

第Ⅲ部門

舞鶴地域に分布する土質材料を用いた盛土の含水状態に着目した耐震性の評価

舞鶴高専専攻科総合システム工学専攻 建設工学コース 学生員 ○岸本 拓馬
舞鶴高専 建設システム工学科 正会員 加登 文学

1. はじめに

地震時の盛土崩壊事例は数多くあるが、集水地形や旧河川上であったなど、含水比が高い状態で地震力を受けたことが原因となるケースが多い。飽和状態やそれに近い状態では、繰返しせん断によって起こる強度低下が主要因といえるが、一方で長期間の水の作用による土質そのものの脆弱化が原因となる場合もある。盛土の地震被害を防ぐためには水を侵入させないための対策はもちろんであるが、使用する土質の含水状態の変化に伴うせん断特性を把握しておくことも重要である。既存の土工構造物の耐震性評価を行う際にも有効な情報になると考える。盛土材は現地調達の基本であり、舞鶴・若狭地方では泥岩が風化した赤褐色の土質（以下「赤土」と称す）が盛土材として使われることも多い。本研究では、赤土を使用した土工構造物の含水比の変化に着目し、2次元 FEM 解析とニューマーク法によって地震時の安定性を評価する。

2. 試料

本研究で用いた試料は泥岩を母材とし、赤褐色で細粒分を多く含んでおり、土粒子は指でつまむ程度で簡単に崩れるほど脆弱な強風化状態の土である。物性値は、土粒子密度 $\rho_s=2.59(\text{g}/\text{cm}^3)$ 、液性限界 $w_L=64.0$ 、塑性指数 $I_p=29.4$ である。粒度分布と締め固め曲線をそれぞれ図1および図2に示す。最適含水比 $w_{opt}=25.0(\%)$ 、最大乾燥密度 $\rho_{dmax}=1.455(\text{g}/\text{cm}^3)$ である。安定性の検討に用いるための強度定数を定圧一面せん断試験により求めた。供試体の条件は、乾燥密度 $\rho_d=1.37(\text{g}/\text{cm}^3)$ 、締め固め度 $D_c=94.5(\%)$ で、含水比を最適含水比 $w=25(\%)$ 、乾燥側の $w=15(\%)$ 、湿潤側の $w=30(\%)$ の3ケースとした。実験結果から求めた強度定数を表1に示す。粘着力 $c_d(\text{kN}/\text{m}^2)$ と内部摩擦角 $\phi_d(^{\circ})$ は、含水比 $w(\%)$ の増加に伴い、いずれも低下する結果となった。

3. 動的変形特性

等価線形解析に用いる動的変形特性を把握するために、含水比と乾燥密度を変化させた供試体に対して繰返し三軸試験を実施した。供試体条件は乾燥密度を $\rho_d=1.275, 1.370, 1.455(\text{g}/\text{cm}^3)$ の3ケースにおいて、含水比を $w=0, 10, 20, 25, 30(\%)$ 、及び飽和状態とした。締め固め度や含水比の違いが等価ヤング率 E_{eq} 及び履歴減衰率 $h(\%)$ に及ぼす影響を調べた。実験結果から正規化した等価ヤング率 E_{eq}/E_{eqMAX} と片振幅ひずみ ε_a の関係を図3に示す。最大等価ヤング率で正規化することで乾燥密度や含水比によらず1つの曲線で近似できる結果となった。

