

底面摩擦試験による不連続性岩盤内空洞の変形・崩壊挙動の把握

長崎大学工学部 正会員 棚橋由彦 長崎大学工学部 学生員 志田泰崇
長崎大学工学部 学生員 足立順一 長崎大学工学部 学生員 〇杉野秀一

1. はじめに

地下空間として存在するトンネル、地下街、地下鉄駅舎等の岩盤内構造物を取り扱う際には、重力場にある岩盤の挙動を適切に把握・評価しなければならない。本研究では、現時点で他の二次元地盤模型実験装置に比べ、岩盤の挙動を表現する上で最も優れた重力効果模型実験装置であるといわれている底面摩擦試験装置を用いて岩盤構造物設計のための有用な情報を得ることを目的とし、不連続性岩盤内空洞の変形、崩壊挙動把握のために底面摩擦試験を行う。

2. 底面摩擦試験の概要¹⁾

2.1 試験装置の概要

底面摩擦試験は、一定速度で移動する摩擦面上に二次元の縮小地盤模型を水平に設置し、その模型の底面に摩擦を与えることにより重力場を表現し、空洞およびその周辺の地盤の挙動をシミュレートする模型実験である。この実験の特徴は、現地盤との相似則をよく満足する定量的実験であり、モデルの変形・破壊挙動を連続的にかつ視覚的に観察することができることである。

2.2 画像解析システムの概要

模型の破壊挙動は、図-1 に示される画像解析システムによって処理される。この画像解析システムは、大別して 2 つのブロックに分かれる。1 つは、画像を撮影し 8mm ビデオに記録する収録ブロック(図-1(a))で、これは精度を高めるためアクチュエーターを用いてズームレンズを取り付けた CCD カメラを自動的に移動させて模型を分割して撮影する。もう 1 つは再生画面を解析処理する解析ブロック(図-1(b))で、8mm ビデオに収録された画像をパソコンに取り込み、画像処理ソフトを用いて解析作業を行う。そして実験前後の各標点の数値リストおよび変位ベクトル図を出力する。

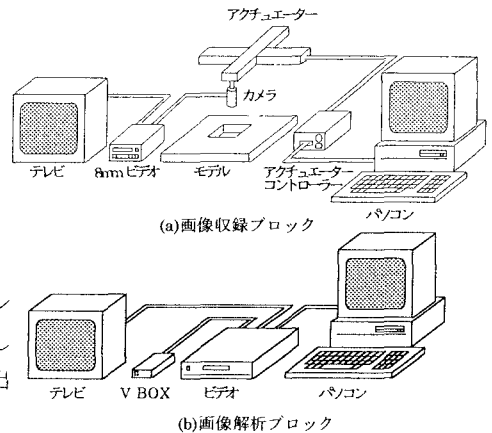


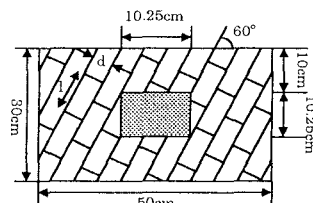
図-1 画像解析システム

3. 実験材料・実験条件

不連続性岩盤のモデル材料には、九州大学で開発された混合試料²⁾(石膏：石灰：標準砂：水を重量比で 1:3:12:3.61 で配合)を用いた。模型は、前述の試料を 600mm×20mm×25mm の型枠を用いて細長い角柱状に作製、整形し、それを装置上にレンガ状に並べて天端との角度が 60° になるような不連続面(層理面)を有する岩盤のモデル(50cm×30cm)を作製した(図-2 参照)。この岩盤中に幅 15.02m、高さ 10.25m の空洞を地表面下 10m に開削した場合を想定した。実験は並べた角柱状ブロックの想定した幅 $d=2, 3, 4$ m と長さ $l=6, 8, 10$ m による縦横比 l/d を 1.5~5.0 と変化させて 8 パターン行った。ここで、幅 d (不連続面間隔) $=2, 3, 4$ m の場合、幾何スケール Λ と空気圧 P_{air} (kgf/cm²) の関係はそれぞれ $(\Lambda, P_{air}) = (100, 0.2), (150, 0.3), (200, 0.4)$ である。な

表-1 不連続性岩盤のモデルと原地盤の力学的特性の関係

	モデル	原地盤
γ (gf/cm ³)	1.6	2.5
σ_c (kgf/cm ²)	16.612	148.345
c (kgf/cm ²)	4.920	43.775
ϕ (deg.)	29.9	29.9
E (kgf/cm ²)	642	5733.06

図-2 不連続性岩盤モデル($\Lambda=100$)

お、用いた諸定数は、原地盤の単位体積重量 $\gamma=2.5\text{gf/cm}^3$ 、模型の厚さ $t=2.5\text{ cm}$ 、模型とプレートとの間の摩擦係数 $\mu=0.35$ である。また、応力スケール $\Sigma=8.93$ であるので、原地盤およびモデルの力学的特性は表-1 に示される関係となった。

