

シールドセグメントの作用荷重に関する解析的検証

(株)大林組 技術研究所 正会員 ○杉江 茂彦 正会員 高橋 真一  
フェロー会員 鳥井原 誠 正会員 鈴木 和明

1. はじめに

シールドのセグメントは、施工時には組立てにともなう締圧、マシンの移動に伴うジャッキ圧・ブラシ圧や裏込圧等の荷重を受ける。また施工後には長期荷重として土圧・地下水圧を受ける。セグメントの慣用設計<sup>1)</sup>では、土圧・水圧ならびに地盤とセグメントの相互挙動を想定した反力荷重を主荷重として、これらを鉛直と水平の二方向の荷重に代表させてセグメントに与えている(図-1参照)。ここでセグメントの変形によって地盤から受ける反力は水平方向の荷重を対象としている。実際にはセグメントには鉛直方向の変位も生じ、これによる除荷的な反力も働くはずである。この鉛直方向の反力の効果はどの程度のものであろうか。本研究では地盤とセグメントを模擬した有限要素モデルによりセグメントの周囲の荷重と発生部材力を試算してみた。遠心模型実験、慣用設計荷重との比較結果を報告する。

2. 地盤およびシールドセグメントの解析モデル化

遠心模型実験<sup>2)</sup>の地盤とセグメント(図-2)を模擬した有限要素モデルを図-3に示す。実験での100G載荷時の地盤応力場において、円形断面の空洞を上下2段設ける場合の応力変形解析を行った。実験ではセグメントで支持された空洞に遠心加速度を漸増させて与えたが、本解析では円形空洞に該当する位置の要素を削除し地盤応力と物体力を解放させることで掘削時の応力変化を模擬した。

地盤およびセグメント部(シェル要素で模擬)の材料定数値を表-1に示す。地盤は粘性土にセメントを加えて作成したものであり、一般の地盤に比べてポアソン比・静止土圧係数が小さい。セグメント部は実験では4.5mm厚さの鋼管パイプを用いている。100G場を対象とした解析モデルではシェル要素に厚さ45cm、鋼材の剛性を与えて模擬した。解析コードにはGRASP3D<sup>3)</sup>を用いた。

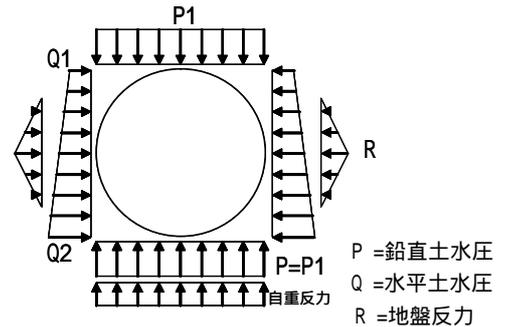


図-1 慣用設計における主荷重 (セグメント周辺の長期荷重)



