

上載荷重による既設トンネルへの影響

数値解析 モデル実験

千葉工業大学 学生会員 ○初谷樹弥
同 国際会員 鈴木 誠
清水建設 国際会員 杉山博一
地域地盤環境研究所 国際会員 中井照夫

1.はじめに

大深度地下を有効に活用し、技術的な観点から大深度地下施設と地上建築物等の相互作用等の事項を示した「大深度地下使用技術指針・同解説」¹⁾では、通常の建築物が建設されても地下施設に支障が生じないように、通常の土圧、水圧の他に建築物荷重（以下、上載荷重と記す）を考慮して検討するようになっており、上載荷重においては分散角度 45° と定めた荷重分散法による簡易的な計算法を用いるよう示されている。シールドトンネルのような地下施設を対象とすると、施工時の周辺地盤に与える影響等が大きく関わっており、上載荷重の簡易的な計算は合理的な設計ではない。このような背景から、本研究では大深度地下によるシールドトンネルを対象とした、直接基礎の荷重におけるトンネル周面土圧への影響評価を、模型実験とそれを再現する数値解析を行い検討し、模型実験と数値解析の結果の比較から、数値解析の妥当性を検討する。また、トンネル掘削による地盤への影響を考慮することにより、シールドトンネルを対象とした上載荷重による影響を評価するにあたり、地盤特性や初期応力の重要性を検討する。

2. 評価方法

シールドトンネルの施工後、直接基礎構造物が建設される時の影響を2次元模型実験と2次元有限要素法解析から検討する。

図-1 に模型実験の概要を示す。地盤のモデル化には、長さ 50mm、直径 1.6mm および 3.0mm の2種類のアルミ棒を重量比 3:2 で混合した積層体を用いる。トンネル模型は剛な直径 $D=100\text{mm}$ の円形の収縮装置を用いる。周面に 12 か所ロードセルを設置しており、上載荷重による影響を土圧から検討する。またトンネル掘削のモデル化には収縮装置の収縮を行い、シールドトンネル施工時に内空変位を与えることにより再現する。直接基礎模型幅 $B=140\text{mm}$ の剛性の高い板を用いる。変位制御により荷重し、基礎上部に設置したロードセルから荷重沈下関係を計測する。大深度地下を考慮するためトンネル土被りは $4D$ になるよう設置した。直接基礎荷重時の地盤への影響を FEM 解析と比較するため、PIV 解析により、地盤内せん断ひずみを計測する。手順としては収縮装置を所定量収縮後、モーターにより変位制御で直接基礎模型を荷重する。

図-2 に2次元有限要素法解析の概要図を示す。地盤のモデルには構成式に subloading t_j model²⁾を組み込んだアルミ棒積層体のモデルを用い、表-1 に構成パラメータを示す。トンネル掘削には実験同様の直径 100mm の円形の要素に体積ひずみを与えトンネル掘削時の内空変位を再現する。直接基礎の荷重には実験同様、剛性の高い弾性体材料に強制変位を与える。手順としては掘削による周辺地盤への影響を初期応力として与えた地盤要素に、直接基礎要素の生成と強制変位を与える。

検討ケースとしてトンネル掘削を考慮することによる影響を比較するため、掘削なしのケース、掘削あり（内空変位 $u=1\%$ ）の2ケースで影響評価を行う。

3. 荷重沈下関係

直接基礎荷重時の鉛直荷重、変位の関係を図-3 に示す。縦軸は鉛直荷重 qv を $\gamma B/2$ で、横軸は鉛直変位 v を B で除して無次元化した値としている。図から実験値と解析値共に同様な関係を示しており $v/B=0.08$ 付近で極限支持力のピークを示している。また、トンネル掘削を考慮した $u=1\%$ においても同様の結果が得られており、トンネル掘削考慮の有無で基礎の支持力に影響しないことがわかる。

