

不連続性岩盤内空洞の安定機構の実験的解明

九州大学工学部
九州大学工学部
九州大学工学部
九州大学工学部

学生会員 ○藤田 亮一
正会員 江崎 哲郎
学生会員 蔭 宇静
正会員 相川 明

1. はじめに

不連続面が卓越する岩盤における空洞の安定性の評価については、そのメカニズムが解明されていない点、連続体解析では正確にその挙動を表現できない点などから、模型実験が有効な一つ的手段になると考えられる。とりわけ、底面摩擦模型実験は、簡便性に優れるだけでなく、幾何学的、力学的相似条件を満足する定量的模型実験であるため有効である。

本論文では、新規に開発された実験装置を用いて、不連続性岩盤内空洞の安定機構について実験を行い、そのメカニズムの解明を試みた。

2. 底面摩擦模型実験概要

底面摩擦模型実験装置の概略図を Fig.1 に示す。実験は、この装置上に幾何学的縮尺が $1/100 \sim 1/200$ の模型を水平に置き、水平方向と重力方向の载荷装置および模型底面の摩擦プレートを用いて空洞周りの応力状態を表現し、挙動を観察する。模型の変形挙動は、装置上方の移動台に吊り下げたビデオカメラによって、ビデオフロッピーに分割画面として記録される。実験後に、その画像データを、画像解析装置を用いて処理する。

不連続性岩盤モデルの材料には石膏、石灰、砂と水を重量比で 1:3:12:3.61 の割合で配合したものを使用した。また、遅延剤としてリグニンスルホン酸ナトリウムを混和した。材料の特性値は、一軸圧縮強度が1.5MPa、ヤング率が236.5MPaとなり、力学的縮尺が $1/6 \sim 1/3$ であることから、圧縮強度4.5~9.0MPa程度の軟岩の特性を示すことがわかった。

3. 実験および結果の考察

不連続性岩盤内の空洞の安定性に及ぼす各層の層厚、地山強度比、不連続面特性による影響を調べるための実験を行った。模型は、前述の材料を利用して間隔が1mおよび2mの水平な不連続面を持つ岩盤において、幅12m、高さ4mの矩形空洞が深度35m、50m、75m等に存在する場合とした。また、不連続面のせん断強度を減らすため、層間に3cm位に分割したテフロンシートを入れた。幾何学的縮尺は $1/100$ で、模型の空洞は幅12cm高さ4cmの大きさとなる。また、空気圧50~100kPa、摩擦係数0.2の摩擦プレートを使用したため模型の力学的縮尺は $1/6 \sim 1/3$ となる。以下に実験結果および結果の考察を述べる（なお、長さの単位は模型の単位cmとする）。

(1) 破壊状況：Fig.2, Fig.3に空洞深度がどちらも50cmで、層厚がすべて2cmの場合と、空洞上方6層目までが1cm、それ以上が2cmである場合の岩盤における破壊の最終状況を示す。一

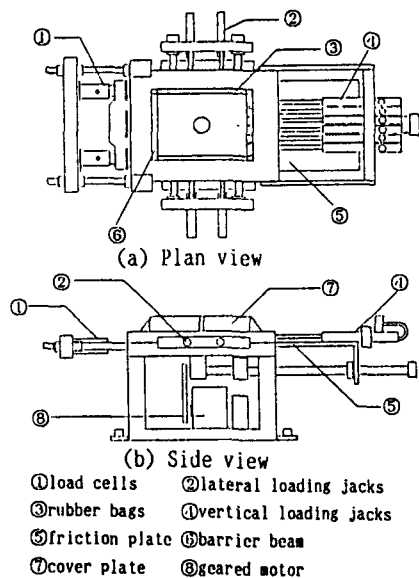


Fig.1 Sketch of new base friction apparatus

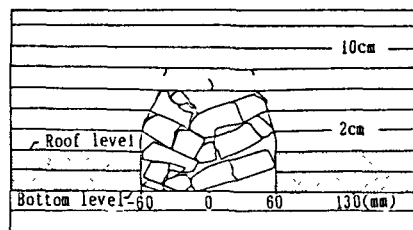


Fig.2 Failure and collapse of roof (Seem thickness=2cm)

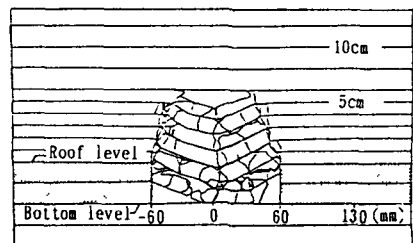


Fig.3 Failure and collapse of roof (Seem thickness=1cm and 2cm)

