

III-360 粘性地山におけるトンネル掘削に関する模型実験

建設省土木研究所 ○正会員 真下 英人
建設省土木研究所 石村 利明

1. はじめに

トンネル坑口部においては、土被りが浅いあるいは地表面が傾斜しているなどの条件のため、トンネル掘削に伴い地表面沈下や斜面崩壊等の問題が生じ易い。筆者らは、これらの問題に関してこれまでは砂質地山を対象にした模型実験を行ってきたが、今回は粘性地山を対象にした遠心力模型実験を行ったので、その結果について報告する。

2. 実験方法

実験には、図-1に示すような幅50cm×高さ40cm×奥行き12.8cm、前面が透明なアクリル板から成る砂箱と、厚さ1mm、外径が45mmの円筒状のゴムチューブを用いた。実験は地山作製完了後、水を充填して外径を50mmにまで膨張させたゴムチューブを地山に埋め込み、所定の重力加速度（80g）まで遠心载荷した後、ゴムチューブの水を徐々に排出してゴムチューブを収縮させ、トンネル掘削をシミュレートした。なお、

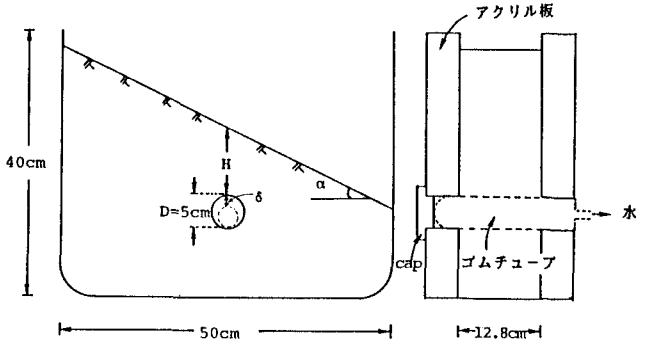


図-1 実験装置概要図

実験はすべてゴムチューブの収縮量 δ が約5mm（初期の外径に対する比率 $\varepsilon = \delta/D \approx 10\%$ ）となった段階で終了した。地山の材料としては、カオリンと石膏と水を3:1.35:4.5の比率で混合して、約20時間養生した人工粘土（単位体積重量 $\gamma = 1.36 \text{ kgf/cm}^3$ ）を使用した。図-2は地山作製時に別途作製した一軸用供試体（ $\phi 5 \times 10 \text{ cm}$ ）の一軸圧縮試験結果を示したものであるが、この地山材料は一軸圧縮強度が $\sigma_u \approx 0.7 \text{ kgf/cm}^2$ 、ピーク時の軸ひずみが $\varepsilon = 2 \sim 3\%$ の特性を示す。地山の形状は、トンネルクラウンから地表面までの距離（土被り高さ） H とトンネル外径 D との比 H/D を0.5, 1, 1.5, 2, 3と変化させ、さらに地表面の傾斜も水平な場合と $\alpha = 20^\circ$ （ただし、 $H/D=3$ を除く）の2通りに変化させた。

3. 実験結果

写真-1は、実験終了後の破壊状況の1例を示したものであり、図-3は地表面が水平な場合について実験終了後のクラックの発生状況を各土被り毎に示したものである。図からわかるように、地表面が水平な場合の地山の破壊状況は土被りによって大きく異なり、 $H/D=0.5$ のケースのみトンネル周辺にクラックは発生せず、トンネルが自立する結果となった。一般にトンネル壁面付近の地山は地山強度比 $\sigma_u/\gamma H \leq 2$ の場合に破壊すると考えられているが、 $\sigma_u \approx 0.7 \text{ kgf/cm}^2$ を用いてトンネル壁面付近の地山が破壊するときの限界土被り高さ H を求めると $H \approx 3.2 \text{ cm}$ （ $H/D=0.64$ ）が得られるから、 $H/D=0.5$ のケースのみ破壊が発生しなかった今回の結果は概ね妥当であるものと考えられる。 $H/D=1$ のケースは、トンネル両側壁付近から破壊が発生するが、破壊は地表面までは及ばず、地中でアーチ形状を形成してアーチに囲まれた部分の地山が崩落する。これに対して、 $H/D=1.5$ および2のケースは、ともにトンネル両側壁よりもやや下方の位置から破壊が対称に発生して鉛直方向に伸展し、地表面にまで及ぶ。 $H/D=3$ のケースもトンネル両側壁の下方から破壊が発生するが、 $\varepsilon = 10\%$ 程度の変形量ではこの破壊は地表面までは及んでいない。

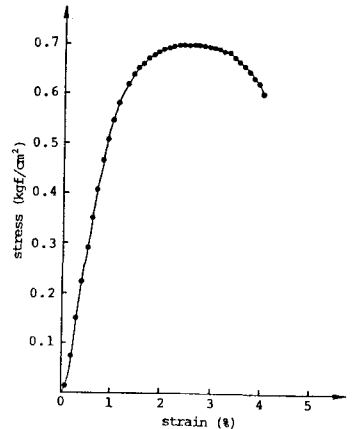


図-2 一軸圧縮試験結果

次に地表面が $\alpha = 20^\circ$ で傾斜した場合のクラックの発生状況を図-4に示す。 $H/D=0.5$ のケースはトンネル山側壁面の変形量が谷側よりも若干大きくなるものの、トンネル周辺にクラックの発生は認められず、この程度の傾斜で

