

ケーブルボルトによる地下空洞岩盤の先行補強に関する現場実験～数値解析による評価～

山口大学大学院 学 岩崎 進一郎 学 深光 良介  
 山口大学工学部 正 清水 則一 学 星野 貴史  
 電源開発 正 柏柳 正之 正 鳥羽瀬 孝臣  
 大成建設 正 伊藤 文雄

1. はじめに

地下発電所や石油地下備蓄施設などでは、地下岩盤内に大断面の空洞が建設され、岩盤不良部では空洞掘削後に発生する岩盤の変状に対して、事後に施される支保工や補強工の負担が極めて大きくなる。掘削後の支保の負担を軽減し、建設コストの縮減を目指し、筆者らは、全面接着型のケーブルボルト工法<sup>1)</sup>に着目し、ケーブルボルトによる岩盤の先行補強に関する現場実験を行った<sup>2)-5)</sup>。本報告では、数値解析を用いて実験結果を評価する。

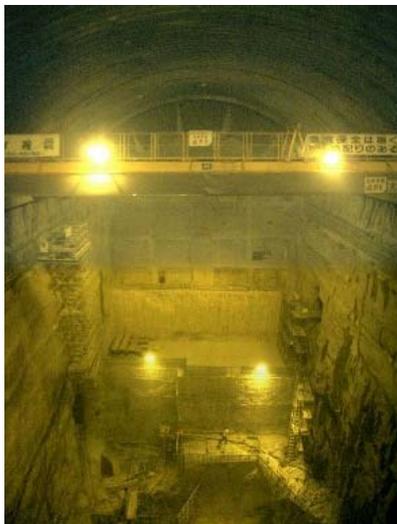


写真1 実験を行った地下空洞

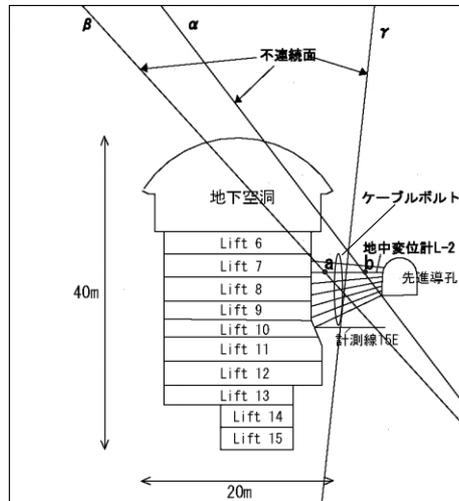


図1 解析モデル図

2. 地下空洞における数値シミュレーション

まず、現場実験を行った地下空洞を個別要素法<sup>6)</sup>を用いてモデル化し、現場実験と同じ変位が再現される力学パラメータを推定する<sup>7)</sup>。そして、そのパラメータを入力して、ケーブルボルトが打設されない場合の岩盤の挙動を数値解析によって求め、ケーブルボルトを打設した場合と比較する。

2.1 岩盤変位の比較

空洞掘削解析では、実験現場で実際に行われた掘削手順に基づいて、盤下げLiftを考慮した逐次掘削を行う。図1に解析モデルを、表1に解析パラメータを示す。空洞の大きさは、高さ40m×幅20mである。図に示す不連続面は、ボアホールテレビにおいて確認された顕著な不連続面<sup>5)</sup>を表している。図2にケーブルボルトを打設したD断面において、設置した地中変位計L-2の岩盤変位の現場計測変位を示す(図中)。図2には、シミュレーションによって再現した変位を示している(図中)。解析値と計測値は、よい一致を示している。また、同図には、ケーブルボルトを打設しなかったと仮定して、数値解析によって得た変位を併わせて示している(図中)。図2よりケーブルボルトを打設した場合と打設していない場合とでは、内空壁面から約2.5mの範囲で変位に大きな差が出ている。これは、卓越した不連続面による影響であると考えられ、ケーブルボルトは、不連続面の挙動を抑制していることが分かる。また、計測線15Eについてもケーブルボルトを施工した場合と、しない場合に対して岩盤変位を比較

表1 解析パラメータ

(a) 岩盤基質部

ヤング率	MPa	11900
ポアソン比		0.25
体積弾性係数	MPa	7940
せん断弾性係数	MPa	4760
密度	kg/m <sup>3</sup>	2800

(b) ケーブルボルト

ケーブル弾性係数	MPa	2.0E+05
ケーブル密度	kg/m <sup>3</sup>	7800
グラウト付着剛性	MN/m/m	100
グラウト付着強度	MN/m	0.4

