

崖面崩壊対策工事に対するケーブルボルトの適用 AN APPLICATION OF FULLY GROUTED CABLE BOLT TO HIGHLY JOINTED SLOPE STABILITY

○伊藤 文雄*、津野 巖**、清水 則一***
Fumio Ito, Iwao Tuno and Norikazu Shimizu

In recent, since TOYOHAMA's bad accident, the mechanical stability of rock slope has been focused on. Normally prestressed rock anchor has been applied as an active support to slope stability in many cases. But it is very important that we have to find out suitable embedded length considering rock condition. From this point of view, in the case of prestressed rock anchor for highly jointed rock slope, it is difficult to define the magnitude of loosened zone near the surface. We have tried to apply fully grouted cable bolt to highly jointed rock slope as a challenging trial in Japan. From this trial, it is founded that fully grouted cable bolt is effective for the mechanical stability of rock slope.

1. まえがき

近年北海道の豊浜トンネル崩落事故以来、崩落の危険性がある崖面を抽出する調査が活発に行われ、その内対策が緊急に必要な箇所について崩落対策工事が開始されている。岩盤崩落とは、亀裂や節理などが発達した硬岩において、最も弱い節理面や亀裂方向に向かって岩盤が開口し、それがきっかけとなって崩壊する挙動であり、崩壊規模が比較的小規模な岩盤崩壊を指す。

このような岩盤崩落に対する対策工は、崩落の発生源を積極的に抑える予防工と待ち受け対策としての防護工に大別される。前者の予防工としては、崩壊のメカニズムを支配する素因である急崖、オーバーハングなどの地形と柱状節理などの地質の両者を鑑みロックアンカー等が採用され、割れ目などを縫い合わせる工法がとられている。後者の防護工としては、待ち受けとして崖面からの防護ネット、ロックボルト等による補強が行われている。さらに、崖面を外から対策工を施すことが困難な場合には、崖面内側に横坑または立坑を掘削し、そこからロックアンカー、ロックボルト等によって崖面を保持する方法が採用され始めている。

ロックアンカーに導入力を加えて積極的に崖面を補強する場合、崩落規模、崩落位置を正確に把握した上で十分な定着長を確保することが必要となる。しかし、一般に崩落位置および規模を把握することは困難な場合が多く、割れ目の周期性、崖面の形状、割れ目の方向等地形、地質条件に合わせた対策工の選定が望まれる。例えば、非常に節理が発達した亀裂性岩盤の崖面においては、崩落ブロックの大きさを仮定した設計を行うことは難しい。そのような場合は、全体を一体化させることを主目的とした全面定着型のロックボルトまたはケーブルボルトの採用が可能となる。

* 正会員 大成建設(株)技術研究所 土木研究部 岩盤研究室

** 大成建設(株)関東支店作業所

*** 正会員 工博 山口大学助教授 工学部社会建設工学科

本報告は、節理が発達した亀裂性岩盤の急崖斜面を対象として、崖面内の横坑掘削時にモニタリングを実施することにより崩壊規模及び崩壊メカニズムを推定した後、全面定着型のケーブルボルトによって補強した本邦初の実施工と補強効果を確認するための現場計測を実施したので、その概要を述べる。

2. ケーブルボルトによる補強の考え方

図-1 に示すような薄板が規則的に並んだ板状節理の様相を呈する崖面においては、表層の風化が著しく、崖面付近の節理は開口している。この場合、ロックアンカー形式の定着位置を決定することが困難である。この点全面定着ボルトによる補強は、薄板であるためボルトと岩盤の定着で十分局所的な開口に抵抗でき、緊張する手間が省けるため迅速かつ安価な施工が可能となる。また、現状崖面の安全率が幾らかは評価できないが、このような薄い板が積み木状に重なって居る場合、ロックアンカーの導入力によって部分的に締めつけることが、安定を乱す結果になることも想定された。以上より、長尺のケーブルボルトによる全面定着型による補強を採用したものである。

