

Ⅲ-B49

軟岩に対するケーブルボルトの補強効果のメカニズムに関する考察

山口大学大学院○学 中川 倫孝 日本建設コンサルタント(株) 正 荒本 達也
前田建設工業(株) 正 武田 智治 山口大学工学部 正 清水 則一

1. はじめに

軟岩におけるケーブルボルトの先行補強効果について、これまで数値シミュレーションによって調べてきた。^{1) - 3)} その結果、ケーブルボルトによって見かけ上、材料の強度が増加し、延性特性が改善されることがわかった。本研究では、そのような補強効果がどのようなメカニズムで生じるのかを考察する。

2. 解析モデルと解析条件

数値解析において使用した軟岩の供試体モデルは、横5m、縦10m、奥行き1mの直方体供試体（図-1）である。供試体の上下面に変位速度 $v = 6.25 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ を等変位载荷して、側圧として0, 0.5, 1.0 MPaを与えて二軸圧縮試験（平面ひずみ問題）の数値シミュレーションを行う。この解析に用いた軟岩の構成モデルは、Mohr-Coulombの降伏基準に基づくひずみ軟化モデルで、図-2に示すように粘着力 c と内部摩擦角 ϕ が塑性ひずみの進行とともに初期強度から残留強度へ低下するものである。ケーブルボルト（7本よりブレインストランド、 $\phi = 15.2 \text{ mm}$ ）の打設本数は、0本、3本、5本、9本の4パターンとし、打設間隔は、3本、5本の場合は供試体中央部より2m間隔、9本の場合は、供試体中央部より1m間隔とする。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

3-1 補強効果

供試体の载荷方向の軸ひずみと軸応力、並びにケーブルボルトの平均軸力の関係を図-3に示す。ケーブルボルトのない場合、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、ケーブルボルトを打設することにより軟化減少が緩和され、残留強度においても強度増加がみられる。その効果はケーブルボルトの打設本数が増加するほど大きくなる。次にケーブルボルトに発生した平均軸力をみると、ケーブルボルトの降伏時期と残留状態になる時期に関係が見られる。また、ケーブルボルトに発生する軸力は打設位置周辺の供試体が膨張した場合に大きいことが示される（図-4）。図-3の結果に基づき、 c および ϕ と塑性ひずみとの関係を示すとそれぞれ図-5および図-6のようになる。これらの図からケーブルボルトを打設することにより粘着力 c は見かけ上増加し、その効果

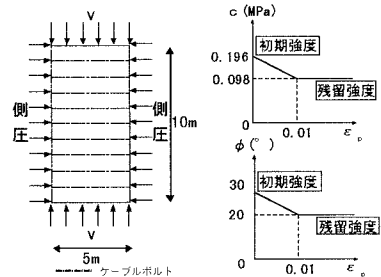


図-1 供試体モデル図 図-2 粘着力と内部摩擦角

表-1 供試体物性値（DⅡ地山相当）

弾性係数 (MPa)	147
ポアソン比	0.35
粘着力 (MPa)	ピーク時 0.196 残留時 0.098
内部摩擦角 (°)	ピーク時 30 残留時 20
密度 (kg/m^3)	2100
引張強度 (MPa)	0.068

表-2 ケーブルボルト物性値

弾性係数 (MPa)	2.0×10^5
引張降伏強度 (kN)	200
ケーブル断面積 (m^2)	1.81×10^{-4}
グラウト付着剛性 (MN/m/m)	100
グラウト付着強度 (MN/m)	0.3

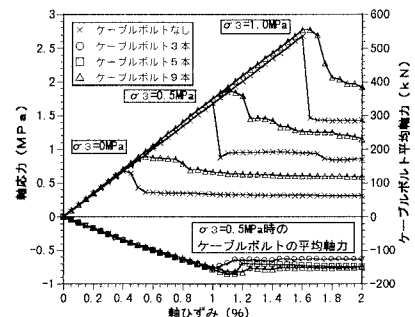


図-3 軸ひずみと軸応力の関係

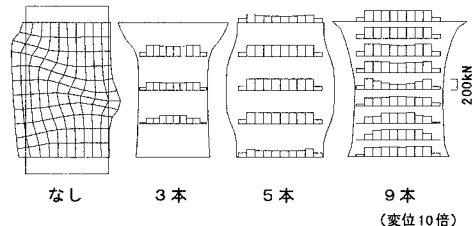


図-4 供試体の変形と軸力分布 ($\sigma_3 = 0.5 \text{ MPa}$)

