

III-B 97 PC鋼線による不連続面の補強効果に関する解析的検討

大林組 正会員 木梨秀雄 正会員 天野 悟 正会員 三上哲司
 大林組 正会員 田中達也 正会員 吉岡尚也 正会員 藤原紀夫

1. はじめに

地下空洞掘削時における岩盤の安定性に影響を及ぼす要因として、岩盤内の不連続面の存在が挙げられる。岩石自体と比較して不連続面の強度は小さく変位を生じやすいため、地下空洞掘削時には岩盤補強工により不連続面の挙動を最小限に抑える必要がある。本研究では、地下発電所程度の大規模地下空洞を対象とした掘削解析を実施し、空洞の安定性について検討した。その際、PC鋼線を用いた2タイプの岩盤補強工に着目し不連続面に対する補強効果について検討した。それらは全面接着式のケーブルボルトおよびプレストレスを利用する先端定着方式のPSアンカーである。以下に、不連続性岩盤内の大規模地下空洞におけるケーブルボルトとPSアンカーの補強効果を個別要素法により解析した結果について述べる。

2. 解析方法

解析において不連続面の特性を考慮するため、2次元個別要素解析コードUDEECを用いた。UDEECには、ケーブルボルト等に発生するせん断応力が定着材を介した岩盤とケーブル材料間の相対変位に比例して発生するものとして解析できる機能を有している。したがって、ケーブルボルトやPSアンカーを現実に近い形で考慮できる。ケーブルボルトとPSアンカーの作用機構を再現するためのモデルを図-1に示す。図-1のようにPSアンカーの場合両端点に節点を設け、各節点には岩盤要素との間にばねおよびスライダを設定する。プレストレスは、両端点間のばねに与える。一方、ケーブルボルトの場合は全面接着方式であるので、図-1に示すように複数の節点を設ける。

つぎに解析において不連続面を考慮するために、原位置調査結果に基づき不連続面の配置をモデル化した。作成した解析モデルを図-2に示す。このモデルでは、比較的大規模な不連続面を想定しその中心を10m間隔で格子状に設定した。不連続面の大きさとしては、空洞の掘削幅程度に相当するトレース長20mを各中心点に与えた¹⁾。不連続面の方向は原位置における調査結果から走向・傾斜を把握し、解析断面における不連続面の傾斜角の確率密度分布を求め、乱数を用い個々の不連続面に設定した。ここでは、神岡鉱山における確率密度分布を用いた²⁾。

今回の解析では、ケーブルボルトおよびPSアンカーを用いる場合に加え、比較のため両者を用いない場合の解析も実施した。これら3ケースにおいては、いずれも吹付けコンクリートを考慮した。解析ステップは初期地圧の負荷、アーチ部・ベンチ部を順次掘削し合計8つである。

解析において、個々のブロックは弾性体としており、神岡岩盤試験場における孔内載荷試験および室内試験の結果から、岩盤の強度・変形特性を設定した。不連続面の力学特性については、神岡岩盤試験場から採取した不連続面の試験結果から入力値を設定した。また、神岡岩盤試験場におけるケーブルボルトの引抜き試験結果から、ケーブルボルトおよびPSアンカーにおける定着材の付着強度やせん断剛性を設定した。解析の入力値を表-1にまとめる。