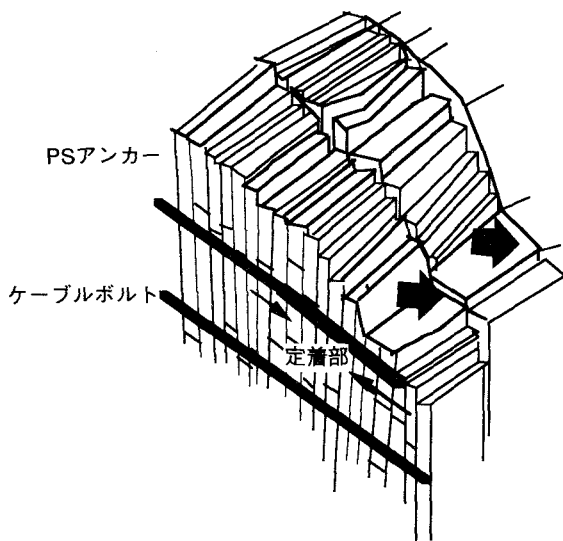


図-1 板状節理に対する補強概念

3. 施工事例

3.1 施工概要

補強工事の対象となった崖面は図-1 に示すような板状節理であり、さらに崖面側からの補強は不可能であったため、崖面内に横坑を掘削し、横坑から崖面に向けての補強が実施された (図-2 参照)。また、横坑掘削が与える崖面への影響を評価するため、あらかじめパイプ歪み計によって節理の動きを監視した (図-3 参照)。

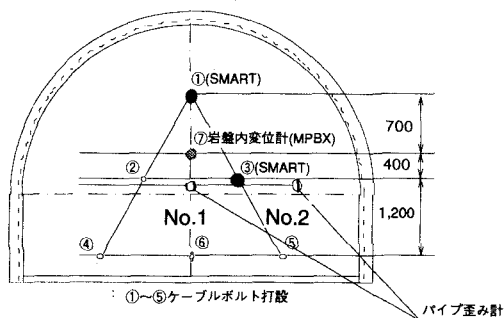


図-2 横坑鏡面打設位置

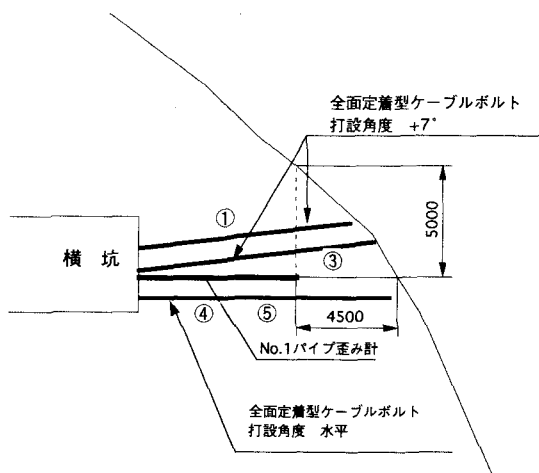


図-3 補強ボルト配置側面図

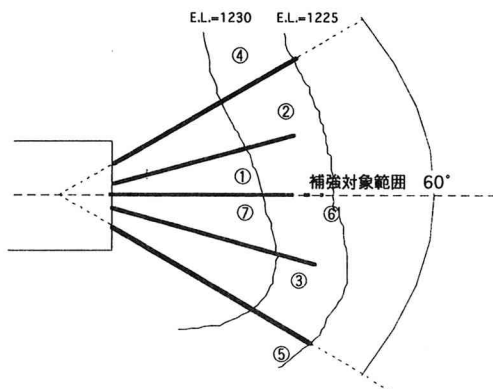


図-4 補強ボルト配置平面図



図-5 ケーブルボルト挿入前

ケーブルボルトは、平均 9m の $\phi 15.2\text{mm}$ のストランド材を計 6 本図-4 に示すように横坑鏡面より放射状に打設し、横坑前方の岩塊部を補強した。ボルトの打設は、崖面付近の開口亀裂からのグラウト材の漏洩を防ぎ、節理に密着するよう布パッカーに包んだ状態で挿入し、グラウト材を打設した (図-5 参照)。

