

ケーブルボルトの作用効果に関する基礎的研究

萩野正二*・水田義明*・佐野 修*・戸上浩司**

Fundamental Study on Function Effects of Cable Bolting

Shoji OGINO, Yoshiaki MIZUTA, Osamu SANO and Koji TOGAMI

Abstract

Mechanical properties and cementing characteristics of single strand wire rope used as material of cable bolting for supporting ground around underground openings were investigated.

Results of tension tests showed that Young's modulus of the wire rope was approximately equal to that of steel rod and that lateral deformation of the rope was about 30% larger than that of steel rod.

Results of pull out test of the wire rope buried in cement mortar showed that tensile force in the rope concentrates in the neighborhood of surface of the mortar, and decreases exponentially towards inside.

Pull out load per unit buried length of the wire rope increased with the buried length. From the results of pull out tests, minimum buried length which brings tension break of the rope seems to be a little larger than one meter.

The single strand wire rope used in this experiment seems to be about the same as the ordinary deformed steel rod for rock bolting in its axial rigidity or cementing characteristics.

Cable bolting ground support seems to be effective for stabilizing large loosened ground around underground openings.

1. 結 言

ケーブルボルトは近年鉱山の新しい支保として注目されており、わが国の鉱山でもこの支保が用いられるようになって来た¹⁾。

従来、坑内採掘が行なわれている鉱山では、機械化されたカットアンドフィル切羽などの空間の広い採掘切羽の天盤や側壁の崩壊の防止を目的としてケーブルボルト支保が施工されることが多く²⁾、また露天採掘鉱山ではケーブルボルトを設置して斜面傾斜角を大きくとり、これによって表土採掘量を少なくする効果を挙げている例もある³⁾。

土木工事においては古くから鋼索を用いるアンカー工法が行なわれており、擁壁、ダムなどをアンカーケーブルによって岩盤に定着し補強するロックアンカーがしばしば用いられている。

アンカー工法では単ストランド鋼索の両端部の素線

をほぐしてその一端を紡錘形に拵げた状態でセメントモルタル等によってボーリング孔壁に定着し、モルタルが硬化した後、孔口に取り付けたジャッキにより鋼索に引張荷重を加えた状態で各素線またはストランドを別々に固定用金具の小円孔を通してこれらの孔にクサビで固定するなどの方法が用いられている⁴⁾。

従来鉱山、炭鉱では坑道の支保としてロックボルトが広く用いられているが、ロックボルトの長さは坑道断面の大きさによって制約され、天盤に打設するロックボルトの長さは坑道の高さより 0.5 m 程度短くする必要がある。ロックボルトによって変形を拘束する効果が期待できる坑道天盤のゆるみ領域の天盤表面からの高さは坑道の高さ程度以下である場合が多いと考えられ、このような場合にはロックボルトは坑道の天盤の崩落や沈下の防止に役立つ。

しかし、カットアンドフィル採掘法、シュリンケージ採掘法などによる上向き採掘で採掘の対象となる鉱体の幅が大きいことや、鉱体・上下盤が軟弱で崩落しやすいことによって空間の周囲のゆるみ領域が広い範囲におよんでいる場合、地下深部において坑道または

* 資源工学科

** 鉱研試錐工業(株)

切羽の空間のまわりの岩盤が広範囲にゆるんでいる場合等では坑道の高さや幅と同程度の長さのロックボルトを施すだけでは不十分と考えられる。

鋼索はロックボルトに比べてたわみやすいため、上記のような坑内空間のまわりの岩盤に施工するのに適しているが、素線をより合わせたものであるから、ロックボルトに比べて軸剛性が低く、岩盤の変形を拘束する効果が劣るのではないかなどの懸念がある。

切羽天盤に打設されるケーブルボルトは施工を短時間で済ませる必要があるため、ボーリング孔中に鋼索を挿入し、ロックボルトと同様モルタルにより全面接着する方法が用いられており、予め鋼索に張力を加えないのが普通である。

ケーブルボルトを打設した岩盤が空間に向かって変位すると、鋼索には引張力が生じ、また鋼索の表面ではモルタルとの間の相対変位により複雑な応力状態が生じると考えられる。

