

地すべりによって荷重が増加するグラウンドアンカーへの対応

杉本宏之・杉井良平・高木将行・神山嬢子

1. はじめに

グラウンドアンカー（以下「アンカー」という。）は、切土法面の安定化や地すべり対策の抑止工として広く用いられている。この中には、当初の想定とは異なる地すべり等によってアンカーの荷重が増加し、斜面やアンカー工に変状が発生する場合がある。このような場合には、斜面の地質調査やアンカー荷重計測等を行った上で、地下水排除工や土工、アンカーの増設等の追加対策が行われるが、一度の対策で荷重増加が収束せず、対応が長期化する事例も少なくない。現在のところ、地すべりによるアンカーの荷重増加への対応方法として体系的に定まったものはないため、地すべりチームでは、荷重増加への対応方法について検討を進めている。本報文では、最近の取り組みから、国内のアンカーの荷重増加事例の実態¹⁾~²⁾、緊張力が作用している状態でも設置・交換可能なアンカー荷重計測手法³⁾~⁵⁾、追加対策後の荷重変化予測手法⁶⁾等の研究を紹介し、今後の方向性について述べる。

2. 荷重増加の原因と対応方法

2.1 アンカー荷重の増加原因

アンカー荷重の増加原因については、既往文献や災害報告資料から事例を収集し、原因の分析を行った¹⁾。1988年以降に施工され、荷重増加があった26事例（道路：17、ダム：4、河川：2、その他：3）を収集した。その結果、荷重増加の原因は地すべりが最も多く約7割（17事例）を占めていた（図-1）。次に多いのは地盤膨張であり、これは切土による応力解放や膨張性粘土鉱物の影響によって斜面が膨張したと推定されるものであった。次に、地すべりを原因とする17事例について、当初設定と実際のすべり面との関係から3つのケースに分類された（図-2）。Case-1は、当初設定した地すべりブロックよりも広い範囲の

地すべりブロックの滑動に伴い、アンカーの荷重が増加した事例である。Case-2は、当初設定した地すべりブロックよりも深い地すべりブロックにアンカー定着部が位置していたために、深い地すべりブロックの滑動に伴いアンカーの荷重が増加した事例である。Case-3は、当初設定した地すべりブロックが、豪雨などにより地下水位が想定を超えて上昇したことや、土質定数（ $c \cdot \phi$ ）が低下したことにより滑動し、荷重が増加したと推定される事例である。このように、当初設定していたより大きな規模の地すべりが原因であることが多くなっている。

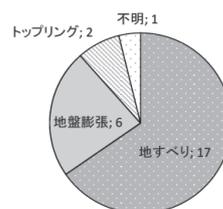


図-1 アンカー荷重の増加原因¹⁾

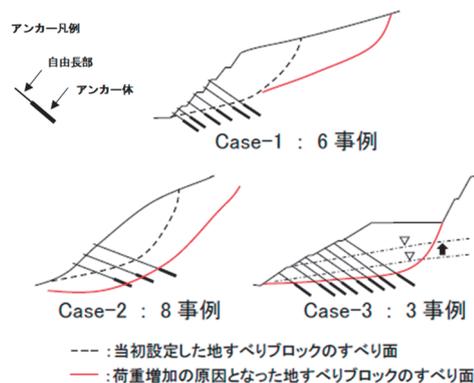


図-2 地すべりによる荷重増加の分類¹⁾

2.2 アンカー荷重の増加への対応方法

アンカー荷重の増加への対応方法については、荷重増加後に追加対策を行った17事例について、既往文献等の資料に基づいて対策の実態を整理した²⁾。図-3では、対策工を地下水排除工（横ボーリング工・集水井・排水トンネル）、土工（応急押え盛土・押え盛土・排土）、抑止工（アンカー・抑止杭・深礎杭）、荷重調整（除荷・再緊

張)に区分し、経時的な対策を左から右の順に示した。複数の工種が縦に並んでいる事例は、それらの対策工を組み合わせ用いたことを示す。設計時に対象とした地すべりブロックよりも大規模なブロックの滑動が原因の場合 (Type-A) は、全ての事例において、抑制工 (地下水排除工または土工) が施工されていた。一方、設計時に対象とした地すべりブロックの滑動が原因であった場合 (Type-B) および地盤膨張・トップリング (岩盤等が前方に回転することによって破壊する現象) の場合 (Type-C) は、事例番号14を除き、全ての事例で抑止工が施工されていた。また、一度の対策工で荷重増加の収束が確認された事例は少なく、荷重増加への対策工が繰り返し行われ、対応が長期化する事例が多かった。

