

トンネル上部地山(砂地盤)の載荷模型実験

鉄道総合技術研究所
フジタ

正会員 小島芳之 野城一栄
正会員 吉川和行 野間達也

1. はじめに

既設トンネルに近接した大規模な造成工事等の事例が増加しており、トンネル覆工は盛土・切土工事によって応力状態が種々に変化し、トンネル構造の安定性に問題が生じる場合がある。そこで、近接施工の適切な影響解析法の確立を目的として、現地計測データの分析、模型実験、FEM などによる検討を行っている。前年においては、模型実験の内、実験装置の概要と模擬地盤としてモルタル地盤の実験結果について報告^{1),2)}しており、本報では模擬地盤に乾燥砂を使用した場合の実験結果と前年実施したモルタル地盤の結果も併せて報告する。

2. 実験概要

実験装置の形状及び計測器の配置を図-1 に示す。土槽の寸法は、幅 1500mm、奥行き 400mm、高さ 1000mm である。トンネルに相当する部分は都市域の標準的な NATM トンネルを想定して外径 150mm、内径 130mm、肉厚 10mm、長さ 394mm のアクリル製の円筒になっている。土槽壁面と模擬地盤の摩擦低減対策は、シリコングリスを用いて、幅 150mm×長さ 1200mm のゴムメンブレン（厚さ 0.25mm）を 2 枚重ねにしたものを土槽内壁に貼付した。乾燥砂地盤の材料には、

空気乾燥状態の遠州浜岡砂を用い、これを一定の寸法の出口から、高さ 1.0m で自由落下させ、一様な地盤を作製した。このときの乾燥砂地盤の単位体積重量 γ は、 14.8kN/m^3 であった。砂地盤の物性値を表-1 に示す。モルタル地盤の物性値等は参考文献^{1,2)}に示す通りである。図-2 は、各模擬地盤の微小ひずみでの非線形特性を確認するために行った精密三軸圧縮試験（LDT）の結果である。条件は、モルタルが非圧密非排水（UU）で、乾燥砂は圧密排水（CD）とし、ひずみ速度はいずれも $0.1\%/min$ である。実験ケースを表-2 に示す。実験は、まず模擬地盤を作製したのち初期载荷として模擬地盤を 0.5MPa まで一様载荷し、初期応力状態をモデル化した後、本载荷として 3D の幅のみ 0.9MPa まで载荷して盛土をシミュレートした。载荷時に、地表面沈下量、土槽底面および側面の土圧、地中土圧、トンネルの内空変位、覆工のひずみについて測定し、覆工の軸力、曲げモーメントを算定した。計測データは、初期载荷、本载荷とも所定载荷圧到達後、1 分後とした。

