

## ケーブルボルトによる不連続岩盤の補強効果について

山口大学大学院 学 ○成川麻里子 小島穰  
山口大学工学部 正 清水則一

### 1. はじめに

トンネルや地下空洞の建設においてコストの低減と建設の合理化が重要課題の一つとして認識されている。その課題を解決するためには新しい支保・補強工法の検討が必要と考えられ、緊張力を与えない全面接着型のケーブルボルト工法が注目されるようになった。しかし、我が国においては緊張力を与えない全面接着型のケーブルボルトの適用例はほとんどなく、その効果のメカニズムの解明は重要な課題である。筆者らはこれまでケーブルボルト工法に関する調査と数値解析を行なっている。

本研究ではケーブルボルトによる不連続面の補強効果のメカニズムを考察するために、いくつかの不連続面もモデルに対して数値解析を行う。解析には、個別要素法の解析コード UDEC (Universal Distinct Element Code)を用いた。

### 2. 一面せん断試験の結果

ケーブルボルトの打設角度による不連続面の補強効果の違いを検討するために、一面せん断試験の数値解析を行なった。

一面せん断試験の解析モデルを図-1に、数値解析結果を図-2に示す。図-2から、不連続面のせん断変位によって、ケーブルボルトに引張軸力が発生するように打設すると不連続面のせん断応力は増加し、ケーブルボルトに圧縮軸力が発生するように打設すると不連続面のせん断応力は減少することがわかる。

### 3. 一軸圧縮試験による不連続面の補強効果の検討

次に、ケーブルボルトによる不連続面の開口抑制効果を検討し、補強効果のメカニズムを考察するために、一軸圧縮試験の数値解析を行なった。ケーブルボルトは、その軸力の発生によって不連続面を抑制する効果があるとされている。

#### 1) 解析モデル

解析に用いるモデルは不連続面を有する硬岩であり、材料モデルの力学定数として日本道路公団のトンネル地山区分 B 地山のパラメータを与える。不連続面は、a モデル（不連続面が完全塑性的な挙動を示す）と ac、ar モデル（不連続面がひずみ軟化的に挙動する）の3つのモデルを適用する。解析パラメータを表-1に示す。一軸圧縮試験の供試体は縦10m×横5mの直方体とし（図-3(a)）、ケーブルボルトは1本、3本、9本の3つのパターンで打設する（図-3(b)）。圧縮载荷は、供試体上下面に変位速度  $v$  を与える変位制御方式である。

#### 2) 解析結果と考察

図-4に a モデル、図-5に ac モデル、図-6に ar モデルの垂直载荷方向の軸応力・ケーブルボルト軸力と軸ひずみの関係を示す。図-4から、ケーブルボルトがない場合は、不連続面の応力がその強度に達した後すべりを生じ、完全塑性的な挙動を示している。一方、ケーブルボルトを打設した場合は、不連続面のすべりが生じた後に応力の増加が見

表-1 解析パラメータ

(a)岩盤（地山等級 B）	
弾性係数 (MPa)	4900
ポアソン比	0.25
粘着力 (MPa)	2.49
摩擦角 (°)	50
密度 (kg/m <sup>3</sup> )	2500
引張強度 (MPa)	1.62
(b)ケーブル・グラウト	
ケーブル弾性係数 (MPa)	200000
ケーブル引張降伏強度 (MN)	0.2
ケーブル圧縮降伏強度 (MN)	0.2
ケーブル直径(7本より練)(mm)	15.2
グラウト付着剛性 (MN/m)	6500
グラウト付着強度 (MN)	0.3
(c)不連続面	
垂直剛性 (MPa/m)	1000
せん断剛性 (MPa/m)	1000
粘着力 (MPa)	0.5
摩擦角 (°)	45
引張強度 (MPa)	0

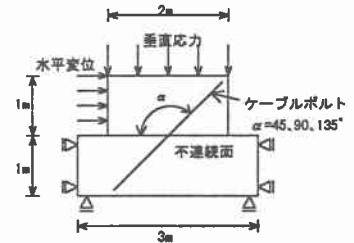


図-1 一面せん断試験の解析モデル

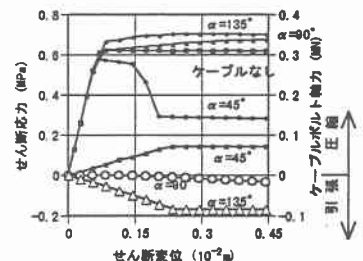


図-2 一面せん断試験の結果

られ、ケーブルボルト軸力の増加は、不連続面にすべりが生じた後急激に大きくなっている。これは、ケーブルボルト軸力によって不連続面のすべりが抑制され、結果的に供試体の見かけの強度が増加するものと考えられる。そして、ケーブルボルトが降伏あるいは付着が切れると、不連続面を抑制する傾向は小さくなり、やがて完全塑性的な挙動を示す。また、図-5および図-6から、acモデルやarモデルのように不連続面がひずみ軟化的な挙動を示す場合も、ケーブルボルトを打設することによって、不連続面のピーク及び残留軸応力を増加させることがわかる。

