

不均質岩盤斜面の崩壊機構解析とその対策事例

A mechanism analysis of the collapse of non-homogeneous rock slope and the counter measure.

片山 直樹* 大坂 理 (株式会社日本海技術コンサルタンツ)

Naoki KATAYAMA* Osamu OSAKA (Nihonkai Technical Consultants CO.,LTD)

石倉 充 (島根県隠岐支庁農林局 治山・林道グループ)

Mitsuru ISHIKURA (Government office of Agriculture and Forestry, Shimane Prefecture)

キーワード：斜面崩壊，岩盤すべり，崩壊機構，不均質岩盤，崩壊予測

Keywords：Slope failure，Rock slide，Collapse mechanism，Non-homogeneous rock，Prediction of slope failure

1. はじめに

林道開削のための切土工事時に、切土法面崩壊が発生した。崩壊規模は幅約 25m、斜長約 35m、崩壊層厚 5m 内外であった。この崩壊が引き金となり隣接法面において表層崩壊を誘発、さらには山頂からの大規模な岩盤すべりにまで発展しつつあることが確認された。

本文は、この一連の斜面崩壊について崩壊要因、機構および対策工法についてとりまとめ、紹介するものである。

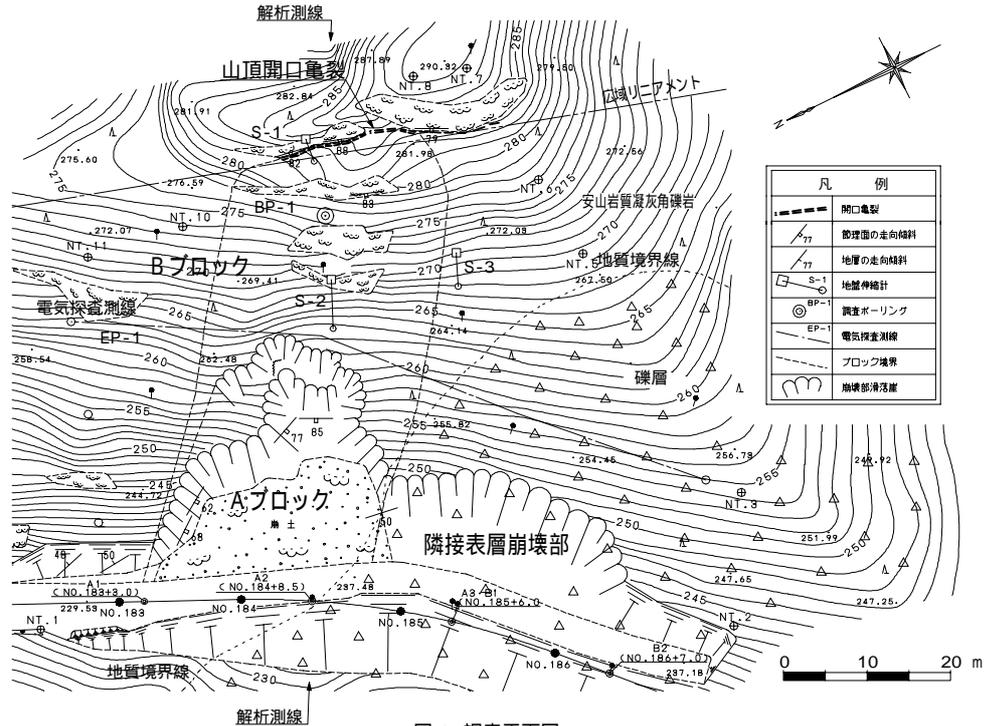


図-1. 調査平面図

2. 崩壊状況と地質概要

崩壊箇所は海拔約 230m 付近の斜面中腹であり、山頂までの比高差は約 60m である。付近の斜面角度は 45 度内外の急斜面を成している。

崩壊順序は、まず法勾配 1 : 0.6、法高約 10m の切土・盤下げ工事完了した直後、前述の規模で崩壊が発生した（以下、A ブロック）。その数日後に隣接法面において幅約 30m、斜面長約 20m の範囲で表層崩壊を誘発したため、工事は一時中止となった。さらに、そのままの状態では約半年後に、山頂付近に幅約 25cm、深さ約 2m の開口亀裂が約 30m に渡り連続して生じていることが確認でき、山頂からの大規模ブ