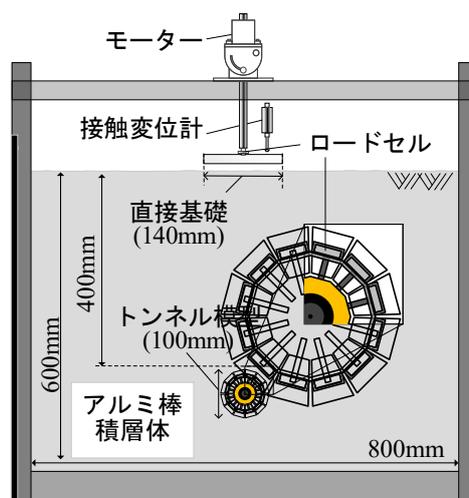


図-1 模型実験の概要図

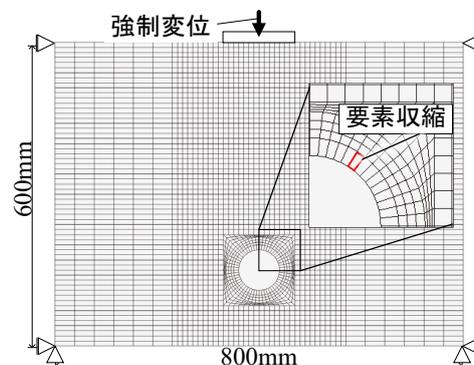


図-2 数値解析モデルの概要図

表-1 アルミ棒積層体のパラメータ

λ	0.008	compression index	
κ	0.004	swelling index	
e_{NC}	0.3	reference void ratio on normally consolidation line at $p = 98 \text{ kPa}$ & $q = 0 \text{ kPa}$	Same parameters as Cam clay model
R_{cs}	1.8	critical state stress ratio $R_{cs} = (\sigma_1/\sigma_3)_{cs(comp)}$	
ν_e	0.2	Poisson's ratio	
β	1.2	shape of yield surface (same as original Cam clay at $\beta = 1$)	
a	1300	influence of confining pressure	

Influence of surface load on existing tunnel

Mikiya Hatsugai, Makoto Suzuki (Chiba Institute of Technology)
Hirokazu Sugiyama, (Shimizu Corporation)
Teruo Nakai, (Geo-Research Institute)

4. 周辺地盤への影響

図-4 に直接基礎載荷時の地盤のせん断ひずみコンター図を示す。極限支持力の得られる $v/B=0.08$ における結果となっており、図から解析値では実験値で確認できるような明確なすべり線やせん断帯を確認することができないが、影響範囲等の傾向は概ね同様であるといえる。

5. トンネル周面土圧

図-5、図-6 にトンネル周面のロードセルにより計測した土圧分布図による実験値及び解析値を示す。トンネル掘削を考慮しないケースでは、直接基礎の載荷時 $v/B=0.08$ において、上部と下部に大きく土圧の増加が確認でき、実験値と解析値はほぼ同様な結果を得られた。トンネル掘削を考慮したケースでは内空変位 $u=1\%$ 時、静止状態からの断面収縮により周面全方向における土圧の減少が確認でき、その後の直接基礎の載荷後時 $v/B=0.08$ において、掘削なしのケースと同様に上部、下部への土圧の増加が確認できるが、掘削なしと比較すると側方土圧への影響は減少する。実験値と解析値の比較では、掘削を考慮したケースの載荷時、トンネル側方において解析値の方が土圧の増加量が大きく、実験値と合わない結果となった。しかし、上部、下部においては同様な値を示している。

この結果の説明のため図-7 に顕著な影響が確認できる、静止状態及びトンネル掘削なしの載荷時 ($v/B=0.05$)、掘削後 (内空変位 $u=15\%$) の載荷時 ($v/B=0.05$) の鉛直応力のコンター図を示す。図から掘削時、トンネル周面の応力が減少し緩み領域が確認できる。載荷時には緩み領域より外側の地盤において鉛直応力の増加が確認でき、緩み領域より外側の地盤が上載荷重を受け持つて載荷されていることがわかる。これは、土被りが $4D$ と深いことにより、内空変位による周辺地盤の緩みと応力の再配分からトンネル周辺にグラウンドアーチが形成され、直接基礎載荷による上載荷重を緩み領域より外側の地盤が受け持つことでトンネル周面土圧が減少したと考えられる。

