

底面摩擦試験による浅所地下空洞の安定性評価

長崎大学工学部 正会員 棚橋由彦 長崎大学大学院 学生員 熊川貴伯
 長崎大学大学院 学生員 志田泰崇 長崎大学工学部 学生員 ○荒木毅
 九州大学工学部 正会員 江崎哲郎 九州大学工学部 正会員 蔣 宇静

1. はじめに

地下開発などを中心とした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ぬ。このため、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の設計のための有用な情報を与えることを目的として、地下空洞の変形、破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。

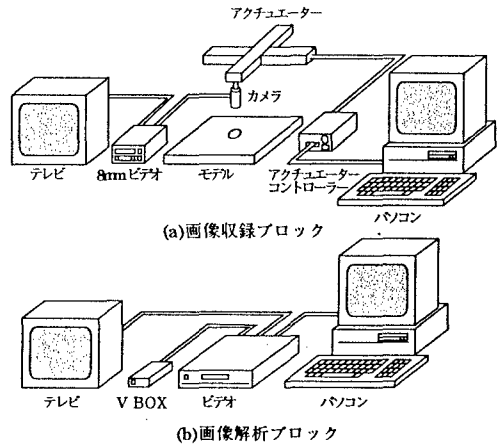


図-1 画像解析システム

3. 実験材料・実験条件

3.1 連続性岩盤モデルの実験材料・実験条件

連続性岩盤のモデル材料には Karlsruhe 大学で開発された混合試料¹⁾(硫酸バリウム:酸化亜鉛:ワセリンを重量比で70:21:9で配合)を用いた。模型は、原地盤で深度が3,5,8,10mの位置に、直径が2.5, 4, 5mの円形空洞が存在する場合をモデル化した。なお、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 $t=2.0\text{cm}$ 、模型とプレートの間の摩擦係数 $\mu=0.7$ 、空気圧 $p_{air}=0.2\text{kgf/cm}^2$ 、幾何スケール $\Lambda=100$ である。これより応力スケール $\Sigma=3.57$ となる。したがって、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。

表-1 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)	2.0	2.5
σ_c (kgf/cm ²)	0.707	2.524
c (kgf/cm ²)	0.195	0.6962
ϕ (deg.)	34.7	34.7
E (kgf/cm ²)	134	478

3.2 不連続性岩盤モデルの実験材料・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1:3:12:3.16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、それを装置上に並べて天端との角度が30°,45°,60°、間隔が2mになるような不連

続面(層理面)を有する岩盤のモデルを作製した。この岩盤中に幅 15m、高さ 2m の矩形空洞を開削した場合を想定した。なお、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 $t = 2.5 \text{cm}$ 、模型とプレートの間の摩擦係数 $\mu = 0.5$ 、空気圧 $p_{air} = 0.2 \text{kgf/cm}^2$ 、幾何スケール $\Lambda = 100$ である。これより応力スケール $\Sigma = 6.25$ となる。したがって、原地盤およびモデルの力学的特性は表-2 に示される関係となった。

表-2 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
$\gamma \text{ (gf/cm}^3\text{)}$	1.6	2.5
$\sigma_c \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$	16.612	103.826
$c \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$	4.920	30.750
$\phi \text{ (deg.)}$	29.9	29.9
$E \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$	642	4015

4. 実験結果

写真-1 に連続性岩盤モデルで空洞半径 $r = 5\text{m}$ 、空洞深さ $H = 3\text{m}$ ($r/H = 1.67$) の場合の実験結果を示す。この場合 (c, ϕ) = $(6.962 \text{tf/cm}^2, 34.7^\circ)$ である。また、モデルには円孔縁およびその周辺の破壊挙動を観察するために、空洞半径 r を地表面に到達するまで 1.0m づつ増分させた同心円群上に標点を打った。その位置は、空洞中心水平軸から半時計回りに角度を θ として、 $\theta = \pm 87.5^\circ, \pm 67.5^\circ, \pm 42.5^\circ, \pm 22.5^\circ, \pm 2.5^\circ$ である。さらに、壁面奥行き尺度として ρ/r (r は空洞半径 $\rho/r = 1$ は円孔縁を表す) を用いる(図-3 参照)。写真-1 を見て分かるように $r/H = 1.67$ の場合は、天端部 ($\theta = 42.5^\circ \sim 87.5^\circ$) で円孔縁から $\rho/r = 1 \sim 6/5$ を越える位置まで亀裂が発生し、破壊した。一方、体積力法による解析結果では空洞天端で引張破壊が生じ、空洞側壁部 ($\theta = -42.5^\circ \sim -42.5^\circ$) でせん断破壊が発生するが、いずれも $\rho/r = 6/5$ までは達しないという結果が得られている³⁾。図-2 は、空洞半径 $r = 5\text{m}$ 、空洞深さ $H = 3\text{m}$ ($r/H = 1.67$) の場合の連続性岩盤モデル地盤内の変位ベクトル(写真-1 の四分円の範囲)を示したものである。図-2 を見て分かるように天端は大きい鉛直変位を示している。

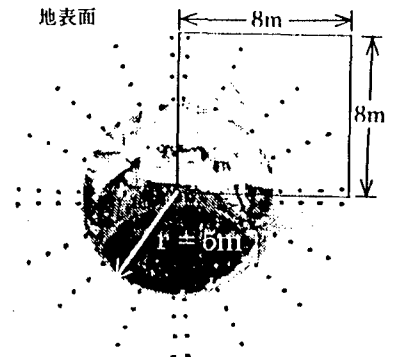


写真-1 実験結果 ($r/H = 1.67$)

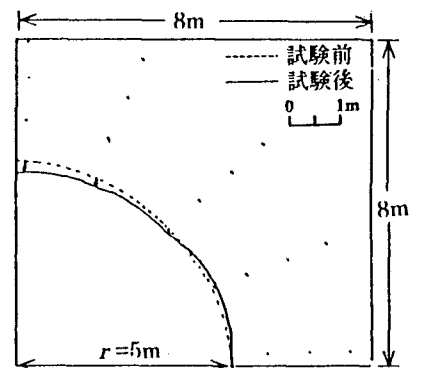


図-2 変位ベクトル図 ($r/H = 1.67$)

5. おわりに

原稿締め切り段階では、連続性岩盤モデルの実験結果の一例を示すだけにとどまった。今後は、不連続性岩盤モデルについて底面摩擦試験を行い、地下空洞の変形、破壊挙動についての把握を行う所存である。

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。
- 3) 棚橋・熊川・才木・志田：体積力法を用いた地下単一円形空洞周りの応力集中度と安定性の評価，長崎大学工学部研究報告，第 27 巻，第 49 号，pp.313-320，1997。

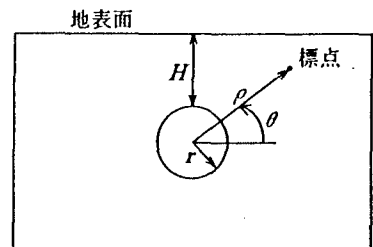


図-3 連続性岩盤モデル