

底面摩擦試験装置による地下空洞の安定性評価に関する実験・解析

長崎大学 正会員 棚橋由彦 長崎大学 学生員 志田泰崇
 長崎大学大学院 学生員 熊川貴伯 九州大学 正会員 江崎哲郎
 九州大学 正会員 蔭 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設計する際には、重力場にある岩盤空洞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る底面摩擦試験装置を用いて、岩盤内構造物の設計、施工のための有用な情報を得ることを目的とした地下空洞の変形、破壊挙動についての実験を行う。また、提案している体積力法を用いた地下空洞の安定性評価法³⁾の妥当性を、実験結果との比較により検証することを目的としている。

2. 底面摩擦試験の概要¹⁾

底面摩擦試験装置とは、地盤を二次元化したモデルの底面にベルトで摩擦力を与え、これを重力効果に置き換えるもので、小型で実験が容易な上モデルの変形・破壊挙動を連続的に観察することができる利点がある。さらにモデル上面に空気圧を作用させることによって、従来の自重のみによる摩擦力より大きな摩擦力を発生することができ、しかも現地盤との相似則を考慮した実験が可能である。

底面摩擦装置の概要を図-1に示す。モデルは、ウレタンゴムを貼りつけた鋼鉄製のプレート上に置かれ、プレートを低速(約10mm/min)で動かすことにより摩擦力を発生させる。このときモデルの最下部と側面は、フレームで完全に拘束されることになる。このフレームは、ローラーベアリング上に置かれており本体との摩擦を除いている。また、フレームには2個の力計も取り付けられており摩擦力の反力も測定できるようになっている。模型の破壊挙動は装置上方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記録され、実験後に画像解析装置を用いて処理する。図-2にその画像解析システムを示す。

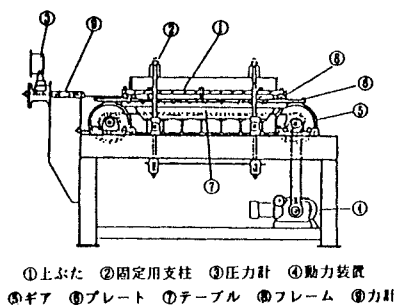


図-1 底面摩擦装置の概要¹⁾

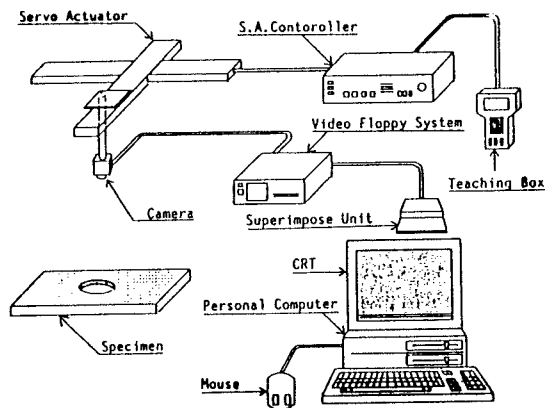


図-2 画像解析システム²⁾

3. 実験材料・実験条件

浅所に円孔を有する等方連続性岩盤の、重力による変形および破壊過程を実験により把握する。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。実験条件は、空洞半径: $r=2.5, 4, 5\text{m}$ 、幾何スケール: $\Lambda=100$ 、空洞深さ: $H=3, 5, 8, 10\text{m}$ 、空気圧: $p_{air}=0\sim 0.5\text{kgf/cm}^2$ 、原地盤の単位体積重量: $\gamma=2.5\text{gf/cm}^3$ である。

4. 実験結果と数値解析との比較

原稿締切時点では、予備実験に止まっているので、ここでは、体積法を用いた数値解の特性を示す。解析条件として、地下空洞断面は十分な延長をもつ円形とし、地盤は等方弾性体・平面ひずみ条件と仮定し、重力のみを考慮する。解析パラメータは表-1に示す。

