

III-B126 ケーブルボルトによる不連続性岩盤の先行補強効果の数値シミュレーション

山口大学大学院 学 小島 穰 学 成川 麻里子
山口大学工学部 正 清水 則一

1. はじめに

岩盤を掘削前にケーブルボルトによって先行補強し、空洞本体掘削時の岩盤の安定性を向上させるとともに、支保量の低減が考えられている。筆者らはこれまで、緊張力を与えない全面接着型のケーブルボルトによる岩盤の先行補強について、不連続性岩盤および軟岩地山への適用の可能性とその効果のメカニズムについて、数値シミュレーションを行い考察している^{1), 2)}。

本報告では、不連続性岩盤を対象に、ケーブルボルトの先行補強効果のメカニズムを、要素試験と地下空洞掘削の数値シミュレーションの結果に基づき検討する。数値計算には、個別要素法(UDEC, ITASCA)を用いた。

2. 一軸圧縮試験の数値シミュレーション³⁾

1) 解析条件

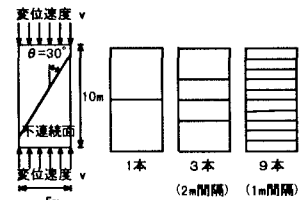
図-1(a)に示す不連続面を有する直方体の供試体(高さ10m×幅5m)について、供試体上下面から変位速度 v で圧縮载荷を行う。なお、解析は平面ひずみ問題とする。岩盤の物性値は、 $E=4.9\text{GPa}$, $\nu=0.2$, 不連続面の物性値は、 k_n (垂直剛性)=1000MPa/m, k_s (せん断剛性)=1000MPa/m, せん断強度=500kN, 摩擦角=45°である。ケーブルボルトには、 $\phi=15.2\text{mm}$ のプレインストランドを用い、グラウトとの付着強度は300kN/mとする。その他の解析条件の詳細は文献3)に示されている。なお、ケーブルボルトは図-1(b)に示すとおり、1本、3本、9本の3パターンで打設する。

2) 結果と考察

図-2に供試体軸応力およびケーブルボルト軸力と軸ひずみとの関係を示す。この図から、ケーブルボルトを打設した場合、不連続面ですべりが生じ始めてケーブルの軸力が増加するとともに、供試体には強度の増加と降伏後の塑性硬化的な挙動が見られる。最終的には、ケーブルの降伏と同時にケーブルボルトのない場合と同様の完全塑性的な挙動を示すが、供試体の最終強度は増加している。

図-3および図-4に、それぞれ、不連続面に発生するせん断応力および垂直応力と供試体軸ひずみとの関係、および、不連続面のせん断変位および垂直変位と供試体軸ひずみとの関係を示す。これらの図から、不連続面がすべり始めると(供試体の軸ひずみ0.07%付近)、不連続面に発生する垂直応力(圧縮応力)およびせん断応力が増加し、不連続面のせん断変位および垂直変位がともに、ケーブルのない場合に比べて、拘束されていることがわかる。

以上の結果、ケーブルボルトの効果のメカニズムは次のように考えられる。すなわち、ケーブルボルトは、不連続面のすべり、あるいは、開口によって軸力を生じ、その反力として不連続面の垂直応力を増加させる。その結果、不連続面の摩擦抵抗に基づくせん断強度が増加し、岩盤の見かけの強度が改善されるのである。



(a) 一軸圧縮試験供試体 (b) ケーブルボルト打設位置
図-1 一軸圧縮試験の解析モデル

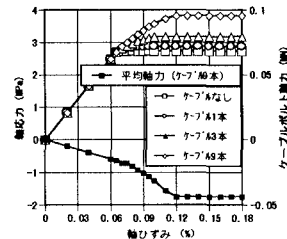


図-2 供試体軸応力・ケーブルボルト軸力と軸ひずみの関係

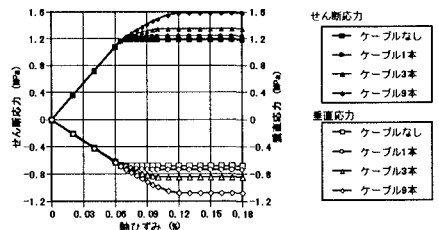


図-3 不連続面のせん断応力・垂直応力と供試体軸ひずみの関係

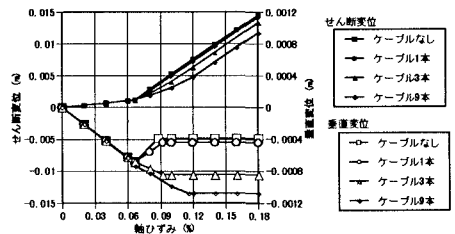


図-4 不連続面のせん断変位・垂直変位と供試体軸ひずみとの関係

キーワード: ケーブルボルト, 不連続性岩盤, トンネル, 事前補強, 数値解析

〒755-8611 山口県宇部市常盤台2557 TEL(0836)35-9429

3. 地下空洞掘削シミュレーション

ここでは、地下空洞周辺岩盤の先行補強のためにケーブルボルト打設するケースを想定して、ケーブルボルトの効果を調べると同時に、前章で述べたメカニズムの妥当性を確認する。

