

名古屋大学 工学部 正会員 ○ 尾原 祐三

名古屋大学 工学部 正会員 川本 勝彦

名古屋大学 工学部 学生員 後藤 有志

1. はじめに

トンネルや斜面など重力場における地盤構造物の変形、破壊特性を研究するための模型実験装置の一つとして、従来、遠心力模型実験装置が用いられてきた。しかし、この装置は高速で回転するフレーム中に模型が置かれているため、逐次破壊現象を観測することが困難で、しかも、大型となる。これに対して底面摩擦模型実験装置は小型で、実験が容易なうえ模型の挙動を常時観測することができる。この装置は地盤の二次元化模型実験装置であり、一定速度で動くベルト上に模型を置いて上部に空気圧を与え、ベルトと模型の間で発生する摩擦カを利用して模型内に重力効果を与えるものである。本報告では、底面摩擦模型実験装置を紹介し、相似則、模型材料の力学特性および二、三の実験例についての検討を行なう。

2. 実験装置

底面摩擦模型実験は、当初、摩擦の大きな面上で模型を動かすことにより行なっていたが、Hoek が逆に模型を固定して底面を動かすことを考案して以来、Goodman 等が多くの実験を行なっている。しかし、これらの方法では発生する摩擦力が小さく適用範囲が限られるため、Egger²⁾ は模型上面に空気圧を作用させ、模型内に大きな力を発生させることを考案した。本装置は、Egger の考案した実験装置を参考に改良したものである。

本装置の概要を示す図.1 のようである。模型は最大寸法 $50 \times 50 \times 25 \text{ cm}^3$ で、ゆっくり動くプラスチックベルト上に置かれ、鉄製のフレーム内にセットされている。このフレームは、ローラベアリング上に置かれ、プルーベングリングを取り付けた二本のロッドで固定されている。模型全体に作用する荷重はこの二つのプルーベングリングで検出する。また、模型上面を薄いビニールシートで覆い、アクリル板とスチーフナーが一体となったものをフレーム上に置き、図.1の⑧のような空間を作り、ここにレギュレーターを用いて一定の空気圧を作用させる。

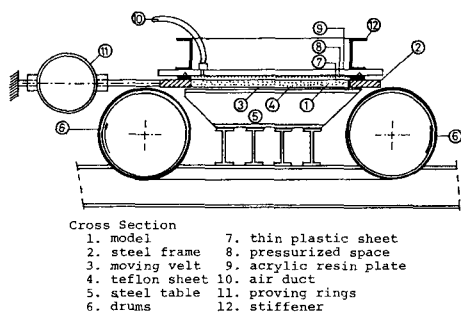


図.1 底面摩擦模型実験装置

3. 底面摩擦模型における相似則²⁾

底面摩擦模型の相似則につぎのようなスケールファクターを導入する。

$$\lambda = \frac{\text{原型の長さ}(Z)}{\text{模型の長さ}(Z')}, \quad \Sigma = \frac{\text{原型の強度}(\sigma)}{\text{模型の強度}(\sigma')}$$

ここで、 λ は幾何スケール、 Σ は応力スケールである。

模型内の応力状態を示す図.2 のようである。ベルトに垂直に作用する応力 P_{tot} 、および模型とベルト間の摩擦力 τ はつぎのように表わされる。

$$P_{tot} = \gamma' e' + P_{air} \approx P_{air}, \quad \tau = \mu P_{tot} = \mu P_{air} \quad \dots (1)$$

ここで、 γ' は模型の単位体積重量、 e' は模型の厚さ、 P_{air} は模型上面に作用する空気圧、 μ は模型とベルトの摩擦係数である。

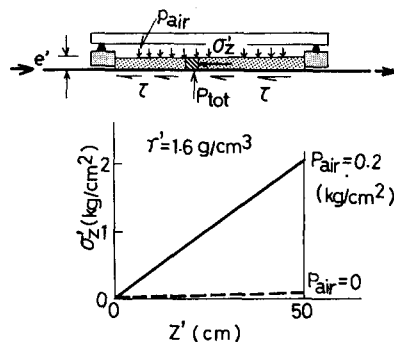


図.2 模型内の応力状態と応力分布

したがって、模型内のベルトに平行な応力 σ'_x は、次式で表わされる。

$$\sigma'_x = (\tau \cdot z') / e' = (\mu \cdot P_{air} \cdot z') / e' \quad \dots (2)$$

