

繰返し三軸試験と修正ニューマーク法を用いた地震時の斜面崩壊規模の評価

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○関 禎幸 舟木 源尚
 複合技術研究所 正会員 三平 伸吾
 東京大学 フェロー会員 古関 潤一

1. 背景と目的

JR 東日本では、過去の地震による被災箇所が盛土に多いことから、盛土の崩壊について研究を進め、順次盛土の耐震工事を進めている。しかし、切土についての研究は、盛土に対して被災箇所が少ないことからほとんど行われておらず、対策も過去の経験に頼らざるを得ないのが実情である。

そこで、本研究では東北地方太平洋沖地震で大規模崩壊した切土斜面¹⁾から試料を採取して繰返し三軸試験を行い、その結果と修正ニューマーク法を用いて崩壊規模を評価する検討を実施した。

2. 火山灰質粘性土の土質試験

東北地方太平洋沖地震で大規模に崩壊した東北本線 179km 付近の切土崩壊箇所にて凝灰質粘性土試料のサンプリングを行い、通常の繰返し三軸試験より

も大きなひずみ領域での試験を行った。崩壊箇所の地下水位が低いことから、試験は自然含水比の不飽和状態でいき、累積軸変位量が 6500mm 以上になるまで、拘束圧 30, 50, 100, 150kPa の 4 種類で行った。

代表例として、拘束圧 100kPa の結果を示す。この試験は軸ひずみ $12 \pm 2.5\%$ (図 1) の片振幅で実施した。これは、軸応力が負にならない領域で累積的に変位が増加するすべり現象を想定した試験である。

その結果、図 2, 3 に示すように繰返し载荷が進むにつれて三軸圧縮側での軸差応力が低下する傾向が得られた。以下では、同一累積軸変位量におけるモール円 (図 4) から粘着力 c 、内部摩擦角 Φ を算出し図 5, 6 のように累積軸変位量の関数として強度低下を定式化した。最終的に、三軸圧縮側での軸差応力は初期値の 50% 程度まで低下した (図 2, 3)。

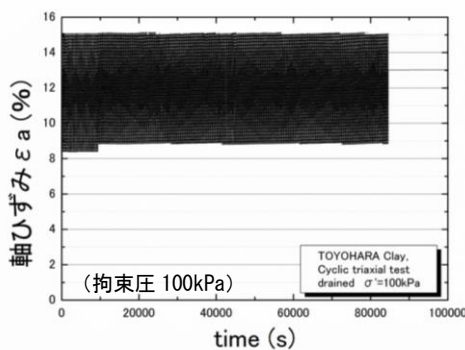


図 1 軸ひずみ-時刻歴

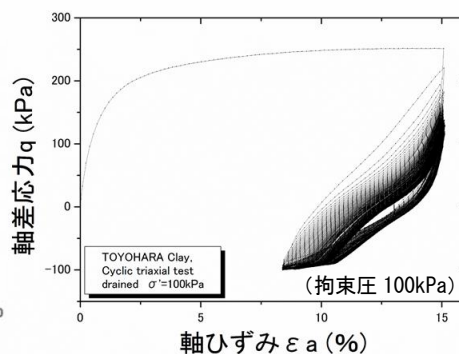


図 2 応力-ひずみ

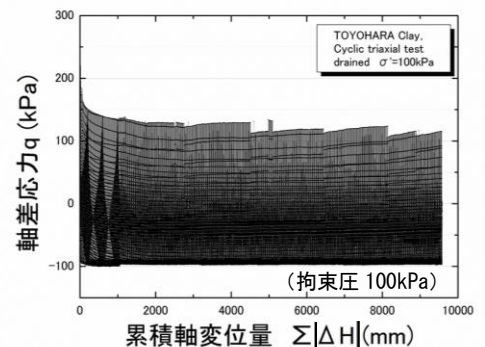


図 3 応力-累積軸変位量

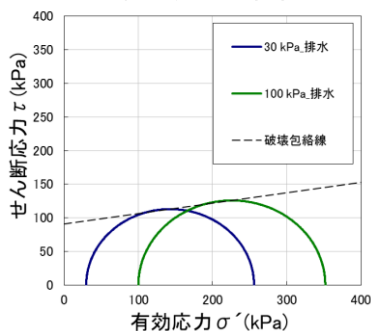


図 4 モール円 (累積軸変位量 10mm)

