

地すべり土塊砂質土の地震波载荷試験

(独) 土木研究所 ○丸山清輝、中村 明、ハスバートル、野呂智之

1. はじめに

中越地震などの地震時には、数多くの地すべり災害が発生している。地震時に生じる土塊内のせん断挙動については、盛り土斜面に関する数多くの研究が成されているが、地すべり斜面に関するものは少ない。このため、地すべり斜面における地震時の地すべり土塊の挙動は不明な点が多くあり、地震による地すべり発生機構は明らかになっていない。そこで、土木研究所では、地震時地すべり斜面の安定解析の精度向上を図るために、地すべり土塊砂質土の繰り返しせん断試験を実施してきた¹⁾。

今回は、中越地震で発生した地すべり斜面の土塊の攪乱試料を用いた地震波载荷試験を実施したので報告する。

2. 試料及び試験方法

表-1 は、試験に用いた試料の物理試験結果を示したものである。試料は、中越地震時に発生した東竹沢地すべりのすべり面付近で採取した攪乱試料である。

地すべり斜面における地震時の土のせん断挙動を検討するために、

表-1 物理試験結果

		東竹沢
土粒子の密度	ρ_s (g/cm ³)	2.612
自然含水比	W_n (%)	27.9
礫分 (2~75mm)	(%)	0.0
砂分 (0.075~2mm)	(%)	56.0
シルト分 (0.005mm~0.075mm)	(%)	32.9
粘土分 (0.005mm未満)	(%)	11.1
最大粒径	(mm)	0.425
50%粒径	D_{50} (mm)	0.0995
地盤材料の分類名		細粒分砂質
分類記号		(SF)

地すべりによる滑動力が作用している状態での地震波载荷試験を実施した。砂質土の供試体 (寸法H=10cm、D=5cm) は締め固め法を用い、せん断時に過圧密状態にならないように相対密度 $D_r=50\%$ 、5 層に分けて作成した。また、供試体の飽和化はCO₂と脱気水により行い、 $B \geq 0.95$ を確認した。

圧密条件は、滑動力が作用している状態での圧密状態を再現するため、軸応力に初期せん断応力を加えた異方圧密とした。なお、圧密では、等方圧密後に初期せん断力を加えて異方圧密状態にした。

表-2 には、応力条件を示した。せん断試験は、JGS 0541-2000「土の液状化強度特性を求めるための繰り返し非排水三軸試験」に準拠して実施した。

表-2 応力条件

鉛直方向軸応力 σ_{vc} (kPa)	水平方向軸応力 σ_{hc} (kPa)	圧密時軸差応力 $\sigma_{vc}-\sigma_{hc}$ (kPa)	圧密時主応力比 σ_{vc}/σ_{hc}
300	150	150	2.0
255	170	85	1.5

図-1、2 は、試験に用いた地震波を示したものである。図-1 は中越地震波 小千谷 NIG019 N-S 成分であり、図-2

は岩手・宮城内陸地震波 IWTH25 K-NET N-S 成分である。中越地震波は、加速度が時間の経過とともに徐々に増大し最大値を示した後に急激に減少する形状を成すものである。一方、岩手・宮城内陸地震波は、加速度が急激に増大し最大値を示した後、徐々に減少する形状を成すものである。中越地震波と岩手・宮城内陸地震波の加速度最大値の発生時期は前者が後半に後者が前半になっており、加速度の最大値出現時期が異なる。

