

鉛直荷重一定下での乾湿繰り返し泥岩碎石集合体の力学挙動の骨格構造概念による解釈と泥岩盛土の地震応答解析

泥岩 スレーキング 地震応答解析

名古屋大学 国際会員 酒井 崇之 中野 正樹

名古屋大学 学生会員 早野 智彦

1. はじめに

前報¹⁾では、鉛直荷重一定下において乾湿繰り返しを与えた泥岩碎石集合体のせん断挙動を三軸圧縮試験により把握した。本報では、前報で行った三軸圧縮試験結果を弾塑性構成則 SYS Cam-clay model²⁾により再現を行い、再現により得られたパラメータから、泥岩碎石集合体の力学挙動やそれが変化する要因について、骨格構造概念に基づき考察する。さらに、再現により得られた材料定数や初期値を用い、泥岩で作製された盛土の地震応答解析を実施し、盛土の耐震性を評価する。なお解析には、SYS Cam-clay model を搭載した水-土骨格有限変形解析コード GEOASIA³⁾を用いた。

2. せん断挙動の再現

前報における Test-1~5 について、SYS Cam-clay model による再現を行う。SYS Cam-clay model は、骨格構造概念を取り入れた弾塑性構成式である。その詳細は文献²⁾に譲る。なお Test-1 は、締め固めた泥岩に対して、鉛直荷重一定下において乾湿繰り返しを与え、Test-2 では、Test-1 と同じ初期状態で、鉛直荷重を与えるが、乾湿を与えていない。Test-3 は、Test-1 の乾湿を与えた後と同じ密度

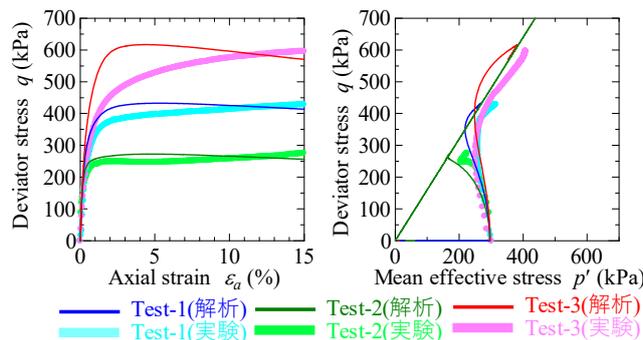


図-1 Test-1, 2, 3 の再現結果

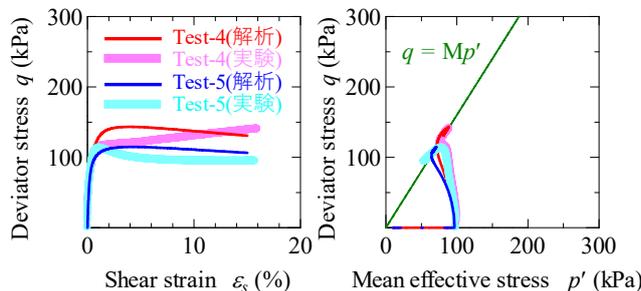


図-2 Test-4, 5 の再現結果

に締め固め、乾湿を与えなかった。Test-4 は Test-2 とほとんど同じであるが、鉛直荷重を与えていない。Test-5 は、供試体を作製する前に乾湿を与えてから Test-4 と同じ密度に締め固めた。本報では、Test1~Test5 は同じ材料であることから、弾塑性パラメータや発展則パラメータは同じと仮定し、初期値のみ変化させて再現を試みた。再現結果を図-1、図-2 に示す。また、再現より得られた材料定数を表-1、初期値を表-2 に示す。乾湿を与えた Test-1 と与えていない Test-2、Test-3 の比較、および乾湿を与えた Test-4 と与えていない Test-5 の比較から、乾湿繰り返しにより、構造が小さくなる。また、同じ密度である Test-1 と Test-3 の比較および、Test-4 と Test-5 を比較から、乾湿繰り返しにより、過圧密も小さくなった。ただし、乾湿を与えても Test-1 のように圧縮した場合は、Test-2 よりも過圧密比は大きくなった。

