

# 地すべり対策工の耐震性能評価に関する研究

研究予算 : 運営費交付金  
 研究期間 : 平 24～平 28  
 担当チーム : 地すべりチーム  
 研究担当者 : 石井靖雄、高木将行

## 【要旨】

本研究より、既往地震時における概成地すべりの変動有無や地震によるアンカー等の損傷が発生する諸条件が確認された。また、ボーリングコア観察や PS 検層の結果を用いた一次元地震応答解析が、地震により発生した地すべりの歪発生深度を推定する手法として有効であることを示した。

これらの成果を活用することで、地震時に被災しうる地すべり防止施設の範囲の絞り込みができ、地震後の初動施設点検の重点化に資することができるようになる。また、簡易に地震時にすべり面となりうる深度の推定が可能となった。

キーワード : 地震地すべり、地すべり防止施設の耐震性、歪発生深度

## 1. はじめに

近年、平成 16 年に発生した新潟県中越地震や平成 23 年に発生した東北地方太平洋沖地震などの大規模地震が発生するなどして、対策された地すべりも大きく滑動する可能性が考えられる。ゆえに、従来の想定していた荷重に加えて地震動による外力に対しても、地すべり対策工が十分耐えうる機能を有することが求められ、既設地すべり対策工の耐震性を検証する必要がある。

また、地震により発生した地すべりの多くは既存地すべりの再活動である知見<sup>1)</sup>や、既存地すべりに比べ長さ・幅が小さく、約 7 割が既存地すべり地形の一部で発生したという知見<sup>2)</sup>などが明らかになってきている。ただし、地震地すべりは短時間に斜面下部まですべり落ちる<sup>3)</sup>ため、地すべり発生前のすべり面深度は特定しにくい問題があり、現在のところ、滑落した地震地すべりについて地中変動観測結果に基づきすべり面深度が評価された事例はない。一方、滑落に至らなかった比較の変位量の小さな地震地すべりについては降雨等の誘因により変動が発生したすべり面深度と調和的であった事例やそうでない事例が報告<sup>4)</sup>されている。ゆえに地震発生時に歪が発生した深度付近の地質的特徴を分析し、解析等による検証を実施する必要がある。

そこで本研究では、既往地震による概成地すべりの変動発生の有無やアンカー等の破損状況について調査した。また、地盤の動的性質に着目した地質的な特徴について地中変動観測結果と地質調査結果か

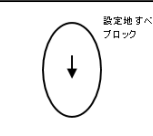
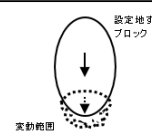
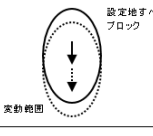
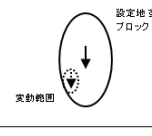
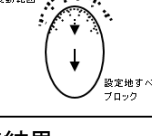
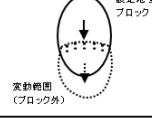
ら分析を行い、地震により発生した地すべりにおける歪発生深度の推定手法について検討を行う。

## 2. 地震動を受けた地すべり挙動の実態調査

### 2.1 調査方法

地震動を受けた地すべりブロック挙動を明らかにするために、東北地方太平洋沖地震で地震動を受けた概成地すべりブロック（以下、ブロックという）を対象とした。地すべりの概成報告書・施設台帳・地震前後の施設点検資料を基に、震度と変動発生有無や地震による地すべり変動の発生状況・施工された対策工等を調査した。なお、変動発生 の定義については中村ら<sup>5)</sup>に準拠し、表-1 のとおりである。