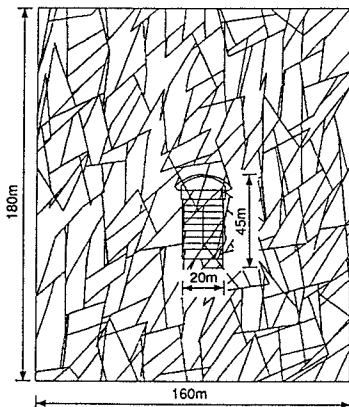


図-1 解析モデル

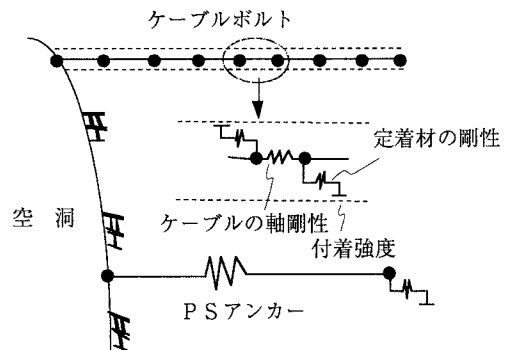


図-2 岩盤補強工のモデル化

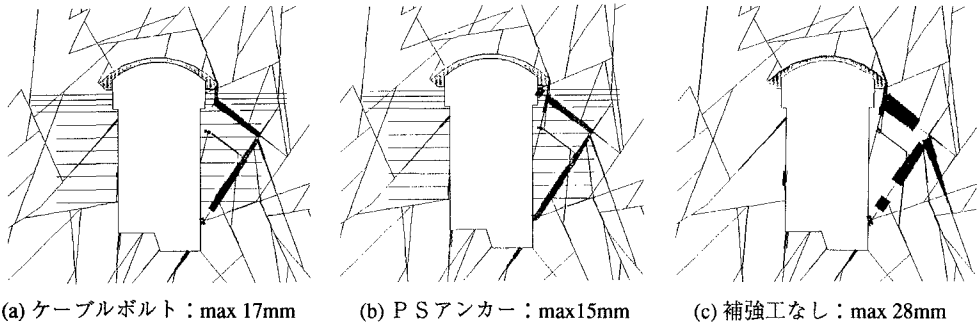


図-3 不連続面のせん断変位の比較

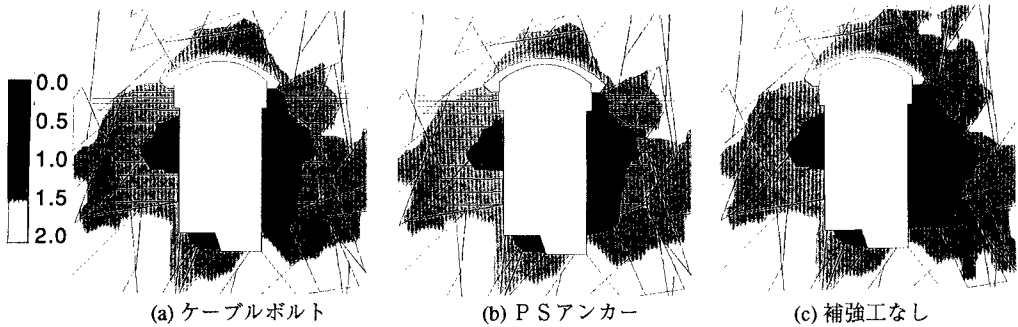


図-4 空洞周辺岩盤の局所安全率の比較

3. 解析結果と考察

各ケースにおける掘削時の不連続面のせん断変位を比較したものが図-3(a)～(c)である。図-3ではせん断変位の大きさを不連続面に沿ったラインの厚さで表している。各ケースにおけるせん断変位の最大値は、それぞれ17mm、15mm、および28mmであった。また、開口変位の最大値はそれぞれ5.3mm、4.5mm、および15mmであり、ケーブルボルトとPSアンカーが不連続面の変位を抑制していることがわかる。このとき、空洞側壁の最大変位は各ケースそれぞれ37mm、35mm、50mmであった。つぎに、空洞周辺の局所安全率(L.S.F.)を比較したものが図-4(a)～(c)である。局所安全率は、モール・クーロンの破壊基準を用いて求めた。この結果、(c)に比べ(a)および(b)では局所安全率が1以下の領域が小さいことがわかる。一方、(a)および(b)における局所安全率の分布は、ほぼ同等である。このような岩盤の局所安全率の向上は、補強工により岩盤に拘束圧が付加され応力状態が一軸状態から二軸状態へと改善されるためと考えられる。

解析結果から、ケーブルボルトおよびPSアンカーにより不連続面の挙動が抑制され、結果的に空洞の安定性が向上することが示された。両者の作用機構を比較すると、PSアンカーはプレストレスにより不連続面に積極的に拘束圧を与えることで岩盤の強度低下や変形を抑制するものである。一方、ケーブルボルトは掘削時に岩盤の変位が生じると初めて軸力が発生する。そして、この軸力によって不連続面の変位を抑制し、結果的に空洞周辺の岩盤の強度低下や変位の増大を抑制する。今回の解析結果によれば、掘削後のケーブルボルトとPSアンカーの最大軸力はともに約70tfでほぼ同等であった。したがって、掘削時に岩盤から空洞に作用する荷重に比べプレストレスは小さく、総合的には両者の支保効果に大差がなかったものと考えられる。

参考文献

- 1) 木梨，白旗，永久，玉野，田中：土木学会第50回年次講演会，p.684～685，(1995)
- 2) 木梨，白旗，永久，玉野，田中：第26回岩盤力学に関するシンポジウム，p.431～435，(1995)

表-1 解析の入力値

岩盤	密度	2,600 kg/m ³
	弾性係数	10,000 MPa
	ポアソン比	0.25
	粘着力	3 MPa
	内部摩擦角	46°
不連続面	垂直剛性	2.04 MPa/mm
	せん断剛性	1.02 MPa/mm
	粘着力	0.1 MPa
	摩擦角	40°
鋼線	密度	6,083 kg/m ³
	弾性係数	190,000 MPa
	引張強度	1,550 kN
定着材	せん断剛性	1.8×10 ³ kPa
	せん断強度	600 kN/m