[キーワード] ケーブルボルト, 軟岩, 補強効果, 数値シミュレーション

[連絡先] 〒755-8611 山口県宇部市常盤台2丁目16-11 山口大学工学部 TEL 0836-35-9936 FAX 0836-35-9429

は打設本数を増加させるほど大きくなる。一方、内部摩擦角 ϕ は、 c に比べて打設本数の増加による改善は明確ではない。

3-2 補強効果のメカニズムの考察

3-1 にケーブルボルト打設による補強効果として、供試体降伏後の見かけ上の強度増加と延性特性の改善があることを示した。次にその効果のメカニズムを考察するため、供試体内部の応力分布の推移に注目する。ここでは供試体の二つの要素（図-7 ①、②）を例にとり考察する。図-8 に応力経路を示す。まず、要素①を見ると、ケーブルボルトを打設した場合には打設しない場合に比べて最小主応力が増加している。そのため、初期降伏時の最大主応力が大きくなり、見かけ上の強度が増加している。また、要素②についても同様の結果が示されている。次に図-9 に要素内の最大せん断ひずみと供試体荷重軸方向ひずみの関係を示す。要素①を見ると、ケーブルボルトを打設しない場合、軸ひずみ1%で降伏した後、最大せん断ひずみが急激に増加しているのがわかる。ケーブルボルトを打設した場合は要素の最大せん断ひずみがケーブルボルトの存在により抑制されてる。また、要素②についても同様の結果が示されている。また、図-10 の最小主応力分布図をから、ケーブルボルトの打設本数が増加するほど最小主応力の増加が大きいことがわかる。以上のようにケーブルボルトを打設することによって供試体内部の最小主応力が増加し、それが供試体の初期強度を増加させ、さらに、降伏後の変形の抑制効果につながっていると思われる。なお、この最小主応力の増加はケーブルボルトの軸力発生とケーブルボルトと供試体材料間の付着応力に起因するものである。したがってケーブルボルトが降伏したり付着が切れたりすれば、上に述べたような補強効果は失われるものと考えられるのでその点には注意が必要となる。

4. 結論

- (1) ケーブルボルトによる補強効果は供試体の強度増加と降伏後の見かけ上の延性特性の改善である。その効果は打設本数を増加させると大きくなる。
- (2) ケーブルボルト打設による地山材料の最小主応力の増加が補強効果の鍵となる。

参考文献：

- 1) 清水，武田：軟岩に対するケーブルボルトの適用性について，トンネル工学研究論文・報告集，第7巻，pp.111-116, 1997. 11.
- 2) 武田，馬杉，清水：ケーブルボルトによる軟岩トンネルの先行補強効果の数値シミュレーション，土木学会第53回年次学術講演会概要集第3部B，210-211, 1998. 10.
- 3) 荒本，武田，中川，清水：軟岩に対するケーブルボルトの作用メカニズムに関する考察，平成11年度土木学会中国支部研究発表

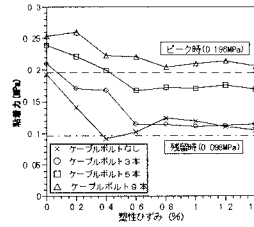


図-5 塑性ひずみと粘着力の関係

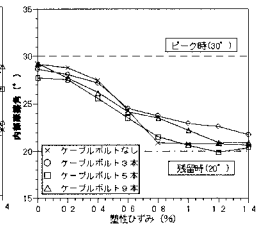


図-6 塑性ひずみと内部摩擦角の関係

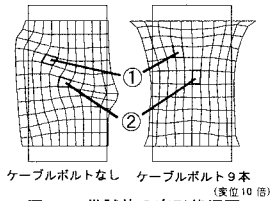
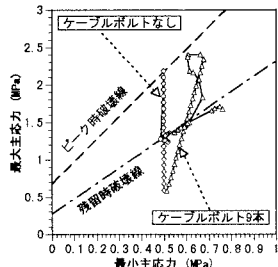
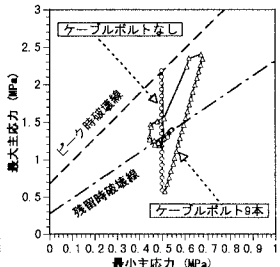


図-7 供試体の変形状況図

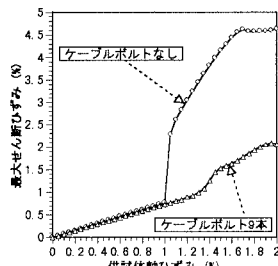


(要素 ①)

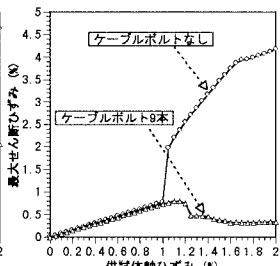


(要素 ②)

図-8 応力経路



(要素 ①)



(要素 ②)

図-9 要素内最大せん断ひずみ

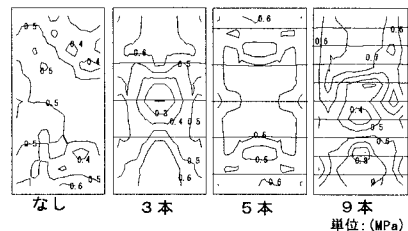


図-10 最小主応力分布図