

九州東海大学工学部	正会員	○秋本 昌胤
名古屋大学 工学部	正会員	川本 勝石
熊本大学 工学部	正会員	菅原 勝彦

1. まえがき

トンネル工事では時として計画、設計の変更や不測の事態を招くことも少なくない。なかでも、山岳地の浅い斜面下のトンネルや斜めに斜面を貫くトンネル坑口部では、単なる地表の陥没に止まらず、大規模な斜面崩壊を引き起すこともある。このような被りの浅い所での工事は交通機関の発達に伴ない、最近、増加の傾向にあり、これらの現象の解明が望まれている。

筆者らは、数年来、このような被りの浅いトンネルが岩盤中に設けられた場合の力学的問題を種々の方法で研究してきた。今回はこれらの一連の研究のうちから、遠心載荷模型実験の結果を中心に報告し、とくに斜面下トンネルの安定性を知る目安としての地山強度比について具体的に述べる。

2. 模型実験装置の概要

実験装置は、最高回転数 2000 R.P.M.、試料中心の回転半径 50 cm、試料幅、試料高さともに 17 cm の遠心載荷実験装置である。この装置は遠心力によって、模型に実物と同じ自重の効果を与えている。なお、遠心載荷実験は重力場での問題を解明する方法としてその有効性がある程度認められているが未だ多くの問題点も残されていることを付言する。

さて、本装置は図1に示すように、①遠心機本体 ②駆動部 ③計測部からなる。特長はストレンゲージを用いたひずみ計測にある。計測方法はつぎのようである。すなわち、模型の測点に貼付したゲージと標準抵抗により、回転翼内で4ゲージ式のブリッジを組み、リード線は回転軸の中心を通らせ、スリッパリングを介して外部に接続される。このとき、精度を高めるために有線テレメーターを併用している。また、翼の回転数は光電プロダとFVコンバーターとによって計測している。

3. 遠心載荷試験による実験的検討

模型形状は図2に示すように、円孔の直径は3 cm、円孔から表面までの最短距離は $D/2$, D , $3D/2$ の3種類である。また、斜面の傾斜角 β は 0° , 15° , 30° , 45° の4通りである。ひずみ測定は同図に示したように地表面にゲージを貼付し、円孔と地表面との距離が最も短い部分の全変化を計測した。

模型材料は焼石コウ、石灰粉、標準砂、水の混合材料でその重量混合比は 1 : 1 : 5 : 3 である。この混合比を選んだ理由は $3 \sim 4 \text{ kg/cm}^2$ 程度の一軸圧縮強度が得られ、装置の能力から見て、かなり余裕のある状態で実験ができるからである。また、ストレンゲージを貼付したモールドの圧縮試験によると最大強度の 70% 程度までヤング率 $1/3000 \text{ kg/cm}^2$ 、ポアソン比 0.25 程度の弾性を示し、最大強度を経るとややぜい性的な挙動を示して破壊し、岩石の性質を概念的には十分表現し得ていると判断されたからである。なお、比重量は 1.8 g/cm^3 程度、

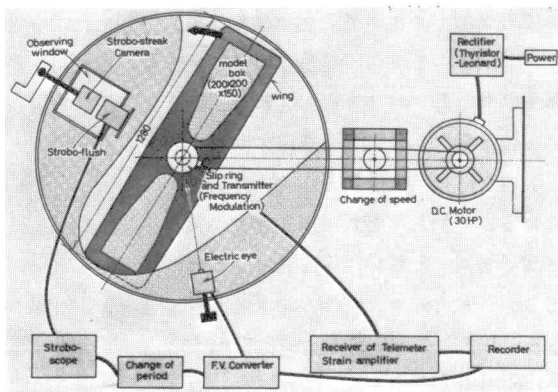


図1. 遠心載荷装置

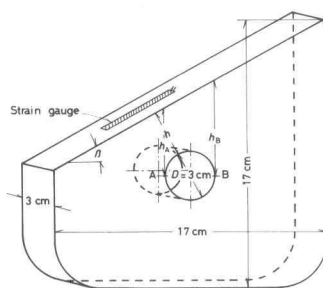


図2. 模型形状

内部摩擦角は約30°である。

遠心載荷装置によって円孔のない水平な地表面をもつ模型内部に発生する鉛直方向の直応力 σ はつぎの式により求められる。

$$\sigma = \gamma H = \frac{\gamma_0}{2g} \left(\frac{2\pi \cdot \pi}{60} \right)^2 (2r_0 h + h^2)$$