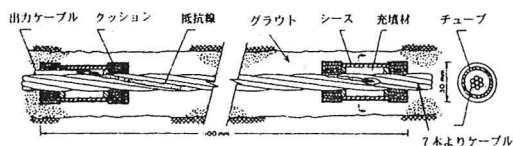
3.2 現場計測

ケーブルボルトを施工した場合には、従来の現場計測項目に加えて、ケーブルボルトの効果を確認するための計測項目を追加する必要がある。

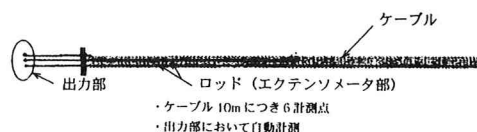
ケーブルボルトに関する現場計測方法として、ケーブルボルトの軸力を測定することが考えられる。ケーブルボルトはロックボルトと異なり、より線できているために、ストランドの外側にひずみゲージを添付することは難しく、特別な計測機器が開発されている。現在、ケーブル軸力測定には図-6 に示すような3つのタイプ、すなわち、(1)抵抗線タイプ、(2)ひずみゲージタイプ、(3)エクステンソメータタイプ、がある。図-6(a)は、抵抗線をらせん状にケーブルに沿わせて取り付け測定し伸びから軸力を換算する(1)のタイプの方法で、これまでよく用いられているものである。図-6(b)は、ケーブルストランドに筒を被せ固着しその上にひずみゲージを貼付する(2)のタイプである。

図-6(c)は、最近、カナダで開発された(3)のタイプのもので、ケーブルストランドの心材(キングワイヤー)を同径、同剛性の中空 PC 鋼線で置き換え、中空内に線材を挿入して心材を小径のエクステンソメータとするものである。この機器ではケーブルボルトの任意点とボアホール口元(プレートをつける場合は孔底)間の相対的な伸びを計測し、その差からひずみ、さらに、応力・軸力を求めるものである。これらの機器は工場で作成されてから現場へ搬入される。

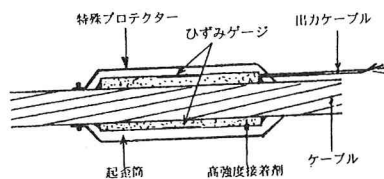
前2者は、ケーブルストランドの表面を加工するために、グラウトとの付着強度を低下させる欠点があるのに対し、後者は表面は通常ケーブルストランドと全く変わらないため、付着特性を損なうことがない優れた特徴がある。従って本サイトでは、上記(3)のタイプの計測機器(SMART: Stretch Measurement to Assess Reinforcement Tension, MDT, Canada)¹⁾を国内で初めて採用した。



(a) 抵抗線タイプ



(c) エクステンソメータタイプ



(b) ひずみゲージタイプ

図-6 ケーブルボルト軸力計測器



図-7 SMART 挿入状況

4. 計測結果

図-3 に示すように横坑掘削以降のパイプ歪み計の挙動より、局所的な開口が確認されたため、ケーブルボルトを打設した。その補強効果を把握するため、パイプ歪み計 No.1 の最も変化が大きかった横坑より約 5m 付近に相当する No.4 の歪み値に対して、横坑からの距離が同じ SMART 計測点 No.4 の軸力値の変化を比較した (図-8 参照)。

パイプ歪み計の歪み分布は、横坑付近をゼロとして崖面に近づくに連れて圧縮歪みが増大し、No.4 付近でピーク値を示した。これは、崖面の動きに比べ、その内側の薄板の開口に起因する崖面方向への動きが大きいことを意味する。図-9 に示すようにパイプ歪み計によって崖面への動きが確認されたが、ケーブルボルトの打設後、約 3 カ月経過した後ケーブルボルトの軸力が増加すると共に崖面方向への動きを示していたパイプ歪み計の変化は収束するに至った。また、ケーブルボルトの軸力の経時変化についても収束傾向を示している。さらに、図-10 に示したケーブルボルトの軸力分布については、パイプ歪み計の傾向とは異なり、崖面付近では圧縮歪みを示しているが、最大引張を示す No.4 付近から横坑方向へ圧縮となり、さらに引っ張りへと複雑な変化を示している。本サイトのような亀裂が発達した板状節理の崖面では、局所的な亀裂の開口が発生し、圧縮、引張の両者を示すこととなる。計測結果よりこのような崖面においても、全面定着型ケーブルボルトは、軸力が変化することによって崖面の安定に寄与していることが確認できた。