表-1 変動発生ブロックの区分

変動無し		末端変動	
全体変動		一部変動	
上部変動		その他変動	

### 2.2 調査結果

詳細な資料が収集できたもののうち、震度 3 以上の地震動を受けたブロック数は 311 ブロック、震度 5 以上の地震動を受けたのは 124 ブロックであった。

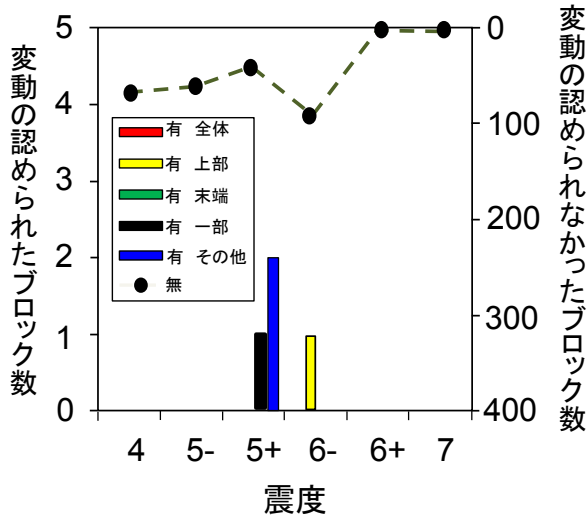


図-1 変動発生有無と震度の関係

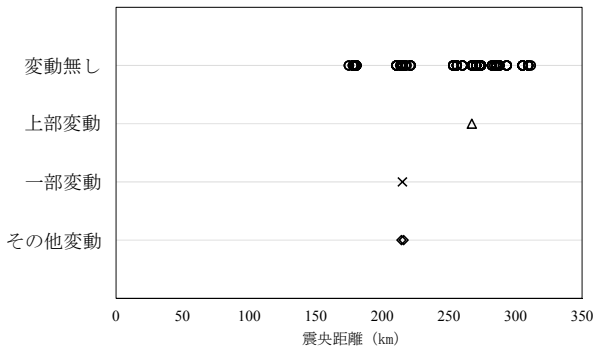


図-2 変動発生有無と震央距離の関係

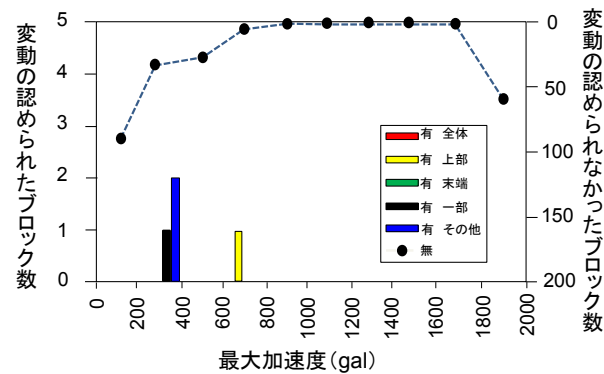


図-3 変動発生有無と最大加速度の関係

そのうち、変動が確認されたのは4ブロックであり、その内訳は上部変動が1ブロック、一部変動が1ブロック、その他変動が2ブロックであった。なお、その他変動が発生した2ブロックは同地区内で隣りあって存在するものである。

変動発生有無と震度の関係(図-1)では、震度4及び5弱で変動したブロックは確認されず、震度5

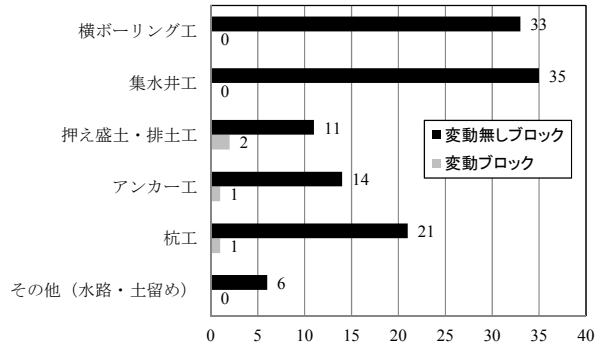


図-4 震度5以上の地震動を受けたブロックの主要工種

強で一部変動・その他変動、震度6弱で上部変動したブロックが確認された。また、変動発生有無と震央距離の関係(図-2)では、震央距離が200~300kmに位置するブロックの一部で変動が確認された。これらより、震度の大きさや震央距離とブロックの変動発生有無に明瞭な関係は認められなかった。さらに変動発生有無と最大加速度の関係(図-3)では、変動が確認された4ブロックで観測された最大加速度が350~700galであったことが明らかになった。

また、地すべり対策工の工種の違いによる変動発生有無を調べるため、ブロック安全率上昇に最も寄与している工種を主とし、さらに抑止工と抑制工が施工されているブロックでは、抑止工を主な工種と見なした。その結果、主要工種別の震度5強以上の地震動を受けたブロック数(図-4)は、横ボーリング工・集水井工が主要工種のブロックでは変動は認められず、押え盛土・排土工、アンカー工、杭工が主要工種のブロックの一部で変動が認められた。

### 3. 地震によるアンカー等の破損状況調査

#### 3.1 調査方法

岩手・宮城内陸地震の震度5強以上の地震動を受けた岩手県の市町村(地震発生時点)を対象とし、アンカー等の破損状況、アンカー・受圧構造物の種類及び規格の確認による現地調査と、災害調査報告書等による資料調査を実施した。現地調査の結果に基づき、表-2の破損区分を5つに区分した。

