

地震動の継続時間が傾斜地盤上の泥岩盛土の変形挙動に及ぼす影響の数値解析的考察

名古屋大学 学生会員 ○犬飼 翔吾
 名古屋大学 フェロー会員 中野 正樹
 名古屋大学 正会員 酒井 崇之

1. はじめに

泥岩で造成された高盛土は全国に多数存在し、中には、長年の水の浸入等により泥濘化・細粒化する「スレーキング現象」によって強度低下するものが存在する。その一例として、2009年に発生した地震による東名高速道路牧之原SA付近での盛土崩壊が挙げられる¹⁾。そのため、高速道路に広く用いられている泥岩盛土の地震時挙動を把握することは重要である。そこで本研究では、図

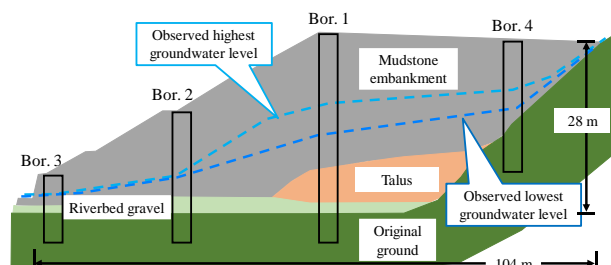


図1 調査断面

1に示す実在する泥岩高盛土を対象とした詳細な地盤調査をもとに、地震による変形、特に地震継続時間の違いが変形に及ぼす影響を数値解析により調べた。なお数値解析には、SYS Cam-clay model²⁾を搭載した水へ土骨格連成有限変形解析コード **GEOASIA**³⁾を用いた。

2. 解析条件

図2は本解析に用いる盛土造成後の有限要素メッシュ及び境界条件を示す。盛土・基盤共に完全飽和状態を仮定している。盛土部分については、地盤調査より得られた物性値をもとに、3層に層分けを行った。解析条件に関する詳細は、犬飼ら(2020)⁴⁾を参照されたい。表1は解析に用いた盛土の材料定数・状態量の初期値を示す。基盤部分の材料定数は、Layer2・Layer3と同じ値を用い、地震時に変形しないように比体積を小さくした。

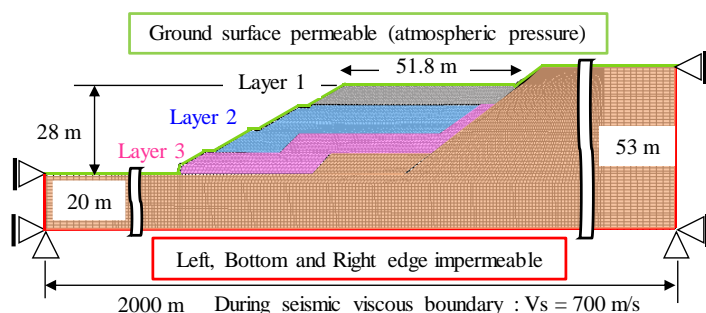


図2 有限要素メッシュと境界条件

図3は本解析に用いた入力地震動を示す⁵⁾。本地震動は東日本大震災において、仙台河川国道事務所にて観測された地震動であり、海溝型レベル2地震動である。地震継続時間は223秒であり、50秒までとそれ以降から100秒までで2つの大きな加速度群を示す特徴を持つ。本研究では、加速度50gal程度のみとなる、100秒以降(両加速度群通過後)についての入力有無で継続時間の影響を調べた。本報告では、地震動をすべて入力したものを case-1、100秒で入力を止めたものを case-2 とし、比較を行った。

表1 盛土の材料定数・状態量の初期値

材料名		Layer 1	Layer 2	Layer 3
弾塑性パラメータ				
圧縮指数	λ	0.085	0.080	0.080
膨潤指数	\tilde{K}	0.015	0.018	0.018
限界状態定数	M	1.375	1.350	1.350
NCLの切片	N	1.350	1.380	1.380
ポアソン比	ν	0.300	0.150	0.150
発展則パラメータ				
正規圧密土化指数	m	0.200	0.300	0.300
構造劣化指数 ($b = c = 1$)	a	0.400	0.500	0.500
塑性指数	c_s	0.100	0.100	0.100
回転硬化指数	b_r	0.010	0.010	0.010
回転硬化限界定数	m_b	1.000	1.000	1.000
物性				
透水係数(cm/s)	k	10^{-7}	10^{-4}	10^{-7}
土粒子密度(g/cm^3)	ρ_s	2.727	2.650	2.697
初期値				
比体積	v_0	1.453	1.410	1.504
構造の程度	$1/R^*_0$	10.0	6.76	45.0
異方性	ζ_0	0.000	0.800	0.000
応力比	η_0	0.100	0.000	0.160

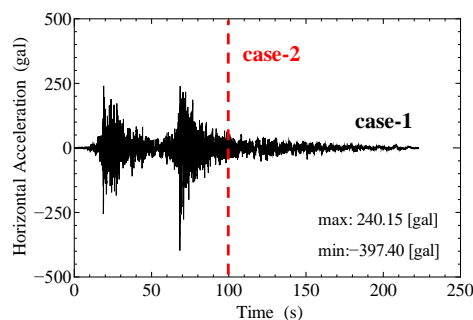


図3 入力地震動

3. 入力地震動による盛土の変形挙動

図4は case-1 のせん断ひずみ分布を示す。図には、(a)地震開始から50秒後(1つ目の加速度群後)、(b)地震終了から10年経過時をそれぞれ示している。(a)より、地震開始50秒時点では、法尻や盛土下部に約30%せん断ひずみが生じた。地震終了10年後には100%を超えるせん断ひずみが法尻や盛土下部に発生し、(b)のように大変形が生じた。図5は case-2 の地震終了から10年後のせん断ひずみ分布を示す。図4の(a)と比べ、2つ目の大きな加速度群が入力されているため、法尻や盛土下部にせん断ひずみの進展は確認できるものの、(b)のような大変形は生じなかった。地震開始100秒以降は、50gal程度の小さい地震動であるが、盛土の変形挙動に与える影響は大きい。