(c) 不連続面

不連続面				
鉛直剛性	MPa/m	1.0E+06	1.0E+05	1.0E+04
せん断剛性	MPa/m	1.0E+06	1.0E+05	1.0E+04
粘着力	MPa	0	0	0
内部摩擦角	°	35	35	35

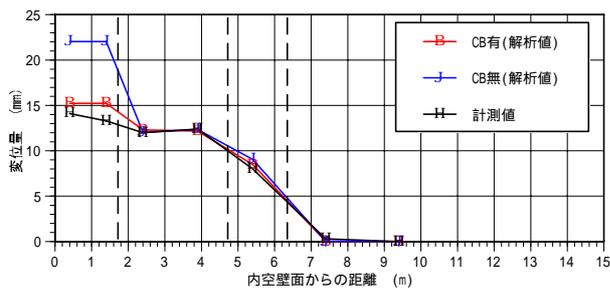


図2 岩盤変位比較図 (地中変位計L-2)

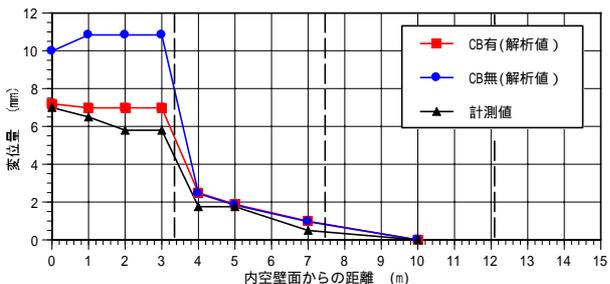


図3 岩盤変位比較図 (計測線15E)

キーワード: ケーブルボルト, 先行補強効果, 地下空洞, 現場実験, 数値解析

連絡先: 〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1 山口大学大学院理工学研究科社会建設工学専攻 岩崎 進一郎

TEL 0836(85)9334 e-mail:iwasaki@rock.civil.yamaguchi-u.ac.jp

する（図3）. 図3より計測線 15E では、内空壁面から約 3.5m の範囲で両変位に大きな差がみられる. これは、不連続面 による影響と考えられ、ケーブルボルトが不連続面 の挙動を抑制しているといえる. 以上のことから、計測線 L-2, および 15E とともにケーブルボルトによる岩盤変位の抑制効果が示された.

2.2 応力経路とケーブルボルト軸力の評価

不連続面とケーブルボルトの交点の最も地下空洞壁面側を a 点、空洞壁面から最も深部の点を b 点として（図1 参照）、不連続面上の垂直応力、せん断応力、およびせん断変位を求め、ケーブルボルトを打設した場合と打設していない場合の比較を行う.

まず、図4 および図5 に不連続面 a 点および b 点における応力経路を示す. a 点では、ケーブルボルトを打設した場合は、応力は一旦、破壊線には達するものの、ケーブルボルトを打設しない場合に比べ垂直応力、およびせん断応力の低下が抑制されている. 一方、b 点においては、両者の差は、それほどみられない. また、図6 および図7 に示した a 点および b 点に対するせん断変位と垂直応力の関係においては、盤下げが進むにつれ、せん断変位にケーブルボルトを打設した場合と打設していない場合で大きな差が出ている. 特に空洞壁面に近い a 点ではケーブルボルトを施工することによってせん断変位が約 10mm 抑制されている. また、図8 および図9 に a 点および b 点に対するケーブルボルト軸力と不連続面上の垂直応力との関係をそれぞれ示す. a 点においては、不連続面上の垂直応力はケーブルボルトの軸力が増加することによって、ケーブルボルトを打設しない場合の最終垂直応力より大きい値となっている. すなわち、ケーブルボルトによって、不連続面上の垂直応力が増加し、それが摩擦抵抗の増加に結びつくことが分かる.

以上のことより、ケーブルボルトによる先行補強は地下空洞周辺岩盤の動きを拘束し、ゆるみ領域の発生を抑制する効果があると考えられる.

3. まとめ

本実験においては、ケーブルボルトによる先行補強の効果は空洞壁面付近で顕著に現れ、そのことが岩盤のゆるみを抑制し、地下空洞掘削時の岩盤の安定性の向上が図れたものと考えられる. 今後は、岩盤のゆるみの抑制効果に対する定量的評価が課題である.

