

平成 23 年東北地方太平洋沖地震で発生した流動化地すべりの地形と地震波载荷試験

(独) 土木研究所 ○丸山清輝、中村 明、野呂智之

1. はじめに

土木研究所では、流動化地すべり（地すべり土塊が原形を留めず流体運動をする地すべり）の発生箇所と到達範囲の予測法を提案するための研究を行っている。本報告は、平成 23 年 3 月 11 日に発生した平成 23 年東北地方太平洋沖地震による流動化地すべりの地形の検討と、その斜面から採取した土塊の地震波载荷試験結果について示したものである。

2. 検討した地すべりの概要¹⁾と地形

検討した地すべりは、栃木県那須烏山市藤田地区、福島県白河市の北ノ入地区と葉ノ木平地区である。

2.1 栃木県那須烏山市藤田地区

図-1 には、地形判読結果を示した。地すべりの規模は、幅約 180m、長さ約 280m、斜面平均勾配約 25 度である。地すべり土塊は、河道を閉塞し、谷の出口から対岸までの約 120m の範囲まで達している。今回の地震による地すべりは、地すべり地形の再滑動及び拡大によるものである。なお、地すべり斜面には中～後期中新世の堆

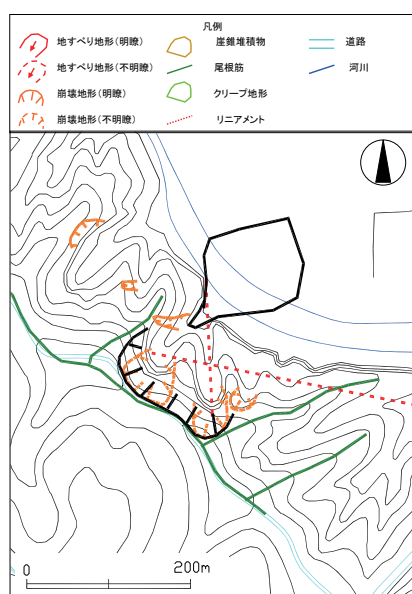


図-1 地形判読結果（藤田）

積岩が分布し、前期更新世の堆積岩が覆っている。地震による地すべりは急崖の同一標高を直線状に頭部として発生し、地すべり土塊は地表面を流下した後、河川を横断して平地部で広がっている。地すべりを起こした斜面は河川の攻撃斜面に相当し、河川と急崖間の距離が短く、谷斜面が急勾配を呈していた。また、この斜面には、1975 年の空中写真にも小規模な崩壊地や崩壊跡地形が認められ、崩壊履歴がある。この他、この斜面内にはリニアメントが通過し、地すべりを起こした斜面上部は遷急線に相当するなど、地すべりを起こしやすい条件が揃っていた。

2.2 福島県白河市北ノ入地区

図-2 は、地形判読結果を示したものである。地すべりは幅約 40m、長さ約 100m、勾配約 15 度の規模で発生した。地すべり土塊は東南から南の方向へと方向を変えながら谷筋を約 150m 流下し、平坦地の水田で停止した。なお、地すべり斜面の地質は、前期更新世の火砕流堆積物である。

地震による地すべりは、緩やかな谷斜面で発生している。地すべりは斜面の上部と下部で大きく方向を変え、上部では南東方向、下部では南方向に向かっている。現地調査では、斜面中間部の急斜面ですべり面が地表に露出している部分が

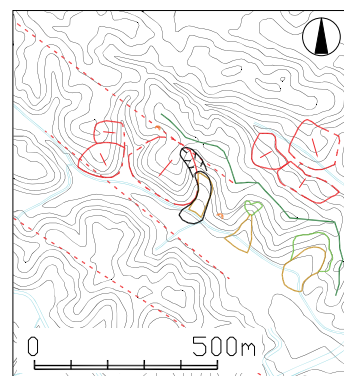


図-2 地形判読結果（北ノ入）

認められた。これらのことから、上部斜面で地すべりが発生し、移動土塊は斜面中間部から斜面地表を流下して斜面下の平地に達したものと推定される。地すべり発生箇所は西北西向きの丘陵地であるが、丘陵地の尾根筋に並行してリニアメントが走っている。今回の地すべりは、凸状斜面（岩盤地すべりの可能性がある）測方谷部の頭部から発生した。凸状斜面測方は谷地形を呈しており、谷には崖線堆積物が堆積している。地すべりは、リニアメントや岩盤地すべりで地盤が緩んでいた斜面で発生したと推定される。