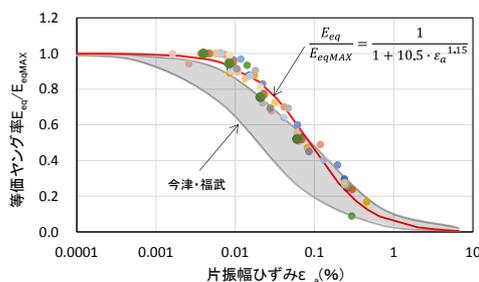


図3 E_{eq}/E_{eqMAX} と ε_a の関係

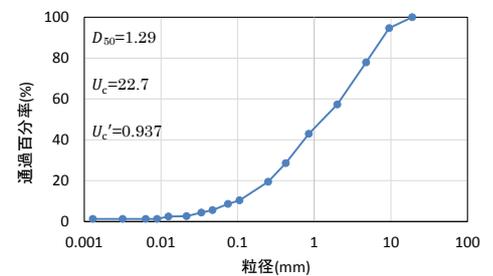


図1 粒度分布

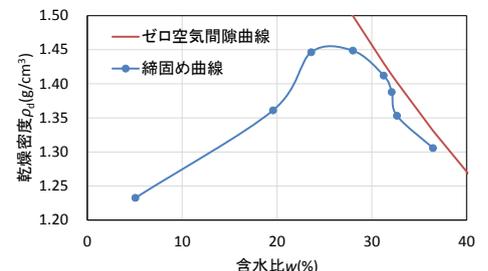


図2 締め固め曲線

表1 赤土の強度定数

$w(\%)$	15.0	25.0	30.0
$\rho_d(\text{g}/\text{cm}^3)$	1.37	1.37	1.37
$c_d(\text{kN}/\text{m}^2)$	30.64	18.08	5.16
$\phi_d(^{\circ})$	44.37	37.94	34.43

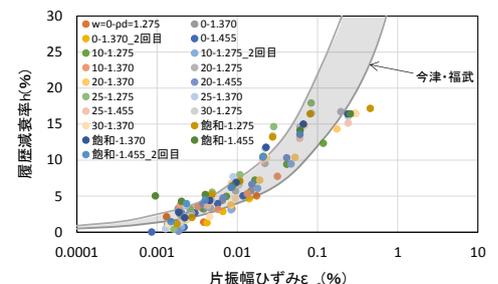


図4 h と ε_a の関係

また、図より既往の研究結果を整理した今津・福武¹⁾の結果（ハッチング部分）よりも右上に実験結果のプロットが位置していることが分かり、このことから今回用いた赤土はひずみの少ない領域では剛性が低下しにくい材料であると言える。一方、図4に示す履歴減衰率と片振幅ひずみの関係では今津・福武の結果の範疇に収まった。

4. FEM 解析による安定性の検討

上記の実験結果を用いて、等価線形化法による2次元地震応答解析を実施し、赤土で造られた盛土の安定検討を行う。FEMモデルは図5に示すように下層地盤を二層に分け、下部に砂層、上部に粘土層、その上に高さ10メートルの赤土を用いた盛土を設定した。入力地震動は「平成7年兵庫県南部地震 JMA 神戸 NS 成分」を用い、各要素に作用する地震による増加応力と自重による初期応力から、モール・クーロンの破壊基準を適用し安全率を算出した。図6は同時刻（入力地震7.94秒、588gal）において破壊が起こった領域を含水比ごとに示したコンターである。白色の領域では安定であり、破壊が起きている部分を黒色で示した。含水比が大きい盛土ほど破壊が起こる領域が大きくなることが確認できる。図7に法先部分での安全率 F_s の変化を示す。含水比の上昇に伴って安全率の値は低下することが確認できた。

5. ニューマーク法による残留変位の算出

含水比の増加に伴う強度定数の低下によって、耐震性にどの程度の差が生じるのかを確認するために、ニューマーク法による残留変位の算出を行った。入力地震動は「道路橋の耐震設計における動的解析に用いる加速度波形」のうち地盤種別を考慮して、第三種地盤でのレベル2地震動タイプI及びタイプIIをそれぞれ3波入力した。臨界滑り面と降伏震度は表2と図8に示す。タイプI、IIそれぞれの3波平均での残留変位と含水比の関係を図9に示す。 $w=15(\%)$ と $w=25(\%)$ では入力地震波形の加速度が降伏震度を超えなかったため残留変位が出ない結果となった。 $w=30(\%)$ では、3波を平均してタイプIで15.7cm（25.6cm、8.7cm、12.7cm）、タイプIIで98.7cm（57.7cm、38.1cm、200.5cm）の残留変位が生じた。

