

不連続性岩盤内の近接空洞の設計に関する実験的研究

九州大学工学部 正 員 江崎哲郎 相川 明 蔣 宇静
 学生員 藤田亮一 ○後藤真一郎
 九州共立大学 正 員 亀田伸裕

1. はじめに

近年、地下の開発利用が大きな注目を集めている。今後の地下利用では多数の空間が錯綜する可能性が大きく、従来のような単一の空間としてではなく、地表や近接する多数の空間相互の影響を考慮したうえで、安定性を検討する必要がある。本論文では、底面摩擦模型実験装置を用いて、水平方向に不連続面が卓越する岩盤内における近接空洞について、空洞の中心間距離を変化させて、空洞の安定性に影響をおよぼすピラーの限界幅を調べた。また、数値解析を用いることにより、影響評価を行った。さらに、ロックボルトの有無による比較を試みた。

2. 近接空洞の安定挙動に関する実験

2.1 実験概要

底面摩擦模型装置および実験手順の詳細は文献¹⁾を参照されたい。ここでは簡単な概要について述べる。材料は、石膏、石灰、砂と水を重量比で1:3:12:3.6の割合で配合したものを使用した。材料の特性値は、一軸圧縮強度が1.5MPa、ヤング率が236.5MPaである。

現地盤で、層厚が空洞上方6層目までが1m、それ以上が2mの不連続性岩盤内に、幅8m、高さ2mの矩形空洞が、深度50mに存在し、これと平行に同じ大きさの空洞を近接して施工する場合を想定する実験を行う。2つの空洞の間のピラーの幅の影響を調べるため、ピラーの幅が0.8D、0.6D、0.4D、0.2D(Dは空洞の幅)である場合について実験を行った。なお、幾何学的縮尺を1/100、力学的縮尺を1/1.5とし、摩擦係数が0.4である摩擦プレートを用いた。実験は、まず単一空洞を掘削し、次に近接した位置に空洞を掘削する手順で行う。

次に、近接空洞におけるロックボルトの効果を調べるための実験を行った。使用するロックボルトのモデルとして、原型との力学的、幾何学的相似を考慮した結果、市販のアルミ箔(箔厚15 μ m、ヤング率 7.0×10^4 MPa、引張強度54.8MPa)を使用した。モデルは、幅 $\times$ 長さを5.5mm $\times$ 32mmとし、模型表面に接着剤で貼付した。

本研究では、ピラー部のロックボルトによる補強が、近接空洞全体の安定性に与える効果を調べるために、ピラー部にロックボルトを打設した場合についての実験と安定機構の考察を行うことにした。

2.2 実験結果

まず、ロックボルトを打設しない場合の実験結果を

述べる。実験より、ピラー幅が0.8D、0.6Dの挙動と0.4D、0.2Dの挙動に大きな違いがみられた。以下に、0.6Dと0.4Dの場合についての破壊状況を述べる。なお、以下においては、初期状態の直接天盤から亀裂の入った最上部の層までを層単位で測った距離を、破壊高さとして論議を進める。

Fig. 1は、既設空洞のみ存在する場合の破壊状況である。メカニズムとしては、岩盤の層自体が空洞部分をスパンとした平面ひずみ梁として挙動した。まず、天盤中央に開口亀裂が生じ、沈下が始まった。さらに、天盤の両端部および底盤にも亀裂が生じた。破壊高さは、空洞幅の0.125倍であった。

Fig. 2は、ピラーの幅を0.6Dとして、既設空洞の近くに近接空洞を掘削した場合の破壊状況を示す。ピラー両側壁面に円弧形の破壊が生じた。一方、ピラー幅が0.8Dと0.6Dの場合は、最終的にはピラーに剥離は多少みられたものの、破壊高さには影響が及ばなかった。

Fig. 3は、ピラーの幅が0.4Dの場合の破壊状況である。0.6Dの場合と同様に、最初は、ピラー両側壁面で円弧形の亀裂が生じ、剥離現象がみられた。その後、円弧状の亀裂がその中央まで進展し、ピラー部が完全に塑性破壊して、支持力を失ってしまったため、両空洞の上方にある天盤の破壊が助長され、大幅な沈下を生じ、破壊高さも9層目まで、つまり、空洞幅の1.5倍に拡大した。

これらのことより、近接した空洞に影響を及ぼしあうピラーの限界幅は、0.4D $\sim$ 0.6Dの間にあることが、本実験によって明らかになった。

次に、ロックボルトを打設した場合の実験結果を述べる。ここでは、ピラー部が破壊した0.4Dの場合に着目し、破壊状況をFig. 4に示す。亀裂が空洞上方2層目まで生じたが、ピラー部が破壊しなかったため、破壊高さは拡大されなかった。このことから、ピラー部の破壊を抑制するロックボルトの効果がみられた。