表-2 アンカー等の破損区分

破損区分	被害事例	確認方法	区分の定義
アンカーの破断	鋼線の破断、付着切れ	目視、リフトオフ試験	鋼線破断や定容体の引き掛けにより緊張力を地盤に伝える機能が無いアンカー
荷重の増加	残存緊張力の増加	リフトオフ試験	設計アンカー力の1.1倍以上の残存緊張力
受圧構造物の変位	法枠目地の開き、受圧板のズレ	目視	法枠の目地の開きや受圧板のズレや回転
受圧構造物の破損	法枠の亀裂	目視	経年劣化ではない亀裂や断面の破断
変状無し	無し	目視	

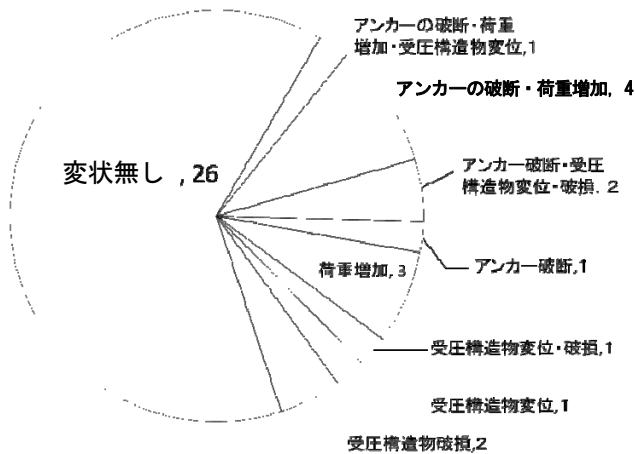


図-5 アンカー等の破損数と区分

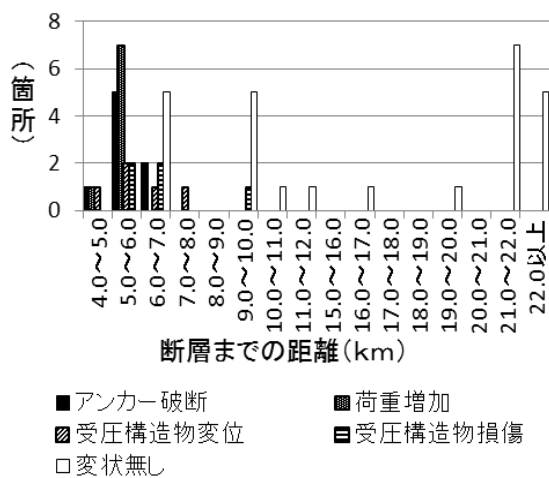


図-6 アンカー等の破損と断層までの距離の関係

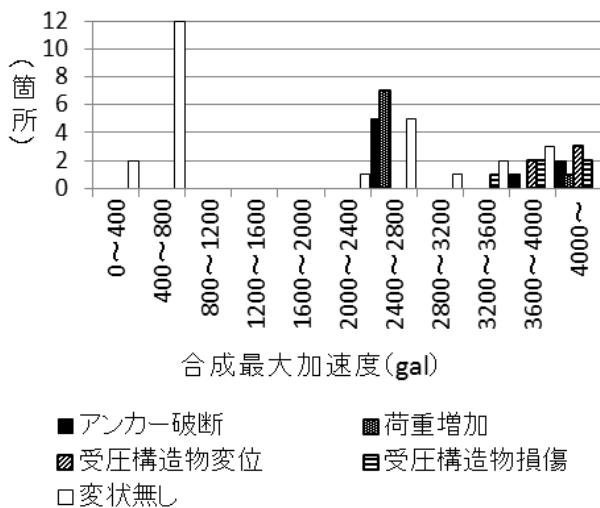


図-7 アンカー等の破損と合成最大加速度の関係

### 3. 2 調査結果

アンカー等の破損の調査結果(図-5)では、全41地区のうち、アンカー等の破損が確認された地区は

15地区、変状無しであると確認された地区は26地区であった。また、アンカー等の破損が確認された地区では、アンカーの破断と荷重増加や重圧構造物の変位と破損など、複数の破損や変位が確認された。

アンカー等の破損と断層までの距離(図-6)では、アンカー等の破損は、断層までの距離が7.0km以内で集中して発生していた。また、受圧構造物の破損は、断層までの距離が10.0km以内で発生していた。つまり断層までの距離が10.0km以内の範囲ではすべての地区で何らかの破損が見られたが、断層までの距離が10.0km以上では、いずれの発生も認められなかった。

図-7にアンカー等の破損と合成最大加速度との関係を示す。地震動とアンカーの破損状況の関係について検討を行うため、合成最大加速度とアンカー等の破損発生状況について調査を行った。図-7より、合成最大加速度では2,400~4,000galの範囲でアンカー等の破損が確認されて、特に2,400~2,800galの範囲では、アンカー等の破損が高い頻度で発生することが確認された。