上述のようなケーブルボルトとして使用される鋼索の材料特性や接着特性は、いずれもケーブルボルトの作用効果を支配する主な条件の一つであると考えられる。そこで、ケーブルボルト用単ストランド鋼索のこれらの特性を調べることを目的として鋼索の引張試験や、セメントモルタルのブロックに埋めこんだ鋼索の引抜き試験を行ない、鋼索の伸びや埋めこまれた部分の鋼索に生じる引張力の分布、引抜き荷重等の測定を行なった。

2. 鋼索の引張試験

試験に供した鋼索は外径 17.8 mm、断面積 207 mm^2 の単ストランド鋼索であって、これは服部鉱業（株）平木鉱山（兵庫県加東郡社町）においてケーブルボルトとして使用されている鋼索である。この鋼索を長さ 1450 mm に切断し、荷重容量 100 t のアムスラー多能材料試験機により引張試験を行なった。この試験では

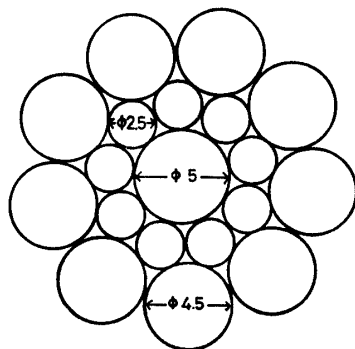


Fig. 1 Cross section of wire rope.

鋼索の両端部を丸鋼用チャックで直接つかんで引張荷重を加える方法をとった。Fig. 1 に試験に供した鋼索の横断面を示す。

鋼索の変形の測定では、クロス型ひずみゲージを鋼索の表面に接着し、軸方向と軸に垂直な方向とのひずみを測定した。このひずみゲージの接着に当たっては、まず鋼索の表面にエポキシ樹脂を塗布して素線間の凹部を埋め、その上に厚さ 0.1 mm の銅板を巻き付けて接着し、さらにこの銅板の軸に関して対称の位置 2 箇所にてゲージ長 20 mm のクロスゲージをはり付ける方法をとった。

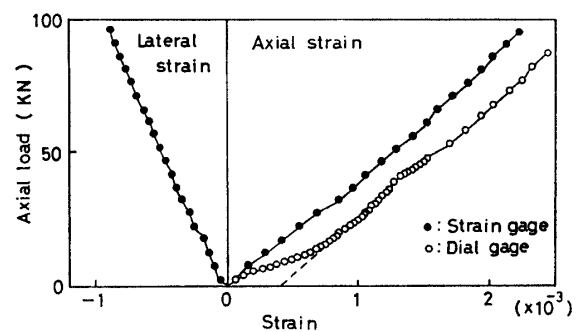


Fig. 2 Stress-strain relation of wire rope.

また、軸方向の変形を、鋼索に 2 個のダイヤルゲージを約 30 cm の間隔で取り付け、引張荷重を加えたときの伸びを読み取る方法によっても測定し、ひずみゲージによる測定の結果と比較した。

上記の試験によって得られた軸方向の引張荷重と、軸方向および横方向のひずみとの関係を Fig. 2 に示す。この図によればダイヤルゲージによる測定では、荷重-ひずみ曲線の傾斜が荷重の低い範囲で小さく、約 20 KN 以上の荷重ではほぼ一定であって、この範囲でのヤング率は約 205 GPa である。このヤング率の値は鋼のヤング率 206 GPa とほぼ等しいが、これは試験に供した単ストランド鋼索が麻心のある多ストランド鋼索に比べて変形し難く、荷重初期の段階で素線が締まった後は引張りを受ける鋼索とほぼ同様な変形挙動を呈することによるものと考えられる。

素線が締まる際に生じる初期のひずみは 4×10^{-4} の程度であるから、この種の鋼索を用いたケーブルボルトはロックボルトと比較して軸剛性の点では余り問題はないと思われる。