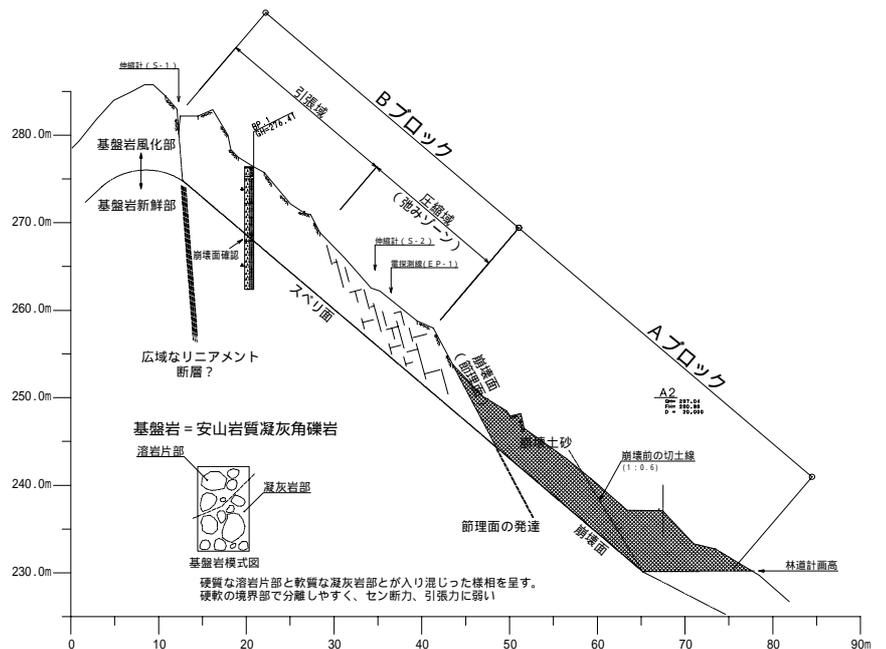


図-2. 解析測線断面図

ロックの滑動(以下 B ブロック)が発生していることが判明したため本格的に調査を実施することとなった。

崩壊地には、古第三紀漸新世の安山岩質凝灰角礫岩の分布が、表層崩壊が発生した隣接法面には、玄武岩角礫を多く混入する中期中新世の礫層が確認でき、両崩壊箇所の間には明瞭な地質境界が存在すると判断された。

また、A ブロックの頭部滑落崖および右側部に条痕有する節理面が広く露出していることが確認され、A ブロックの頭部および左右側部は節理や地質境界などの地質的不連続面により規制され、潜在的に崩壊しやすい状態にあったと考えられる。

3. 運動形態

調査時期が梅雨時期であり、被害拡大が懸念されたため、その活動度合い、運動形態および被害波及範囲を把握する目的で地盤伸縮計を 3 箇所 (S-1~3) 設置し、動態観測を行なった。設置箇所は図-1 調査平面図に示す。この内、S-1 および 2 において明瞭な動きが観測されたので、以下にそれぞれの観測結果概要を示す。なお、A ブロックについては末端部の押出し等の変状が見られず、現状において安定していると判断されたため、観測は実施していない。

3-1. 伸縮計 S-1 (図-3.1)

観測当初に降った日雨量約 150mm を記録する大雨を契機に、伸縮計は急激な引張方向への変位を見せた。その後、降雨量が少なくなると、変位量がほぼ一定した微量増加を示すようになった。

しかし、7月初旬にまとまった雨が連続して降ったため、変位量は再び急増した。この段階で伸縮量曲線をクリープ曲線として見なした場合、第 3 次クリープへ移行したと考えられ、非常に危険な局面であると判断された。この時の崩壊発生時間予測を齋藤他(1966)の手法に従い概算した結果、およそ 8 日後という結果を得た。従って現場内の作業を一時中止とし、しばらくその動向を見守ることとした。

その後、変位量は徐々に減少し、曲線の線形も凹型から凸型へ遷移しつつあり滑動が収束に向か

っていることが確認されたため、崩壊の危険性は低いと判断し、現場内作業を一部条件付で再開した。

3-2. 伸縮計 S-2 (図-3.2)

一方 S-2 では全体的に圧縮方向への変位が観測された。その動きは S-1 に対し逆の動きだが、S-1 で引張量が急増する場合には、S-2 において圧縮量が急増するというように、変位の増減についての相関性が見られた。ただし、図-3.3 に示すように変位量の大きさは異なり、S-1 の方が相対的に大きい変位量であった。また、降雨量が多い時には S-2 においても微量ながら引張方向への変位が確認された。

