

ケーブルボルトによる軟岩の補強効果について

飛島建設（株） 正会員 ○馬杉 篤司
山口大学大学院 学生会員 武田 智治
山口大学工学部 正会員 清水 則一

1. はじめに

トンネル掘削前に地山を事前補強する工法としてケーブルボルト工法が注目されている。しかし、ケーブルボルト工法は硬岩地山が主である諸外国での施工実績はあるものの、日本の地山のように平均的に剛性、強度ともに低い地山での施工実績はほとんどなく、参考にする資料も少ない^{1)~4)}。

そこで本研究では特にひずみ軟化性軟岩に対して、一軸及び三軸圧縮試験の数値シミュレーションを行い、ケーブルボルトによる岩の力学的性質の改善効果を調べる。なお数値計算にはFLAC（Fast Lagrangian Analysis of Continua）を利用した。

2. 解析モデルと解析条件

本研究においては、横5m、縦10mの直方体供試体モデル（図-1）を想定し、供試体上下面より変位速度 v ($v=6.25 \times 10^{-6} \text{m/s}$) を等変位制御して変位制御することで一軸及び三軸圧縮試験の数値シミュレーションを行った。この解析にはMohr-Coulombの降伏基準に基づくひずみ軟化モデルを使用した。ここで、本研究に使用したひずみ軟化モデルは、図-2に示すように塑性ひずみの進行に伴い粘着力及び内部摩擦角が減少するモデルを指す。ケーブルボルトの打設本数は、0本、3本、5本、9本の4パターンであり打設位置は、3本、5本、の場合は供試体中央部より2m間隔であり、9本の場合は1m間隔である（図-1参照）、なお、供試体の物性値は表-1に示し、ケーブルボルトの物性値は表-2に示す。

3. 解析結果

図-3に軸応力及びケーブルボルトに発生した軸力と軸ひずみの関係を示す。これより、供試体降伏後にひずみ軟化現象による急激な軸応力の減少がみられるが、ケーブルボルトの打設により軸応力減少が緩和され、ケーブルボルトの本数を増すことによってその効果は大きくなっている。また供試体が降伏していない弾性状態ではケーブルボルトによる剛性の改善はほとんど見られなかった。

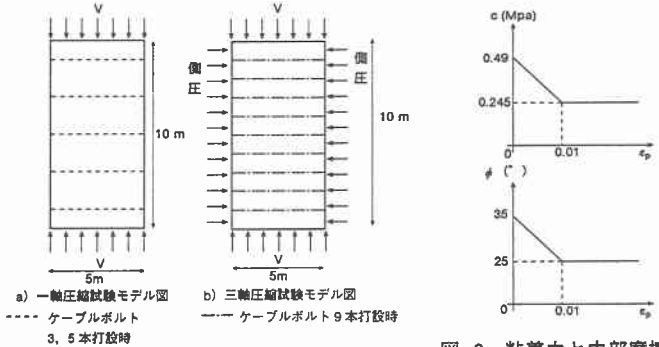


図-2 粘着力と内部摩擦角

図-1 供試体モデル図

表-1 供試体の物性値

ヤング率(Mpa)	490
ポアソン比	0.35
粘着力(Mpa) ピーク時	0.49
残留時	0.245
内部摩擦角(°) ピーク時	35
残留時	25
密度(kg/m³)	2200
引張強度(Mpa)	0.188

表-2 ケーブルボルトの物性値

ケーブル弾性係数(Mpa)	2.0×10^5
グラウト付着剛性(MN/m/m)	6.5×10^3
グラウト付着強度(MN/m)	0.3
ケーブル引張降伏(MN)	0.2
PS工断面積(m²)	1.81×10^{-4}

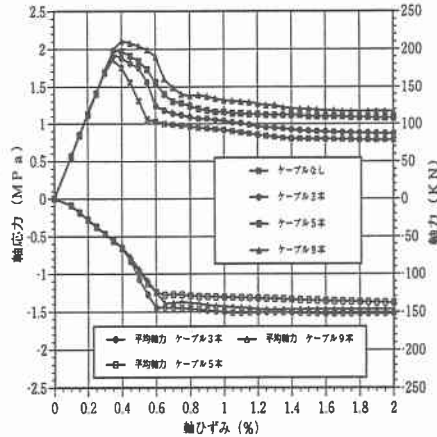


図-3 軸ひずみと軸応力と平均軸力の関係

図-4、図-5では三軸圧縮試験の数値シミュレーションにより求めた塑性ひずみの進行に伴う、粘着力と内部摩擦角の推移を示した図である。粘着力(図-4)においては、ケーブルボルトを打設することにより見かけ上の粘着力の強度の増加がみられる。またケーブルボルトの本数を増すことによりその効果は大きくなる。この効果は、ケーブルボルトを打設しない場合に比べてケーブルボルトを9本打設した場合、ピーク時では1.2倍、残留時は1.3倍の見かけ上の強度の増加がみられた。内部摩擦角(図-5)においてはケーブルボルトの打設による効果はあまりみられなかった。しかし、この結果は解析条件によって異なり、内部摩擦角が初期内部摩擦角に比べて小さいときはケーブルボルトによる内部摩擦角の改善が見られる⁵⁾。

