

底面摩擦試験装置を用いた不連続性岩盤内大規模地下空洞の
変形挙動と安定機構の解明

長崎大学工学部 正会員 棚橋由彦 長崎大学工学部 正会員 蔣 宇静
長崎大学大学院 学生員 足立順一 長崎大学工学部 学生員○山口耕平

1.はじめに

近年、地球環境の悪化が叫ばれるようになり、地下空間特に最近では大規模地下空洞の利用が注目されるようになってきた。地下岩盤内構造物の周辺地山の挙動は、不連続面に支配されることが多く、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。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優れた重力効果模型実験装置の1つである底面摩擦模型実験装置を用いて不連続性岩盤内空洞の掘削実験を実施し、岩盤構造物の設計のための有用な情報を得ることを目的としている。

2.実験概要

実験に用いた供試体は、石膏・石灰・標準砂・水を重量比 1 : 3 : 12 : 3.61 で遅延剤としてリグニンスルホン酸ナトリウムを石膏の重さの 0.05%で混ぜ合わせ、乾燥させたものを用いた。この供試体を用いて、三軸試験・一軸試験・圧裂引張試験の材料試験を行うと同時に、模型材料によって形成した不連続面の力学的特性を、一面せん断試験を実施することで求めた。

底面摩擦模型装置は、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挙動をシミュレートする模型実験である。本実験は、原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。

3.実験結果

3.1 材料試験

岩盤基質部を想定した供試体の特性の試験結果を表-1に示す。

3.2 一面せん断試験・垂直剛性試験

不連続面の力学的特性を把握するために一面せん断試験・垂直剛性試験を行った。不連続面に均一にせん断応力がかかるように一面せん断試験装置を改良し、専用せん断箱を製作した。一面せん断試験の結果を図-1と図-2に示す。図-1は、垂直応力を0.1MPaから0.2MPaまで変化させ、せん断試験を行いグラフ化したものである。せん断剛性 K_s は各グラフの傾斜部分の傾き、つまり、せん断変位の増分に対するせん断応力の増分の比で求められる。図-2は垂直応力と図-1に現れたピークせん断応力との関係を表し、それを直線回帰分析し、直線の傾きから摩擦角 ϕ を求める。垂直剛性 K_n は、垂直方向変位の増分

表-1 モデルの力学的特性

特性	値
密度 ρ (g/cm ³)	1.505
粘着力 c (MPa)	0.14
摩擦角 ϕ (°)	34
ヤング係数 E (MPa)	415.52
ポアソン比 ν	0.14
一軸圧縮強度 g_u (MPa)	0.92
引張強度 σ_t (MPa)	0.05

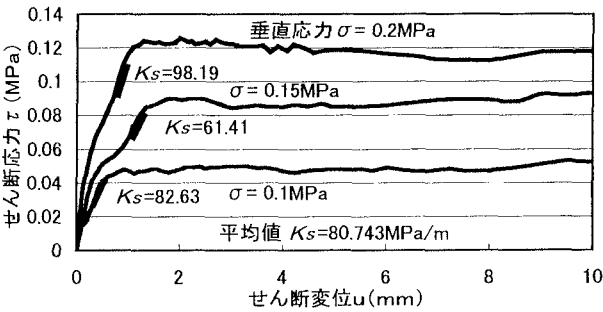


図-1 せん断試験結果

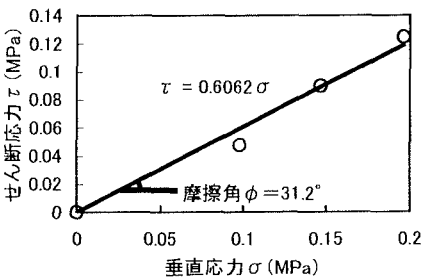


図-2 不連続面の摩擦角

に対する垂直応力の増分の比で求められる。不連続面の垂直剛性を求めるために、まず不連続面のないインタクト供試体を用いて垂直方向に応力をかけ、次に不連続面(ジョイント)を含む供試体を用いて同じ様に圧縮実験を行う。この2つの結果をグラフ化し、ジョイントを含む供試体の実験結果からインタクト供試体の変形部分を差し引いた値をジョイントのみの垂直変位量とする。図-3からは、垂直応力レベルに応じた垂直剛性を求めることができる。

3.3 底面摩擦模型実験

実験モデルの作成は、混合した材料を供試体作製箱に入れ、それを常温で1日、100°で2日間乾燥させ、それを削り45cm×50cmの枠の中に60°の傾斜角で幅や長さの異なる供試体を並べ不連続面を形成し模型を作成した。現地盤と実験モデルの対比を図-4に示す。幾何スケールは $\Lambda=400$ とし、また今回の実験では大深度を想定しているため縦方向と横方向から圧力をかけることにした。実験中に空気圧をモデル表面にかけるが、それに基づき応力スケールは $\Sigma=17.86$ と求められた。実験の手順として、空洞の存在しない状態で実験を行い(初期状態)、さらに空洞部分を削り载荷を続ける。不連続面の間隔が4,3,2cmの模型を傾斜角60°で並べたもの(case2)と、不連続面の間隔を4cmに統一し傾斜角を60°としたもの(case3)の2パターンで実験を行った。図-5(a)では空洞左下部と右上部に、図-5(b)では空洞左上部と右側の空洞より少し離れた部分に空洞の掘削による新規亀裂の発生(図中×印)が確認できた。

図-3 垂直剛性試験結果

図-4 実験モデル

図-5 模型実験結果(×は新規亀裂、・は計測点)

4. おわりに

本実験的研究では、解析的評価のために一面せん断試験を実施し、せん断剛性と垂直剛性など岩盤内不連続面の力学的特性を把握することができた。また底面摩擦模型実験により大規模地下空洞における変形挙動と崩壊状況を定性的に把握することができた。今後はさらに岩盤空洞の変形抑制に対するロックボルトや吹付けコンクリートなどの補強効果の把握に努める予定である。

〈参考文献〉

- (1) R・E・グットマン原著：不連続性岩盤の地質工学, pp.134~142, 1978
- (2) 江崎哲郎・蔭宇静・三谷康浩・亀田伸裕：深部に位置する不連続性岩盤の挙動に関する実験的研究, 第23回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.147~151, 1991