般に不連続性岩盤では、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する。破壊による亀裂は、直接天盤の中央に引張り開口亀裂として発生し、層を横切るように垂直に上方へ進展した。それと同時に層が空洞内部に崩落し、空洞の隅の部分に曲げによる破壊が生じた。この亀裂は、空洞の隅上方より内側にはいり、空洞隅に向かって進展した。空洞直上の層が破壊に至った後、同じような破壊が次々と上の層に生じていき、破壊の範囲が拡大していった。この時、曲げにより発生する2つの亀裂により分離された部分のスパンは次第に短くなっていき、後述の限界スパン以内の幅となると破壊が収束した。

(2) 層厚の違いによる影響：Fig.2で、破壊は4層目まで生じている（破壊高さ8cm）。そのうち3層までが崩落部分で、4層目は自立している部分である。；破壊高さと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であり（層数×1cm or 2cm）、自立部分を含む破壊領域を表す。自立部分とは亀裂が入っているが崩落はしていない部分で、沈下量の大きさが層厚より小さいかどうかで評価する。Fig.3では崩落が6層目まで生じ、それ以上は破壊しなかった（破壊高さ6cm）。

Fig.4, Fig.5に、これらの各層ごとの沈下曲線を示す。空洞上方になると、沈下量が小さくなることから離層が生じていることがわかる。また、層厚は変位量にほとんど影響しないこと、安定部分では、ほとんど変位がないことが分かった。

(3) 地山強度比と破壊高さ：Fig.5に、実験により得られた地山強度比(R_{s1})と破壊高さ(H_f)の関係を示す。地山強度比は、土被り圧に対する岩の強度の比で表される。この関係図は、地山強度比が約6以下の部分とそれ以上の部分に分けられる。前者は、比較的深部に位置する空洞の場合であり、地表面の影響をほとんど受けない部分である。一方、後者は地表面の影響を受ける比較的浅い部分の空洞を表したもので破壊は地表面まで達している。どちらの場合も、地山強度比が減少するに従い、破壊高さが増加していることが分かる。

(4) 破壊のメカニズム：亀裂が最初に天盤中央部分で発生するという現象は、従来の両端固定梁モデルでは説明がつかない。これは、天盤を支える基礎となる岩盤が集中応力により変形を生じるためであり、支点をバネとした両端弾性固定梁を仮定することにより説明できる。それによると、曲げモーメントは従来の式に修正係数を導入した形となり、その値は中央部が端部より大きくなり、現象と一致する。

またこの仮定から、空洞が安定であるための最小の幅である限界スパンを求めることができる。

$$\alpha_0 = \sqrt{\frac{2 \times m_1 \times \sigma_c}{\Phi \times q_1}}$$

m_1 : 層の厚さ(cm)
 σ_c : 引張り強度(kg/cm²)
 q_1 : 梁の自重(kg/cm)
 Φ : 曲げモーメント修正係数

ここで Φ は、層厚2cmの場合1.37、層厚1cmの場合1.03である。よって、限界スパン α_0 は、層厚2cmのモデルが8.5cm、層厚1cmのモデルが7.0cmとなった。一方、実験におけるスパンを測定するとFig.3が7.5cm、Fig.4が6.3cmであり、安定部分が崩壊しないことを確認できた。

4. おわりに

今回、底面摩擦模型実験装置を用いて、不連続岩盤内空洞の安定機構の一部を解明することができた。今後、さらに実験結果の理論的解釈について研究を進めていく予定である。

<参考文献> 江崎 哲郎他：第23回岩盤力学シンポジウム論文講演集，P.147-151，1991

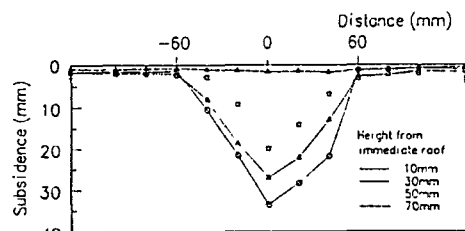


Fig.4 Subsidence of each level of roof (Seam thickness=2cm)

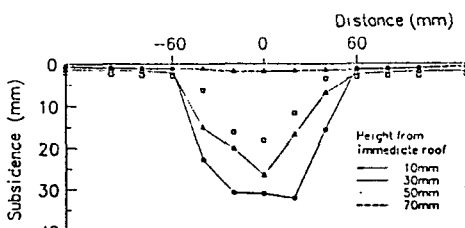


Fig.5 Subsidence of each level of roof (Seam thickness=1cm and 2cm)

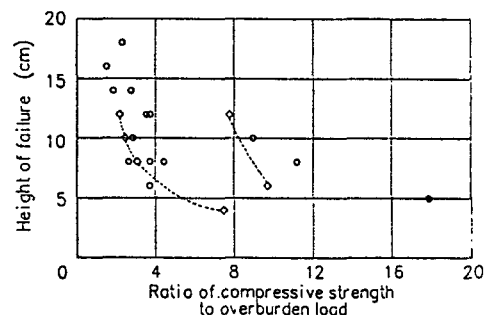


Fig.6 The relation between R_{s1} and H_f