ひずみゲージによる軸方向ひずみの測定結果によれば、荷重-ひずみ曲線の傾斜が荷重の低い範囲でダイヤルゲージの場合よりも大きい。これは先に述べたように素線の間をエポキシ樹脂で埋めたため、初

期载荷の段階での伸びが減少したことによると考えられる。さらに荷重が増加すると曲線の傾斜はダイヤルゲージの場合とほぼ等しくなる。

横方向のひずみと軸方向のひずみとの比は約0.4であって、鋼棒の場合の0.28~0.30よりもかなり大きい。したがってセメントモルタル中に埋めこんだ鋼索が軸引張荷重を受けた場合の直径の減少による接着力の低下はロックボルトの場合よりも若干大きいと考えられる。

3. 鋼索の引抜き試験

Fig. 3 に示すように鋼索を高さを3通りに変化した円柱形セメントモルタルブロックに埋めこんだ状態で引抜く試験を行なった。

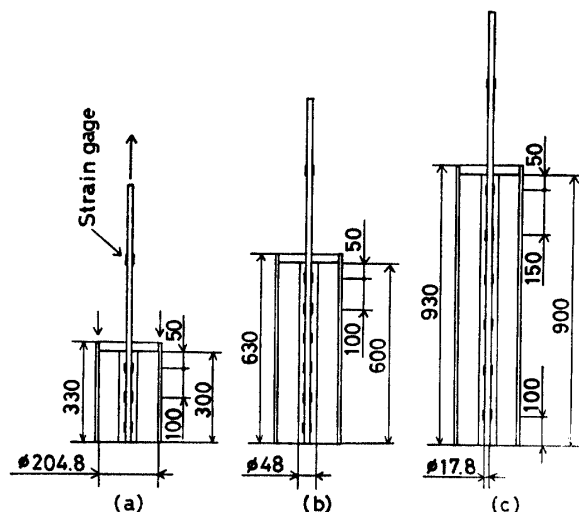


Fig. 3 Wire rope buried in mortar cylinder for pull out test.

この試験では内径約 200 mm の鋼管の内部にセメントモルタルを充てんし、約 6 時間後に、予め鋼管の中心軸の位置に固定しておいた硬質塩化ビニール管を引抜くことによって直径 48 mm の円孔を作り、材令 24 時間において、円孔の中心部にひずみゲージを接着した鋼索を固定し、そのまわりの空間にセメントモルタルを充てんした。

セメントモルタルは普通ポルトランドセメント、海砂（最大寸法 1.7 mm）および水を 1 : 1 : 0.4 の重量比で混合して作成し、最初に充てんしたモルタルの材令が 14 日になった時に引抜き試験を行なった。材令 14 日でのモルタルの圧縮強さは 37.9 MPa、圧裂試験による引張強さは 3.24 MPa であった。

モルタル中に埋めこむ部分の鋼索にひずみゲージを

接着する方法は先に述べた引張試験の場合と同様であるが、ひずみゲージはゲージ長 30 mm の単軸ゲージを用い、接着後に防湿剤を塗布し、さらにゲージとモルタルとの接触を避けるためにゲージの上を薄いゴム板で覆った。

この引抜き試験では鋼管の上端面を材料試験機のクロスヘッドで支え、鋼索の上端部を試験機のチャックでつかんで引張る方法をとったが、モルタルの上端面は鋼管の上端面より約 3 cm 低いから、鋼索を引抜く場合モルタルの表面に荷重は作用しない。

鋼索の引抜き量を測定するために共和電業製 DT-50A 型変位計による変位の記録を行なった。

埋めこみ長さ 30 cm の場合の引張荷重と鋼索の軸ひずみとの関係を Fig. 4 に示す。引張荷重が約 15 KN に達するとモルタル表面からの深さ d が 5 cm の位置のひずみゲージによって測定されるひずみが急増しはじめ、荷重がさらに増加するとこれよりも深い位置のひずみゲージで測定されるひずみも順次急増した。