1) 解析条件

図-5に示すように4つの卓越した不連続面①～④が存在する岩盤に、高さ40m幅20mの地下空洞を掘削する。ケーブルボルトは、φ15.2mmのプレインストランドをダブルで用い（1孔につき2本）、図-5に示すように、作業坑から空洞壁面位置で2m間隔となるように8本打設する。空洞掘削はケーブル打設後、アーチから順次7段に分けてシミュレートする。解析に用いる物性値を表-1に示す。

2) 結果と考察

図-6は、ケーブルボルトを打設しない場合の、第6掘削時の空洞の変位である。3つの不連続面①～③と空洞壁面に囲まれた岩盤ブロックがすべり出している様子が分かる。一方、図-7は、ケーブルボルトで先行補強を行ったケースである（岩盤ブロック周辺を拡大している）。この図から、壁面のブロックはケーブルボルトによって、その挙動を拘束されていることがわかる。図-8はそのときのケーブルボルト軸力分布である。不連続面との交点で大きな軸力を発生している。さらに、図-9および図-10にケーブルボルトと交差する不連続面上の点Aの応力状態と、せん断応力・せん断変位関係を示す。ケーブルがない場合に比べると、不連続面の垂直応力が増加することでせん断強度が増し、せん断変位も拘束されていることがわかる。

4. まとめ

本報告では、不連続性岩盤に対するケーブルボルトの先行補強効果のメカニズムを示し、空洞掘削シミュレーションでその妥当性を検討した。

参考文献

- 1) 清水 ほか. トンネル工学研究論文・報告集, 7, p. 111, 1997.
- 2) 清水 ほか. 第10回岩の力学国内シンポジウム論文集, p. 539, 1998.
- 3) 成川 ほか. 平成10年度土木学会中国支部研究発表会, III 部門, 1998.

表-1 解析パラメータ

岩盤基質部物性値	
弾性係数 (MPa)	4900
ポアソン比	0.25
粘着力 (MPa)	2.49
摩擦角 (度)	50
密度 (kg/m ³)	2900
引張強度 (MPa)	1.616

不連続面物性値

垂直剛性 (MPa/m)	1000
せん断剛性 (kN/m)	1000
粘着力 (MPa)	0
摩擦角 (度)	35
引張強度 (MPa)	0

ケーブル・グラウト物性値

ケーブル弾性係数 (MPa)	20000
ケーブル引張降伏強度 (kN)	424
グラウト付着剛性 (MN/m/m)	7000
グラウト付着強度 (MN/m)	0.5

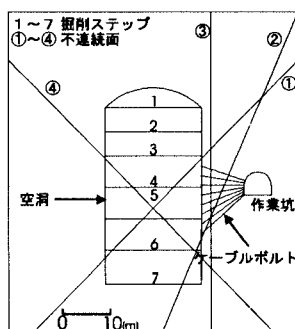


図-5 解析モデル図

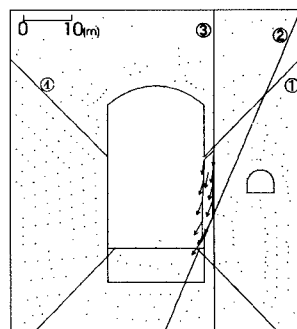


図-6 ケーブルボルトなしの場合の空洞の変位挙動

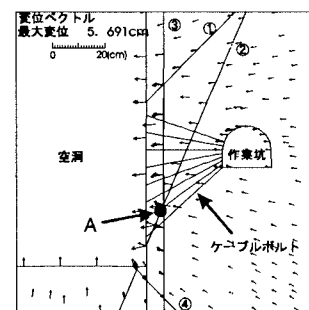


図-7 先行支保を行なった場合の変位挙動 (ケーブルボルト打設位置周辺拡大図)

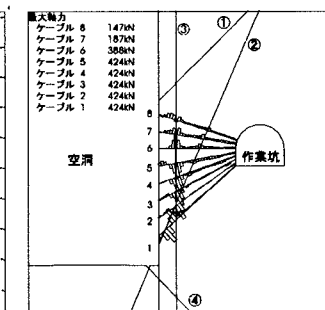


図-8 ケーブルボルト軸力分布図 (ケーブルボルト打設位置周辺拡大図)

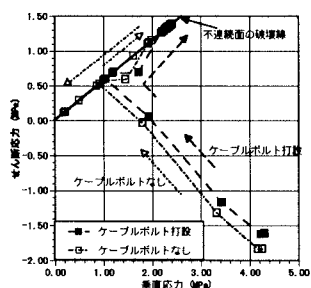


図-9 不連続面上の点Aにおける応力経路(第6掘削時)

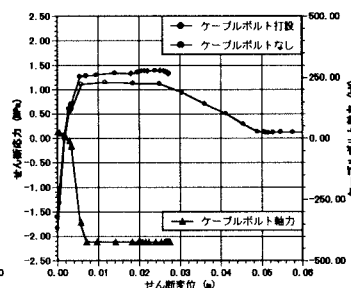


図-10 点Aにおけるせん断変位とせん断応力及び、ケーブルボルト軸力の関係(第6掘削時)