

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. まえがき

近年、ルート選定の制約などから地山条件の悪い場所での山岳トンネル施工が増えてきている。特に坑口部においては土被りが薄い、あるいは地形が傾斜しているなどの条件のため地表沈下、斜面崩壊などの悪い影響の生じる例が極めて多くなっている。坑口部における適切な設計・施工法の確立が望まれている。本研究は、このような問題に対処するための基礎データを得ることを目的として、土被りが薄い斜面の下にトンネルを掘削した場合の地山の挙動を調べる模型実験を行ったもので、以下その結果について報告する。

2. 実験概要

実験には図-1に示す長さ幅150cm、奥行30cm、高さ可変で側壁面が透明なアクリル板から成る砂箱と、直径が7.3cmのゴムチューブを用いており、ゴムチューブを空気圧により8.8cmまで膨張させ、地山に膨張した状態のゴムチューブを埋めた後、チューブの空気を抜いてチューブを収縮させることによりトンネル掘削をシミュレートした。地山の材料としては表-1に示される特性を持つ乾燥した標準砂を用いており、落下高さが一定になる様にして砂袋から砂を落下させて地山を作成した。地形の条件としては、トンネルクラウンから地表面までの距離H（以降土被りと称す）を10.2, 20.2, 30.2cmと変化させ、更に各土被りに対して傾斜角 α も0°, 15°, 30°と変化させた。砂中にはアクリル板に接して、間隔約2.5cmの格子状に標点がり埋められており、チューブの直径の収缩量 δ が0, 3, 8, 13, 18, 25mmの状態の写真を撮影して写真から地表及び地中の変位を求めた。

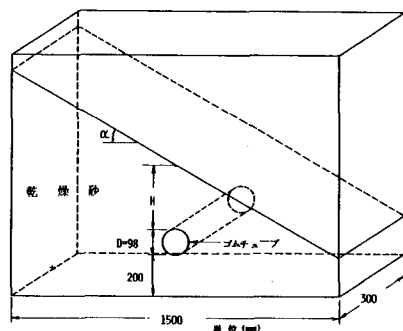


図-1 模型実験装置概要図

表-1 地山材料の特性

比重 G_s	2.64
含水比 (%)	0.2
単位体積重量 γ_s (g/cm ³)	1.49
内部摩擦角 (°)	37

3. 実験結果

図-2は傾斜角の変化に伴う地表面沈下の変化を示したもので、 $H/D=1$ 、 $\delta=8, 18, 25$ mmの時の結果である。 $\alpha=0^\circ$ の場合には沈下曲線は正規分布に近い形状となっているが、傾斜角がつくことにより最大沈下量を与える点がトンネル中心軸より谷側へ移動し、山側の沈下領域が広がるのに対して谷側の沈下領域が狭くなる傾向が見られる。特に α が30°にもなると山側においてはトンネル半径の5倍程度の領域まで沈下が発生するが、谷側においては沈下領域は半径程度と非常に狭くなる。最大沈下量に関しては図-2から判断する限りにおいては傾斜角の違いによる差異はそれほど見られない。なお、 $H/D=2, 3$ の場合の地表面沈下は沈下量が小さい為、写真からは $H/D=1$ の場合程明確な沈下曲線を得ることはできなかった。次に、傾斜角 α 及び土被りHが地中変位に及ぼす影響を示したのが図-3であり、 $H/D=2$ で傾斜角が変化した場合と、 $\alpha=30^\circ$ で土被りが変化した場合について示しており、収缩量 δ はいずれも18mmの時の結果である。まず、傾斜角が異なる場合の地中変位であるが、 α が0°と30°の場合は比較的良く似た挙動を示しているのに対して、 $\alpha=30^\circ$ となるとその挙動は全く異な