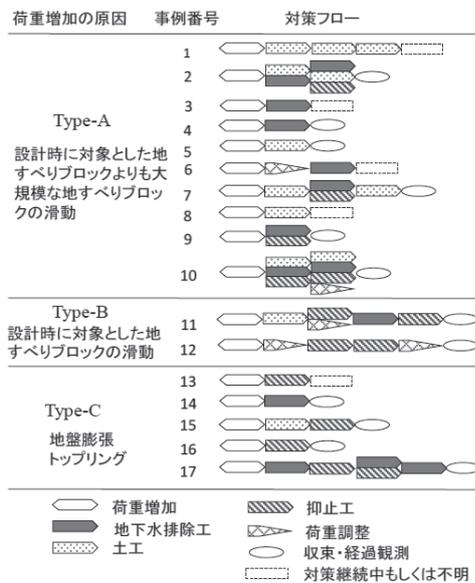


図-3 荷重増加に対する対策²⁾

3. アンカー荷重増加時の荷重計測技術

アンカー荷重が増加した場合のアンカーの健全性やアンカーで対策された斜面の安定性を把握するためには、アンカー荷重を計測することが有効である。地すべりチームでは、平成18~21年度にわたり民間企業8社との共同研究⁴⁾により既設アンカー緊張力モニタリングシステム (以下「Aki-Mos」という。)を開発した。Aki-Mosは、特殊な緊張治具と専用のアンカー荷重計により、アンカー緊張力を低下させることなく荷重計の取付け・交換が可能である。そのため、荷重が増加している既設アンカーにも設置することが可能である。アンカーの荷重増加が生じた場合、荷重計

を増設することによって、斜面全体の面的な荷重分布の把握や荷重のリアルタイム監視を行うことが重要であるが、そのような状況にも対応することができる技術である。

Aki-Mosの導入現場件数の推移を図-5に示す。Aki-Mosは平成22年度から平成30年度までに89件の現場に導入されており、年度毎の導入件数は増加傾向にある。道路分野での導入が最も多く、全件の約6割を占めている。最近では既設アンカーへ設置するだけでなく、アンカーの新設時にAki-Mosを導入する事例も増えつつある。

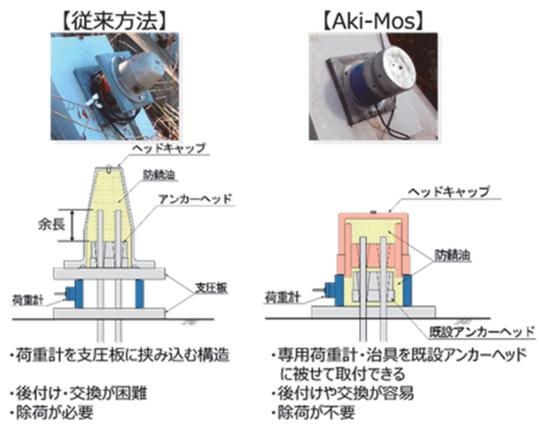


図-4 Aki-Mosと従来方法との比較⁶⁾

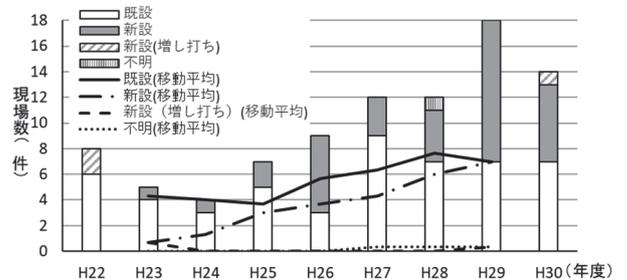


図-5 Aki-Mosの導入現場件数⁶⁾

4. FEM解析による追加対策後の荷重予測

4.1 追加対策後の荷重予測

荷重増加への対応として追加対策を行った場合、2.2で述べたとおり、荷重増加への対策が繰り返し行われ、対応が長期化する事例が少なくない。その理由の一つとして、追加対策後にアンカー荷重がどの程度変化するかを予測する方法がなく、段階的に対策を行わざるを得ないためと考えられる。そこで、効果的・効率的な追加対策の計画に資するよう、追加対策後の荷重を予測する手法について検討を行った⁶⁾。

