

Ⅲ-B70 土被りが浅い砂質地山のトンネルに作用する荷重に関する模型実験

建設省土木研究所 正会員 石村 利明
同 正会員 真下 英人
同 正会員 真弓 英大

1. はじめに

近年、都市部周辺での固結度の低い条件下のトンネル建設が増加している。特に都市部の固結度が低く、土被りが浅い条件下では、トンネル構造物の安全性を高めるために2次覆工で全土被り土圧を受け持たせる設計を行うことが多い。しかしながら、トンネルが大断面となった場合には2次覆工が極めて大きい構造となり、実際にトンネルに全土被り土圧が作用していない場合には不経済な構造物となってしまうことからトンネルに作用する荷重を明らかにする必要がある。そこで、固結土の低い砂質地山を対象として土被りの浅いトンネルに作用する荷重を明らかにすることを目的として3次元の掘削模型実験を実施したので報告するものである。

2. 実験方法

実験は、図-1に示すような土槽を用いて実際に直径 $D=30\text{cm}$ の半円形トンネルを掘削する方法とした。実験は、土槽内に所定の含水比に調整した豊浦標準砂を1層約10cm毎に密度管理しながら地山を作成し、その後、トンネルを手掘りにより行う方法とした。掘削および覆工の建て込みは、1掘進長として3cm(0.1D)の掘削を行い、その後覆工を逐次建て込む方法とした。掘削長は手掘りで掘削できる限界の42cmとした。なお、覆工はアーチ部分と底板部分とから構成され、相互が接触する

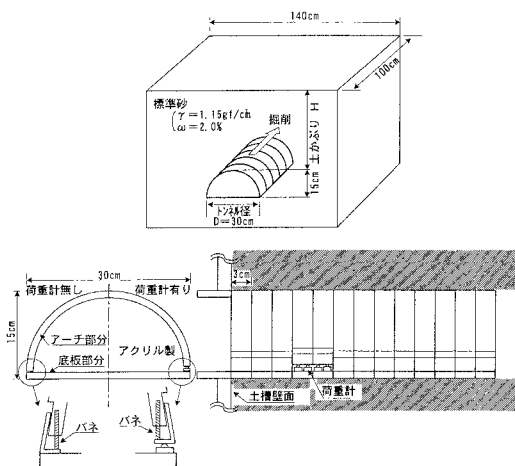


図-1 3次元掘削模型実験の概要図

アーチ部分の脚部の隙間には、反力の小さいバネを挿入しておき掘削面と覆工との間隙を極力なくすようにした。覆工の材質はアクリル材を用い、覆工背面は滑らかな状態である。また、鉛直方向のトンネルに作用する荷重を測定できるように覆工の左右に2個づつ、計4個の小型荷重計（直径12mm、厚さ4mm）を2つの覆工に設置した。計測項目は、トンネルに作用する荷重の他、地表面沈下としてトンネル縦断方向の中心位置の1測線をレーザー変位計により測定した。なお、実験に用いた地山の物性値は、本実験条件に近い含水比 $w=2.5\%$ 、密度 $\gamma=1.2\text{gf/cm}^3$ で、低応力一面せん断試験により粘着力 $c=3.6\text{gf/cm}^2$ 、内部摩擦角 $\phi=32.5^\circ$ が得られている。実験ケースは、土被り比 H/D を0.5、1.0、2.0と変化させて実施した。

3. 実験結果

(1) トンネルに作用する荷重

図-2に切羽進行に伴うトンネルに作用する荷重の変化を示す。図より、各覆工にかかる荷重のばらつきはあるものの、トンネル荷重は覆工を建て込み後、徐々に荷重が増加し、切羽からの距離が約1D付近まで

