

大深度地下空間に対処した 新しい底面摩擦模型実験装置

九州大学工学部 ○学生会員 麓 興一郎

正会員 江崎 哲郎

正会員 木村 強

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. 緒言

近年、地下の開発利用は著しく発展しつつあり、より深部に、より大きな空間の建設の機会が多くなっている。現在、多くの課題を残しており、地下空洞、およびその周辺の地盤挙動の予測もその1つである。一般に、空洞およびその周辺の挙動を予測する方法として、数値解析や模型実験がある。F.E.M.などに代表される数値解析は、連続体解析であるので、不連続面が卓越する地盤では限界を生じる。一方、模型実験の一手法である底面摩擦模型実験は、2次元化した地盤モデルを水平におき、モデル表面に空気圧を与え、それに比例した摩擦力をモデル底面に与えることで、重力を表現する。この実験は、安定した重力効果を得ることができ、模型も小型で、現地盤を忠実に表現できるばかりではなく、現地盤との相似性もよく成り立つ。さらに、模型の変形・破壊プロセスを逐次観察できる特徴を持つ。筆者らは、この底面摩擦模型実験装置を開発して地盤に関する研究を行ってきた¹⁾。しかしながら、従来の装置は、地表面の境界を必要とするため、縮尺・精度を考えれば深さ約50mまでの範囲しか表現できない。今回は、大深度の地下地盤にも対応できる汎用的な装置を開発し、実験を行った結果を示す。

2. 大深度地下利用のための底面摩擦模型実験装置の開発²⁾

新しい装置の概略図をFig.1に示す。この装置の特徴を挙げると、第1に、上方および側方で地盤の境界条件を満足することである。上方の境界は、土かぶりに相当する荷重を載荷し、空洞の変形に伴う不均等な沈下にも対応できるよう6分割の載荷板による載荷方式を、また側方の境界は、均一の応力が作用するようにゴム袋による載荷方式をとった。第2に、深部地下地盤の高い応力状態を表現するため、載荷能力を大きくするばかりでなく、摩擦係数を小さくして、応力スケール（原地盤の強度と模型の強度との比）を大きくとることにした。そのために、装置は、摩擦板を任意に取り替えられる構造にした。第3に、模型は、平面ひずみ状態を満足させる必要がある。模型に高い応力が作用すると、模型は空洞軸方向に膨張する。そこで、従来の空気圧よりも高い空気圧を作用させねばならない。しかし、従来の装置では、摩擦板がスムーズに移動できず、フレームの変形が生じる。そのため、摩擦板は一体化した剛なフレームの中を一定速度で移動させる構造を取り、上蓋も高い空気圧に耐えうる厚いものを使用した。

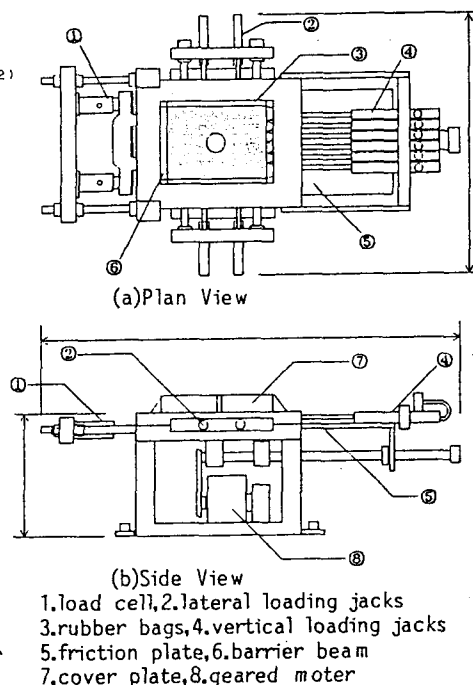


Fig.1 Base friction apparatus.

