

(23) ケーブルボルトを用いた先行支保に関する研究

京都大学工学部 正会員 斎藤 敏 明

京都大学工学部 正会員 寺 田 孚

同 和 工 営 欄

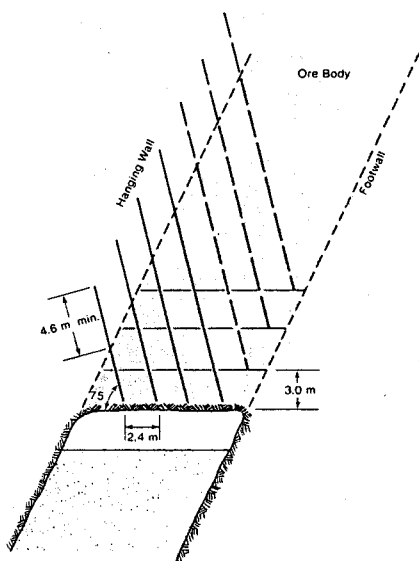
高 野 勝 也

1. 緒 言

ケーブルボルトはロックボルトの鋼棒の替わりにケーブルを用いるもので、PS工とは異なり岩盤に全面接着されるタイプのものである。このボルトはケーブルを利用するため狭い坑内からでも比較的長尺のボルトを容易に打設することができる大きな特色がある。鋼棒とケーブルではその軸剛性に若干の違いがあるが、ここではケーブルボルトは長尺のロックボルトと同様に扱うこととする。また、ここで言う先行支保とは岩盤のPre-Reinforcementを指すもので、掘削予定領域や掘削予定空洞の周辺岩盤を掘削に先立って補強することにより掘削を安全に進めるとともに、掘削に伴うゆるみ領域の発生をできるだけ少なくし、より合理的な支保を行うおうとするものである。

このような岩盤補強を行うためには掘削予定領域から離れた既存空洞から‘先行支保’を打設する必要があり、これにはケーブルボルトが適している。このような先行支保としてケーブルボルトを利用する方法は鉱山の切羽では既に実用化されている。第1図はその一例であるが、鉱石を上向きに採掘しながら切り上がっていく切羽で、図のようにケーブルボルトを順次打設することにより掘削に先立って天盤の鉱石ばかりでなく上盤の補強も行っている。なお、掘削に伴ってボルトが露出するがケーブルボルトはその取り扱いや切断が容易であることも特色である。

ここでは、導抗などでケーブルボルトを打設した後これを切り抜ける場合について、先行支保に誘起される軸力分布を理論的に求め、これによりその支保効果を評価することを試みた。また、通常のロックボルト支保との比較および現場実験の結果についても報告する。



第1図 先行支保の例[1]

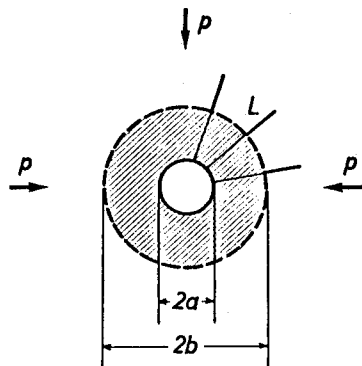
2. 円形空洞を切り抜ける場合の先行支保

第2図のように半径aの円形空洞からケーブルボルトを放射状に打設した後、同心の半径bの円形空洞に切り抜ける場合について考えてみる。この場合半径bの空洞周辺に残されたボルトは、この空洞掘削以前に打設された先行支保としての効果が期待できる。いま簡単のため地山応力状態を図のように鉛直、水平ともにpとすると、空洞拡大に伴う半径方向rの弾力的な変位uは次のように表される。

