

15. トップリング変状の機構解析事例

A Case Study ; Analysis of Toppling Structure

応用地質株式会社 ○高柳 朝一、山原 茂雄

1. はじめに

愛媛県の山間部を通る国道沿いの斜面で大規模なトップリングが発生した。本斜面は、約20年前の道路改良に伴い斜面裾部が切土された。その後、際だった変状はなかったものの平成14年1月7日に切土法面や自然斜面に多数のクラックが認められた。これらのクラックは徐々に多く、また開口幅も広くなった。その結果、4月中旬には伸縮計1基当たりの変位量は、最大23cm/日と大きなものとなり、崩壊もやむなしとの感もあった。しかし、昼夜を徹して施工された横穴排水ボーリング工及び押え盛土工等の効果により、変位量は徐々に減少し、事なきを得た。

本斜面の変状範囲は、幅約90m、延長約160m、変位基面までの深度が30m前後で、変位量も連続伸縮計の合計値が約3mとなるなど非常に大規模なものであった。ここでは、各種調査・観測結果を元に、この変状の特徴と機構を中心として報告する。

2. 地形・地質

変状斜面は、河川が大きく蛇行する左岸（南向斜面）の尾根部であり、約20年前の道路改良に伴って斜面末端部が切土施工された。斜面傾斜は、尾根部で約25°であるが、部分的には30°程度のやや急斜面も存在する。現道は、概ね東西方向に走っている。

変状斜面周辺の溪流や尾根の発達には、図-1に示すように、特徴的な傾向が認められる。溪流の多くは北北西-南南東方向に発達し、一部はこれらと直交する東北東-西南西方向に発達する。この溪流の発達方向は、地山を構成する結晶片岩類の片理面の走向方向と直交する方向に一致するものである。

地山を構成する地質は、三波川帯の黒色片岩が主体で緑色片岩や石灰質片岩を挟在する。片理面構造は、河床部の新鮮硬質部では走向が概ね東西方向で、傾斜は北側に70°前後であり、斜面に対しては受け盤構造となる。この傾斜は深部から地表に向かって急傾斜から緩傾斜となり、斜面内のクリープ変形が確認される。

3. 変状状況

3-1. 変状概要

変状は、平成14年1月7日に、国道法面のモルタル吹付部や自然斜面に多数の開口クラック、頭部に延長約40mに渡って段差1.0m~1.5m、開口幅1.0mの滑落崖も認められた（図-2、写真-1参照）。その後、これらのクラックは徐々に発達した。クラックの多くは山側に小崖を持つトップリングに特有のものであった（写真-2参照）。

変状ブロックは、斜面上部に段差を有する顕著な開口クラックの分布状況、地表変状、動態観測結果等から総合的に判断してAブロック及びBブロックとした（図-2、図-3参照）。