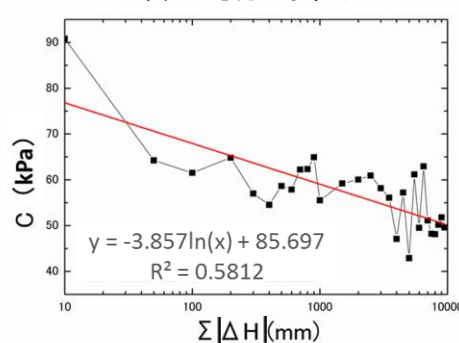


図 5 粘着力 C 低下式

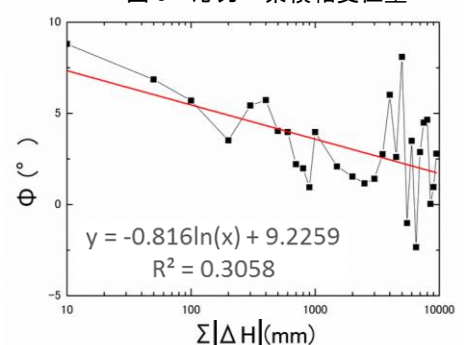


図 6 内部摩擦角 Φ 低下式

キーワード 繰返し三軸試験, 修正ニューマーク法, 不飽和, 凝灰質粘性土, 切土

連絡先 〒330-9555 埼玉県さいたま市大宮区錦町 434-4

東日本旅客鉄道株式会社 大宮支社 設備部 土木課 TEL 048-642-7406

3. 大規模崩壊解析

切土崩壊規模の解析は三軸実験で求めた強度低下式(図5, 6)を用いた修正ニューマーク法とした。解析のフローを図7に示す。解析で用いたパラメータを表1に示す。土の強度低下(三軸, なし)と高さ(H=16m, 8m)を変えた4ケースの検討を行った。

H=16mのモデルの地層は, 実斜面の地盤調査結果に基づいて設定した(図8)。H=8mのモデルは, H=16mモデルのローム層の厚さを小さくして設定した。

なお, 土の強度低下(なし)のケースでは, 単調载荷した三軸圧縮試験で軸ひずみ15%まで明確なピークが現れなかったことから, 軸ひずみ15%で発揮された強度特性が常に発揮される設定とした。

図9に代表的なすべり変形量case1の結果を示す。検討結果を表2に示す。case1とcase2より, 同じ地震動では切土の高さが最大応答加速度と初期降伏震度および残留変形量, すなわち崩壊発生の有無と規模

に大きく影響を与えることがわかる。また, case1とcase3, case2とcase4より, 火山灰質粘性土の強度低下の設定方法により残留変形量が大きく変わることがわかった。

4. まとめ

今回の研究では, 現地採取試料を用いた大ひずみ領域での繰返し三軸試験で得られた火山灰質粘性土の強度低下特性を考慮すると残留変形量すなわち崩壊規模が大きくなること, 切土高さを仮想的に小さくすると崩壊規模が小さくなることが判明した。

参考文献

- 1) 渡邊誉夫ら: 東北地方太平洋沖地震で崩壊した東北本線切土斜面における震災復旧工事の設計及び施工 (SED43号, 2014年5月)

表1 解析入力パラメータ

地層名	単位体積重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比	せん断剛性 G_0 (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	粘着力 C (kN/m ²)
ローム層	14.0	0.49	11,000	8.7	54.3
凝灰質粘性土層	15.0	0.49	357,000	11.5	62.9
礫混じり粘性土	17.0	0.49	833,000	50	345

※ローム層と凝灰質粘性土層(風化層)は上段に最大強度, 下段にcase1, 2の強度低下ありの条件を記載する。
※case3, 4(強度低下なし)の内部摩擦角, 粘着力は上段数値で変化しない。

表2 解析結果

検討項目	case1 H=8.0m	case2 H=16.0m	case3 H=8.0m	case4 H=16.0m
強度低下	三軸	三軸	なし	なし
基盤入力波形	波形: 白河観測所(5km北北東方向にあるK-NET)を採用 東西方向(EW成分): 最大加速度 $\alpha_{max} = 691.1 \text{ gal}$ 上下方向(UD成分): 最大加速度 $\alpha_{max} = 321.0 \text{ gal}$			
最大応答加速度 (gal)	623.3	404.5	623.3	404.5
初期降伏震度 (Kh)	0.55	0.26	0.55	0.26
残留変形量 (mm)	4,368	2,816	5	3

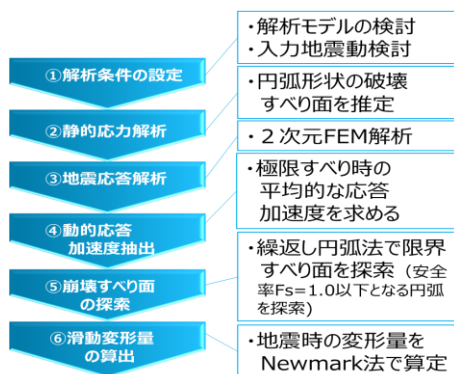


図7 解析フロー

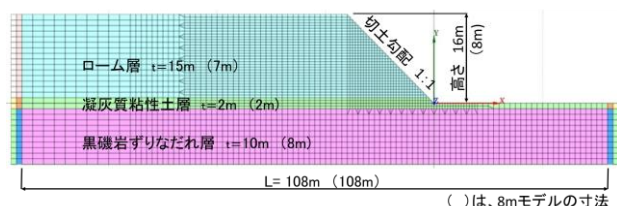


図8 解析モデル (H=16m)

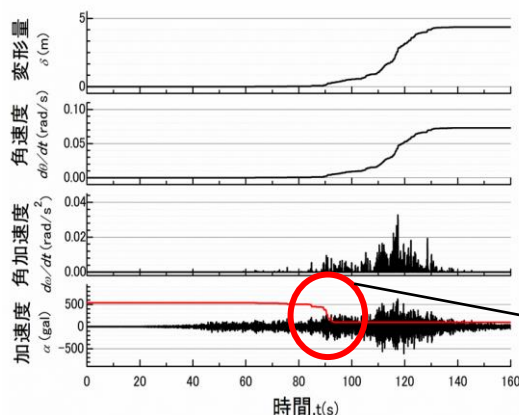


図9 修正ニューマーク法によるすべり変形量(case1)