6. まとめ

本研究で扱った赤土を用いた盛土は、地震時に含水比が高くなるほど破壊が生じやすく、またその範囲が広がり、滑りによる変位も発生しやすくなる結果となった。このことより、同じ締め固め度によって造られた盛土でも、含水比の上昇によって強度が低下し、耐震性に問題が生じることが分かった。本研究の結果は、既存の盛土の耐震性を含水状態から検討する際の基礎データとしても有用であると考えられる。

<参考文献>

- 1) 今津雅紀、福武毅芳：「砂礫材料の動的変形特性」、第21回土質研究発表会、pp.509-512、1986。

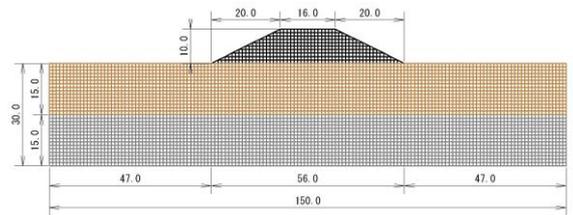


図5 解析モデル

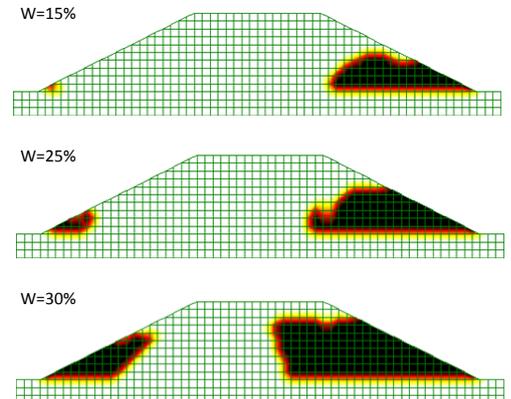


図6 最大加速度時の破壊領域

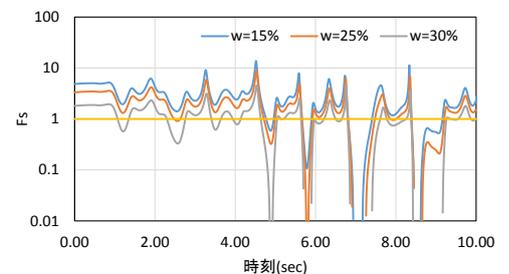


図7 法先での安全率変化

表2 降伏震度と円弧半径

含水比 $w(\%)$	15.0	25.0	30.0
降伏震度 k_y	1.140	0.695	0.343
円弧半径 $R(m)$	29.90	23.83	29.94

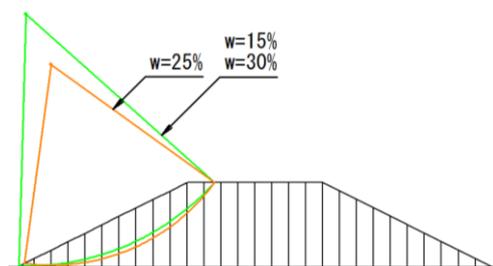


図8 臨界滑り面

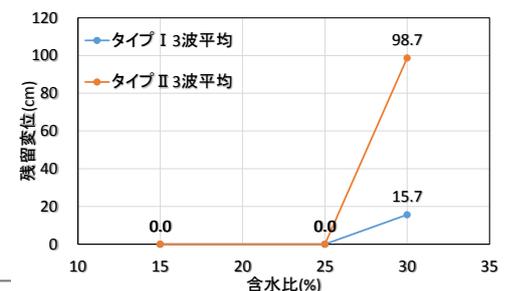


図9 含水比と残留変位の関係