表-1 解析パラメータ

空洞半径: $r(\text{m})$	2.5, 4, 5
空洞深さ: $H(\text{m})$	3, 5, 8, 10
粘着力: $c(\text{tf/m}^2)$	0, 5, 10
内部摩擦角: $\phi(^{\circ})$	10, 20, 30, 40
弾性係数: $E(\text{tf/m}^2)$	1.0×10^9
ポアソン比: ν	0.3
単位体積重量: $\gamma(\text{tf/m}^3)$	2.5

4.1 応力集中度 R 解析結果の評価方法として、地盤内に削孔する前と後での円孔縁での接線応力比として応力集中度 $R(R>1$:応力集中, $0<R<1$:応力解放, $R<0$:引張応力発生)を導入し、空洞半径 r と空洞深さ H の組合わせ12ケースについて検討する。図-3に応力集中度, R と空洞半径被り厚比 r/H の関係を示す。点A、B、Cはそれぞれ空洞天端、側方部、底部を表している。ただし、点Bについては側方部で σ_{θ} が最大($\theta = -7.5^{\circ} \sim -12.5^{\circ}$)となる点を用いている。点Aでは、 r/H の増加に伴い応力集中度は応力解放から引張応力発生と移行する。点Bでは、 r/H の値に関係なく一定の応力集中($R=2.4 \sim 2.6$)を示す。点Cでも、 r/H の値に関係なく一定の応力解放($R=0.3 \sim 0.5$)を示す。浅所、深部ともに空洞側方部と底部は応力集中度の著しい変化は見られない。天端では $r/H>0.6$ で $R<0$ となり引張応力が発生し、 r/H の増加とともに引張応力が増大する。

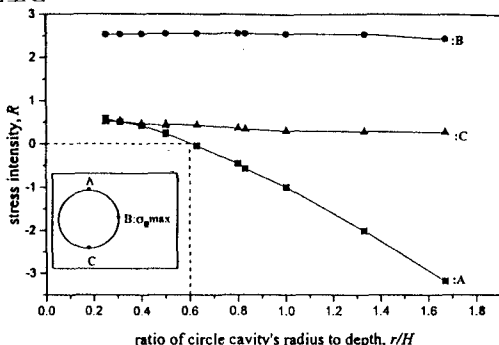


図-3 応力集中度と r/H の関係

4.2 節点安全率 F 用いた破壊規準は、Mohr-Coulomb則の引張領域を円弧で修正したものであり、要素の局所的な破壊に対する節点安全率($F>1$:非破壊, $F \leq 1$:破壊)を導入した。図-4に節点安全率 F と空洞半径被り厚比 r/H の関係を示す。点Aでは規則的な動きは見られないが、 r/H が小さい時は、 $F=1.7 \sim 6.7$ の範囲で安定する。 r/H が大きくなると天端では、引張応力発生により引張破壊が生じる。点Bでは応力集中となるので r/H の変化に関係なく F は1.0以下($F \approx 0.6$)でせん断破壊を生じる。点Cでは応力解放となるので $F=1.3 \sim 2.6$ の範囲で安定する。

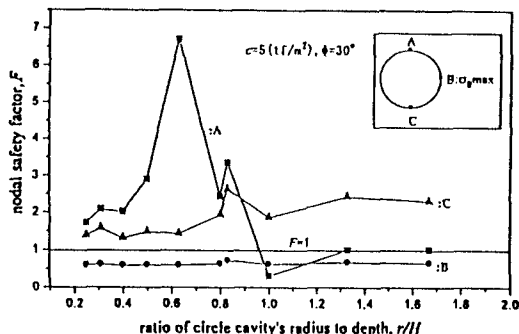


図-4 節点安全率と r/H の関係

5. おわりに

今回、体積法を用いて数値解析を行い連続性岩盤内の円形空洞断面の安定機構を理論的に解明できた。今後は、数値解析で不可能な亀裂の進展や破壊挙動の過程を実験により把握するとともに、体積法の妥当性を確認する。また、連続性岩盤

モデルにとどまらず、不連続性岩盤モデルについても底面摩擦模型実験を行う予定である。

参考文献: 1) 西田・江崎・亀田・中川: 九大生産科学研究所報告, 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・才本・江崎: 土木学会第51回年次学術講演会講演概要集, 第Ⅲ部門, Ⅲ-B174, pp. 348-349, 1996.