図-2 遠心模型実験 シールド掘削部モデル

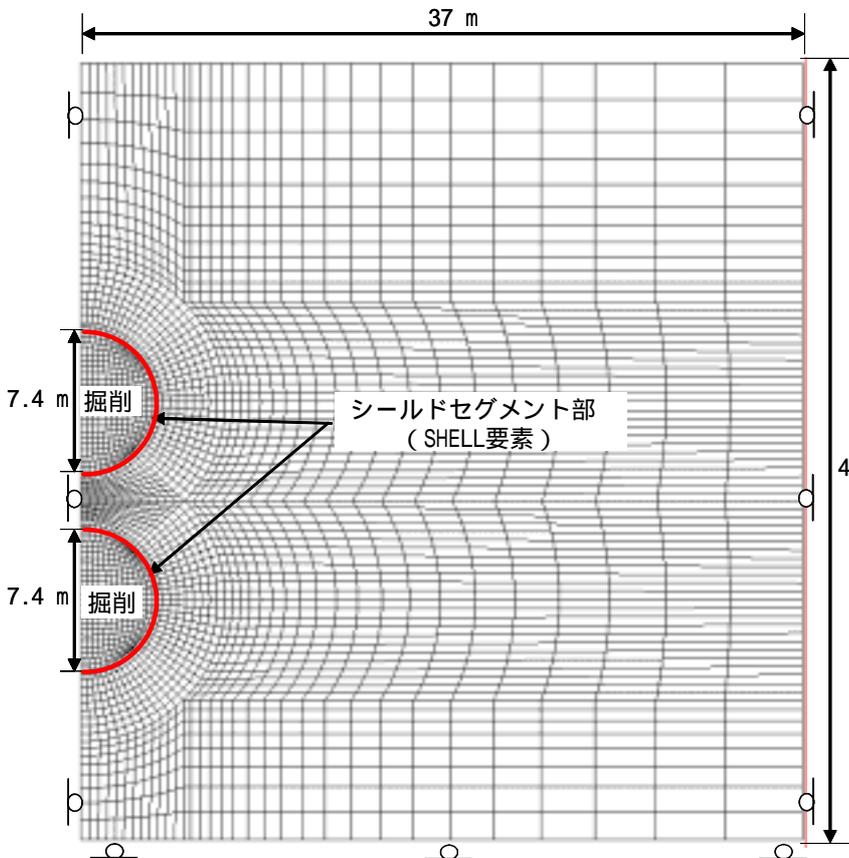


図-3 有限要素法解析モデル

表-1 地盤およびセグメント鋼材の定数値

(地盤: Drucker-Prager破壊規準)

変形係数	130000 kN/m <sup>2</sup>
ポアソン比	0.182
粘着力	300 kN/m <sup>2</sup>
密度	1.74 g/cm <sup>3</sup>
静止土圧係数	0.223

(セグメント: 鋼製)

変形係数	2.1E+08 kN/m <sup>2</sup>
ポアソン比	0.3

厚さ: 45cm

キーワード : シールド、セグメント、荷重、有限要素法解析、遠心模型実験、慣用設計

連絡先 : 東京都清瀬市下清戸 4-640 TEL : 042-495-1097 FAX : 042-495-0903

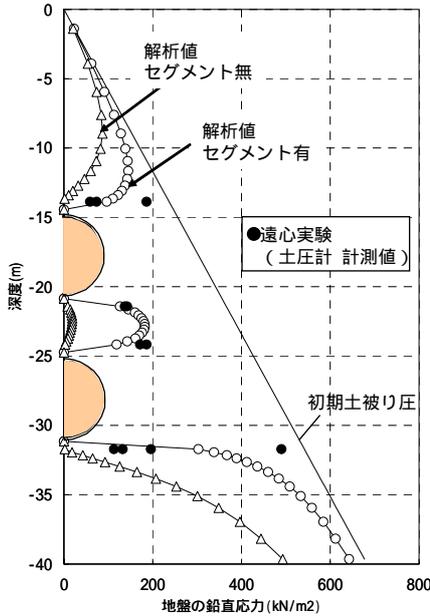


図-4 地盤の鉛直応力(空洞中心線位置)

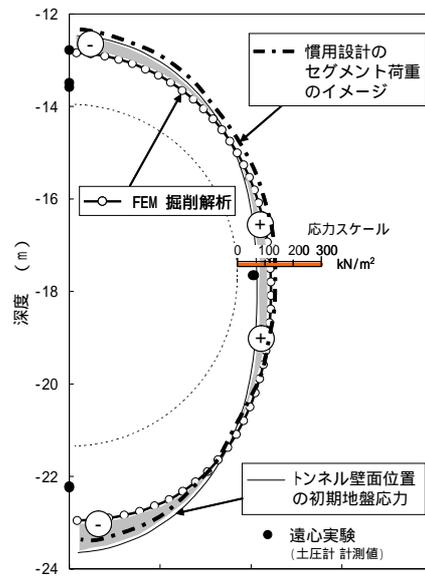
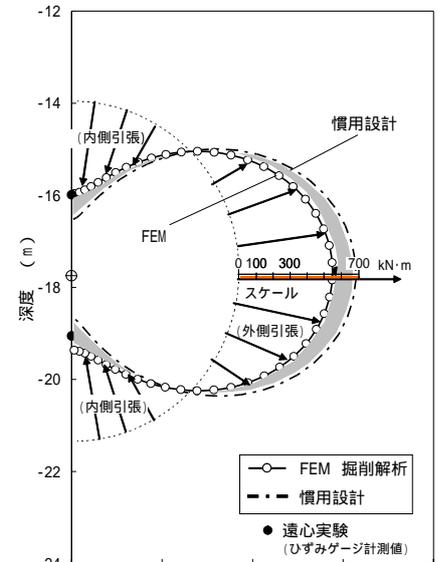
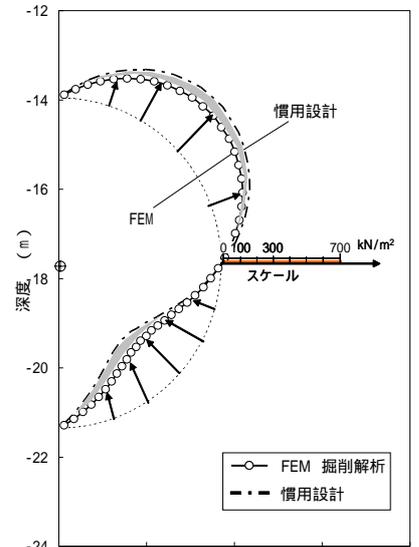