$$u = -(1 + \nu) \cdot p \cdot (b^2 - a^2) / (E \cdot r) \quad (1)$$

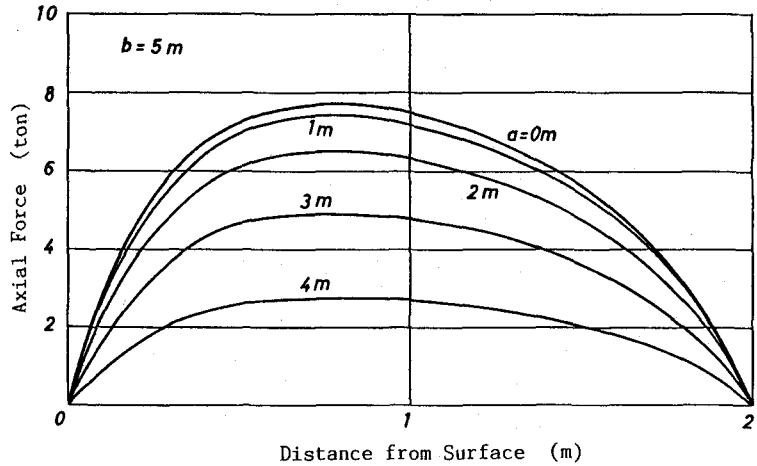
ここで、E、 ν はそれぞれ岩盤のヤング率およびポアソン比である。

このようなボルト軸方向に沿った岩盤変位が求められると、先に報告したように[2]、ボルト内に誘起される軸力分布を解析的に求



第2図 切り抜けによる先行支保

めることができる。第3図は $b=5\text{m}$ とし、ケーブルボルト打設時の空洞半径 a を種々変化させたときの軸力分布を示したものである。ただし、地圧 $p=10\text{MPa}$ 、岩盤は $E=10\text{GPa}$ 、 $\nu=0.25$ とし、ボルトの半径は 12mm 、ヤング率を 210GPa 、空洞の周辺に残されるボルト長さ $l=2\text{m}$ としている。また、ボルトと岩盤の相互作用を表す係数 $\alpha=3.0(1/\text{m})$ とした。



第3図 切り掘げによりケーブルボルトに誘起される軸力

図の $a=0\text{m}$ の場合は現実には難しいが理想的な場合として示した。ボルトを打設する空洞半径が大きくなると、空洞拡大に伴う岩盤変位は小さくなるため誘起されるボルト軸力は当然小さくなる。これをボルトに蓄えられるひずみエネルギー U で比較してみると第1表のようになる。導坑半径 a を 1m とすれば、掘削の影響を全く受け

第1表 ケーブルボルトに蓄えられるひずみエネルギー

導坑の半径 a	ひずみエネルギー U	理想値との比較
0 m	391.9 kg-cm	100.0 %
1	361.2	92.2
2	276.5	70.6
3	160.5	41.0
4	50.8	13.0

ずに打設された $a=0$ の場合に比べ約92%のひずみエネルギーを蓄えることができることになる。

ボルトの支保効果を誘起される軸力の大きさのみでは評価できないが、ここで言う発生軸力は岩盤の基本的な変形によって誘起されるものであり、言わば建付荷重に相当するものである。この荷重によって岩盤のゆるみが進行するのを抑制できるものと思われるが、特に先行支保においては、ゆるみの初期の段階から作用させることができるためその効果は大きいものと考えられる。また、発破によるゆるみに対しても有効であろう。

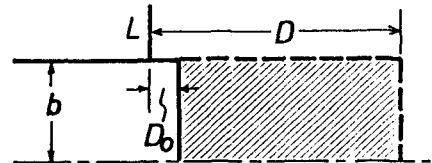
3. 切羽近傍で打設されたロックボルトとの比較

先の諸条件は同じとし、半径 $b (=5\text{m})$ の円形空洞を全断面掘削で開削し切羽近傍で長さ $l (=2\text{m})$ のロックボルトを打設した場合に切羽進行によってボルトに誘起される軸力を求めて比較してみた。この場合ロックボルトに沿って発生する変位 u は次のように表される。

$$u = u'(D) - u'(D_0) \quad (2)$$

$$u'(D) = 2 \cdot S_0(D) \cdot p / E \quad (3)$$

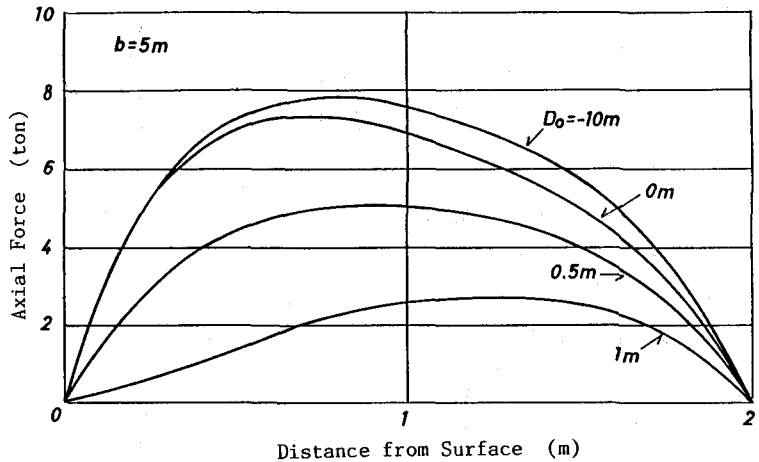
ここで、 D_0 、 D は第4図に示すようにボルトの打設位置と切羽進行後の位置を切羽からの距離で示したものである。 D は切羽が充分進行した位置として $D=5 \cdot b$ とした。 $u'(D)$ は空洞開削によって生じる位置 D での r 方向の変位を示している。また、 $S_0(D)$ は r の関数で位置 D での r 方向の変位を表す係数で数値解析によって求めたものである[2]。



