都市部の非開削工法に関する試み

長岡工業高等専門学校　学生会員　○中澤　智博
長岡工業高等専門学校　正会員　大澤　拓洋
長岡工業高等専門学校　正会員　岩波　基

1．はじめに

都心部の交通量の激しい都道部交差点直下で，埋設物が輻輳する施工条件となっているところでは，大深度地下空間をシールドトンネル内からの先行支保工を用いた非開削工法で施工することが必要となることが多い．

2006 年に熊谷組は，**図-1** の赤丸の位置に副都心線 13 号線の中間ポンプ室を非開削工法で採用して施工した．

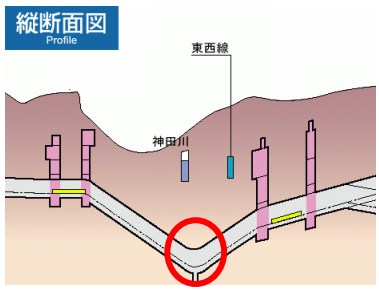


図-1　施工断面図

筆者らはトンネルの施工時挙動を再現するのに通常用いられることが多い施工ステップを考慮した 2 次元 FEM 解析値および 3 次元 FEM 解析値で計測値を表現することを目指したが，解析値と計測値に大きな差異が生じた [1),2)]．そこで，本報告では，支保工と地山の間に非線形のばねを入れて境界面における剥離と滑りを表現した 3 次元 FEM 解析モデルを用いて解析を実施し，解析値と計測値を比較して検討した結果をまとめたものである．

2．解析モデル

解析モデルは，**図-2** に示したような側方はトンネル径の約 5 倍，下方はトンネル径の約 2 倍そして奥行き方向は躯体の約 16 倍の解析領域とした 3 次元モデルを採用した．また，**図-3** のようにシールドトンネルと中間ポンプ室の躯体コンクリート，施工時の先行支保工の鋼管や補強用支保工のH型鋼もモデル化した．

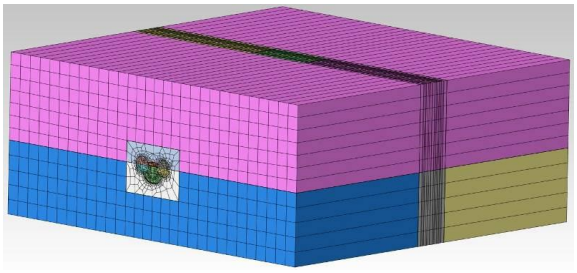


図-2　3 次元モデル図

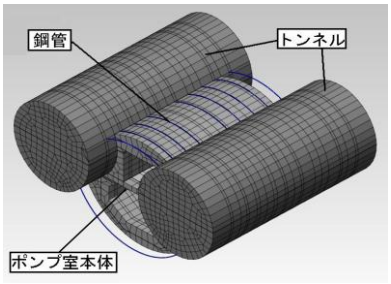


図-3　中間ポンプ室詳細図

支保工と地山の間に非線形のばね以外は全ての要素を弾性体として評価し，非開削掘削の施工ステップを考慮した解析を実施した．地盤，ポンプ室躯体そして吹付けコンクリートは 3 次元のソリッド要素で表現しており，物性値には**表-1** と**表-2** の値を使用した．

表-1　地盤の物性値

	単位体積重量 γ (kN/m³)	変形係数 E(kN/m²)	ポアソン比 ν	粘着力 C(kN/m2)	内部摩擦角 (°)
上総層粘性土 (kac1)	17	54,400	0.35	260	0
上総層砂質土 (kas1)	18	75,300		0	42

表-2　構築コンクリートの物性値

項目	ヤング係数E (kN/m²)	ポアソン比
吹付けコンクリート	3.4×10^6	0.2
ポンプ室躯体	2.5×10^7	
ポンプ室躯体 開口部	2.1×10^6	

境界面のばねは，法面方向にはノンテンションで，せん断方向には**表-1** の地盤の物性値で降伏するように設定した．なお，境界面のばねの効果を把握するためにそのばねを考慮しない 3 次元解析も実施した．

シールドセグメントはセグメント主桁をバー要素で表現し，スキンプレートを厚さ 9mm の鋼製のプレート

キーワード　大深度地下　非開削　曲線ボーリング
連絡先　新潟県長岡市西片貝町 888　長岡工業高等専門学校　環境都市工学科　電話＆FAX 0258-34-9273

要素モデル化した．セグメント主桁の物性値を**表-3** に示す．鋼管を用いた先行支保工と補強用 H 型鋼はバー要素で表現しており，先行支保工の物性値は中詰めモルタルを考慮して**表-4** の値を，H 形鋼は**表-5** の値を使用する．