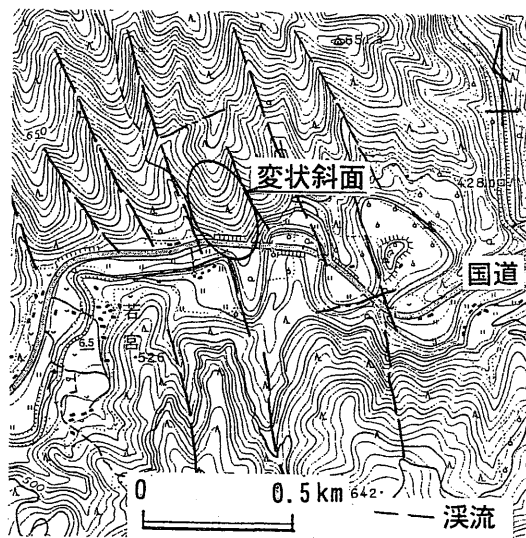


図-1 変状斜面周辺の地形

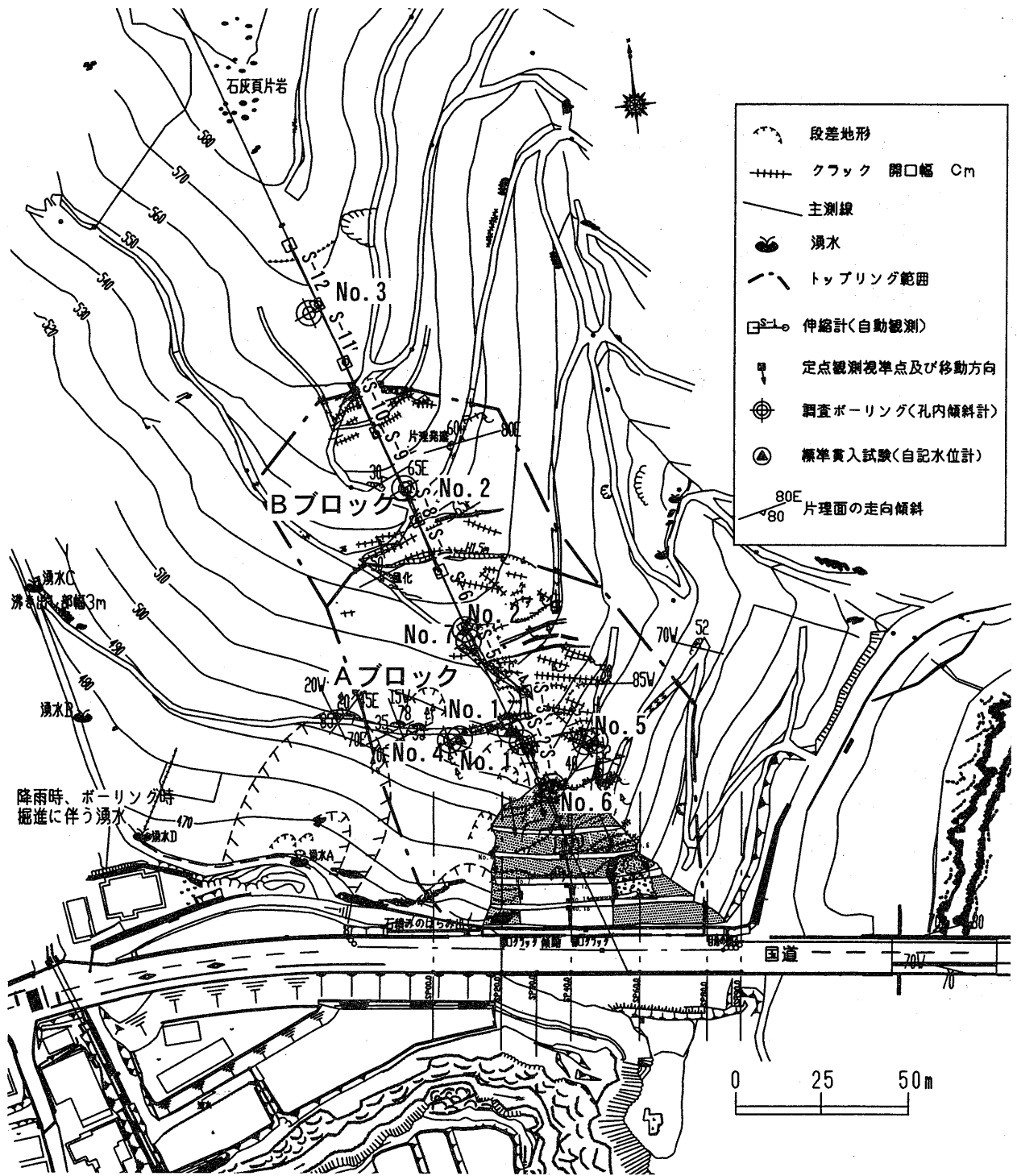


図-2 変状箇所平面図



写真-1 無数に生じた開口クラック



写真-2 トッピングに特有な山向き小崖を有する開口クラック

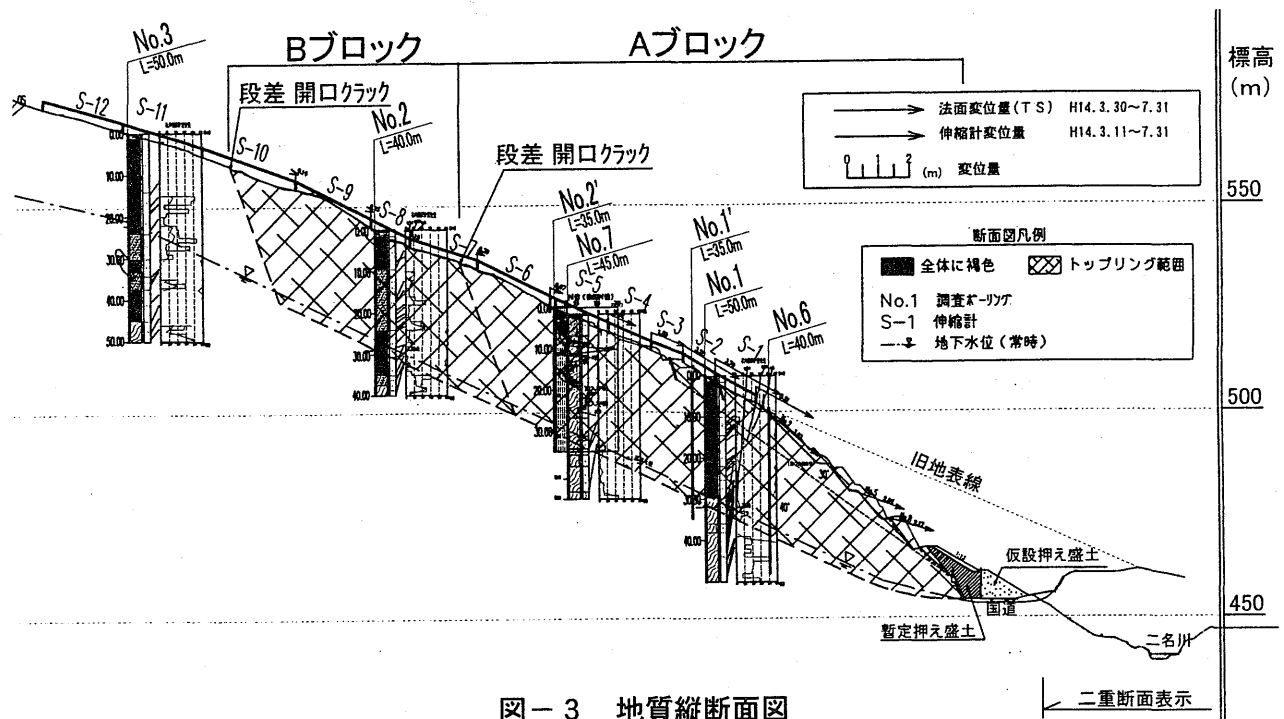


図-3 地質縦断面図

3-2. 地盤伸縮計の観測結果

伸縮計は、Aブロック内の法肩部より連続してBブロック外部まで12基を設置した。変位量は図-4に示すように、4月上旬から中旬にかけて極めて大きくなり、最終的な総変位量が約3mとなった。しかし、これらの変位量も応急対策工の施工により徐々に微少な値となった。変位量は斜面下方ほど大きかったが、これは開口クラックが斜面下方に多数生じたためである。