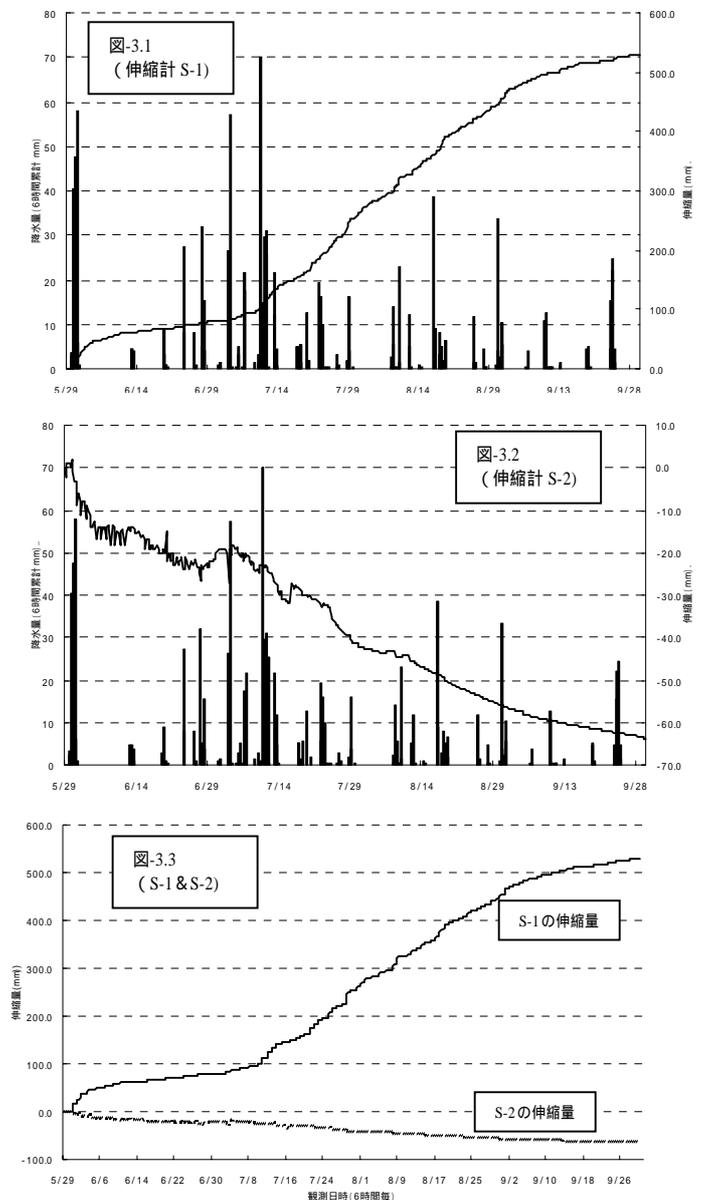


図-3. 地盤伸縮計観測記録

図 3-3 に示すように、両伸縮計の変位絶対量に相対的な差が見られた。現地踏査等から B ブロック上部 (S-1 付近) の滑動の影響が A ブロックまでは波及していないと判断されたため、B ブロック内でその収支が保たれていると考え、S-1 の変位量は弛みゾーン全体の弛み充填量の総和と等しいと推測される。そしてこのことから、S-2 付近にはある程度の範囲を持った岩盤の弛みゾーンが存在することが推測され、S-2 においてはその範囲内における圧縮変位の一部を拾ったと考えられる。

また、弛みゾーンは S-2 観測記録において、大雨時には若干引張方向への変位も示していることから、A ブロックの安定した崩土の押えにより留まるものの、B ブロック全体としては安定状態ではないことが伺える。

(2) 調査ボーリング

B ブロック内にて 1 箇所実施した。表層から GL-1.5m 付近までは表土～風化土であったが、それ以深は軟岩 クラスの棒状コアが採取された。ただし GL-7.75～8.50m 間において礫状破砕帯を確認し、B ブロックのスベリ面と判断した。

破砕帯は溶岩片部を礫状に残し、凝灰岩部が一部粘土状となり揉まれた様相であった。破砕帯より下位は徐々に青味を帯びた色調となり、より新鮮なものとなる。このことから、スベリ面は風化境界面に沿って形成された可能性が高い。