表-3　セグメント主桁の物性値

	1リングあたり
セグメント外形 (m)	6.6
セグメント幅 (m)	1.6
セグメント高さ (m)	270
ヤング係数 (kN/m^2)	2.1×10^{8}
ポアソン比v	0.3
断面積A (m^2)	2.533×10^{-2}
断面二次モーメントI (m4)	1.982×10^{-4}

表-4　先行支保工の物性値

		1本あたり
ヤング係数E	(kN/m^2)	5.500×10^{7}
断面積A	(m^2)	6.229×10^{-2}
断面二次モーメント	(m^4)	3.707×10^{-2}

表-5　H 鋼の物性値（H-250×250）

		1本あたり
ヤング係数E	(kN/m^2)	2.1×10^{8}
ポアソン比		0.3
断面積A	(m^2)	9.143×10^{-3}
断面二次モーメント	(m^4)	1.070×10^{-4}

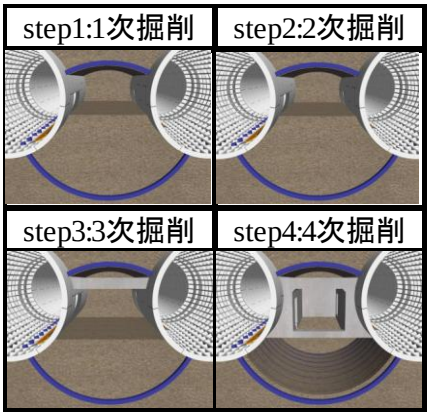
3．解析結果

ポンプ室の施工は，上下の先行支保工を挿入して 1 次掘削を行う step1，吹き付けコンクリートを施し 2 次掘削を行う step2，ポンプ室上床版を構築し 3 次掘削を行う step3 そしてポンプ室 1 階を構築し 4 次掘削を行う step4 に段階分けできる．そこで，上先行支保工の軸力を通常の 3 次元 FEM 解析結果，境界面を考慮した 3 次元 FEM 解析結果および計測値について施工 step ごとに比較したものが**図-4** である．また，下先行支保工の同様の値を**図-5** に示す．

図-4 から分かるように，上先行支保工の中央部の軸力は，計測値では step1 で 400kN が生じた後，ほぼ変化がないが，通常の 3 次元解析値が 800kN となり，境界面考慮ありの結果は，軸力がほとんど生じない結果となった．

下先行支保工の中央部の軸力は，計測値と境界面考慮ありの解析値がほぼ 0 に近い値であったが，正負が異なった．また，通常の 3 次元解析による値は上先行支保工の中央部の軸力と同様に 800kN 程度の値が生じた．

表-6　step 説明図



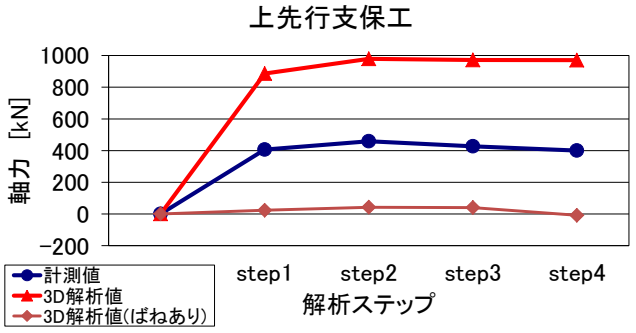


図-4　解析値と計測値との比較

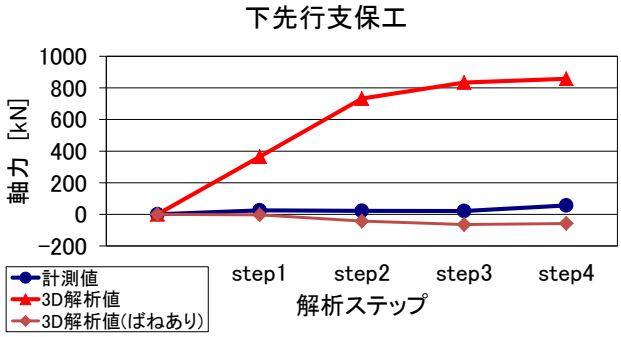


図-5　計測値と解析値との比較

4．まとめ

今回の検討では支保工と地山の間に非線形のばねを入れてノンテンションとせん断方向滑りを考慮した 3 次元モデルを用いたが，実際の挙動を表現することが出来なかった．今後は，支保工と地山の間に非線形のばねの物性値を検討し，解析精度向上を目指して研究を進める予定である．

参考文献

1) 中澤智博，大澤拓洋，岩波基：都市部の非開削工法に関する検討，土木学会第 65 回年次学術講演会 ROMBUNNO.III-104

2) 中澤智博，大澤拓洋，岩波基：非開削工法による掘削解放力に関する検討，土木学会第 64 回年次学術講演会 ROMBUNNO.VI-058