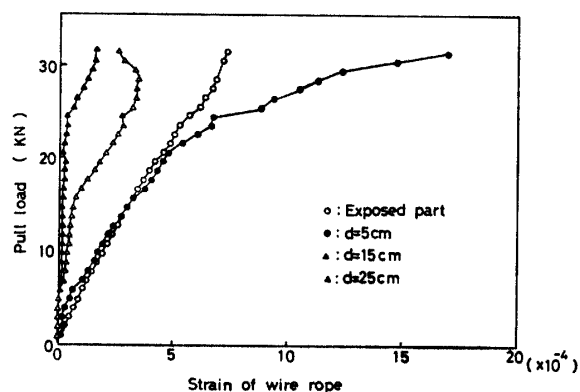


Fig. 4 Relation between pull load and strain of wire rope obtained by pull out test.

これは鋼索の変位によってひずみゲージの表面とモルタルとの間に摩擦が生じたことによるものではないかと推定され、このひずみ測定法ではある限度以上の引張力を測定することはできなかった。

上記のひずみ測定の結果から求めた、高さ 30 cm、60 cm および 90 cm の円柱モルタルブロックに埋めこんだ鋼索の引張力分布を Fig. 5 (a), (b), (c) に示す。これらの図から、モルタル表面からの深さが増すに伴って鋼索に生じる引張力は減少し、また引張荷重の増加に伴って引張力の生じる範囲が増加することが認められる。

モルタル表面からの深さの増加に伴う引張力の低下の割合が鋼索とモルタルとの接触面でのせん断力に相当するものと考えると、このせん断力が降伏値に達し

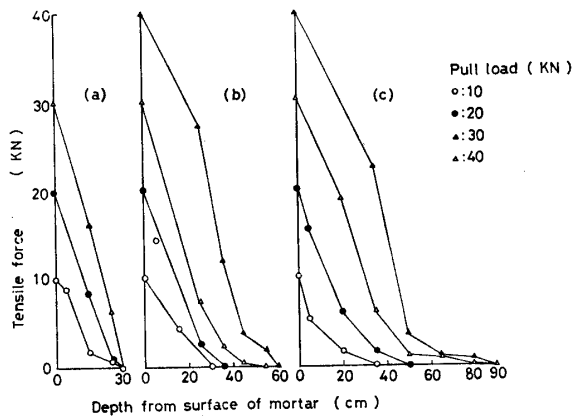


Fig. 5 Distribution of tensile force in the wire rope buried in mortar.

た部分では鋼索とモルタルとの間に滑りを生じ、高いせん断力が生じる位置はモルタルの表面から漸次内部に移行すると思われる。

ロックボルトの引抜き試験に際しての引張力の分布を測定するために5箇所にはずみゲージを接着したロックボルトを平木鉱山の30m レベル坑口付近に打設し、モルタルが硬化した後に引抜き試験が斉藤らによって行なわれているが、この試験でも上記の結果と同様な傾向の結果が得られている。

引抜き試験を終って除荷する際に円柱ブロックの回転が生じた。これはらせん状によられた素線が軸方向にずれることによって円柱ブロックに中心軸のまわりのねじりモーメントが作用したことによるものと考えられる。

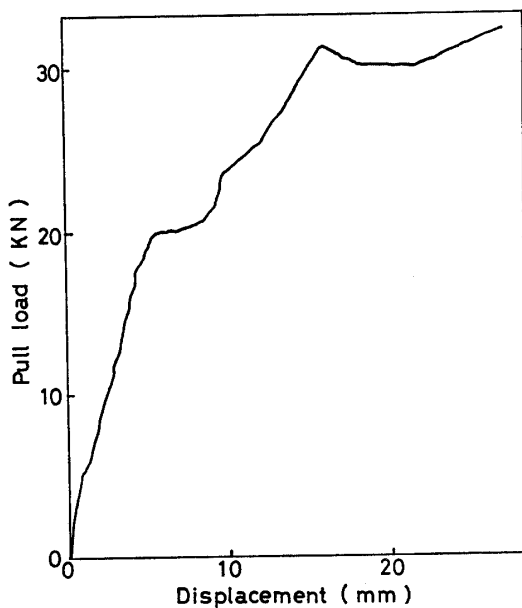


Fig. 6 Relation between pull load and displacement of wire rope obtained by pull out test.