キーワード トンネル、覆工、载荷実験

連絡先 〒243-0125 神奈川県厚木市小野 2025-1 Tel 046-250-7095 Fax 046-250-7139

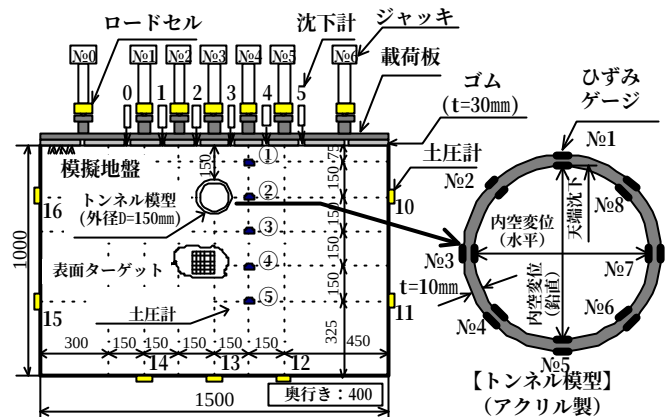


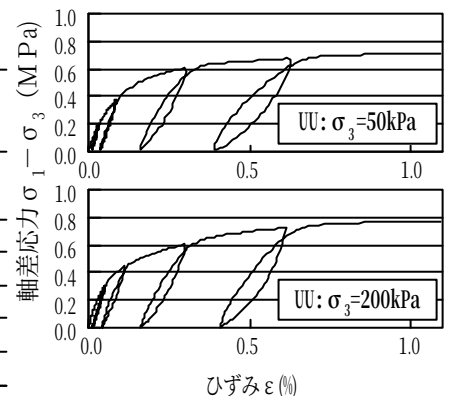
図-1 実験装置（土被り：1D、ケース2）

表-1 砂地盤の物性

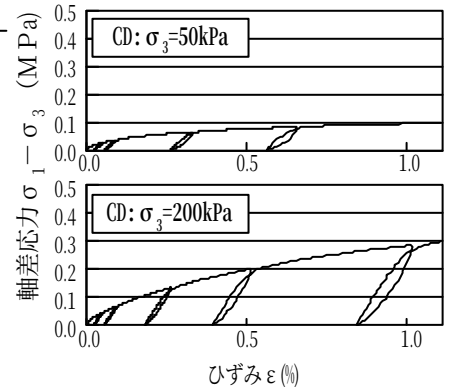
模擬地盤	乾燥浜岡砂 (空中落下法)
土粒子の密度 【 ρ_s (g/cm ³)】	2.685
均等係数【 U_c 】	2.22
曲率係数【 $U_{c'}$ 】	1.01
乾燥密度【 ρ_d (g/cm ³)】	1.51
間隙比【 e 】	0.782
相対密度【 D_r (%)】	43.8
三軸圧縮試験 (CD, 0.2%/min)	C(kPa) 8 ϕ (°) 35

表-2 実験ケース

ケース名	模擬地盤	土被り (H)
ケース1	乾燥砂	トンネル無
ケース2	乾燥砂	1D=150mm
ケース3	乾燥砂	3D=300mm
ケース4	モルタル	トンネル無
ケース5	モルタル	1D=150mm
ケース6	モルタル	3D=300mm



a) モルタル地盤



b) 砂地盤

図-2 精密三軸圧縮試験の結果

3. 実験結果

図-3 は、砂地盤における各ケースの本載荷時の載荷圧と地表面沈下（沈下計③）の関係である。図より、地表面沈下は載荷圧とほぼ正比例の関係にあり、沈下量としては、ケース2が最も大きくケース3、ケース1の順で小さくなっている。これは、トンネルの影響によるものと考えられる。

図-4 に、本載荷における載荷圧とトンネル覆工の天端軸力（本載荷開始時を基準）の関係を示す。図より、砂地盤の両ケースでは、軸力は載荷圧に対してほぼ正比例するが、モルタルの両ケースでは、載荷圧の増加とともに急増する傾向にある。これは、モルタルにおいては拘束圧が増加しても軸差応力にはほとんど変化なく、載荷圧 0.5MPa を越えたあたりから急激に軟化する非線形特性によって、比較的剛性の高いトンネルに荷が集中したものと考えられる。一方、砂地盤では、載荷圧の増加によって接線弾性係数は低下するが、拘束圧の増加によって見掛け上の砂地盤の弾性係数にはほとんど変化なく、トンネルと砂地盤の剛性比率がほぼ一定に保持されたため載荷圧にほぼ正比例した軸力が覆工に発生したものと推測される。トンネル土被りの影響については、模擬地盤の種類に関係なく土被りの小さいケースが大きいケースより3倍程度大きいことが分かる。

図-5 に、本載荷における載荷圧とトンネル覆工の天端部の曲げモーメント（本載荷開始時を基準）の関係を示す。図より、曲げモーメントは、載荷圧に対してほぼ正比例し、砂地盤の両ケースの方が、モルタルの両ケースよりそれぞれ各載荷圧に対してほぼ4倍以上大きい。これは、砂地盤とモルタル地盤とで側圧係数に差があるためと推測される。

図-6 は、本載荷 0.9MPa における土被り厚とトンネル天端の縁応力成分の関係である。ここに、軸力成分、曲げモーメント成分とは、軸力値、曲げモーメント値をそれぞれ覆工の断面積、断面係数で除したものである。図より、土被りが大きくなるほど、軸力・曲げモーメント成分の絶対値は小さくなるが、モルタル地盤では、軸力成分と曲げモーメント成分の絶対値はほぼ同程度である。砂地盤では、曲げモーメント成分の絶対値の方が軸力成分よりかなり大きい。よって、モルタル地盤における覆工の断面力はほぼ軸力モデルと考えられ、砂地盤では、軸力より曲げモーメントの要因の方が卓越すると推測される。