図-5 セグメントの荷重分布(半径方向応力値)：上段空洞部



(a) 曲げモーメント



(b) せん断力

図-6 セグメント部材力の分布：上段空洞部

3. 解析結果

(1) 空洞の上方・下方の地盤の鉛直応力

空洞の中心線位置の地盤の鉛直応力分布を図-4に示す。セグメントが無い解析値も比較に加えた。セグメントの支保効果により地盤応力の解放される度合いが軽減されている。また空洞がある領域(深度-15m~-32m)の上方・下方では、初期土被り圧の線に向かって地盤応力値が漸近しており、アーチ効果の傾向が示されている。セグメントの頂部・底部での土圧計の実測値との比較では、土圧計の実測値にばらつきが有るものの、総じて解析値は実測値の分布と比較的良好な整合を示している。

(2) セグメントの荷重分布

上段の空洞部のセグメントの荷重分布(半径方向の応力値に変換)を図-5に示す。

図中の(○)のプロット線が掘削後の地盤応力値である。掘削に伴うセグメントの変形により各部は異なった応力変化をしている。本報の実験・解析条件ではセグメントが鉛直方向に潰れ、水平方向に長径を持つ楕円形状となる。これにより、セグメントに水平方向に押された位置では反力(図中(+))のハンチ部が生じ、荷重は初期地盤応力(実線)の値より増している。一方、潰れて短径となるセグメントの頂・底部付近では初期の地盤応力(土被り圧)に比べて荷重が減少(図中の(-))マークのハンチ部

している。遠心実験でのセグメントの土圧実測値( )においても同様の傾向が認められる。図-1に示した慣用設計での主荷重のイメージを図-5に一点鎖線で加えている。掘削前の鉛直・水平地盤応力を基準として、これに側部に水平方向の地盤反力、底部にセグメント自重の反力を加えたものが想定されている。解析で得られた荷重分布(○のプロット線)に比べて、セグメントの頂・底部付近の荷重低減が見込まれていない分、全体の荷重の絶対量は大きめ、偏圧の度合いは小さめの値となっている。

(3) セグメントの部材力

曲げモーメントとせん断力を図-6(a),(b)に示す。FEM(掘削解析)の計算値を○のプロット線で示す。慣用設計の荷重イメージ(図-1,図-5参照)による部材力を一点鎖線で示す。別途にセグメント(SHELL要素)に慣用設計の荷重を直接載荷して得られた計算値である。曲げモーメントは、セグメントの頂・底部付近ではセグメントの内側面で引張り、側部ではセグメントの外側面で引張りを示し、セグメントの変形に応じた分布となっている。曲げモーメント・せん断力ともに慣用設計の荷重で得られた値はFEMの値に比べて大きい。慣用設計の荷重想定にはセグメントの変形にともなうセグメントの頂・底部位置の荷重低減が見込まれていない。このことがこの差を生んでいる。両者の部材力値を大きな値が生じる位置で比較する。その比(慣用設計荷重での計算値/FEM掘削解析の計算値)は、曲げモーメントでは1.35(底部)、せん断力で1.30(下方のピーク部)、図は割愛したが軸力では1.10(側部)となり、有意な差が得られた。今後、土圧・水圧を分離した荷重条件についても検証していきたい。

「参考文献」

- 1)トンネル標準示方書 シールド工法・同解説,土木学会,2006
- 2)高橋・杉江・鳥井原:シールドセグメントの土圧に関する遠心模型実験,第42回地盤工学研究発表会,2007
- 3)Ohta,H.,Iizuka,A.,Omote,Y.,Sugie,S.:3-D analysis of soil/water coupling problems using elastoviscoplastic constitutive relationships,Proc.7th Int. Conf. Computer Methods and Advances in Geomechanics, Vol.2, pp.1191~1196,1991