4.2 解析方法

図-6に解析対象とした地すべりの平面図を示す。

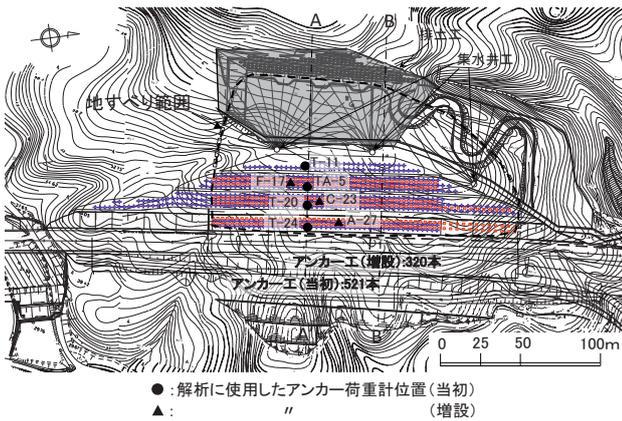


図-6 地すべりの平面図⁶⁾

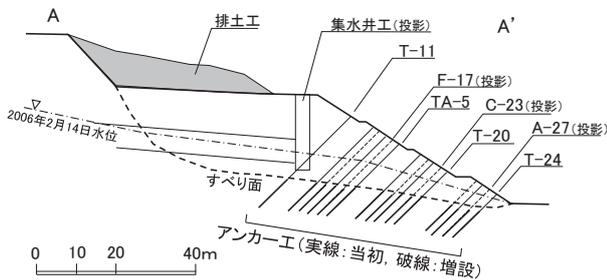


図-7 A-A'断面図⁶⁾を一部改変

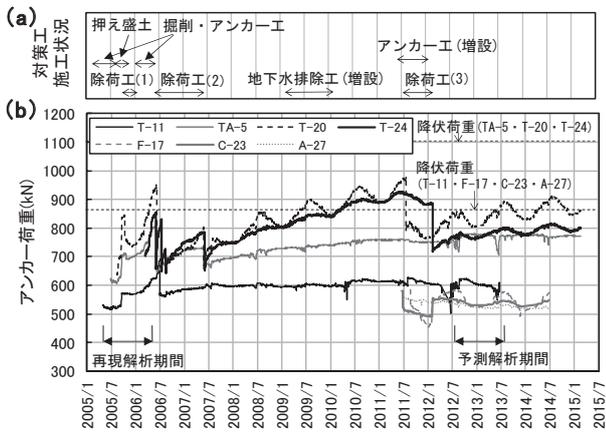


図-8 対策工の施工状況とアンカーの荷重計測結果⁶⁾を一部改変

解析対象とした地すべりは、道路建設工事に伴う掘削を誘因として発生し、その規模は、最大幅約200m、最大長さ約100m、最大層厚は約20mと推定された。図-7にA-A'断面図、図-8に対策工の施工状況とアンカーの荷重計測結果を時系列に示す。本現場では、地すべり対策として、アンカー工のほか集水井工、排土工が施工された。A-A'断面(図-7)には荷重計(T-11、TA-5、T-20、T-24)が設置され、アンカー工の施工後に荷重増加が継続したため、除荷工やアンカー工の増設等が行われた。

アンカー荷重の解析については、2次元弾塑性

FEM解析により再現解析と予測解析に分けて行った。まず、再現解析では、図-8(b)に示した再現解析期間のアンカー荷重の増加を再現できるようにトライアンドエラーによる逆解析で地盤パラメータを設定した。次に、予測解析では、追加対策工として実施されたアンカー工(増設)・除荷工を再現解析で構築した解析モデルに反映し、追加対策後のアンカー荷重の計算を行った。

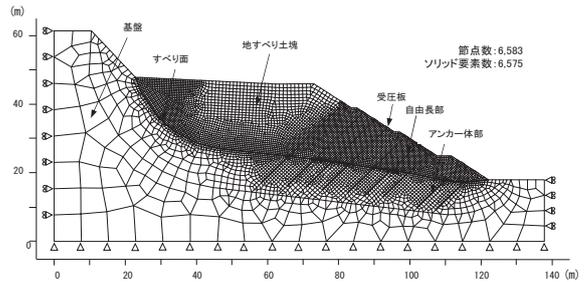
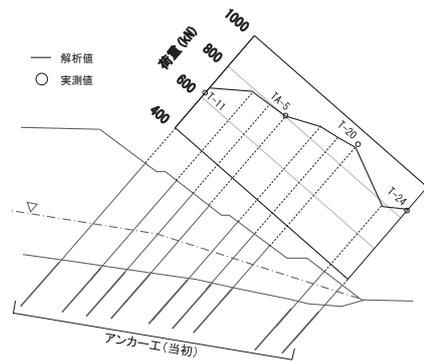


図-9 解析モデル⁶⁾

(a) 再現解析(掘削・アンカー工後)



(b) 予測解析(アンカー工(増設)・除荷工(3)後)