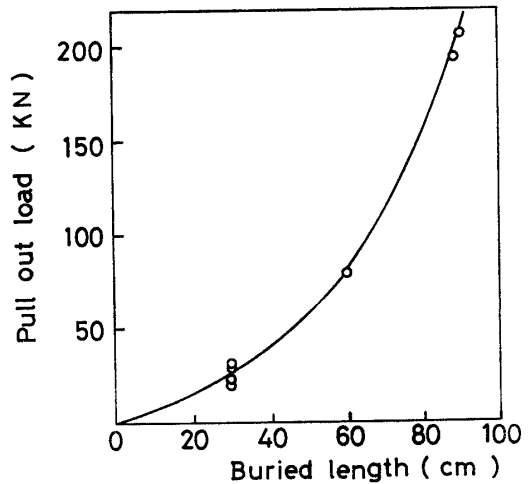


Fig. 7 Relation between buried length and pull out load.

Fig. 6 は XY 記録計にて記録した引張荷重と変位の関係を示す曲線である。この図の変位には鋼索の伸びおよび引抜きによる変位のほか、鋼索の内壁面でのモルタルの滑り、材料試験機のチャック部の変位も含まれている。

Fig. 7 に埋めこみ長さとして鋼索が引き抜かれた時の荷重との関係を示す。この結果によれば、単位埋めこみ長さ当たりの引抜き荷重は埋めこみ長が長いほど大きい。

4. 結 言

試験に供した単ストランド鋼索の引張試験の結果から、この鋼索は荷重の初期段階で素線の締まりにより 4×10^{-4} 程度のひずみが生じるが、ヤング率は鋼棒のそれと大差なく、軸剛性に関してはロックボルトと同程度であることが認められた。

しかし、軸引張荷重の増加に伴う直径の減少は鋼棒の場合より30%程度大きく、これは鋼索の引抜き抵抗を若干低下させる原因になるものと考えられる。

引抜き試験の結果から、鋼索の引張力はモルタルの表面から内部に向かって漸次減少し、単位埋めこみ長さ当たりの引抜き荷重は埋めこみ長が長いほど大きいことが認められた。

本実験の諸条件のもとで引抜き試験により鋼索の破断荷重 330 KN に到達するために必要な埋めこみ長は 1 m より若干長い程度以上であろうと考えられる。

この実験では鋼索のまわりのモルタルの材令が13日となった時に引抜き試験を行なったが、坑内の支保として使用するケーブルボルトでは打設後ただちに岩盤の動きにより荷重が作用することもある。このような

場合にはケーブルボルトの接着強度は本実験で得られた値よりも小さいことはいうまでもない。

坑内空間の上方や側方に空間の大きさを上まわる規模のゆるみ範囲がある場合には岩盤の強化を目的として長いロックボルトを打設することはできない。しかし、本研究で用いたような鋼索は軸剛性や接着特性が異形鉄筋と大差なく、曲がりやすい利点があるから、これをケーブルボルトとして岩盤中に打設することは岩盤強化のための有効な手段と考えられる。

この研究は昭和54～55年度文部省科学研究費補助金総合研究(A)「鋼索およびFRPボルトによる岩盤の異常破壊防止に関する研究」の一環として行なったものである。総研代表者の京都大学齊藤敏明博士、材料

試験機の使用について御援助頂いた山口大学吉本彰教授、兼行啓治技官、試料鋼索を提供して頂いた服部鉦業(株)平木鉦山の関係各位に厚く謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) T. Saito, M. Kuriyagawa, S. Taninami and M. Ochiishi: Fourth Joint Meeting MMIJ-AIME, 1980, Tokyo, B-3, 49
- 2) C.H. Schmuck: Mining Engineering, **31**, 1677 (1979)
- 3) B.L. Seegmiller: Mining Engineering, **26**, 29 (1974)
- 4) L. Hobst, Z. Josef: "Anchoring in Rock", Elsevier, Amsterdam (1977)

(昭和56年4月14日 受理)