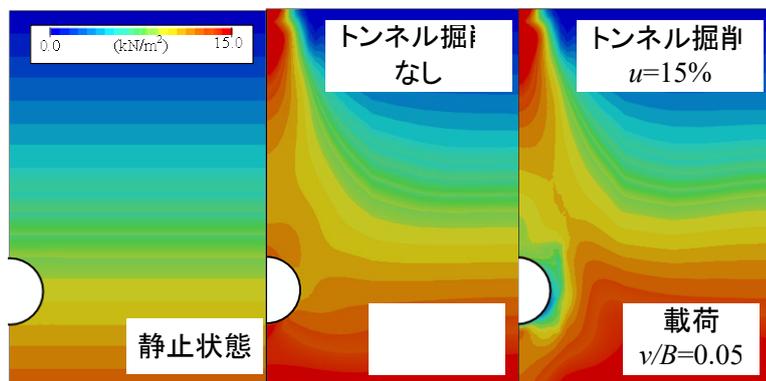


図-7 鉛直応力コンター図

5. まとめ

直接基礎載荷によるトンネル周面土圧への影響を、模型実験と数値解析により評価した。その結果、トンネル掘削による応力状態の変化を考慮しない場合とする場合とではトンネル周面土圧への影響が異なるという結果が得られた。また、実験値と数値解析の結果比較から数値解析においてほぼ同様な結果を再現することができ、妥当な計算結果を得られた。

参考文献

- 1) 国土交通省都市・地域整備局企画課大深度地下利用企画室：大深度地下使用技術指針・同解説, 2001.
- 2) Nakai, T. and Hinokio, M. : A simple elastoplastic normally and over consolidated soils with unified material parameters, Soils and Foundations, Vol. 44, No. 2, pp. 53-70, 2004..

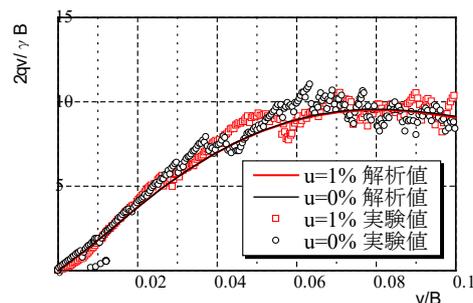


図-3 荷重沈下分布図

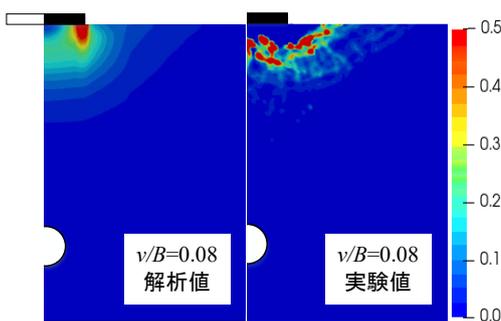


図-4 せん断ひずみコンター図

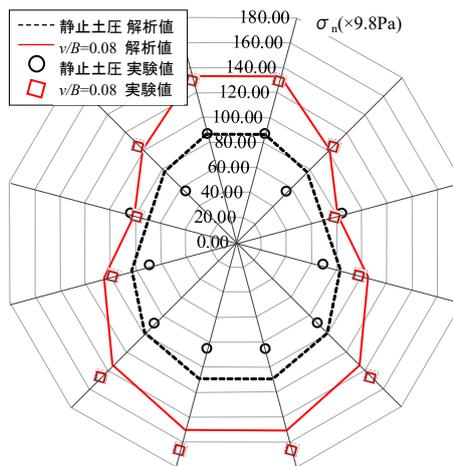


図-5 周面土圧分布図 (掘削なし)

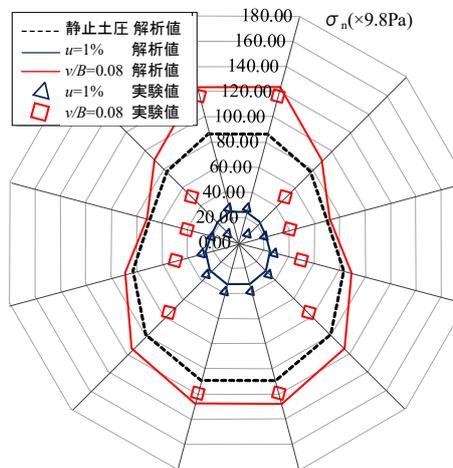


図-6 周面土圧分布図 (掘削あり)