

不連続性岩盤内の空洞の安定性に関する 実験的研究

九州大学工学部	学生会員	○井手 章太郎
九州大学工学部	正会員	江崎 哲郎
九州大学工学部大学院	学生会員	三谷 泰浩
九州共立大学工学部	正会員	亀田 伸裕

1. はじめに

地下空洞の安定性およびその周辺の岩盤の挙動予測には、一般に数値解析や模型実験が用いられる。特に不連続面が卓越する岩盤においては、原型を容易に表現することが可能な模型実験が有効な手段となりうる。とりわけ空気圧付与式の底面摩擦模型実験は、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。

本論文では、この実験に使用する不連続岩盤を想定した模型材料の検討を行い、底面摩擦実験装置を用いて不連続性岩盤内の空洞の安定性およびその周辺の挙動について調べた。

2. 底面摩擦模型実験概要

筆者らが考案、製作した底面摩擦模型実験の装置の概略図を Fig.1 に示す。この装置上に幾何学的縮尺が 1/100~1/200 の模型 (500mm×500mm×25mm) を水平に置く。模型に載荷する応力として、垂直方向においては、重力に相当する応力を模型底面の摩擦プレートおよび外力載荷装置により加圧し、水平方向においては、側方応力に応じて柔らかな載荷面をもつ載荷装置を用いて加圧する。模型の挙動は、装置上方の移動台に吊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、その画像データを画像解析装置¹⁾を用いて数値およびグラフィックで処理する。

3. 不連続性岩盤を想定した模型材料

不連続性岩盤を模擬した石膏主体の模型材料の検討を行った。配合の条件として、第1に、材料の混合が容易であり、型枠に詰め込み易く、材料の分離が少ないこと、第2に、軟岩としての特徴をよく表現できること、即ち底面摩擦模型実験における力学的縮尺が 1/2~1/20 であることから、軟岩の強度 100kgf/cm² を表現するため、模型が 10~20kgf/cm² 程度の強度であり、かつ弾性係数と一軸圧縮強度の比 E/σ_c が 200 前後であること、第3に、強度が経時的に変化しないことが挙げられる。石膏は水と反応して急激な凝結・硬化反応を示すため、遅延剤として、リグニンスルホン酸ナトリウムを、重量比で石膏の 0.5% 添加することにより凝結時間を調節した。また石膏のみの材料では強度が過大となるため、石灰が増加するとを加えることにより強度の低下を図った。この試料で三軸試験を行った結果、石膏：石灰が 1:3~1:5 の試料に関して、強度的には十分なものが得られた。しかし、材料の弾性係数が過大であるので、石膏、石灰の混合試料に標準砂を加え、弾性係数の低下を図った。まず、

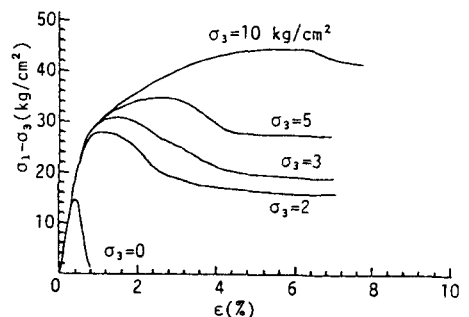
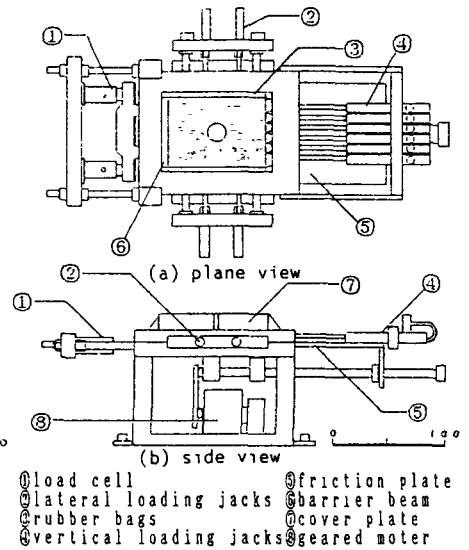


Fig.2 Stress-strain Curves of Model material.