### 4. 一次元地震応答解析による歪発生深度の推定

#### 4. 1 解析方法

地盤の動的性質に着目した地質的特徴を地中変動観測結果から分析し、一次元地震応答解析を行う。調査対象とした地すべりは、新潟県に位置する柳原地区で、当地区は平成23年に発生した長野県北部地震の地震動を受け、地震時に地中変動の観測データが取得されている。

図-8に柳原地区平面図を示す。一次元地震動応答解析にはLIQUER, Ver.15.1E(富士通エフ・アイ・

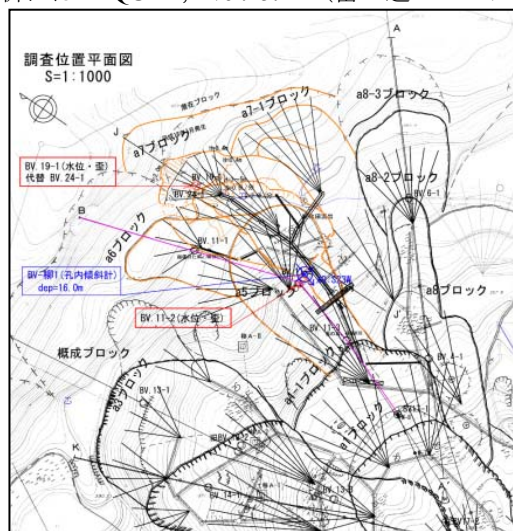


図-8 柳原地区平面図

ピー株式会社)を使用した。LIQUER は SHAKE<sup>6)</sup>と同様の手法を重複反射理論による等価線形化法の解析プログラムである。地盤は、表-3 に示したとおり、BV 柳-1 の PS 検層結果に基づいて4層に区分した。湿潤重量、飽和重量、動的変形特性曲線は PS 検層および室内土質試験結果により設定した。ただし、崩積土および風化岩Ⅱについては動的変形特性曲線の試験値がないことから、それぞれ強風化岩、未風化岩の試験値を設定した。また、崩積土の湿潤重量、飽和重量は、既往文献<sup>7)</sup>を参考に設定した。地下水位については、BV 柳-1 に隣接する BV11-2 で観測された孔内水位(深度 2.95m、長野県北部地震発生当日)を使用した。なお、LIQUER では地下水位より上位地盤の密度は湿潤重量を用いて計算を行い、地下水位より下位地盤の密度は飽和重量を用いて計算を行っている。

また、入力加速度波形は柳原地区から約 6 km 離れた K-NET 安塚(国立研究開発法人防災科学技術研究所強震観測網)の長野県北部地震発生時の観測データを柳原地区の地すべり方向に変換した後に、当該観測地点の S 波速度 450m/s の工学的基盤まで線形で引戻し計算を行ったものを使用した。入力時間は主要動を含む 40.95 秒(データ間隔 0.01 秒)で、加速度波の入力深度は安定した地盤が分布していると考えられる十分な深さ 20m とした。加速度波は地すべり方向の斜面谷側を正とした。

#### 4. 2 解析結果

図-9 に BV 柳-1 の解析モデルと解析により得られた深度方向のせん断歪を示す。せん断歪は、せん断応力が地すべり方向に作用した時の各深度の最大値をプロットした。図-9 に示したとおり、せん断歪は S 波伝播速度(Vs)が変化する深度の上面の要素で増加し、それらのせん断歪量は深度 7.05m で 0.022%、深度 4.05m で 0.062%、深度 1.87m で 0.038%であった。最大せん断歪は S 波伝播速度が 270m/s から 150m/s へ変化する深度 4.05m の上面の要素で発生した。深度 4.05m は風化岩Ⅱと強風化岩の境界に位置し、BV11-2 において長野県北部地震発生時の最大歪発生深度 4m と整合する結果を示した。

#### 5. まとめ

本研究では得られた主な知見をまとめる。

- ・東北地方太平洋沖地震の地震動を受けた概成地すべりブロックを対象とした調査では、5 以上の地震動を受けたのは 124 ブロックであり、変

動が確認されたのは 4 ブロックであった。

- ・岩手・宮城内陸地震を対象としたアンカー等の破損状況の調査結果より、アンカー等の破損は断層面からの距離が 10.0km 以内で、合成最大加速度が 2,400~4,000gal の範囲で確認された。
- ・一次元地震動応答解析による求めた最大歪発生深度と動態観測結果でのそれが調和する結果が得られた。