第4図 切羽で打設されたロックボルトとその後の切羽進行

第5図はボルト打設位置

D_0 を種々変え切羽が充分進行したときに誘起される軸力の分布を示したものである。 $D_0 = -10\text{m}$ とあるのは現実には難しいが切羽の奥10mで打設した場合を示しており、やはり理想的なものとして扱うこととする。 $D_0 = 0$ はちょうど切羽で打設された場合であり、 $D_0 = 0.5 \sim 1\text{m}$ と打設位置がずれると急激に軸力が低下するのがわかる。



第5図 切羽近傍で打設されたロックボルトに誘起される軸力

同様に蓄えられるひずみエネルギーで比較してみると第2表のようになる。切羽位置で打設すると理想状態の約85%、打設位置が切羽から1m ($=0.2 \cdot b$) ずれると約10%まで低下してしまうことがわかる。

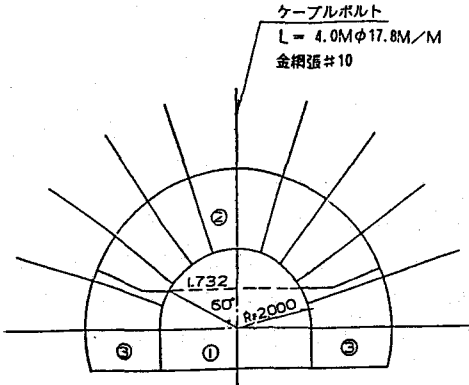
第2表 ロックボルトに蓄えられるひずみエネルギー

打設位置 D_0	ひずみエネルギー U	理想値との比較
-10 m	384.5 kg-cm	100.0 %
0	328.2	85.4
0.5	164.1	42.7
1	40.2	10.5

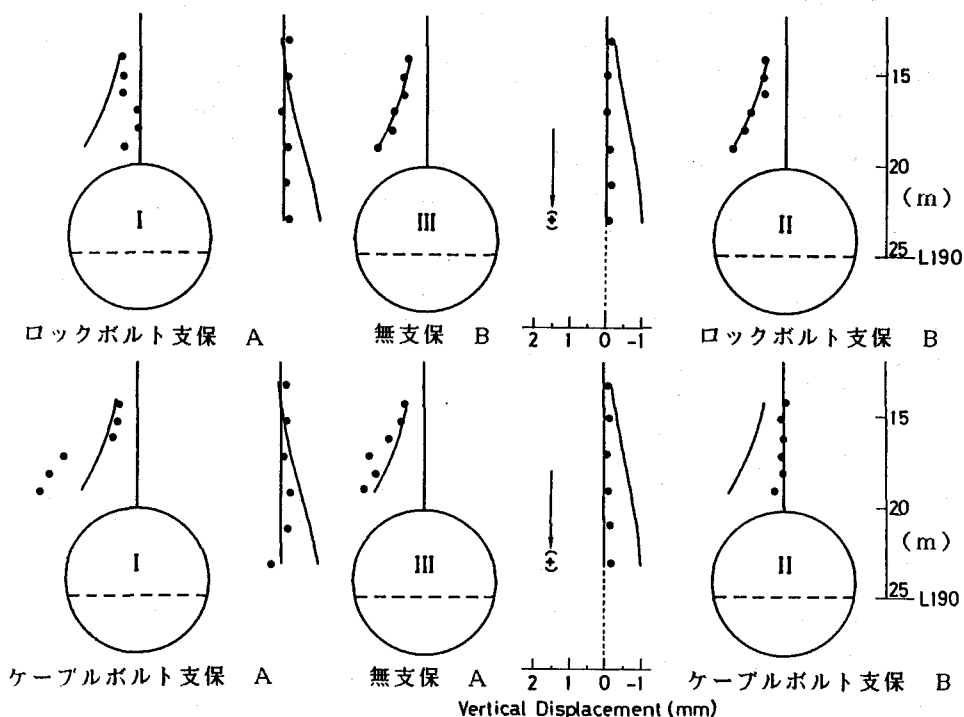
先に述べた先行支保の場合と比較してみると、 $a = 1\text{m}$ の空洞で打設して切り上げた場合の方が全断面でちょうど切羽で打設した場合よりも誘起される軸力が多少大きいことがわかる。 $a = 3\text{m}$ と $D_0 = 0.5\text{m}$ 、 $a = 4\text{m}$ と $D_0 = 1\text{m}$ の場合がそれぞれほぼ対応している。しかし、全断面の場合には最終空洞壁面から打設するため、打設時には既にゆるみの初期段階は始まっているものと考えられる。