あれば水平の場合と同様に $\frac{\sigma_v}{\gamma H}$ の値により、トンネルの安定性
をある程度予測することは可能であると思われる。 $H/D=1$ のケー
スは、トンネル谷側の側壁付近から地表面に及ぶ破壊が発生し、こ
の破壊面で地山全体がすべることによって、トンネルより山側の地
表面付近にも引張破壊が発生する。ただし、トンネル山側壁面付近
にはほとんど破壊が発生せず、これらの破壊状況は地表面が水平な
場合と大きく異なる。 $H/D=1.5$ のケースも、トンネル谷側の側壁付
近から地表面にまで及ぶ破壊とトンネルより山側の地表面付近にお
ける引張破壊がそれぞれ発生するが、さらにトンネル山側の側壁下
方付近からも破壊が発生するようになる。図には示さないが、 $H/D=$
 2 のケースも同様の破壊状況を示しており、地表面が傾斜している
場合は、特にトンネル山側壁面付近の破壊状況が土被りによって異
なってくるものと思われる。

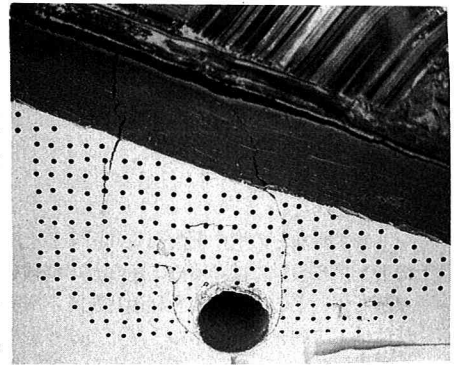


写真-1 破壊状況の1例 ($H/D=1.5 \quad \alpha=20^\circ$)

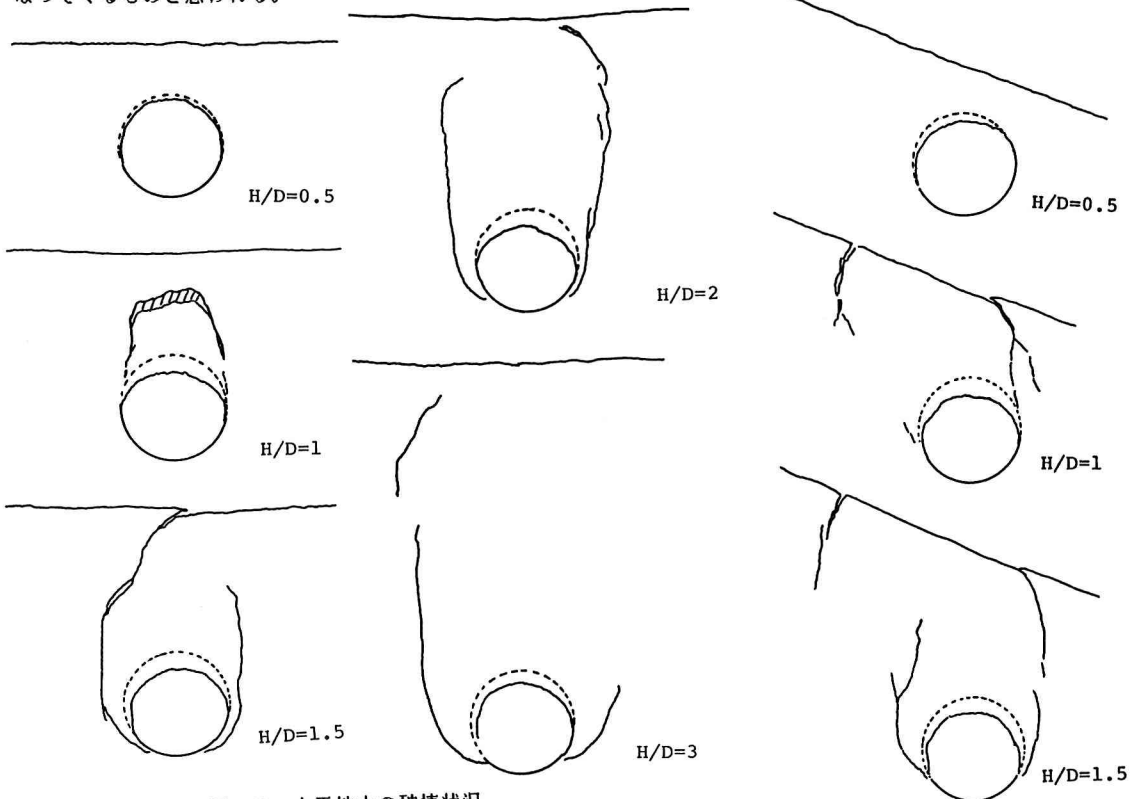


図-3 水平地山の破壊状況

4. まとめ

1). 地表面が水平な粘性地山にトンネルを掘削した場合の破壊状況は土被りによって異なり、被りが浅い場合にはトンネル側壁より上部にかけての部分的な崩落が、深い場合にはトンネル側壁より下方の位置から地表面付近にまで及ぶ破壊が発生する。

2). 地表面が傾斜した粘性地山にトンネルを掘削した場合は、トンネル谷側側壁付近から地表面にまで及ぶ破壊とトンネルより山側の地表面付近における引張破壊が発生するが、トンネル山側壁面付近の破壊状況は土被りによって異なる。

図-4 傾斜地山の破壊状況

参考文献 1). 真下、石村” 斜面上におけるトンネル掘削に関する模型実験” 土木学会第40回年次講演会