たとえば、 $\gamma' = 1.6 \text{ g/cm}^3$ 、 $e' = 2.5 \text{ cm}$ の模型を作成し、空気圧 $P_{air} = 0$ 、 $P_{air} = 0.2 \text{ kg/cm}^2$ を作用させたときの模型内の応力分布を示すと図.2 のようである。わずかな空気圧を作用させるだけで模型内に大きな応力が発生する。

実際の地盤内の応力は $\sigma_x = \gamma \cdot z = \gamma \cdot A \cdot z' \dots (3)$ である。よって幾何スケール、応力スケールを用いると $P_{air} = (e' \cdot \gamma \cdot A) / (\mu z) \dots (4)$ となり、実験に際し A と z を決定し、(4)式で表わされる P_{air} を与えると模型は相似則を満足する。しかし、物体が自由落下するような運動に対しては、この相似則は満足されない。

4. 模型材料の力学特性

模型材料は、硫酸バリウム、酸化亜鉛、ワセリン油を 70:21:9 で配合したもので、強度が単位体積重量に依存しているため、模型に要求される強度を比較的簡単に作成することができる。また、再使用が可能であるという利点もある。

材料実験として三軸圧縮試験を行なった。単位体積重量 $\gamma = 1.76 \text{ g/cm}^3$ 付近の差応力 $\sigma_1 - \sigma_3$ のひずみ線図を示すと図.3 のようである。一定の単位体積重量をもつ材料は、ほぼ一定の弾性定数を示し、側圧とともに最大強度は増大し、ひずみ軟化現象からひずみ硬化現象へと遷移していく。単位体積重量に対する最大強度を示すと図.4 のようである。強度は単位体積重量と側圧に大きく依存し、それらの増加とともに最大強度も増加している。したがって、応力スケール σ を決定するため、模型の一軸圧縮強度を得るためには、それに対応する単位体積重量をもつ模型を作成すればよい。なお、一定の単位体積重量をもつ材料の破壊基準は、図.4 より得られ、Mohr-Coulomb の破壊基準を適用し得る。

5. おわりに

底面摩擦模型実験装置の概要を述べ、実験の際の模型の相似則、使用する模型材料の力学特性について検討を行なった。なお、実験例については、図.5、図.6 に示す。

(参考文献)

- 1) Goodman, R. E., : 赤井浩一, 川本勝彦, 大面有三訳 : 不連続性岩盤の地質工学, 森北出版, 1978,
- 2) Egger, P., : A new development in the base-friction technique, Colloquium on "Geomechanical Models" ISMES, Bergamo, 1979

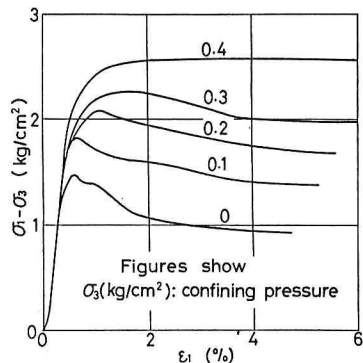


図.3 差応力-ひずみ線図

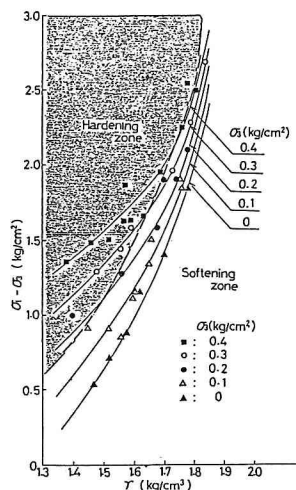


図.4 単位体積重量と最大強度の関係

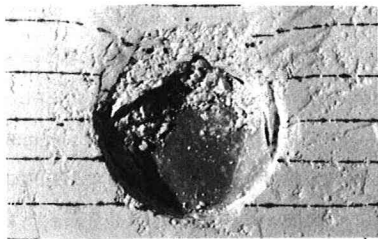


図.5 実験結果 (かぶりの薄いトンネル)

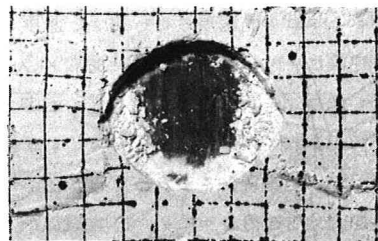


図.6 実験結果 (かぶりの厚いトンネル)