3. 考察

3.1 ピラー部の局所安全率との比較

Fig. 5は、ピラーの幅が0.6Dと0.4Dの場合の応力を、FEMの弾性解析によって計算し、破壊接近度¹⁾による局所安全率Fを求めた結果である。(左右対称であるため、左半分を示す)局所安全率とは、ピラー部の応力状態によって求めたモール円の半径と、その円心からモール・クーロンの破壊基準線までの垂直距離との比で表

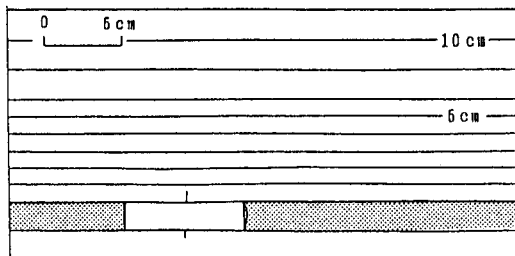


Fig.1 Failure and collapse of roof over single opening (depth=50cm, width=8cm, height=2cm and seam thickness=1cm & 2cm).

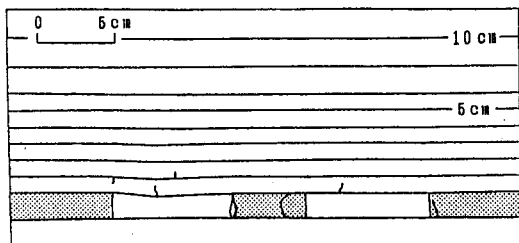


Fig.2 Failure and collapse of roof over double adjacent openings ($b/D=0.6$, others are the same with Fig.1).

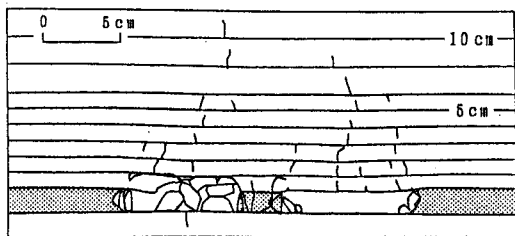


Fig.3 Failure and collapse of roof over double adjacent openings ($b/D=0.4$, others are the same with Fig.1).

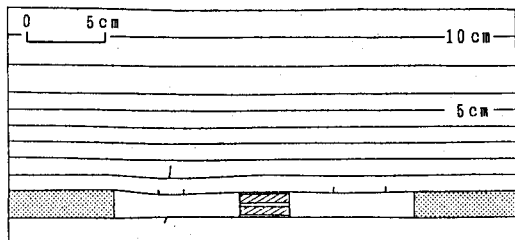


Fig.4 Failure and collapse of roof over double adjacent openings with rockbolts ($b/D=0.4$, others are the same with Fig.1).

したものである。

これによると、0.6Dの場合、ピラーの両側壁面部は $F<1$ のため破壊するものの、中央部は $F>1$ となり破壊しないこと、また、0.4Dの場合、ピラー全体が $F<1$ であるため破壊することが明らかとなり、実験結果とよい一致を示した。

3.2 ロックボルトの打設による補強効果

Fig.6には、直接天盤の沈下曲線を示す。ロックボルトを打設しない場合に比べ、ロックボルトを打設した場合は、沈下がほとんど見られず、ピラー部への打設が効果的であることがわかる。

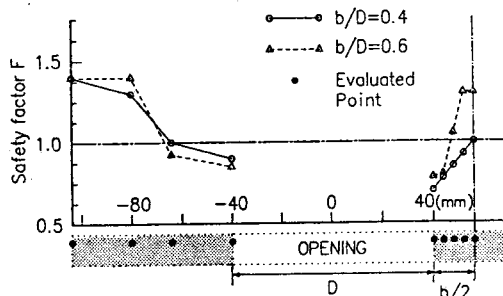


Fig.5 Safety factor on stratified rock mass around double adjacent openings.

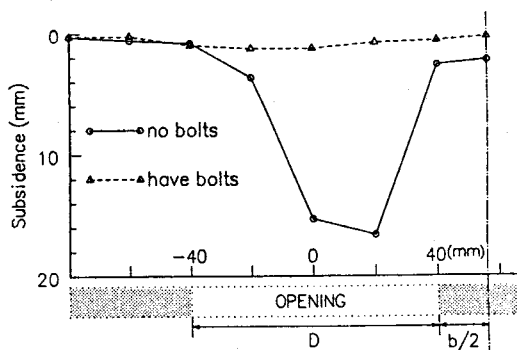


Fig.6 Subsidence of immediate roof.

4. おわりに

今回の実験においては、空洞の安定性に影響をおよぼすピラー幅の限界値は、0.4D～0.6Dの範囲にあることがわかり、また数値解析により、その妥当性を確かめた。さらに、ピラー部の安定が、近接空洞全体の安定性に大きく関与していることを実験により解明した。

今後は、ロックボルトの補強効果を、定量的に把握することを目指していく予定である。

参考文献

- 1) 江崎哲郎他：第25回岩盤力学シンポジウム講演集。