石膏、石灰の重量に対して混合時および型枠に詰め込むときに、分離を生じにくい適切な砂の量を検討した結果、石膏+石灰：標準砂が2:5~1:3が最も適当であった。その結果、石膏：石灰：砂が1:3:12の配合（一軸圧縮強度 $\sigma_s=14.9\text{kg/cm}^2$ 、弾性係数 $E=2365\text{kg/cm}^2$ 、 $E/\sigma_s=217$ ）に決定した。この試料の応力-ひずみ曲線をFig.2に、モールの応力円図をFig.3に示す。その結果、側圧 σ_3 が5~10 kgf/cm^2 の範囲でひずみ軟化・硬化現象を示す材料であること、残留強度とピーク強度との差が小さいこと、強度、弾性係数が適当な値で実験の範囲に対応できることなど初期の目的とする軟岩の特性をよく示す。

4. 模型実験および結果の考察

不連続性を有する岩盤に対して、深度の変化による空洞の安定性の変化を調べる実験を行った。模型は、前述の不連続性模型材料を用い500mm×20mm×25mmの細長い角柱を作製して間隔が2mの水平な層理面をもつ岩盤を想定し、幅12m、高さ4mの矩形空洞が深度12m、50m、100mの位置に存在する場合とした。そのため幾何学的縮尺は1/100とし、空洞は模型内で幅12cm、高さ4cmの大きさで表した。また空気圧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1/2.5となり、原型の一軸圧縮強度は37.3 kgf/cm^2 となる。Fig.4、Fig.5、Fig.6に空洞深度12m、50m、100mの場合の空洞の破壊状況を示す。それぞれの破壊状況を比較すると、いずれも空洞天盤では、空洞隅上方の両端と空洞中央部に亀裂がはいり、層が分離する。その後、次々と同様の亀裂が上層に進展する。しかし、空洞深度12mの場合の亀裂が、空洞とほぼ同じ幅で上部に進展し地表面に達するのに対し、空洞深度50m、100mの場合の亀裂は上層になるほど亀裂で分離される層のスパンは短くなり、破壊の進展は、最終的には台形状の破壊領域を形成して終息する。さらに、天盤部分ほどではないが、空洞下盤でも亀裂の発生が確認される。また、最終的な破壊領域は、空洞深度100mの方が空洞深度50mの場合に比べて大きくなる。このように、空洞の安定性は深度、地表面及び側圧の影響の程度によって状況が異なってくる。また空洞の周辺は、亀裂の進展により初期の状況と異なった二次的状況に至るため、次の破壊への進展を予測することにより安定性を考えなければならない。

5. おわりに

不連続性岩盤を想定した模型材料の開発により、底面摩擦模型実験による不連続性岩盤内の空洞の安定性について、より詳細に検討することができた。

参考文献

- 1) 江崎 哲郎他：第21回岩盤力学シンポジウム論文講演集，pp.246-250，1989

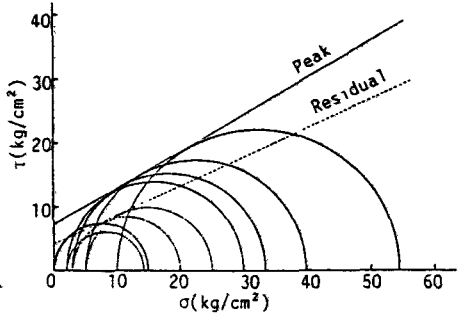


Fig.3 Mohr Circles of Model Materials.

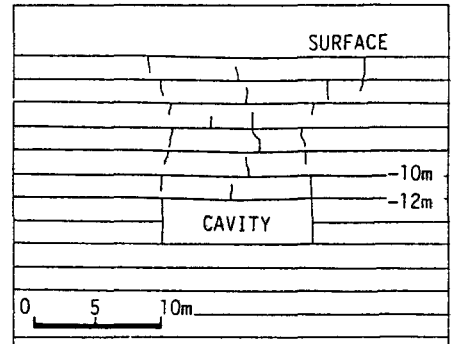


Fig.4 Discontinuous, Depth=12m

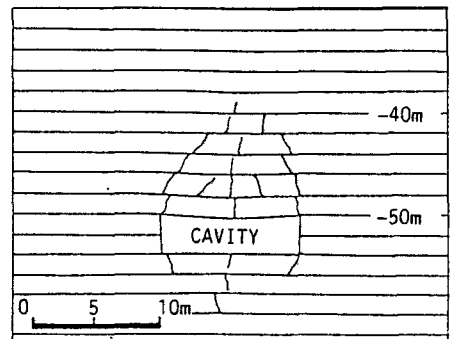


Fig.5 Discontinuous, Depth=50m

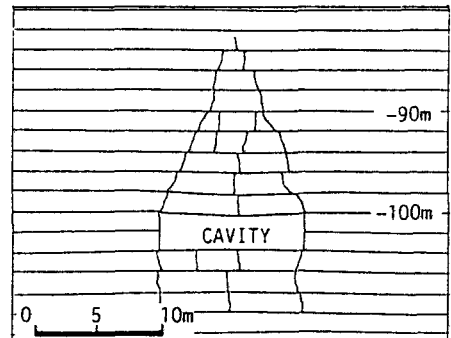


Fig.6 Discontinuous, Depth=100m