また、調査孔を利用してパイプひずみ計観測を実施した。その観測結果から、スベリ面深度は GL-8.50m であると判断され、コア状況と整合する結果といえる。

(4) 高密度電気探査 (Wenner 法)

B ブロックのスベリ面形状および側方方向への波及範囲、また、左側部規制要因と考えられる地質境界の位置を明らかにするために、解析測線断面方向に対し直交する方向に高密度電気探査を実施した。

調査ボーリングに見られた破砕帯形成位置から、スベリ面は基盤岩風化境界面に沿って形成されやすい傾向であると考えられる。よって、BP-1 のコア状況をバックグラウンドとし見掛け比抵抗値が

ら風化層区分を行なった。また、地表踏査結果を参考に B ブロックの側方範囲および地質境界箇所の推定も行なった。その結果は図-1 に併記する。

4. 崩壊機構解析

各種調査結果、観測結果から崩壊機構を推測する。A ブロック付近は安山岩質凝灰角礫岩で構成されている。本岩類は硬質な溶岩片と軟質な凝灰岩部が混ざり合ったもので、それらの境界部における工学的強度差が大きく非常に不均質な状態にあるといえ、強度差の大きい部分での分離が生じ易い傾向にある。この様な性質に加え、A ブロックの頭部滑落崖および右側部に見られた節理面および左側部の地質境界によりブロックとして分断され易い状態であったため、林道の切土掘削によるブロック末端の開放が誘因となり崩壊に至ったと考えられる。

さらに、この A ブロックの崩壊が誘因となり山頂を含む B ブロックの滑動が発生した。B ブロックの運動形態は、伸縮計観測記録から少なくとも 2 つの段階に分けられると判断された。まず、A ブロック崩壊の発生によりバランスを失った斜面中腹部 (B ブロック下部) の岩盤が、潜在的な亀裂・節理の拡大、局所的な滑動を生じるなどにより全体的に弛んだと推測される (第 1 段階)。この部分が崩壊に至らなかった理由としては、既に崩壊した崩土が抑止力として働いたためと考えられる。その後、斜面中腹で生じた弛みを充填すべく山頂からの滑動が生じたと判断される (第 2 段階)。今回の調査開始時点では、すでに第 2 段階の局面であったと考えられ、伸縮計観測記録より、8 月下旬あたりから弛みゾーンの充填が終わりつつあったと推測できる。

また、山頂付近には広域に発達する節理ないし断層が存在する可能性があり、そのことも山頂からの滑動が生じ易かった要因であると考えられる。

5. 対策工法

対策工法は、滑動の主要因である B ブロック頭部を排土し、滑動を抑制することを基本とし、アンカー工および林道路線変更を伴う押え盛土工などを組み合わせ、対策工法を数案検討した。