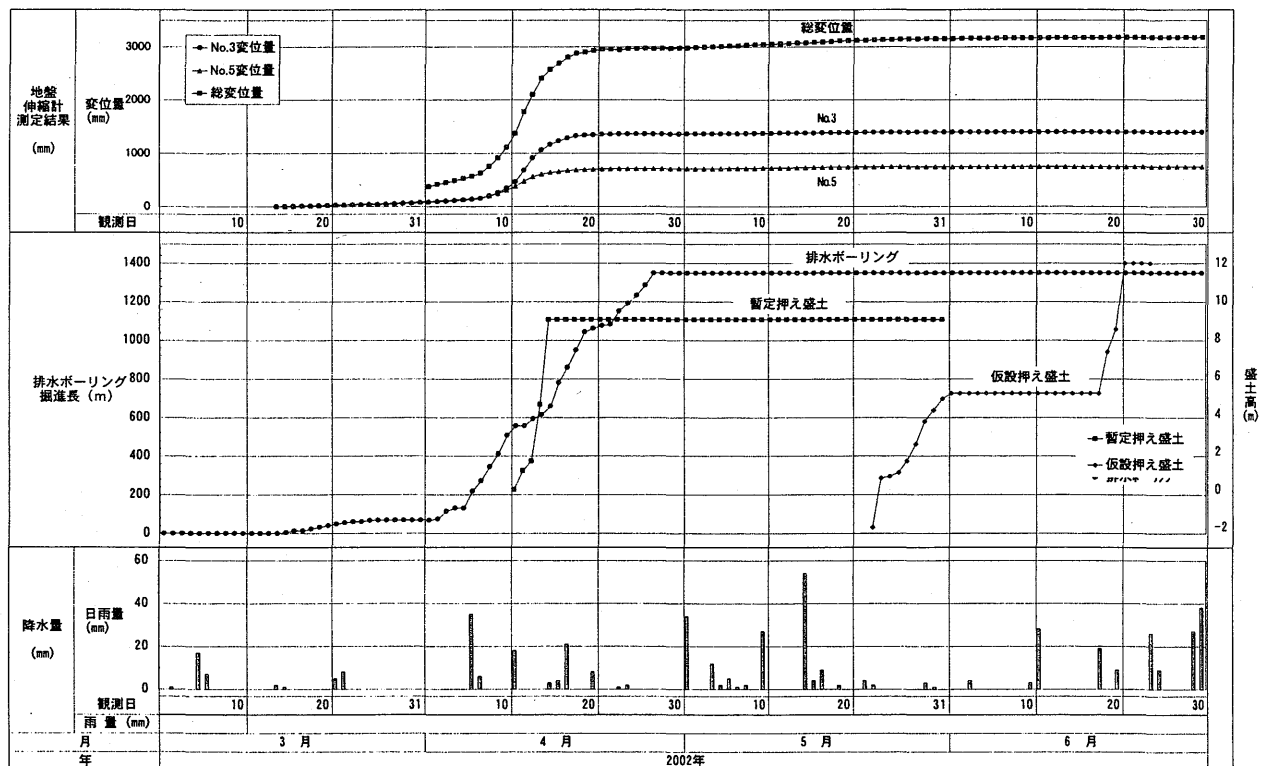


図-4 地盤伸縮計の変位量と応急対策工の施工状況

また、降雨時の変位は、図-5に示すように、雨の降り始めから3時間後に、斜面下方の伸縮計S-2の変位速度がピークに達した。その後、斜面上方の変位が追隨する形となっている。これは、斜面下方が先に傾倒し、開口クラックの隙間を埋めるように変位が斜面上方へ波及するといったトップリング特有の現象を示していると想定される。なお、伸縮計S-1の圧縮側（斜面上方）の変位は、不動杭直上にできたクラックの開口によるものである。