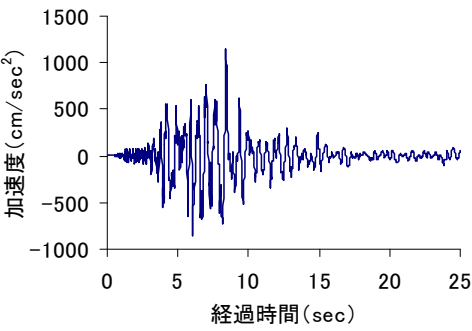


図-1 中越地震波 小千谷 NIG019 N-S 成分

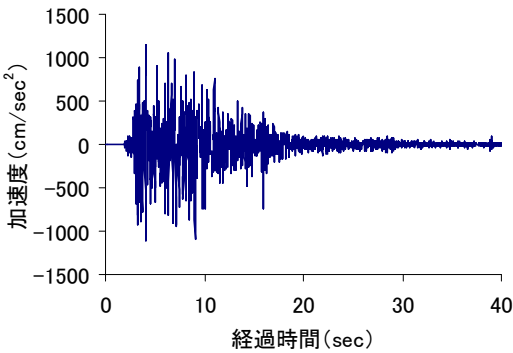


図-2 岩手・宮城内陸地震波 IWTH25 K-NET N-S 成分

3. 地すべり土塊の地震波载荷試験

3.1 中越地震波による試験結果

図-3 は、供試体を破壊させた場合の繰り返し軸差応力、過剰間隙水圧比 ($\Delta u / \sigma_{vc}$)、軸ひずみの各経時変化を示したものである。なお、応力条件は、軸方向圧密応力 300kN/m²、水平方向圧密圧力 150kN/m²、圧密時主応力比 2.0、繰り返し応力振幅比最大値 0.171 である。また、繰り返し応力振幅比は、繰り返し偏差応力 (σ_{dmax}) / 平均有効主応力 ($2\sigma_{vc}$) である。過剰間隙水圧比は繰り返し軸差応力の最大値を過ぎた時点で最大値を示し、その後は繰り返し軸差応力が減少した後も最大値の状態では推移している。軸ひずみは繰り返し軸差応力及び過剰間隙水圧比の最大値出現時付近で急激に増大し、この時点で供試体が破壊したこ

とを示している。なお、繰り返し軸差応力が最大値を示した後に急激に減少したのは、軸ひずみが急激に増大した時点と一致することから供試体の破壊によるものと考えられる。この他、供試体の破壊進行時では地震波による繰り返し軸差応力の振幅は供試体の破壊により小さくなっているが、過剰間隙水圧比はほぼ最大値で推移している。

これらのことから、中越地震波を載荷した試験では、過剰間隙水圧比の最大値は繰り返し軸差応力の最大値発生以後に出現していること、過剰間隙水圧比の最大値は繰り返し軸差応力が消滅した後も最大値の状態推移することが確認された。

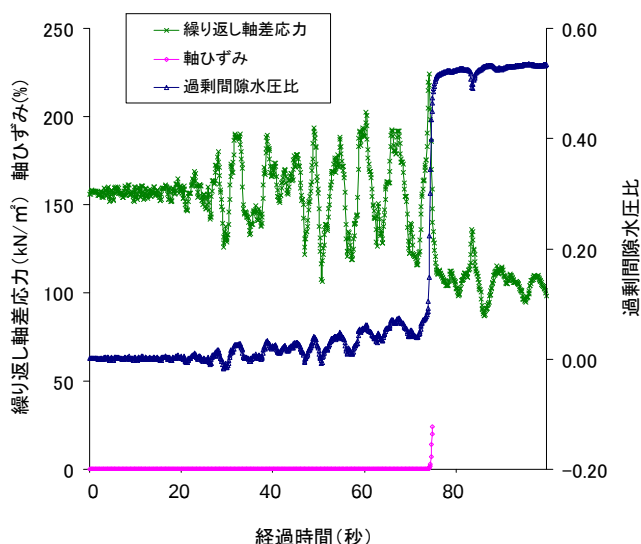


図-3 中越地震波による繰り返し三軸試験結果
(繰り返し応力振幅比最大値 0.171)

