補強の場合についても、のり尻や盛土と地盤の境目にひずみが発生し、抑制効果が小さい。これは、盛土と地盤の境目まで鉄筋を挿入しておらず、この部分の変形は抑制できないためである。また、平均有効応力分布を見ると、鉄筋を挿入した部分の周囲(図6の黒丸部分)では平均有効応力の低下が起きた。これにより鉄筋の拘束力が低下する可能性が解析からも示唆された。置換・押し盛土工の場合、盛土と地盤の境目にひずみが出ているが、棒状補強よりもひずみが小さい。また、押し盛土部にはひずみが出ていない。盛土内の平均有効応力は全体的に低下しているものの、押し盛土部については、平均有効応力が大きくなった。これは押し盛土が過圧密状態にあるため、地震中に塑性膨張挙動を示すからである。平均有効応力の上昇により、盛土の剛性が大きくなるため、押し盛土は変形しない。押し盛土が変形しないため、盛土が全体的に右のり尻側へ流れるような挙動が現れなくなった。そのため、盛土と地盤における境界部のひずみや、沈下量や水平変位が非常に小さくなったと考えられる。

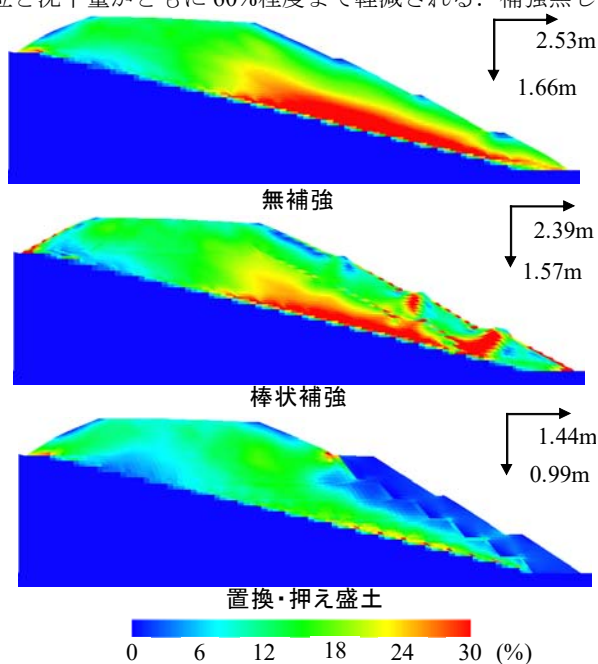


図5 せん断ひずみ分布

4 おわりに

本報では、置換・押し盛土工を施した盛土の耐震性を評価した。砂質土においても、無補強や棒状補強と比較して、棒状補強の場合は、地盤と盛土の境界におけるひずみが大きく出ている部分まで、補強部材が届いていないため、効果的な補強

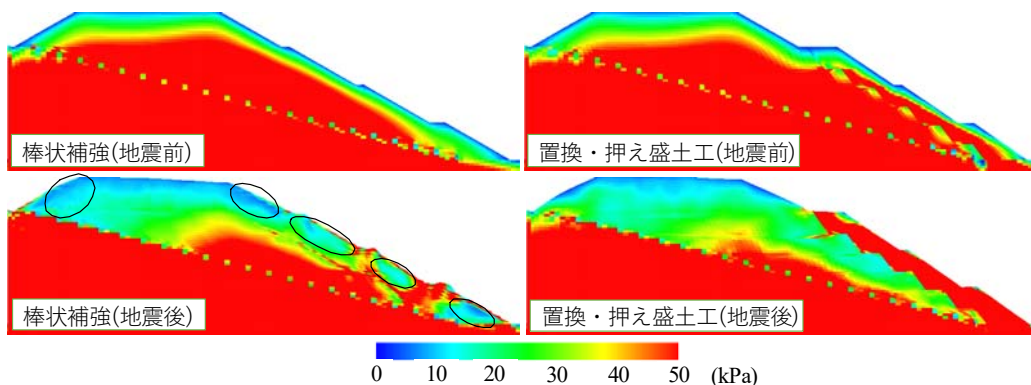


図6 平均有効応力分布

ができていない。届いている部分についても平均有効応力の低下が起きているために、鉄筋の拘束力が低下している恐れがある。一方、置換・押し盛土工の場合は、盛土と地盤の境界部のひずみが軽減された。この理由については、文献1)を参照されたい。また押し盛土が過圧密状態になっているため、地震中に平均有効応力が大きくなるので、土の剛性が大きくなり押し盛土は地震により変形しづらくなる。それにより、盛土全体の耐震性が大きく向上することがわかった。

参考文献

- 1) 稲垣太浩, 酒井崇之, 中野正樹: 押し盛土工法が盛土の地震時安定性に及ぼす効果に関する数値解析的検討, 土木学会第74回年次学術講演会, III-191, 2019.2) Noda, T. 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, Vol.48, No.6, pp.771-790.3) Sakai, T. and Nakano, M.: Interpretation of the mechanical behavior of embankments having various compaction properties based on the soil skeleton structure, S&F, Vol.55, No.2, pp.1069-1085, 2015. 4) Asaoka, A., Noda, T. and Kaneda, K.(1998): Displacement/traction boundary conditions represented by constraint conditions on velocity field of soil, S&F, Vol.38, No.4, pp.173-181. 5)酒井崇之他(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—論文集, pp189-197. 6) 日本道路協会 <https://www.road.or.jp/dl/tech.html>.7) 国土交通省: 高速道路における安全安心基本計画の公表について <https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001307543.pdf>