3. 実験結果

今回は、空洞幅10m、高さ2mの矩型空洞を開削した場合のモデル実験を行い、深度100mと深度25mの場合との破壊状況の比較を行った。模型は均質地盤とし、硫酸バリウム：酸化亜鉛：セリウムを重量比70:21:9の割合で混合した試料を押し固めたものを使用し、幾何スケールを100、応力スケールを浅部で8.33、深部で4.17とし、現地盤との相似性を満足させた。深度100mの場合、亀裂は空洞左右天盤隅から発生し、上方に進展しようとするが、土かぶり圧の影響から、あまり上方には進展せず、空洞天盤上約6mの地点まで破壊が生じた (Fig.2)。一方、深度25mの場合には、亀裂は、深部地盤の場合と同様に空洞左右天盤隅から発生し天盤上方約6m付近まで進展する。さらに破壊が進むと、亀裂は、空洞天盤上約15mまで進展する (Fig.3)。この破壊状況をF.E.M.解析より求めた主応力線図 (Fig.4)と比較するとF.E.M.解析で求められる破壊領域の広さと亀裂発生範囲および崩落の範囲は、実験結果と一致しない。これは、塑性領域内の破壊は必ずしも目視できないためである。数値解析は、連続体解析であるため、亀裂発生後、応力の再分配が行われ、その後の挙動を追うには限界があり最終的な状態は異なる。しかし、亀裂の発生点および亀裂の進展方向は、Fig.4により得られる結果と一致する。また、浅部では深部よりも破壊領域が大きくなったが、これは横方向の拘束が小さいことと自由面の影響のためと考えられる。

4. 結言

大深度地下空間に対処した定量的模型実験装置の開発を行い、実験を行った。大深度地下空間の挙動予測を行うためには、数値解析では、亀裂の開始点とその方向の予測はできるが、その後の挙動を予測するには限界があるため、模型実験と並行、対比して行うのが望ましいといえる。その点でも、著しい変形、破壊を生じる大深度地下の空洞の安定性を考慮する上で本装置の開発は、有効な手段といえる。

参考文献

- 1) N.Kameda et al.: Proc. 28th US Symp. on Rock Mechanics, pp.789-796, 1987
- 2) 江崎 哲郎 他 : 第22回岩盤力学シンポジウム講演論文集, 投稿中, 1990

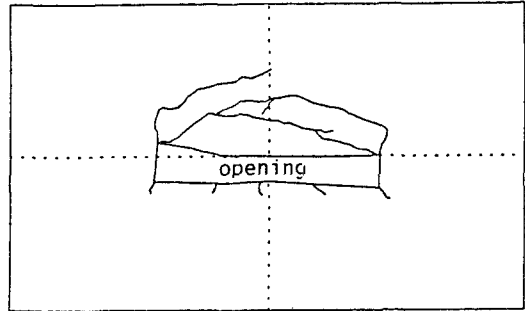


Fig.2 Propagation of cracks at the depth of 100m.

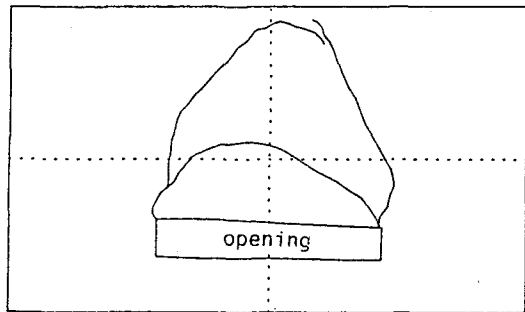


Fig.3 Propagation of cracks at the depth of 25m.

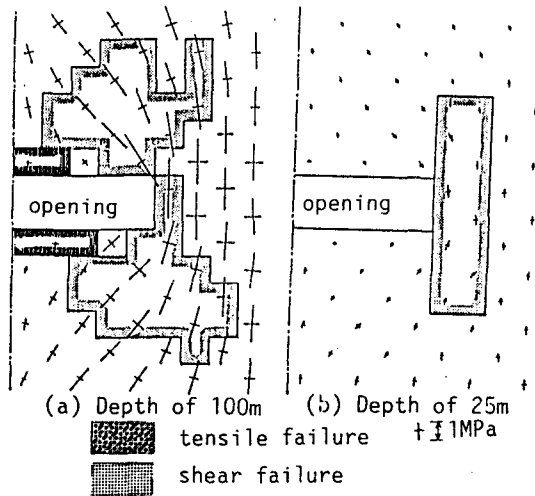


Fig.4 Principle stresses and failure fields around underground opening.