4. 実験結果

一例として、長さ $l=10\text{m}$ で幅 $d=2, 3, 4\text{m}$ ($l/d=5.0, 3.3, 2.5$) と変化させた場合の実験結果を写真-1 に示す。また、写真-1(a) $d=2\text{m}$ の変位ベクトル図を図-3 に示す。3 パターンとも空洞天端から右側面にかけて空洞形状を保ったまま不連続面に沿って空洞内側へと変位している。空洞天端においては、左端のブロックは空洞左側面に支えられて変位が小さく、 $d=2\text{m}$ では空洞に関与する 6 列、 $d=3, 4\text{m}$ ではそれぞれ 4, 3 列のブロックがほぼ等しく変位している。その他のブロックは変位していない。地表面は空洞天端と同様に変位しており、 $d=2\text{m}$ では 7 列のブロックが実スケール換算で 166cm 変位している。

これら 3 パターンを比較すると、空洞天端と地表面の変位状況から、幅 d が大きいほど不連続面方向への変位が小さいことがわかる。また、 $d=2, 3\text{m}$ の崩壊後には両方とも空洞右に亀裂が一個所見られた。しかし、 $d=4\text{m}$ のときには亀裂は見られなかった。これらは長さ $l=10\text{m}$ と固定した場合の比較であるが、 $l=6, 8\text{m}$ の場合も亀裂状況は違うものの、同様の結果が得られた。逆に、幅 d を固定し長さ l を $6, 8, 10\text{m}$ と変化させた実験結果の比較としては、画像を見たかぎりではほとんど変わらなかった。

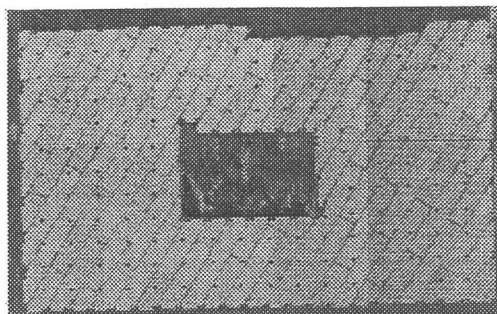
現時点では、岩盤内の不連続面間隔 d が大きいほど、空洞の変形は小さく、 d が小さい場合よりも安定しているといえる。

5. おわりに

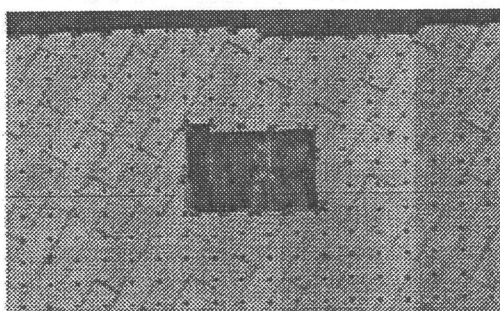
現段階では、実験結果画像の一部を示すだけにとどまった。今後は、全パターンのデータ処理を行い、地下空洞の変形、破壊挙動についての把握を行う。なお、末筆ながら、底面摩擦試験に関し、指導頂いた九州大学・江崎教授、蔣助教に深謝の意を表する。

参考文献

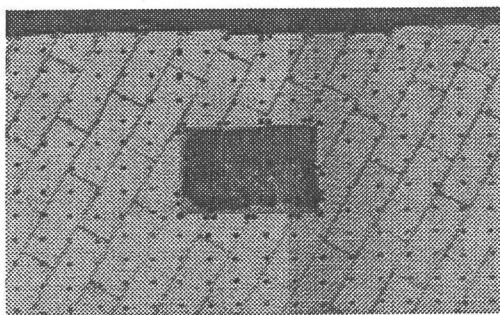
- 1) 西田・江崎・亀田・中川：九大生産科学研究報告，第 74 号，pp.17-24，1983。
- 2) 蔣 宇静：深部地下空洞の力学的安定に関する理論的および実験的研究，九大学位論文，第 6 章 p.119，1993。



(a) $d=2\text{m}$, $l/d=5.0$



(b) $d=3\text{m}$, $l/d=3.3$



(c) $d=4\text{m}$, $l/d=2.5$

写真-1 実験結果 ($l=10\text{m}$)

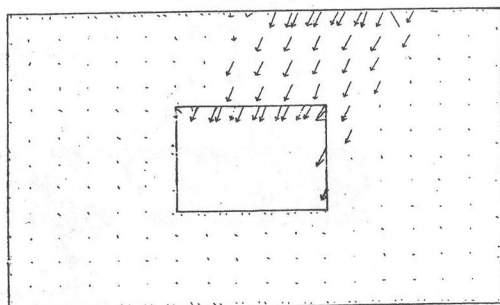


図-3 変位ベクトル図 ($d=2\text{m}$, $l/d=5.0$)