付近までにはほぼ収束する傾向がある。この傾向は、土被り比が小さいと収束するまでの距離が短くなる傾向がある。また、ほぼ収束した後のトンネル荷重は、土被り比の増加にともなって大きくなり、2つの覆工の平均値でみると、土被り比が1.0で土被り比0.5の約1.7倍、土被り比2.0で土被り比1.0の約1.4倍と土被り比が大きくなると土被りの増加の割合に対する荷重の増加の割合が小さくなっている。図-3にはほぼ収束した後の最終のトンネル荷重について全土被り土圧、テルツァーギの緩み土圧と比較を行った。図より土被り比が1.0までの比較的土被りが薄い条件下ではほぼ全土被り土圧が作用するが、土被り比が2.0の場合は、全土被り土圧が作用せず、テルツァーギの緩み土圧に近い値となることが分かる。これは、土被り比が2.0程度からゆるみ土圧を採用できるシールドトンネルの覆工設計の考え方と一致している。

（2）トンネル掘進時の地表面沈下

図-4に掘削に伴う地表面沈下の最終沈下量に対する比を示す。図より地表面沈下の挙動は、切羽の進行にともなって切羽前方から変化し始め、切羽位置で最終沈下量の約6～9割程度の値となっている。また、地表面沈下が始まる位置は土被り比によって異なり、土被り比0.5で約0.7D(21cm)、1.0、2.0の土被り比で約1.5D(45cm)以上となっている。この値は、切羽底部から切羽前方に $45^\circ + \phi/2$ の傾きで地表面まで延長した場合の影響範囲のそれぞれの土被り比16.5、25、41cmと比較すると土被り比0.5は比較的一致するものの土被り比が大きいと実験値が大きくなる。

3. まとめ

本実験条件下の砂質地山の実験より以下のことが分かった。トンネルに作用する荷重は土被り比1.0までの土被りが浅い条件では、全土被りに近い荷重が作用するものの、土被り比2.0となるとテルツァーギの緩み土圧に近い荷重が作用することが明らかとなった。また、地表面沈下が生じ始めるのは土被り比0.5では切羽底部から切羽前方に $45^\circ + \phi/2$ の傾きで地表面まで延長した場合の値と比較的一致するが土被り比が大きい場合は実験値が大きくなることが明らかとなった。

4. 今後の課題

本実験条件では、覆工背面が滑らかなアクリル材を用いたが、今後は覆工と地山背面との付着力によるトンネル作用荷重への影響について検討するとともに、土被りの浅い砂質地盤中のトンネルでの現場計測結果との確認を行う必要がある。

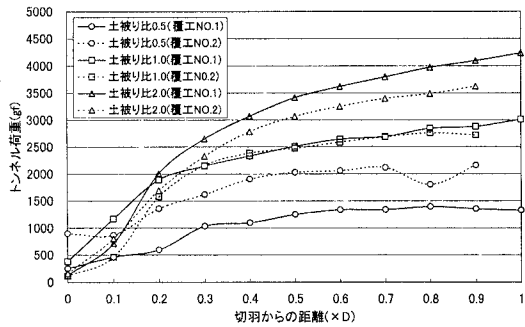


図-2 切羽進行に伴うトンネル荷重の変化

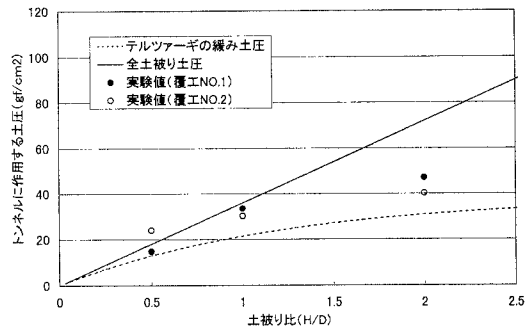


図-3 トンネルに作用する荷重と土被り比

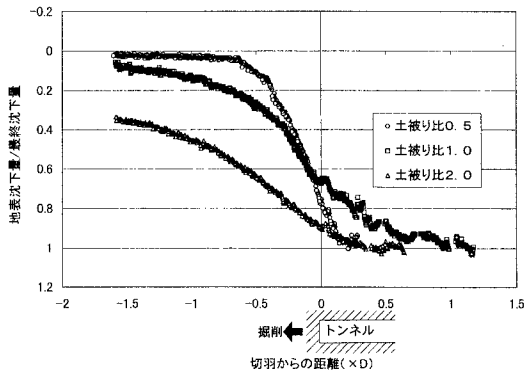


図-4 切羽進行に伴う地表面沈下の変化