

シールド急曲線部のセグメントに作用する水平土圧に関する遠心模型実験

清水建設（株） 正会員 ○内山 伸
同 正会員 吉田 順 杉山博一

1. はじめに

シールド急曲線施工での変向荷重やセグメントに作用する地盤反力は、本体設計のみならず補助工法の地盤改良設計にも重要である。それらの実態に関しては、小型模型実験¹⁾や現場計測²⁾が行われているものの、地盤改良の形状効果や土質、部材剛性の違いの影響など系統的検討が十分になされておらず、補助工法設計の合理化の余地が残されている。

本研究では、実証的な検討手法として遠心力場の模型地盤を用いて変向荷重³⁾や土中応力の分布把握と影響因子の抽出、評価を目指している。今回、急曲線部のセグメントを模擬したアルミ製リング連結部材にジャッキ荷重を与え、部材作用土圧と土中土圧の測定を試みた。その結果、土中土圧センサー部材自体の存在とセグメント部材間の剛性が、地盤反力分布に与える影響を把握できたので報告する。

2. 実験方法

図1は模型土槽および砂地盤の平面と断面である。砂地盤は、剛体土槽内に空中落下法により豊浦砂を相対密度約80%で撒きだし作成した。

図2は土圧センサー部材とリング状の模擬セグメント部材である。土圧センサー部材は、径6mmの土圧センサーを埋め込んだアルミ製部材（2cm×2cm、厚さ1cm）である。セグメント部材もアルミ製で、直径5cm、厚さ1cmの円筒リングの端部にテーパを付け、外長3cm、内長2.4cmに仕上げた。このリング14個または13個を連結してR=25cm(=5D)の曲線部約90°を表現した。1リングは約6.4°を成す。土中土圧は土圧センサー部材を直接地盤中に配置して測定した。セグメントに作用する土圧は、3個のリング部材に土圧センサー部材を組み込んで測定した。

実験は約30Gの遠心加速度下で水平ジャッキによる水平載荷を行った。したがって、今回のセグメント径は実スケール換算で1.5mとなる。ジャッキとセグメント部材はロードセルを介して部材中心点で

接し、土槽側壁に接する部材面は自由端である。ジャッキは0.2mm/minの変位制御である。計測項目は、セグメント中間高さで部材に作用する水平応力（地盤反力）、同じ高さで水平離隔2cmの土中水平応力、ロードセルによるジャッキ荷重、レーザー変位計による水平ストロークである。

図3は実験ケースの模式である。(a)と(b)では本体の3か所の地盤反力測定を同一にして、12個の土中土圧センサー部材の有無による測定値への影響を比較した。セグメントには14個のリング部材を使用し、部材間はいずれもボルトで固定している。(c)は土中土圧センサー部材のみの配置で、リング部材間の剛性を極端に弱くした。リング部材間にそれぞれゴムパッキン（厚さ1mm）を挟んだうえ、円周方向をテープ留めにより伸縮を許容した。ゴムパッキンの厚みのため、(c)は13個のリング部材で約90°の曲線を模擬した。