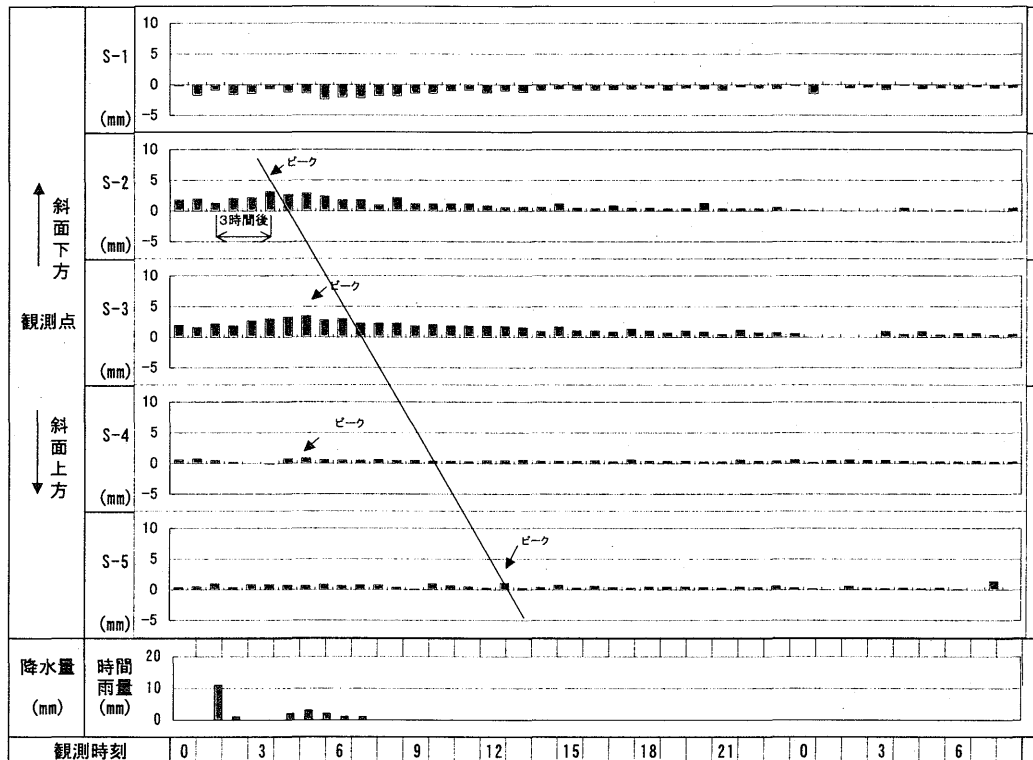


図-5 降雨時における地盤伸縮計の変位状況 (H14.4.17~4.18)

3-3. 孔内傾斜計の観測結果

応急押え盛土施工前後の孔内傾斜計の変位状況を図-6に示す。ここで、盛土施工前と施工後の観測孔が異なるのは、当斜面の変位量が大きく、盛土施工前に設置した観測孔が測定不能となったため、盛土施工後に近接した位置に観測孔を再設置したことによる。

トップリングの変位は地すべりのようなせん断変位が発生せず、斜面下方へ傾倒する変位となる。押え盛土施工前と施工後の変位基面深度を比較すると、施工後は変位基面

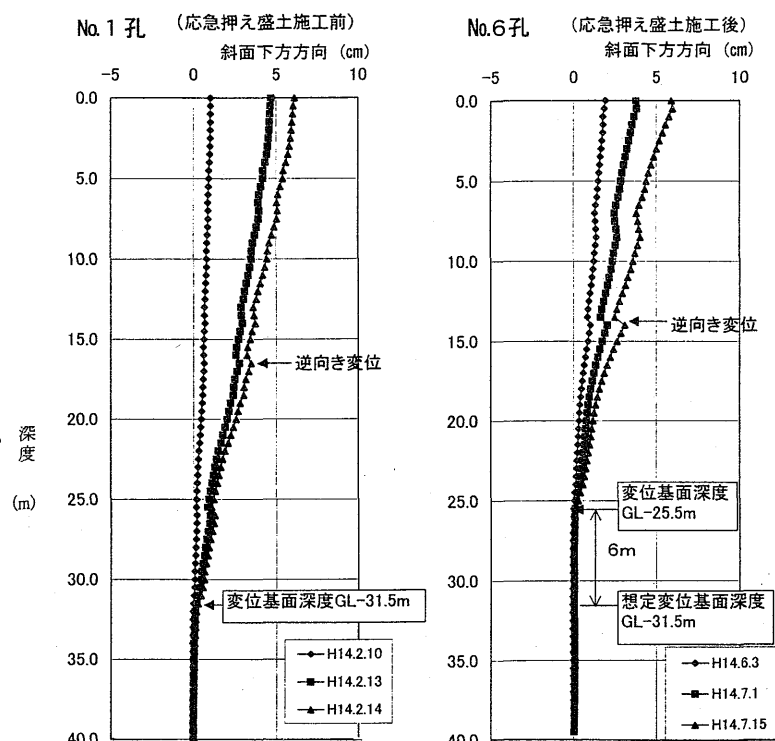


図-6 孔内傾斜計の変位グラフ

深度が6m上昇している。これは押え盛土により、地山深部が安定化し、変位の基面が上部へ移行したためであると考えられる。このような変位基面深度が変わる現象は、弱層に沿ってすべり面が形成される地すべりとは異なるもので、トップリングの特徴であるといえる。

また、深度15m付近において斜面下方の傾倒と逆向きの低角度の変位が生じている。この逆向き変位は、トップリング中の岩盤が一枚板となって傾倒するのではなく、岩盤中の横断節理により、部分的に破断されていることを示唆する。

4. 変状機構の推定

変状の発生機構は図-7に示すように想定される。また、変状の特徴に、開口クラックの延長方向は片理面の走向に概ね一致し、開口クラックは尾根の東側斜面に多く分布し、西側斜面には少ない点がある。変状の発生過程を以下にまとめる。

