

公益信託 NEXCO関係会社高速道路防災対策等に関する支援基金
受託者 三菱UFJ信託銀行株式会社 宛

研究概要書

研究課題：スレーキング進行程度の異なる泥岩盛土の耐震対策に関する研究

研究代表者：名古屋大学 大学院工学研究科 教授 中野正樹

共同研究者：名古屋大学 大学院工学研究科 助教 野々山栄人

はじめに

2009年の駿河湾を震源とする地震で東名牧之原サービスエリア付近の道路盛土が崩壊した。その主な原因は、道路盛土下層部の泥岩（第三紀から四紀ごろ堆積した軟岩）が長年の水の作用で強度が低下したためと推定されている。この災害を受け、高速道路等の牧之原類似盛土に対する緊急点検が実施された。しかしスレーキングによる将来の強度低下までも考慮していないことなど、現行設計法の範囲内での検討に終始している（ここでスレーキングとは、堆積層から掘り起こした直後の泥岩は、強度も大きく盛土材料としては適切であるが、いったん水が浸入すると泥のようになってしまう現象をいう）。また、近年、地震時や豪雨時に道路盛土の崩壊が多発しており、盛土をどの程度締固めて密度を高めればよいかといった締固め基準についても今後、十分な研究が求められている。

1. 研究の目的

本研究では、スレーキングが生じた場合における泥岩盛土の地震時変形・安定性を調べることを目的とする。まず、①スレーキングの生じる可能性のある泥岩盛土について、室内試験を実施して、スレーキングによる強度低下、変形挙動の変化を推定する。そして②スレーキング進行程度の違う泥岩の力学挙動に対し、弾塑性構成モデル（Super/subloading Yield Surfaces Cam-clay model^{[1][2]}、以後 SYS Cam-clay model）により再現し、スレーキング進行が泥岩の力学挙動に及ぼす影響を解釈する。そして、③盛土の地震応答解析を実施し、スレーキング進行が盛土の耐震性に及ぼす影響について調べる。

2. 泥岩のスレーキング特性と力学挙動

2-1 泥岩のスレーキング特性

本研究で用いた泥岩試料は、伊勢湾西岸の丘陵地に分布する奄芸層群の中でも、砂・シルト・粘土の互層を主体とした新第三紀の泥岩である。JHS 110-2006 に準拠して、スレーキング率試験を実施したところ、スレーキング率は 83% であり、本試料はスレーキングが起りやすい材料であった。

2-2 泥岩砕石試料の力学挙動

泥岩砕石試料は、泥岩を砕いて粒径を 9.5~19mm に調整したものである。その調整試料に対し、乾燥 24 時間・湿潤 24 時間のサイクルを 0, 1, 2 回経験させることにより、スレーキング進行の違いを与えた。自然含水比 ($w=15\%$) となるように含水比を調整した後、2 種類の密度で締固めて、直径 7.5cm, 高さ 15cm の円筒供試体を作製

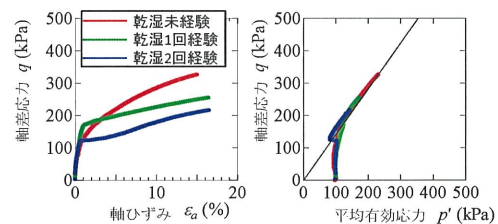


図-1 締固め度 95%の試験結果

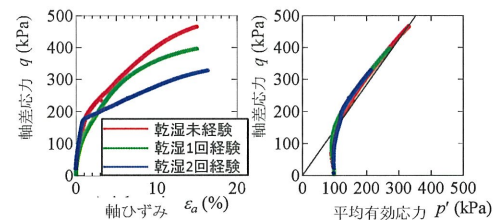


図-2 締固め度 100%の試験結果

した。

この円筒供試体に対し、圧密非排水三軸圧縮試験を実施した。今回、等方圧密後に設定した締固め度 D_c は 95%、100% であり、それぞれ空気間隙率 v_a は 15%、10% となる。供試体は二重負圧法により B 値が 95% 以上になるよう飽和化させた。

図-1, 2 には、各締固め度、拘束圧 100kPa におけるスレーキングの進行程度に違いよる力学挙動の比較を示す。なお $q \sim p'$ 関係図は有効応力パスを表し、黒色の実線は、完全に練返した、つまりすべての粒がスレーキングにより粘土化した試料の限界状態線である。