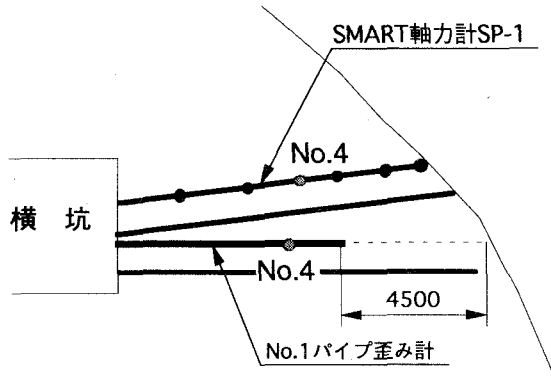


図-8 計測点説明図

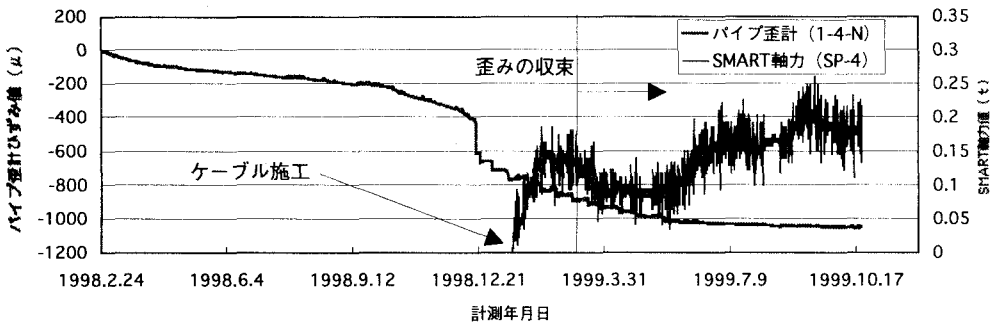


図-9 パイプ歪み計とケーブルボルト軸力の比較

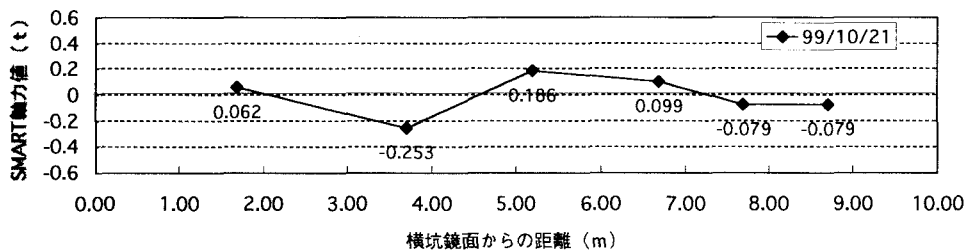


図-10 ケーブルボルト①の軸力分布

5. おわりに

ケーブルボルトの板状節理を呈する崖面への適用を試みたが、SMARTを使用した計測結果より崖面補強に対してケーブルボルトが有効であったことが明らかとなった。現在も計測を続けており、今後他の計測機器（地中変位計、パイプ歪み計）との比較を行い、補強効果についてさらに考察を加えていくものである。

6. 参考文献

- 1) Hyett, A.J., Bawden, W.F., Lausch, P., Ruest, M., Henning, J. and Baillargeon, M. 1997. The S.M.A.R.T. cable bolt: An instrument for the determination of tension in 7-wire strand cable bolts, Proc. the 1st Asian Rock Mechanics Symposium: ARMS'97, Balkema, 2, pp.883-889