- ①長年の風化作用により、地山が脆弱化し、クリープが進行していた。
- ②約20年前の道路改良に伴い、法面最下段が勾配1:0.6で、2段目以上が勾配1:1.0で掘削され、法面下部が解放されて不安定化が始まり、またクリープの進行も早まった。
- ③平成13年3月24日の芸予地震による震度5強（久万町）の大きな揺れで岩盤中の割れ目が開口し、雨水が流入しやすくなった。
- ④その後、夏期～秋期での降雨により岩盤中の割れ目に雨水が浸透し、地山に水圧が作用し傾倒が進み出した。
- ⑤地山の変位は、平成14年2月中旬からの融雪や豪雨による浸透水の水圧が作用し、さらに大きくなった。

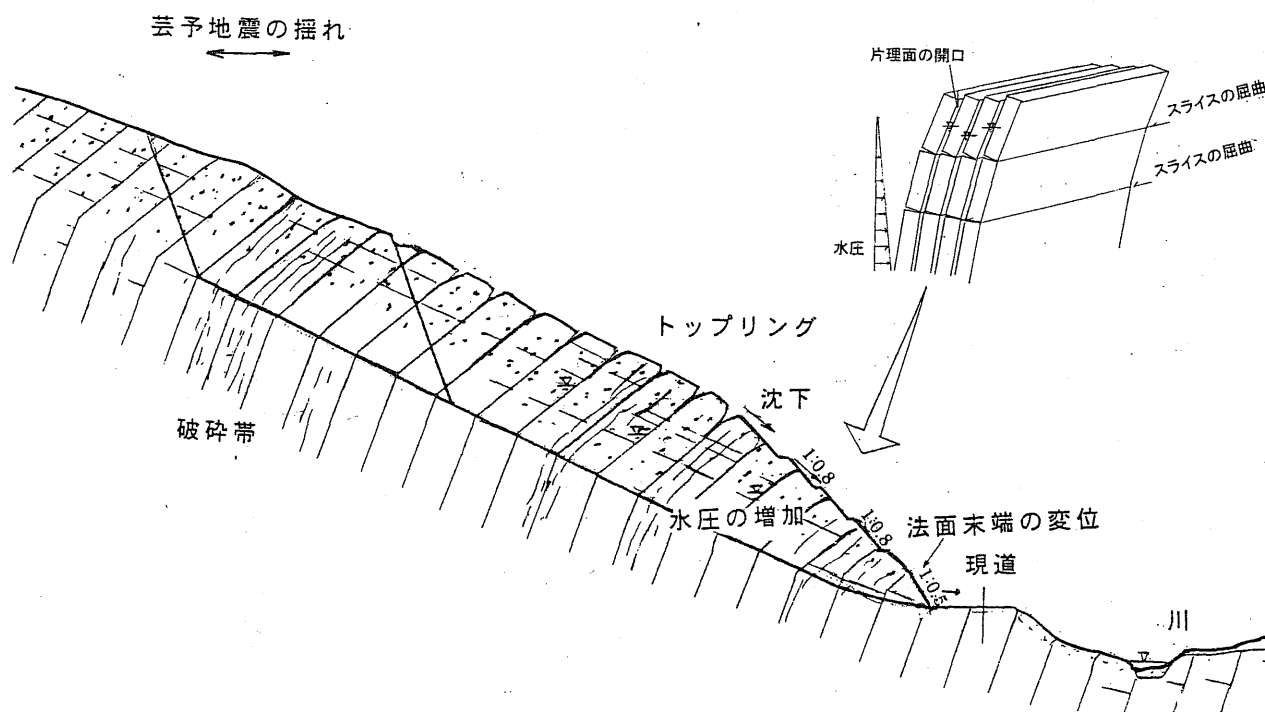


図-7 変状の発生機構想定図

5. 対策工の検討

以上の調査・観測結果、機構解析結果等を元に、対策工は次の点に重点をおいて検討した。

- ①キーブロックとなる法面末端部を抑える。

- ②降雨時の水圧作用を低減させ、斜面の開口亀裂の拡大を抑える。
- ③表層部の緩んだ土塊を除去する。

最終的には、確実性、施工性、経済性等を考慮し、押え盛土工、現場内法枠工+アンカー工、横穴排水ボーリング工、切土工を採用した。対策工の標準断面図を図-8に示す。