次に、供試体の初期物性値として上述のケーブルボルトの打設による改善された粘着力及び内部摩擦角を用いて一軸圧縮試験の数値シミュレーションを行った。そして、改善された物性値を与えた供試体をケーブルボルトを打設した場合と等価な強度をもつ供試体として考え、ケーブルボルトを打設した場合との比較を行った。この等価強度をもつ供試体と、ケーブルボルトを5、9本打設した場合の供試体の軸ひずみと軸応力の関係を、それぞれ図-6、図-7に示す。これより、等価強度を与えた供試体に比べケーブルボルトを打設した方が、供試体降伏後の急激な応力の減少が緩和されているものの、残留強度においては両者に違いはほとんど見られなかった。また、ケーブルボルトの打設本数が多いほど、供試体降伏後の軸応力の挙動に両者の違いは少なくなっている。

4. 結論

数値シミュレーションの結果、ケーブルボルトの補強効果は供試体降伏後の強度増加と、延性特性の改善であることが示された。具体的には、ケーブルボルトによって粘着力及び内部摩擦角の低下が抑制される。また、ケーブルボルトの効果は、等価モデル(数値計算上ケーブルボルトを打設しないで改善された強度定数を与えるモデル)で考慮される可能性が示された。

参考文献

- 1) 清水則一 他：トンネルと地下，vol.28，No.4，1997
- 2) 武田智治 他：第49回 土木学会中国支部研究発表会概要集，1997
- 3) 清水則一 他：トンネル工学研究論文報告集，第7回，1997
- 4) 清水則一 他：第10回 岩の力学国内シンポジウム講演論文集，1998
- 5) 馬杉篤司：平成9年度 山口大学工学部卒業論文，1998

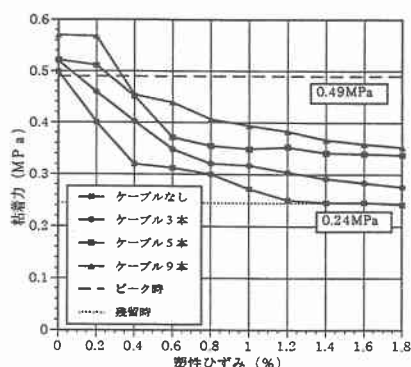


図-4 塑性ひずみと粘着力の関係

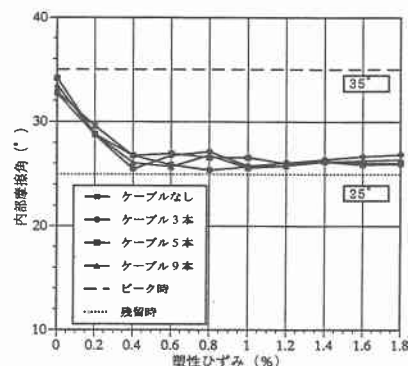


図-5 塑性ひずみと内部摩擦角の関係

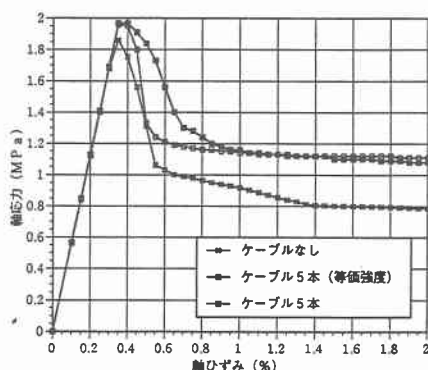


図-6 軸ひずみと軸応力の関係 (ケーブルボルト5本)

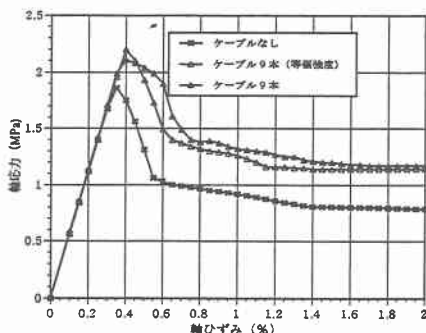


図-7 軸ひずみと軸応力の関係 (ケーブルボルト9本)