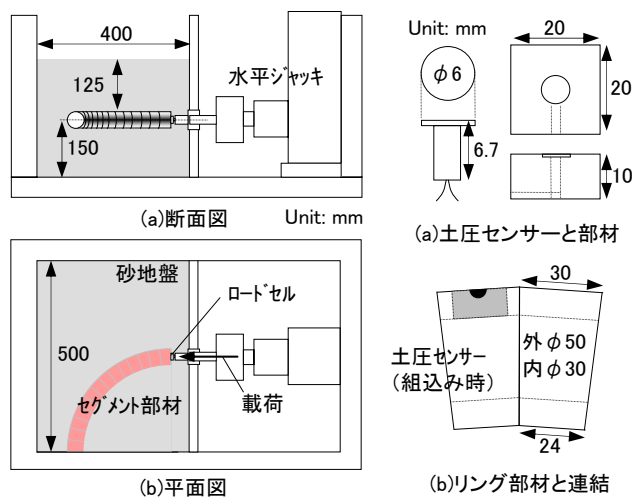


図1 模型土槽と地盤

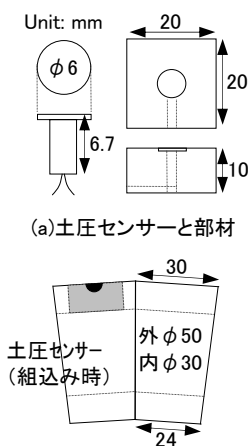


図2 使用部材

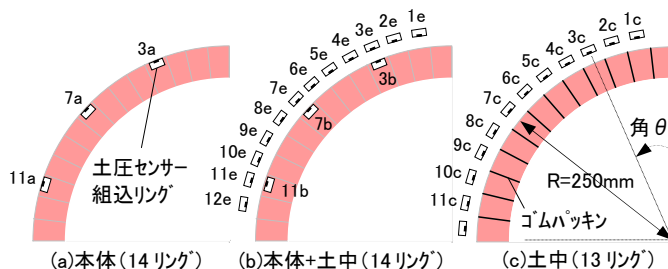


図3 実験ケース(土圧計測の組合せ)

キーワード シールドトンネル、急曲線施工、セグメント、遠心模型実験、水平応力

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 TEL 03-3820-8482 E-mail noburu_uchiyama@shimz.co.jp

3. 実験結果

結果図のジャッキ荷重(kN), 変位(mm)は遠心加速度に応じた実スケールに換算している。

図4は実験(a)～(c)のジャッキ荷重と水平変位の関係である。(a)と(b)はほぼ同様の推移を示しており, 荷重変位の関係は, 土中土圧センサーの存在の影響をほとんど受けていないことがわかる。変位量から見た今回のセグメント曲線部全体の剛性の差は, 剛結型と伸縮型で3倍程度となった。

図5は実験(a)と(b)の荷重とセグメント部材に作用した増加応力の関係である。いずれの位置でも両者はほぼ同様の推移を示しており, セグメントが受ける地盤反力も土中土圧センサーの存在の影響をほとんど受けていない。

図6は実験(b)の3か所のセグメント部材に作用する増加応力と, 対応する位置(離隔60cm, 受圧面平行)にある土中の増加応力の関係である。いずれの位置でもセグメント作用応力より土中応力は小さい。その低減割合は0.4～0.7倍程度となったが, 載荷方向と受圧面の角度などとの関連が推測される。

図7は実験(b)と(c)での, 曲率中心の角度 θ と土中の増加応力の分布である。既往の急曲線時の計測^{2), 4)}によれば, シールド径2.5～8.0mのとき推進力最大値が2000～20000kN程度であることから, 本実験($\phi 1.5\text{m}$)ではジャッキ荷重500, 1000, 2000kNの時の分布に着目した。セグメント間剛性に関らず, 載荷点から離れると増加応力は低減する。その分布形は剛結型では直線的で部材全体にわたり, 伸縮型では曲線的に急減しその範囲は限定的である。一方, 最大値は伸縮型の方が高くなった。このことより, 遠心模型で荷重レベルと部材間剛性の強弱に応じて, 実際的な地盤反力分布を検証できる可能性が示された。

4. まとめ

- (1) 遠心実験の模型地盤内で, 土中土圧センサー自体の存在がセグメント部材の地盤反力値に与える影響は小さい。
- (2) セグメント部材近傍の土中水平土圧は, 部材に作用する土圧より小さく, その低下割合は離隔60cm (0.4D) で0.4～0.7倍となった。
- (3) セグメント部材間剛性の違いは, 荷重水平変位関係だけでなく, 荷重レベルに応じて延長方向の水平土中土圧の分布形に反映される。