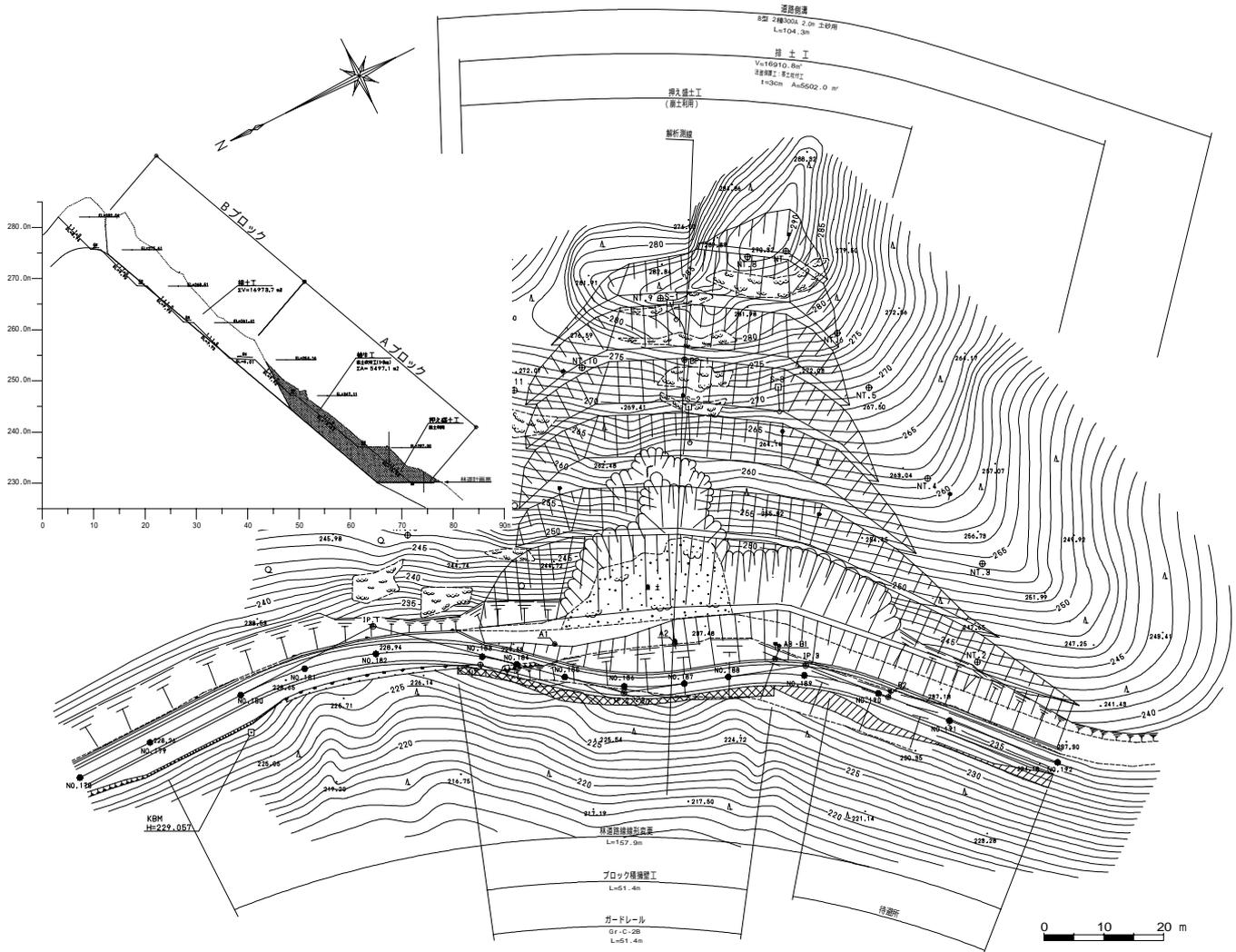


図-4. 計画平面図および断面図

その結果、頭部排土と林道路線変更を伴う押し盛土工を組み合わせた工法が総合的に優位となる結果となり、当該地区の対策工法とした(図-4)。

6. おわりに

当該現場は、最初の崩壊が発生してから約半年後に山頂の開口亀裂が顕在化し、Bブロックの存在が明らかになった。崩壊発生直後にこのような滑動へと発展することを予見する事は非常に困難であったと考えられる。凝灰角礫岩のような不均質軟岩で構成される急斜面では、工学的にも不均質であるため、その崩壊形態を推測する事が難しい。

今回は、ボーリング等現場内作業に先立ち、その安全性を検討するために滑動状況および運動機構を的確に把握し、その動向を予見する必要があった。伸縮計の観測記録はブロック運動を直接的に把握する最も簡便な手法の一つであり、その結果から崩壊予測を行なう手法もいくつか考案されている。現場での情報を多角的に収集し、実際の事

象に適した解釈をすることで、現場での安全管理の手段としてこれらの崩壊予測手法が実務上有効なものとなる。

今回、伸縮計観測記録などの現地情報を地質の見地から総合的に解釈することで、適切な現場への指示を行なう事ができた。このように、機構解析結果を現場管理において検証し、十分活用する事が安全かつ効果的な対策を講じる上で重要であると考えられる。

以上

参考文献

- 1) 齋藤迪孝・上沢弘(1966): 斜面崩壊時期の予知、地すべり、第2巻第2号、pp.7-12
- 2) 早川嘉一・相田忠明・福本安正・真島寿(1997): パイプひずみ計による水平移動量の推定(1)、第36回地すべり学会研究発表講演集、pp.353-356
- 3) 早川嘉一・相田忠明(1998): パイプひずみ計による水平移動量の推定(2)、第37回地すべり学会研究発表講演集、pp.303-306
- 4) 早川嘉一・宮澤一宏(1999): パイプひずみ計による水平移動量の推定(3)、第38回地すべり学会研究発表講演集、pp.189-192