表-3 地盤モデルと設定したパラメータ

深度 (m)	PS 検層による S 波速度 (m/s)	対象地盤	湿潤重量 (kN/m <sup>3</sup> )	飽和重量 (kN/m <sup>3</sup> )	動的変形特性曲線 G/G <sub>0</sub> , h <sup>1)</sup>
0~1.87	130	崩積土	18.0	18.0	強風化岩
1.87~4.05	150	強風化岩	19.2	19.7	強風化岩
4.05~7.05	270	風化岩Ⅱ <sup>2)</sup>	20.9	21.0	未風化岩
7.05~20.0	390	未風化岩・弱風化岩	21.4	21.6	未風化岩

1) G<sub>0</sub>:初期せん断弾性係数, G:せん断歪が発生した時のせん断弾性係数  
h:減衰定数

2) 硬軟判定区分 C, 風化区分 δ に該当

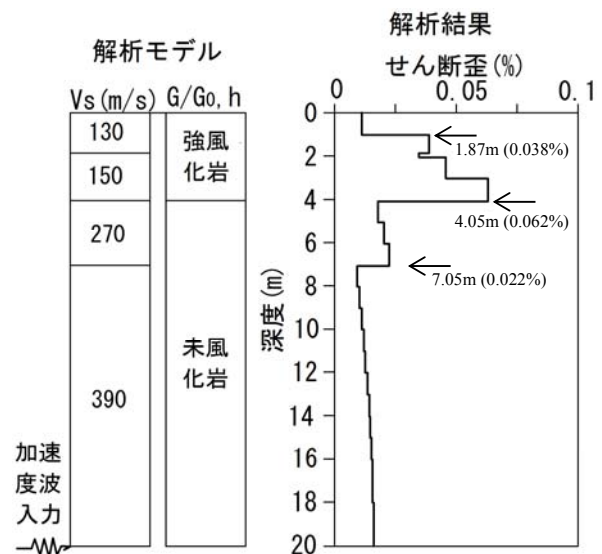


図-9 BV 柳-1 解析モデルと解析で得られた最大歪発生状況

#### 参考文献

- 1) 千木良雅弘:「2004 年新潟県中越地震による斜面災害の地質・地形的特徴」、応用地質、Vol.46、No.3、pp.115-124、平成 17 年 8 月
- 2) ハスパートル・石井靖雄・丸山清輝・中村明・野呂智之:「既存地すべり地形との比較による新潟県中越地震による地すべりの規模と移動範囲の特徴」、日本地すべり学会誌、Vol.51、No.3、pp.90-99、平成 26 年 5 月

- 3) 公益社団法人日本地すべり学会：「地震地すべり-地震地すべりプロジェクト特別委員会の総括編-」、社団法人日本地すべり学会、pp.79、平成 24 年 2 月
- 4) Fujisawa K. Ishii Y. and Kamihara N.: “Monitored Behavior of Landslide at the Mid Niigata Prefecture Earthquake in 2004” ,INTERPRAEVENT International Symposium in Niigata, Japan, pp.25-34, 2006.9
- 5) 中村明・野呂智之・丸山清輝・石井靖雄・ハスバートル・池田伸俊：「既往対策工による地下水位低下状況と地震による地すべり変動の関係」、日本地すべり学会誌、Vol.48、No.5、pp.30-36、平成 23 年 9 月
- 6) Schnabel,P.B. Lysmer,J. and Seed,H.B. “SHAKE-A Computer Program For Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites ” ,Report No.EERC72-12, College of Engineering University of California, Berkeley, pp.3-8, 1972
- 7) 社団法人日本河川協会：「建設省河川砂防技術基準(案)同解説 計画編 改定新版」、山海堂、pp.199、平成 9 年 10 月

# STUDY ON SEISMIC PERFORMANCE EVALUATION OF LANDSLIDE COUNTERMEASURES

Research Period : FY2012-2016

Research Team : Erosion and Control Research Group  
(Landslide)

Author : ISHII Yasuo, TAKAGI Masayuki

Abstract : From this study, at the time of the pre-existing earthquakes we confirmed existence of landslide fluctuation and various conditions in which the damage of anchors caused by the earthquakes occurs. In addition, it showed that one-dimensional seismic response analysis using boring core observation and PS logging result is effective as a method to estimate the depth of strain caused by earthquake.

By using these results, it is possible to narrow down the range of landslide countermeasures that can be damaged at the time of an earthquake. Thus it will be able to do contribute to the initial inspections of facilities after the earthquake. In addition, it was possible to estimate the depth of strain easily at the time of an earthquake.

Key words : Earthquake-triggered landslide, Earthquake resistance of landslide countermeasures, Depth of strain