3. 泥岩盛土の地震応答解析

次に泥岩で建設された道路盛土を想定し、初期締め固め度 $D_c=95\%$ の Test-1 と Test-2 の解析結果で得られた材料定数および初期値を用い、スレーキング進行前後の地震応答解析を実施する。Test-1 盛土は建設後に乾湿作用によって沈下した盛土、Test-2 盛土は、乾湿を受ける前の建設直後の盛土に対応する。解析条件は以下の通りである。図 3 は解析に用いた盛土と地盤の全断面図である。地盤は透水性の悪い固い地盤を想定している。盛土高さは 18m で勾配は 1:1.8 の 3 段の高盛土ある。天端の横幅は 25m で、片側 2 車線の高速度道路を想定している。水理の境界条件は図 3 の通りで、水位面と地表

表-4 材料定数

弾塑性パラメータ		
圧縮指数	$\tilde{\lambda}$	0.085
膨潤指数	$\tilde{\kappa}$	0.012
限界状態定数	M	1.600
NCL の切片	N	1.730
ポアソン比	ν	0.100
発展則パラメータ		
正規圧密土化指数	m	4.000
構造劣化指数($b=c=1$)	a	0.400
塑性指数	c_s	0.100
回転硬化指数	b_r	1.000
回転硬化限界定数	m_b	0.200

表-5 初期値

test	比体積	構造の程度	過圧密比
1	1.715	2.5	44.9
2	1.866	6.5	14.8
3	1.739	5.5	71.4
4	1.900	5.5	15.5
5	1.900	4.0	11.2

面は常に等しく、地盤、盛土は常に飽和状態を仮定している。地震前の運動の境界条件は、左右両端の全節点の水平座標を固定し、下端全節点の水平・鉛直座標を固定した。地震中～地震後には「周期境界」を仮定し、両端に等変位条件を設けている。さらに地震波の全反射を防ぐため、地震時には下端の水平方向に粘性境界⁴⁾を設けた。図4に入力地震動を示す。入力地震動は内陸直下型地震を想定したレベル2地震動である⁵⁾。

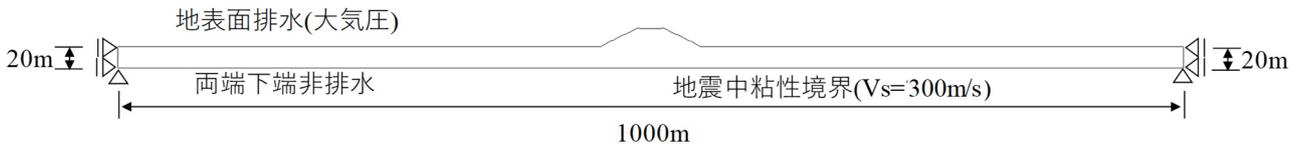


図3 解析全断面

図5に地震発生20年後のせん断ひずみ分布を示す。図5には天端中央の沈下量も併記した。Test-2盛土では、のり尻付近でせん断ひずみが30%程度発生した。地震直後の天端沈下量は約0.55m(圧縮ひずみ3.1%)であり、地震発生から20年後の圧密が終了した時点では約0.64m(同3.6%)となった。Test-1盛土は、Test-2盛土よりも変形量が小さく、せん断ひずみはのり尻付近で最も大きく、約10%であり、天端沈下量は地震直後で約0.18m(圧縮ひずみ1.0%)、地震発生20年後で約0.27m(同1.5%)であった。乾湿繰り返しを作用させたTest-1盛土の方が、乾湿0回のTest-2盛土よりも変形が小さいが、この理由として、三軸圧縮試験の最大軸差応力が大きくなった理由と同じで鉛直荷重一定下での乾湿繰り返し作用によって泥岩粒供試体が圧縮し、密度が増加したことが挙げられる。