4. 地震動およびその後10年経過時における法尻挙動の比較

2つのケースにおいて、法尻のせん断ひずみの進展の程度が大きく異なった。そのため、図4に示す法尻の要素(element-1)における地震時及びその後の挙動を調べ、原因を考察した。図6の(a)が case-1、(b)が case-2 である。0~50秒までおよび、50~100秒までの2つの加速度群において、せん断ひずみが大きく進展していることがわかる。また、過圧密が解消し、構造が劣化した。case-1では、加速度が小さい100秒以降においては、過圧密は増減を繰り返すものの、横ばいであるが、構造は徐々に劣化していく。構造の劣化に伴い、塑性圧縮するため、間隙水圧が上昇する。それに伴い、土の剛性が低下するため徐々にせん断ひずみが進展した。一方で、case-2では100秒以降は地震による繰り返し荷重がないため、構造の劣化が起きず、塑性圧縮せず、過剰間隙水圧の上昇が起きなかった。そのため、剛性の低下が生じず、せん断ひずみは大きく進展しなかった。

5. おわりに

case-1、case-2共に法尻及び盛土下部にせん断ひずみが発生した。しかし、case-1のせん断ひずみの方が著しく大きくなった。その理由として、法尻の挙動から、case-1では両加速度群によるせん断ひずみの進展だけでなく、地震開始100秒以降の50gal程度の小さな加速度が継続することが挙げられる。地震開始100秒以降の長時間にわたる繰り返し荷重により、構造が劣化し、塑性圧縮挙動が生じるため、平均有効応力の低下し、それに伴う剛性の低下によりせん断ひずみが大きく進展し、大変形を生じたと考えられる。

参考文献: 1.) 齊藤ら (2011): NEXCO 中日本における防災への取組み, 第20回調査・設計・施工技術報告会, pp.1-2. 2.) Asaoka et al. (2002): An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanisms of soils, Soils and Foundations, Vol.42, No.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, Soils and Foundations, Vol.48, No.6, pp.771-790. 4) 犬飼ら (2020): 海溝型および直下型地震が泥岩高盛土の変形挙動に及ぼす影響, 第32回中部地盤工学シンポジウム 5) 日本道路協会: <https://www.road.or.jp/dl/tech.html>.

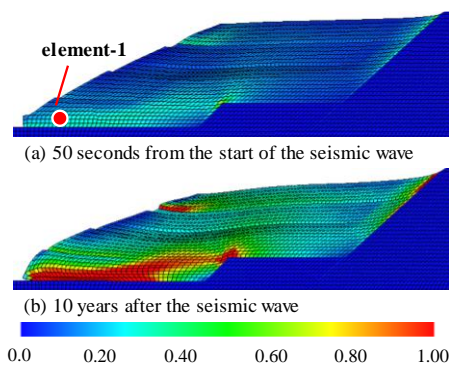


図4 case-1のせん断ひずみ分布

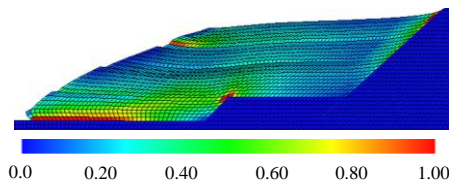


図5 case-2のせん断ひずみ分布

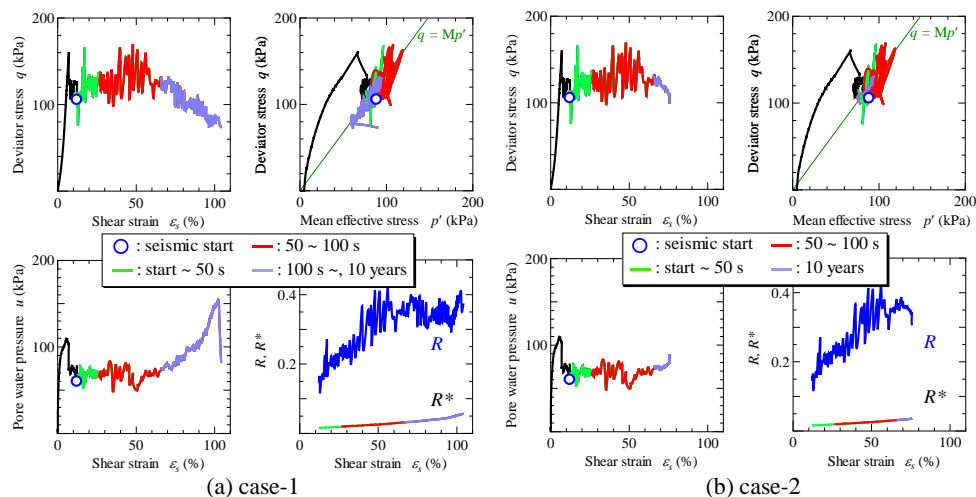


図6 地震動及び圧密時の法尻挙動

繰り返すものの、横ばいであるが、構造は徐々に劣化していく。構造の劣化に伴い、塑性圧縮するため、間隙水圧が上昇する。それに伴い、土の剛性が低下するため徐々にせん断ひずみが進展した。一方で、case-2では100秒以降は地震による繰り返し荷重がないため、構造の劣化が起きず、塑性圧縮せず、過剰間隙水圧の上昇が起きなかった。そのため、剛性の低下が生じず、せん断ひずみは大きく進展しなかった。