2.3 福島県白河市葉ノ木平地区

図-3 には、地形判読結果を示した。地すべりの規模は幅約 100m、長さ約 85m である。地すべりは尾根部から発生し、谷地形なりに東北東へ約 190m 移動して対岸の斜面に衝突した。なお、地すべり斜面の地質は、前期更新世の火砕流堆積物である。

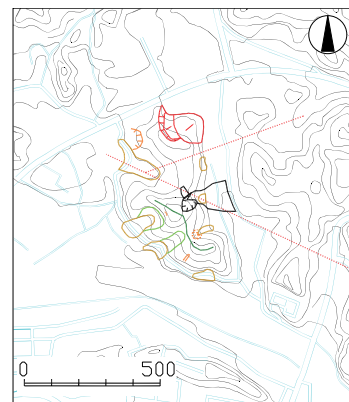


図-3 地形判読結果（葉ノ木平）

地震による地すべりは、尾根の東側の山頂付近から発生している。地すべり頭部は北東方向を向いているが、地すべり土塊は斜面途中から東方向に向きを変え、地表面を流下し斜面下の平地部に広がった。地すべり斜面には西北西方向のリニアメントが卓越し、この方向は尾根軸の向きと整合している。地すべり発生箇所の北東側は 1975 年時点の写真では谷地形となっており、谷軸に沿ってリニアメントが通過している。この谷軸方向のリニアメントとは別に、北北東向きのものが走っており、今回の地すべり斜面の北北西方向に位置する谷付近で交差している。このため、地すべり斜面付近は、リニアメントに挟まれたクサビ状の低

地を呈する。地すべりは、近隣にリニアメントが通過し地質的に脆弱であることや、横断方向・縦断方向ともに凸状斜面を呈すること（地震により揺れやすい）により発生したと推定される。

3. 地すべり土塊の地震波載荷試験

地震により流動化する地すべりのメカニズムを解明するために、地すべり土塊の地震波載荷試験を三軸試験機により実施した。なお、試験に用いた地震波（試料採取地最寄りの地震波観測所のもの）は藤田地区の試料の試験では東北地方太平洋沖地震波 TCGH13 N-S 成分であり、北ノ入と葉ノ木平の試料では FKS016 N-S 成分である。

3.1 試料

表-1 は、試料の物理試験結果を示したものである。試料は、滑落崖近くの推定すべり面付近で攪乱されたものを採取した。試験では、礫分を取り除くために $425\mu\text{m}$ のフルイを通過させスラリー化させたものを用いた。

表-1 試料の物理試験結果

地すべり名	藤田	北ノ入	葉ノ木平
土粒子の密度 (g/cm^3)	2.694	2.614	2.666
自然含水比 (%)	80.7	94.1	87.9
礫分 (2~75mm) (%)	0.0	0.0	0.0
砂分 (0.075~2mm) (%)	18.3	4.9	2.8
シルト分 (0.005~0.075mm) (%)	36.9	27.0	24.3
粘土分 (0.005mm未満) (%)	44.8	68.1	72.9
最大粒径 (mm)	0.850	0.850	0.425
50%粒径 (mm)	0.0070	0.0016	0.0016
液性限界 (%)	118.6	88.4	97.3
塑性限界 (%)	51.1	49.2	40.9
塑性指数	67.5	39.2	56.4
地盤材料分類名	砂質火山灰質粘性土	火山灰質粘性土	火山灰質粘性土

3.2 供試体の作成方法

供試体は、予備圧密した試料を整形して作成している。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。また、採取した試料を不攪乱の状態に近づけるため、せん断試験時は過圧密比 2.0 の状態にするため圧密時の $1/2$ の応力状態にした。