γ_0 : 模型の比重量 (kg/cm^3) g : 重力の加速度 (cm/sec^2)

π : 回転数 (Y.P.M.) h : 模型の表面から任意の一点までの距離 (cm)

r_0 : 回転軸から模型表面までの距離 (cm) 本実験では 4 cm

そこで、上記の応力値を模型の圧縮強度 S_c で除した無次元量 (以下これを地山強度比と呼ぶ) で表現した。

さて、模型の破壊状況は写真1. のようである。深度と斜面角によって破壊状況は異なる。浅くて、斜面角の小な場合には浅所陥没に近い形態を示し、斜面角が大きい場合には地表部の引張亀裂と円孔周辺のすべり破壊により破壊域が広がる傾向とみる。一方、深度が大きく斜面角が大きい場合には、地表の影響が減少し、まず、円孔上部の崩落現象がみとめられるのが特長である。

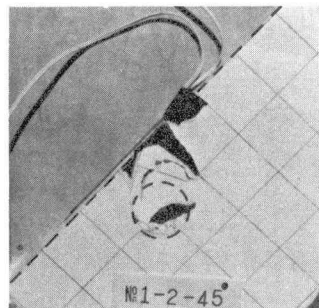
つぎに、ひずみ計測結果を示すと図3. のようであり、つぎの特長に注目される。すなわち、①ひずみが急激に増加しはじめる点がある (図中の④)。②地表部に引張亀裂が生じて、応力が解放されたことによるひずみ変化が起こる。③最終的な破壊 (図中の⑤) は①、②の後に起こる。

上記の各時点の地山強度比と円孔深度の関係をまとめると図4. のようである。なお、地山強度比を求めるときの円孔深度は円孔の山側の深度を採用した。それぞれの実験値の下限を結ぶことにより、各段階の限界曲線と同図に示したように推定した。円孔の安定性はどの深度に比例している。斜面角が増すと安定性が幾分増加する傾向にあるが、大略、この地山強度比を用いると地表傾斜に関係なく安定性を推定しえるように思われた。

4. おわりに

遠心載荷装置を用いて実施した斜面下の円形空洞実験について報告した。

最後に、日頃これらの問題についてディスカッションしていただいたりする熊大、岡村宏助教様、深く感謝いたします。



(b) 写真1 破壊状況

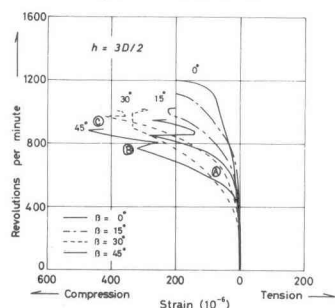


図3. 回転数とひずみの関係

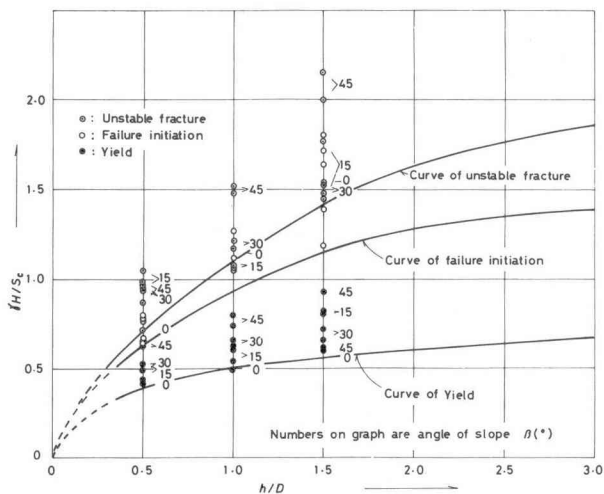


図4. 地山強度比と深さの関係