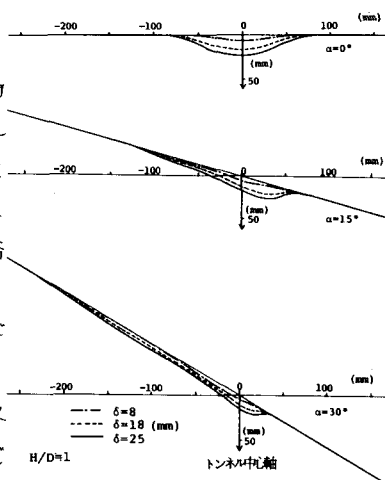


図-2 地表面沈下結果

くる。即ち、 $\alpha = 0$ 、 β の場合は、トンネル直上において砂が変位する領域はほぼトンネル直径両端より引いた2本の鉛直線に囲まれた領域に限られ、地表面にかなり近い深さの所まではこの領域の砂が変位している。一方、 $\alpha = 30^\circ$ の場合にはトンネル直上においてもすでに山側の砂は変位始めており、山側においては地中変位が発生する領域はかなり広範囲に及んでいる。しかし、谷側においてはほぼトンネル直径端より引かれる鉛直線を境にして変位する領域と変位しない領域が明確に分離され、地表面近くでもこの鉛直線より谷側の領域はほとんど変位していないことがわかる。土核りが異なる場合の地中変位に関しては、 $\gamma_b \approx 1$ と土核りが薄くなる $\gamma_b \approx 2$ の時より更に山側の砂までが変位し始めるが、逆に $\gamma_b \approx 3$ と土核りが厚くなると、トンネル直上では砂が変位する領域はほぼトンネル直径両端から引いた2本の直線に囲まれた領域に限られ、 $\alpha = 0^\circ$ の場合と比較的似た変位領域が形成されているものと考えられる。図-4は図-3に示される変位から、三角形要素内では必ずみ-一定の仮定のもとで求めた主ひずみの方向と大きさを示したものである。ひずみが卓越している領域で示されるすべり線は $\alpha = 30^\circ$ の場合、 γ_b が2以下ならばトンネル直上から山側に傾斜して地表面まで到達しており、しかも谷側のひずみが山側よりも大きくなっているが、 γ_b が3になると山側、谷側ともトンネル直上のひずみはほぼ等しくなり、トンネル直上からほぼ鉛直に伸びて地中で閉じる形のすべり線が認められる。また、 α が0、 β の場合は γ_b が2であってもすべり線は鉛直に伸びて地表面近くで閉じる形となっている。

4. まとめ

以上より得られた結果をまとめると

- 1) $\gamma_b \approx 1$ の場合、地表面近下由線は傾斜角がつくことにより、最大沈下量が現れる点が谷側へ移動するとともに、沈下領域は山側が大きく増大し、谷側が減少する形状となる。
- 2) 地中変位領域及び変位より求まる主ひずみ分布は $\gamma_b \approx 2$ が一定の場合は、 $\alpha = 0, 15^\circ$ と 30° とで、また $\alpha = 30^\circ$ が一定の場合は、 $\gamma_b \approx 1, 2$ と 3 と大きく異なる形状を示し、今後これらの差異について検討していく必要がある。

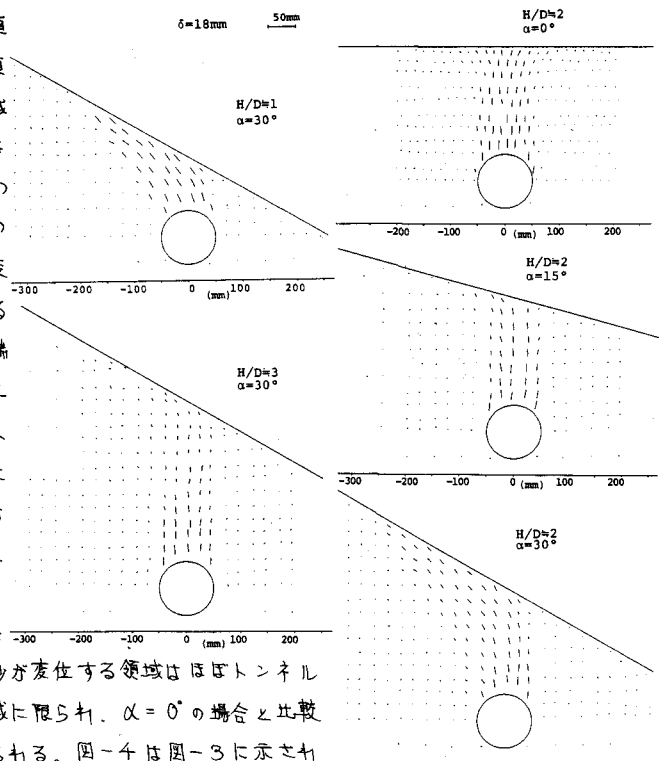


図-3 地中変位結果

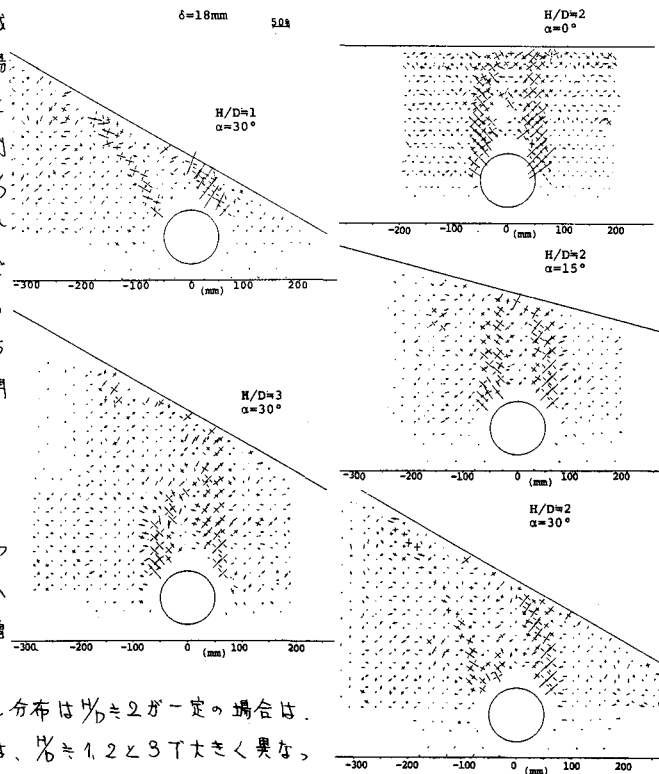


図-4 主ひずみ分布