4. 現場における比較実験

ある現場において断面が約 33m^2 の半円形空洞が並行して3本開削された際、ケーブルボルトによる先行支保の区間、ロックボルト支保の区間および無支保の区間を設け比較検討した。まず、それぞれの区間で掘削前に岩盤変位計を予め設置しておき、掘削に伴う空洞天盤周辺の岩盤の変位を計測した。ケーブルボルト支保の打設は第6図に示すように a は約2mで、その後 $b = 4\text{m}$ まで切り上げられた。ケーブルボルト長さは4mで、切り上げ後 $L = 2\text{m}$ のボルトが残ることになる。また、ロックボルト支保は全断面でなく半断面で掘削され打設された。変位計は空洞レベルより20m上方の坑道から設置され、各区間2箇所ずつ空洞天盤より約6m上方のまでの岩盤の鉛直変位が計測された。なお、各空洞間の岩盤の変位も同様に計測された。第7図はこれらの結果を示したものである。黒丸が計測値であり、実線は解析により得られ



第6図 ケーブルボルトの打設パターン



第7図 支保形式の異なる区間における周辺岩盤の鉛直変位

た支保のない場合の予想変位である。この図からわかるように無支保区間の変位は予想されるものとほぼ一致しているが、ケーブルボルト区間のAやロックボルト区間のBのように支保区間でも解析結果と同じかそれ以上の変位が発生する箇所があった。掘削後の調査の結果、これらの測定箇所の岩盤状態は他に比べて悪く、軟弱化していることが明らかとなった。なお、ケーブルボルト区間Aの結果には変位の不連続部が存在し、ケーブルボルトが岩塊を吊り下げているような支保効果がうかがえる。一方、ケーブルボルト区間Bやロックボルト区間Aの岩盤は無支保区間の岩盤状態とほぼ同じであったが、それらの測点における変位は解析結果に比べ小さく支保の効果が現われているものと思われる。特に、ケーブルボルト区間ではほとんど変位が発生していない。

以上の結果からケーブルボルト支保の効果を判断することは難しいが、誘起される軸力がさらに大きくなるようにしてやればロックボルト支保以上の効果は充分期待できるものと思われる。

5. 結 言

現在、鉱山で実用化されているケーブルボルトの打設長さは10～20mであり、当然、削孔長が増加する欠点はある。しかし、大きな断面の空洞を開削するような場合、切羽に接近してボルトを打設することが難しいことが少なくない。また、弱面の存在が確認されているような場合ケーブルボルトを用いてPre-reinforcementを行うことが充分有効であるものと思われる。

参考文献

- [1] Jeremic, M. et.al: Application of Rock Mechanics to Cut and Fill Mining, IMM, pp.64～71, 1981
- [2] 斎藤敏明: 第17回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, 土木学会, pp.246～250, 1985

(23) Effects of Pre-Reinforcement by Cable Bolting

by

Toshiaki Saito, Makoto Terada
Kyoto University

Katuya Takano
Dowa Engineering Co.,Ltd.

Pre-reinforcement of rock masses around the intended openings by means of cable bolting in advance of excavation, has been put in practice already in the mining field. But the effects of the pre-reinforcement are not clarified, especially quantitatively. To estimate these effects, the axial forces induced in the bolts are considered. These forces are analyzed based on the elastic rock displacement accompanied by progress of excavations, and supposed to be very effective to prevent the expansion of loosening zone. For example, the induced axial forces are calculated in the case of expanding the sectional area of a circular opening after installation of cable bolts. Further, in comparison with the axial forces induced in the rock bolts installed close to excavating face, it is confirmed that the axial forces in the cable bolts for pre-reinforcement can be induced larger than that of the ordinary rock bolts under some conditions. Examining the difference of support effects among the three support type, namely, cable bolting, rock bolting and no support, field measurements of rock displacements around the opening supported with respective type were carried out. As the results of this measurements, the difference between cable bolting and rock bolting is not so clear, but the cable bolting is seemed to be most effective on the condition of the similar rock properties.