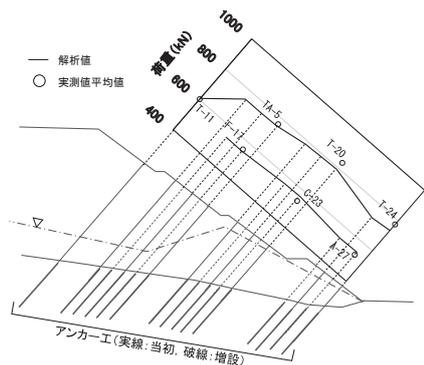


図-10 再現解析と予測解析の結果

図-9に解析モデルを示す。解析モデルは地すべり土塊、すべり面、基盤、アンカーからなる構造とし、アンカーは受圧板、自由長部、アンカー体で構成した。なお、すべり面でのせん断抵抗力とアンカーの抵抗力の和と地すべりの滑動力がつりあって停止した静的状態を解析対象としており、アンカーの荷重変化の過程は再現していない。

4.3 解析結果

図-10に再現解析と予測解析の結果を示す。図-10(a)の再現解析の解析値と実測値の差は-1~+33 kN（誤差率：-2~+5%）であり、再現解析期間のアンカーの荷重が良好に再現された。図-10(b)の予測解析の解析値と実測値平均の差は-47~+25 kN（誤差率：-6~+5%）であり、予測解析期間のアンカーの荷重についても良好に再現された。この結果から、アンカー工の荷重計測をもとに追加対策後の荷重を概略予測する手法の可能性を示すことができた。

5. 荷重増加への対応の高度化に向けて

アンカー工の施工後に地すべり活動などによってアンカーの荷重が増加した場合、現在は段階的に対策を行い、その効果を見ながら、荷重の増加が収束するまで繰り返し対策が行われている。将来的に追加対策後の荷重が予測できるようになれば、追加対策の計画・施工がより効率的に行えるようになると期待され、以下のような流れで追加対策を検討することが想定される。

- ① アンカー工の施工後には必要最小限の荷重計を設置してアンカー工の健全性や斜面の安定性についてモニタリングを続ける。
- ② 地すべり活動などによってアンカーの荷重が増加した場合、荷重増加の原因を調査するとともに、必要に応じてAki-Mosなどの荷重計を増設して荷重データを充実させる。
- ③ 荷重データをもとに、逆解析により地盤のパラメータを設定したFEMモデルを用いて、追加対策後の荷重を概略予測し、効果的な対策を検討する。

今後は、追加対策後の荷重予測手法を確立するとともに、状況に合わせた最適な追加対策の立案手法についても検討が必要と考えられる。特に、予測解析においては、解析モデルの設定や地盤のパラメータを一定と仮定するなどの条件設定や地すべり対策工の3次元的な配置が解析結果に影響を与える可能性も考えられるため、実用化に向けて検討事例を更に蓄積し、解析手法の信頼性を更に確認していく必要がある。引き続き地すべりによるアンカー工の荷重増加への対応方法の高度化に向けて、研究を進めてまいりたい。

参考文献

- 1) 杉井良平、高木将行、石黒梓、石井靖雄：事例調査によるグラウンドアンカーの荷重増加原因の考察、土木学会第72回年次学術講演会講演概要集、pp.877~878、2017
- 2) 杉井良平、高木将行、石黒梓、石井靖雄、藤平大：グラウンドアンカー工の荷重増加への対処方法の実態調査、第56回地すべり学会研究発表会講演集、p.38、2017
- 3) (独) 土木研究所、日特建設(株)、守谷鋼機(株)、ライト工業(株)、(株)共和電業、(株)エスイー、(株)東横エルメス、坂田電機(株)、(株)東京測器研究所：アンカーへの取付け・交換が容易な新型アンカー荷重計の開発、共同研究報告書第407号、2010
- 4) (独) 土木研究所、日本工営(株)、日特建設(株)、ライト工業(株)、守谷鋼機(株)、日本基礎技術(株)、(株)エスイー：グラウンドアンカーの適正な緊張力計測手法に関する研究、共同研究報告書第458号、2014
- 5) 神山嬢子、杉本宏之、竹下航、Aki-Mos研究会（投稿中）：既設アンカー緊張力モニタリングシステム(Aki-Mos)の導入実績調査、第58回地すべり学会研究発表会講演集
- 6) 杉井良平、高木将行、藤平大、石井靖雄：FEMによるグラウンドアンカー荷重の変動予測手法の検討-アンカーが追加された地すべりにおける荷重予測-、日本地すべり学会誌、Vol.54、No.5、pp.243~252、2018

杉本宏之



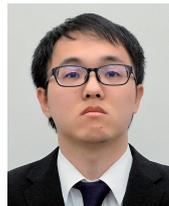
土木研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム
上席研究員
Hiroyuki SUGIMOTO

杉井良平



研究当時 土木研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム交流研究員、現 ライト工業(株)技術営業本部
Ryohei SUGII

高木将行



土木研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム研究員
Masayuki TAKAGI

神山嬢子



土木研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム主任研究員
Joko KAMIYAMA