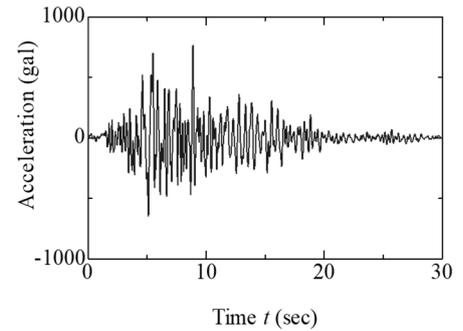


図4 入力地震動

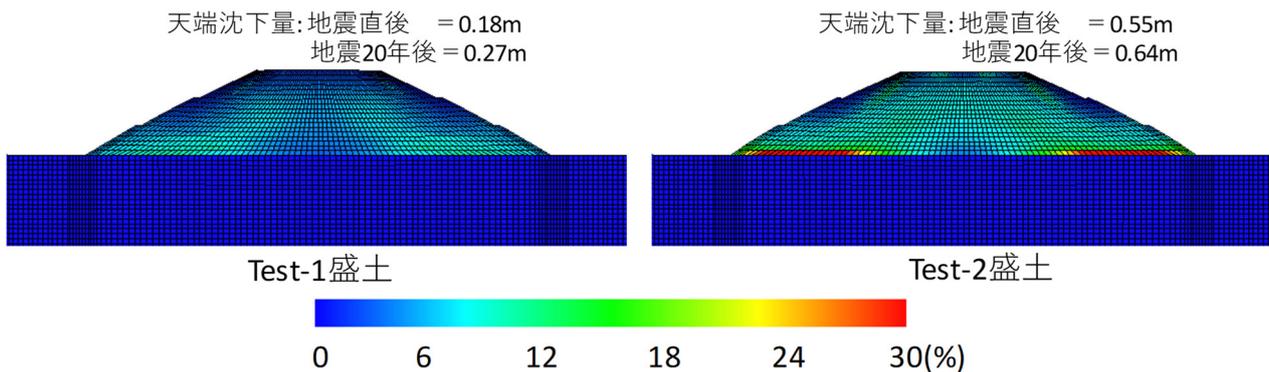


図5 地震直後におけるせん断ひずみ分布

3. 結論

本報では、鉛直荷重一定下での乾湿繰り返し泥岩碎石集合体の三軸圧縮試験結果を弾塑性構成則 SYS Cam-clay model により再現を行った。再現により得られたパラメータから、泥岩碎石集合体の力学挙動やそれが変化する要因について、骨格構造概念に基づき考察した。さらに、再現により得られた材料定数や初期値を用い、泥岩で作製された盛土の地震応答解析を実施し、盛土の耐震性について調査した。

- 1) SYS Cam-clay model の再現計算において、同じ泥岩であることから材料定数を等しくして再現を試みたところ、うまく再現することができた。また、再現より得られたパラメータより、乾湿によりスレーキングを進行させると、構造は劣化し、Test-2 については、乾燥密度が乾湿により大きくなったため、過圧密比が大きくなった。
- 2) 泥岩盛土の地震応答解析においては、乾湿3回による沈下後の盛土と乾湿0回の建設直後の盛土はともに安定であった。乾湿3回のTest-2盛土の密度が増加し、乾湿0回のTest-2盛土の天端の地震後20年の沈下量約0.64m(圧縮ひずみ3.6%)に対し、約0.27cm(同1.5%)と小さくなった。なお、2つのケースとも今回入力した地震動では、地震中、地震後ともに大きな変形は起きなかったと言える。

謝辞：なお本報告は、科学研究費補助金(若手研究(B):課題番号16K18147)の助成を受けたものである。

参考文献 1)酒井崇之他(2016):スレーキングの進行程度と締固め度の上昇が泥岩盛土の耐震性に及ぼす影響, 第51回地盤工学研究発表会, 本誌. 2)Asaoka, A., Nakano, M. and Noda, T. (2000): Superloading yield surface concept for highly structured soil behavior, *Soils and Foundations*, No.40, Vol.2, pp.99-110.3) 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, *Soils and Foundations*, Vol.48, No.6, pp.771-790. 4) Joyner, W. B. and Chen, A. T. F. (1975): Calculation of nonlinear ground response in earthquakes, *Bulletin of the Seismological Society of America*. Vol.65, No.5, pp. 1315-1336. 5) 日本道路協会 <https://www.road.or.jp/dl/tech.html>