4. まとめ

本実験より、トンネル断面力は、地盤の非線形特性の影響を強く受け、特に砂地盤におけるトンネル断面力の支配要因は土被りに関係なくモルタル地盤と比較して軸力より曲げモーメントであると考えられる。現在、切土（除荷）を想定した実験や高剛性覆工模型の実験および数値解析を実施しており、既設トンネルに対して近接施工を行う際の適切な影響予測手法について開発中である。

【参考文献】

- 1)小島、野城、朝倉、田口、吉川：トンネル上部地山の載荷模型実験（その1）、第34回地盤工学研究発表会 1999.7
- 2)小島、野城、朝倉、田口、吉川：トンネル上部地山の載荷模型実験（その2）、第34回地盤工学研究発表会 1999.7

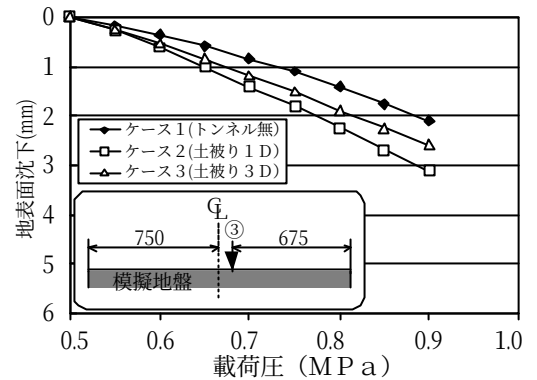


図-3 本載荷における載荷圧と地表面沈下（沈下計③）の関係

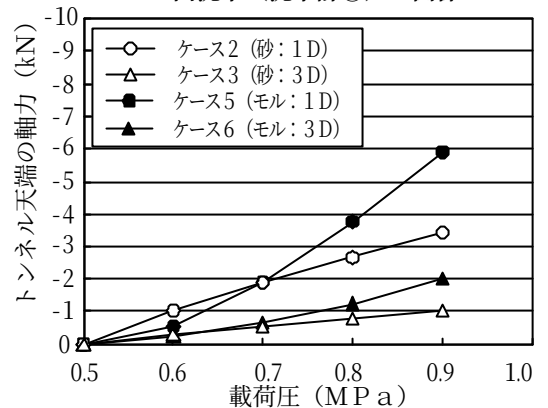


図-4 本載荷における載荷圧と天端軸力の関係

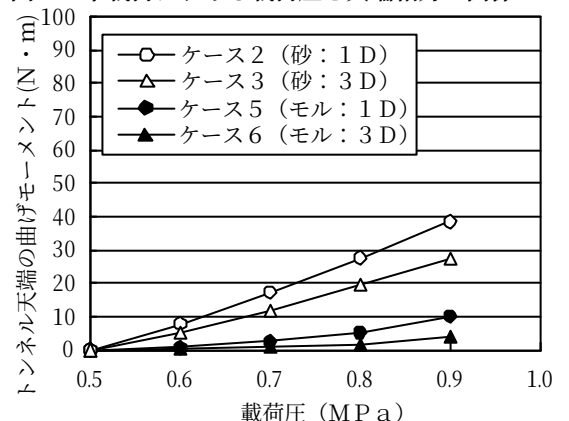


図-5 本載荷における載荷圧と天端曲げモーメントの関係

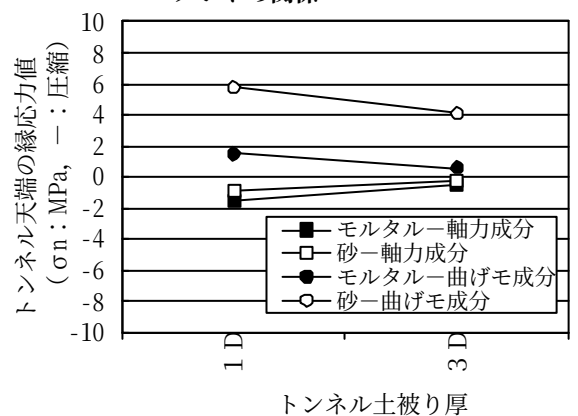


図-6 本載荷 0.9MPa におけるトンネル土被り厚とトンネル天端の縁応力成分の関係