次に、図-4や図-5、図-6のような挙動がなぜ生じるのか、そのメカニズムを考察する。aモデルを用いた解析結果から、図-7に、不連続面に働くせん断応力および垂直応力と軸ひずみの関係を示す。この図から、ケーブルボルトを打設することによって、不連続面にすべりが生じた後の、不連続面のせん断応力および垂直応力が増加していることがわかる。一方、図-8は不連続面の垂直変位およびせん断変位と軸ひずみ関係を示す。この図から、ケーブルボルトがない場合に比べて、ケーブルボルトを打設することによって、不連続面のすべりが生じた後の不連続面のせん断変位や垂直変位は小さくなることわかる。これらの図から、ケーブルボルトを打設することによって、不連続面のすべりや開口を抑制する応力が発生し、不連続面の開口挙動を小さくなることわかる。したがって、ケーブルボルトには不連続面の開口抑制効果があると考えられる。また、ac、arモデルに対しても同様の結果が得られた。

以上のことから、ケーブルボルトによる不連続面の補強効果のメカニズムは次のように考えられる。ケーブルボルトには不連続面の開口を抑制したことによって張力が生じ、その反力として、不連続面の垂直方向の応力度は増加する。その垂直応力の増加によって、不連続面の摩擦抵抗が大きくなりせん断強度が増加する。その結果として、岩盤の見かけの強度が高まると考えられる。

4. まとめ

本研究の解析結果から、ケーブルボルトは、その引張軸力の発生によって、不連続面の開口を抑制し、せん断強度を高める効果があると考えられる。

参考文献 1)清水他,トンネルと地下, vol.28, no.4, 1997, p43

2)清水・武田,トンネル工学研究論文・報告集, vol.7,1997, p111

3)清水他,第10回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, 1998, p539

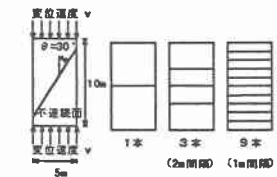


図-3 一軸圧縮試験の解析モデル

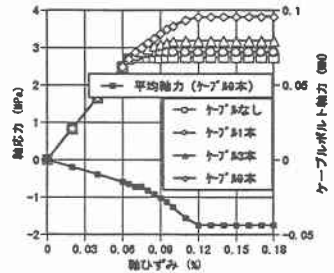


図-4 軸応力と軸ひずみの関係 (aモデル)

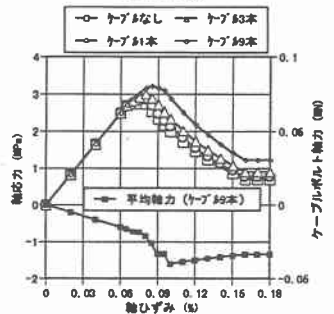


図-5 軸応力と軸ひずみの関係 (acモデル)

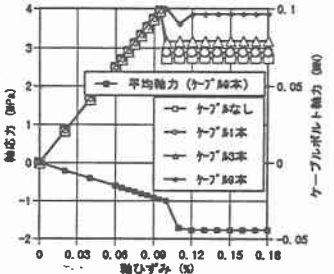


図-6 軸応力と軸ひずみの関係 (arモデル)

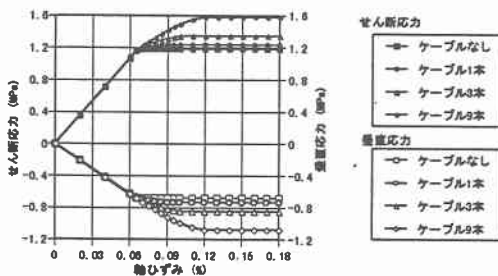


図-7 不連続面に働くせん断応力・垂直応力と軸ひずみの関係 (aモデル)

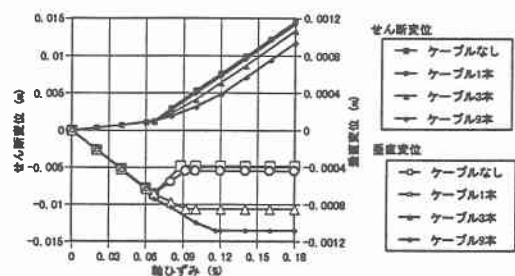


図-8 不連続面の垂直・せん断変位と軸ひずみの関係 (aモデル)