3.2 岩手・宮城内陸地震波による試験結果

図-4 は、供試体を破壊させた場合の繰り返し軸差応力、過剰間隙水圧比、軸ひずみの各経時変化を示したものである。なお、応力条件は、軸方向圧密応力 300kN/m^2 、水平方向圧密圧力 150kN/m^2 、圧密時主応力比 2.0、繰り返し応力振幅比最大値 0.204 である。軸ひずみは繰り返し軸差応力が最大値に達する直前までほとんど変化していないが、過剰間隙水圧比が急激に増大した時点で急激に増大しており、供試体が破壊したことを示している。また、繰り返し軸差応力は試験開始後急激に増大し最大値を示した後、供試体の破壊の進行により減少している。この他、過剰間隙水圧比は試験開始後徐々に増大し、繰り返し軸差応力の最大値出現直後に急激に増大して、供試体の破壊後に最大値を示している。その後の過剰間隙水圧比は、繰り返し軸差応力が減少した後も最大値の状態推移している。

これらのことから、岩手・宮城内陸地震波を載荷した試験では、過剰間隙水圧比の最大値は、繰り返し軸差応力の最大値発生以後に出現していること、過剰間隙水圧比の最大値は繰り返し軸差応力が消滅した後も最大値の状態推移することが認められた。これらの結果は、前述した中越地震波載荷の試験結果と同じである。

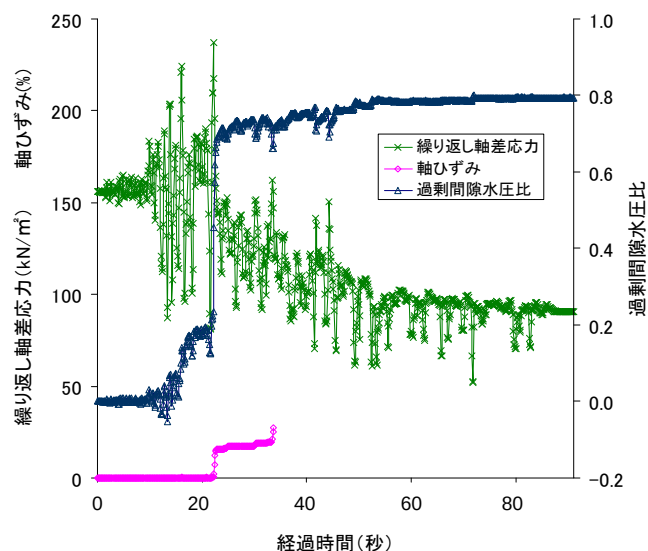


図-4 岩手・宮城内陸地震波による繰り返し三軸試験結果
(繰り返し応力振幅比最大値 0.204)

4. 地震時地すべり斜面の安定に関する検討

中越地震波と岩手・宮城内陸地震波を載荷した試験では、破壊前の過剰間隙水圧比の最大値が繰り返し軸差応力の最大値出現時付近で発生した。このことから、供試体は繰り返し軸差応力の最大値と過剰間隙水圧の最大値により破壊したことになり、地震が関係する斜面安定解析では地震力と地震で発生する過剰間隙水圧の両方を考慮する必要があると考える。また、破壊後の過剰間隙水圧比は破壊により破壊前に比べて上昇し、繰り返し軸差応力が減少した後も最大値の状態推移した。このことから、地震により地すべりが発生した場合、地震が収束しても発生した過剰間隙水圧が最大値の状態残留することが考えられ、地すべりの移動が地震力の消失後も残留した過剰間隙水圧により継続することが考えられる。また、地震で発生した地すべりが短時間で大移動するのは、このことによると考えられる。

5. まとめと今後の課題

地すべり斜面における地震時の土のせん断挙動を検討するため、東竹沢(砂質土)の攪乱試料を用いて、地すべりによる滑動力が作用している状態での地震波載荷試験を実施した。その結果、中越地震波と岩手・宮城内陸地震波を載荷した試験により、破壊前の過剰間隙水圧比の最大値が繰り返し軸差応力の最大値出現時付近で発生することを確認できた。

今後は、地震時に地すべり土塊内に発生する最大過剰間隙水圧の推定法について検討する計画である。

参考文献

- 1) 丸山清輝ほか：地震時地すべり土塊の非排水繰り返しせん断挙動、第 49 回日本地すべり学会研究発表会講演集、pp. 248-249、平成 22 年 7 月