表-2 には、供試体圧密時の各応力条件を示した。

表-2 供試体圧密時の応力条件

地すべり名	鉛直応力 σ_{vc} (kPa)	水平応力 σ_{hc} (kPa)	圧密時平均有効主応力 $(\sigma_{vc} + 2\sigma_{hc})/3$ (kPa)	圧密時主応力比 σ_{vc}/σ_{hc}
藤田	300	150	200	2.0
北ノ入	300	150	200	2.0
葉ノ木平	332	134	200	2.5

3.3 試験結果

図-4~6 は、各地区試料における試験結果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それぞれ示したものである。過剰間隙水圧比は繰り返し軸差応力の増大とともに増大し、繰り返し軸差応力が減少した後も最大値（最大値 0.3~0.7）で推移している。軸ひずみは繰り返し軸差応力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。また、繰り返し軸差応力（せん断

強度）は、最大値の $270\sim 160\text{ kN}/\text{m}^2$ から供試体破壊後の $20\sim 90\text{ kN}/\text{m}^2$ 程度まで低下し、せん断強度は地震波による過剰間隙水圧の増大に伴う平均有効応力の低下により最大値の $10\sim 40\%$ 程度になっている。

以上のことから、今回の地震により地すべりが発生した藤田、北ノ入、葉ノ木平地区では、地すべり土塊の地震波載荷試験により、過剰間隙水圧比の最大値が繰り返し軸差応力の最大値発生以後に出現すること、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で推移すること、せん断強度が地震波による過剰間隙水圧の増大により最大値の $10\sim 40\%$ 程度まで低下することなどがそれぞれ確認された。また、地すべりの発生と地すべり土塊の到達範囲が長く流動化した原因としては、地震により滑動力が増大したと、斜面内の過剰間隙水圧の増大により土塊のせん断強さが低下したことが考えられる。

4. 今後の課題

今後は、豪雨、融雪により流動化する地すべりのメカニズムの分析と流動化する地すべりの発生箇所の予測手法の開発を行う計画である。

参考文献

- 1) 笹原克夫、内村太郎、中井真司、向井信之、山部 哲、柳崎 剛：東北地方太平洋沖地震による栃木県の斜面崩壊について、砂防学会誌、Vol. 64、No. 2、p p. 31~38、2011

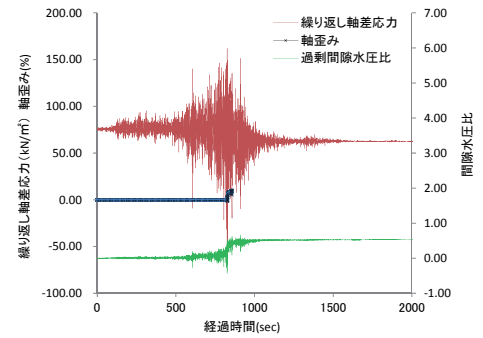


図-4 地震波載荷試験結果（藤田地区）

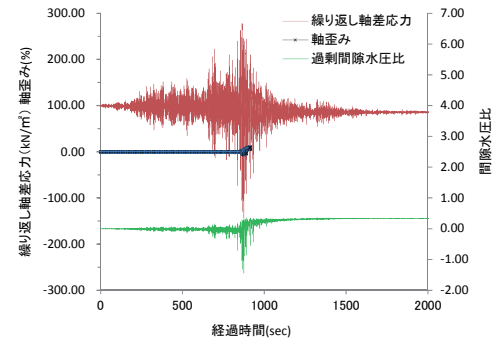


図-5 地震波載荷試験結果（北ノ入地区）

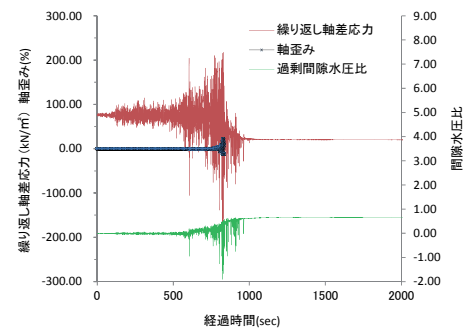


図-6 地震波載荷試験結果（葉ノ木平地区）