軸差応力～軸ひずみ関係においては、乾湿未経験の試料は、各軸ひずみに対し高い軸差応力を示し、乾湿の経験回数が増加するほど、その値は減少する。有効応力パスにおいては、せん断初期で鉛直に上昇し、つまり弾性的な挙動を示し、その後、練返し試料の限界状態線の上側を沿うように軸差応力が上昇する。既往の研究から過圧密粘土のような挙動を示し、その程度は、スレーキングが進行していない泥岩の方が卓越していると推察される。また締固め度が高い供試体の方が、高い軸差応力を示す。

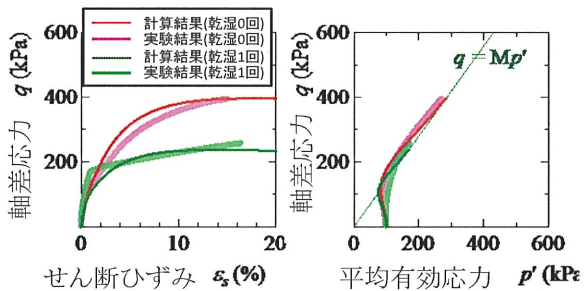


図-3 三軸試験再現結果

2-2 泥岩砕石試料の力学挙動の弾塑性構成モデルによる再現

図-3は、乾湿 0, 1 回サイクルの試料に対する非排水三軸圧縮試験結果の再現計算を示す。計算は試験結果を良く再現している。計算から、スレーキングが進行するほど、初期構造と初期過圧密が減少し、締固め度が高いほど初期構造は低位で、過圧密比が高くなる。

3. 泥岩のスレーキング進行が泥岩盛土の地震時変形・安定性に及ぼす影響

解析においては、盛土高 12m、天端幅 30m の典型的な道路盛土断面とし、2 種類の締固め度と、スレーキング進行の異なる泥岩材料を対象とした。今回は簡単のため、盛土は飽和した状態としている。なお解析条件の詳細は研究報告書の譲る。計算コードとして水へ土連成有限変形解析プログラム GEOASIA^[3]を用いた。

図-4に、締固め度の違う、また乾湿のサイクル 0 回と 1 回の盛土に対し、神戸海洋気象台にて観測された地震動を入力地震動として、地震応答解析を行った。締固め度 100% の盛土では、スレーキング進行の程度が異なっても、せん断ひずみ分布に大きな違いは見られなかった。一方、締固め度 95% では、空気間隙率 15% ではあるが、スレーキング進行に伴い、ひずみが大きく発生し変形が大きく出ている。

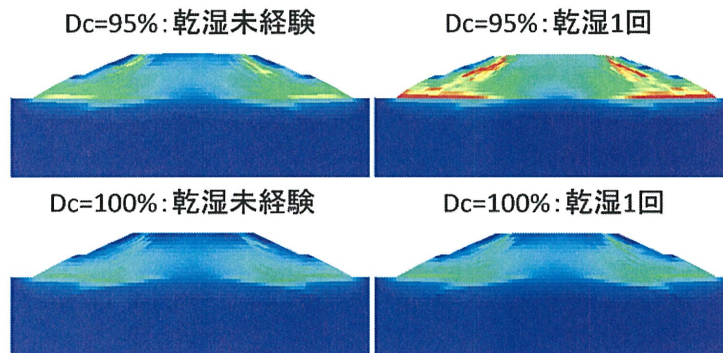


図-4 地震後におけるせん断ひずみ分布

4. まとめ

(1) 三軸試験結果より、締固め度 100% ($v_a=10\%$ 相当) では、超過圧密土のような挙動を示す。また、スレーキング進行とともに、最大軸差応力は小さくなり、過圧密比が小さくなっていることが推定される。締固め度 95% ($v_a=15\%$ 相当) も同様の結果だが、最大軸差応力は小さくなる。

(2) 乾湿未経験、乾湿 1 回といったスレーキング進行程度の異なる試料の力学挙動を再現することができた。そして、スレーキングが進行すると、構造の劣化と過圧密の解消が起り、より密詰めにすると、低位構造、過圧密比が大きくなる。

(3)泥岩盛土の地震応答解析では、締固め度を高くすれば、スレーキングが進行した盛土であっても、変形、崩壊を抑えることができる。しかし、さらにスレーキングが進行した場合や、今回とは異なる地震動の場合には、異なる変形特性が得られる可能性があり、様々な想定のもと、盛土の安全性を高めていく必要がある。

[1] Asaoka, et al. (2000) : Superloading yield surface concept for highly structured soilbehavior, S&F,40(2), pp.99-110.

[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] Noda, T. et al, 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, 2008