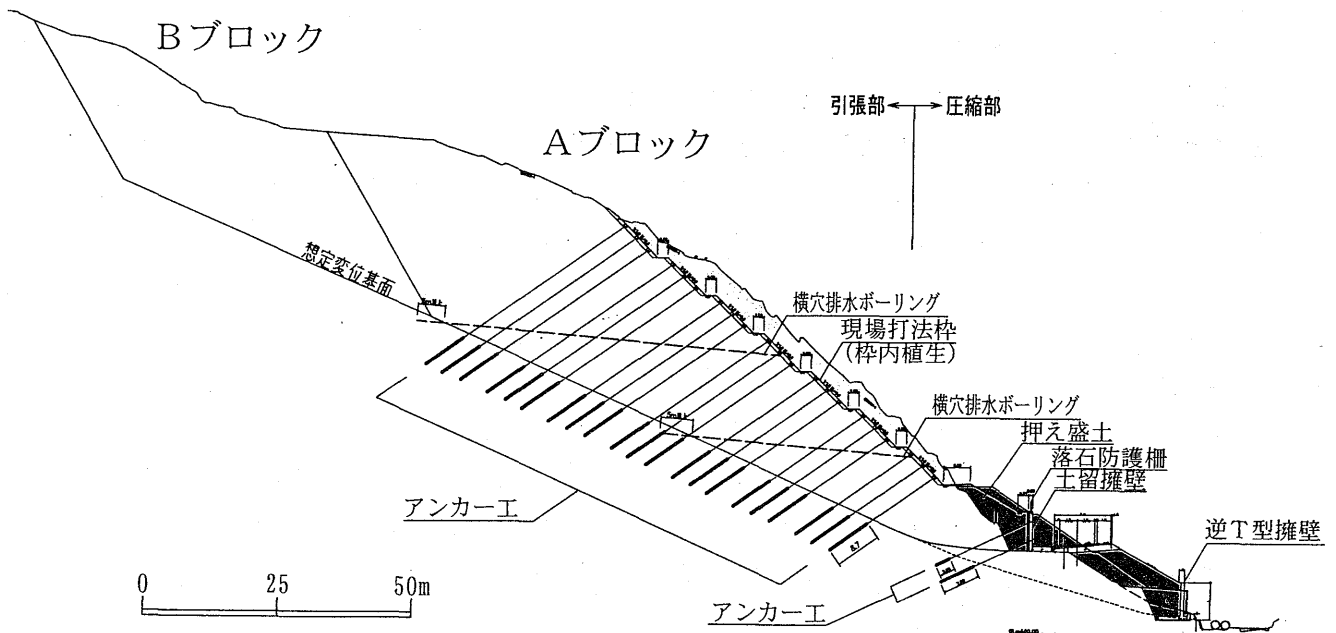


図-8 対策工標準断面図

6. おわりに

地山の変位は、最も激しい時では、伸縮計の1基当たり最大で23cm/日となり、地山や吹付モルタルには新たなクラックが見るうちに形成された。また、法面には小崩落も生じた。一時は、地山全体の崩落も危惧したほどであったが、昼夜連続の監視体制の中で施工された押え盛土工や横穴排水ボーリング工等の応急対策工が辛うじて間に合い、最悪の事態は回避することができた。本国道は地域産業、経済活動等には必要不可欠な道路であるため、一安心した次第である。

恒久対策工は平成14年9月より開始され、今も施工中である。現在は、上部より4段目アンカー工及び上段の横穴排水ボーリング工の施工が終了した所であり、ようやく伸縮計による合計変位量も1mm/月未満に落ち着いた。トップリングと言えども多大な変位が生じた場合は、これを停止させるには長時間かかることを再確認した次第である。

<参考文献>

- 1) 目代邦康、千木良雅弘、長谷川修一：急傾斜する頁岩砂岩互層のトップリングにより出現した斜面変形、地形、第22巻、第5号、P.837~856、2001
- 2) 山原茂雄、高柳朝一：トップリング崩壊の変状と機構の考察、地盤災害・地盤環境問題論文集、第3巻、P.69~78、2003.