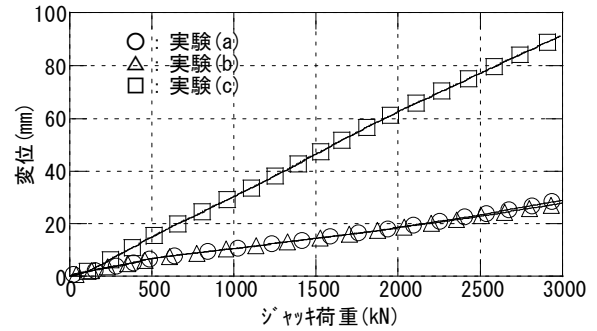


図4 荷重と水平変位の関係(実験 a-b-c)

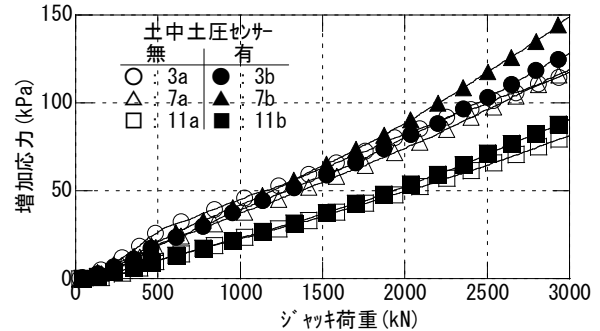


図5 セグメントに作用する土圧(実験 a-b)

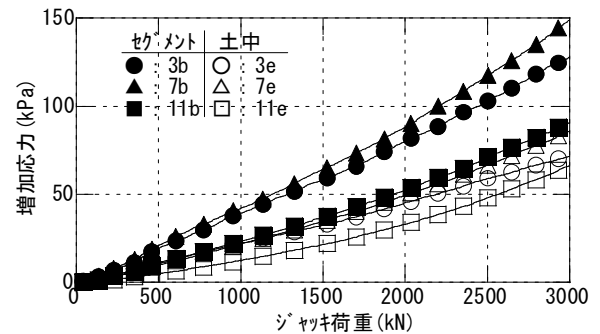


図6 セグメントと土中の土圧比較(実験 b)

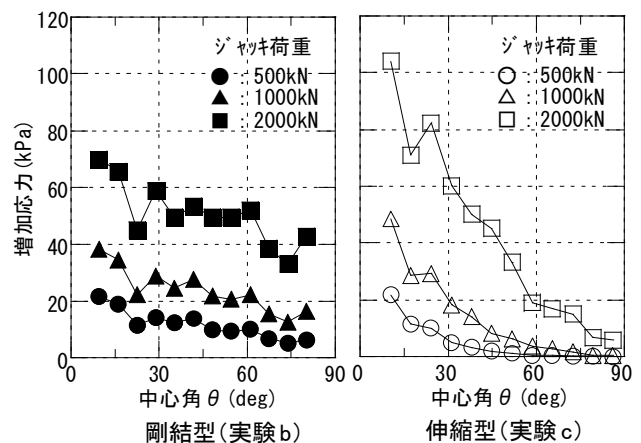


図7 セグメント部材間剛性の違いと土中土圧分布(実験 b-c)

参考文献

- 1) 吉田弘明ほか: 急曲線・急勾配シールドトンネルの模型実験と数値解析 (その1), 土木学会第47回年次学術講演会講演集, III-38, pp.118-119, 1992.
- 2) 富沢璋夫: 急曲線推進時におけるシールドトンネルの挙動, トンネルと地下, 第19巻, 1号, pp.31-38, 1988.
- 3) 内山伸ほか: シールド急曲線部の推進方向の周辺土中土圧に関する遠心模型実験, 土木学会第66回年次学術講演会講演集, III-114, pp.227-228, 2011.
- 4) 宮本幸始ほか: 富津袖ヶ浦間ガス導管新設工事急曲線シールドトンネルの設計と施工: 電力土木, No.237, pp.78-86, 1992