参考文献

- 1) 清水則一：ケーブルボルト工法による地下空洞岩盤の先行補強，電力土木，No.275，pp.1-7，1998.
- 2) 清水則一，柏柳正之，鳥羽瀬孝臣，伊藤文雄：ケーブルボルトによる地下空洞の先行補強に関する現場実験について，第31回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，pp.206-210，2001.
- 3) 岩崎進一郎，深光良介，清水則一，柏柳正之，鳥羽瀬孝臣，伊藤文雄：地下空洞におけるケーブルボルトによる岩盤の先行補強に関する現場実験，第53回土木学会中国支部研究発表会概要集，pp.315-316，2001.
- 4) 深光良介，岩崎進一郎，清水則一，柏柳正之，鳥羽瀬孝臣，伊藤文雄：地下空洞のケーブルボルトによる先行補強に関する現場実験，第56回土木学会年次学術講演会講演概要集，pp.88-89，2001.
- 5) 柏柳正之，棚瀬大爾，原田円，清水則一，伊藤文雄：先行補強した大規模地下空洞の掘削時亀裂挙動について，第22回西日本岩盤工学シンポジウム論文集，pp.41-45，2001.
- 6) ITASCA Consulting Group：UDEC，Version3.0，Users Manual
- 7) 深光良介：ケーブルボルトによる地下空洞岩盤の先行補強に関する現場実験と結果の評価，山口大学大学院理工学研究科修士論文，2002.3.

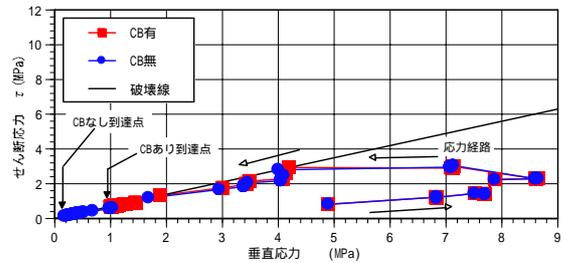


図4 応力経路 a 点

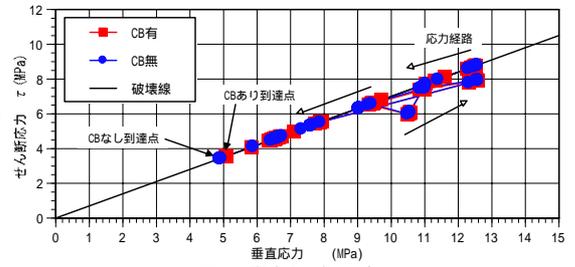


図5 応力経路 b 点

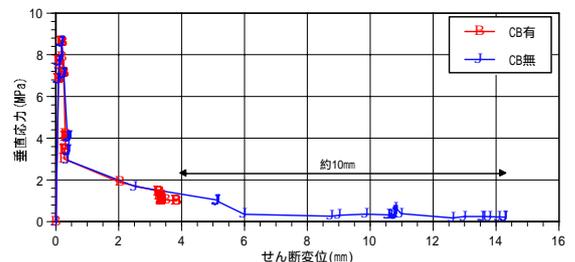


図6 せん断変位と垂直応力の関係 a 点

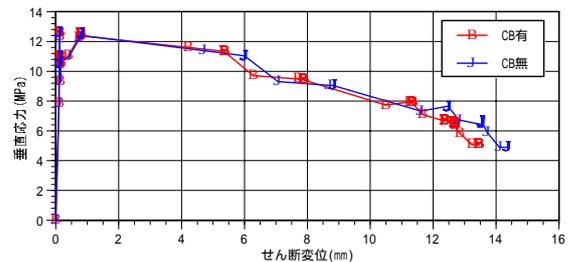


図7 せん断変位と垂直応力の関係 b 点

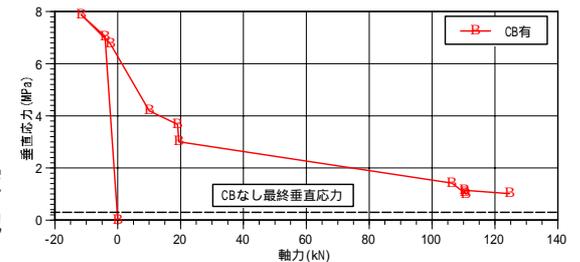


図8 ケーブルボルト軸力と垂直応力 a 点

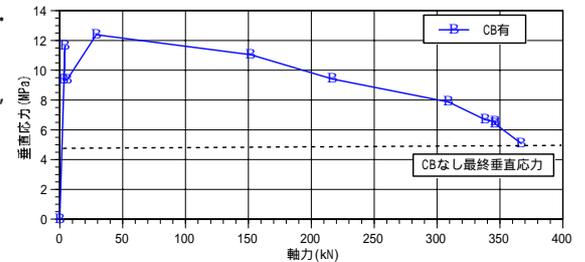


図9 ケーブルボルト軸力と垂直応力 b 点