

非開削工法による掘削開放力に関する検討

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

1. 目的

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必要がある。

このような場合に、過去の文献では、全土被りの掘削解放力を考慮して実施した2次元FEM解析値は計測値より大きく異なることが報告されている¹⁾。そこで、本報告では、曲線ボーリングの施工時の応力解放と、トンネル縦断方向応力再分配を考慮して、横断面方向2次元FEM解析に採用する適正な掘削開放力の算定方法について検討したものについて述べる。なお、解放力の評価は、上先行支保工の断面力に着目し、解析値と計測値の比較を行って評価した。

2. 解析手順

解析は①先行支保工の中央部のばねモデル評価、②曲線ボーリングと縦断方向の掘削開放応力度の評価そして③ポンプ室内部掘削時の各部材発生断面力算定という順序で行った。それぞれについて概略を以下に述べる。

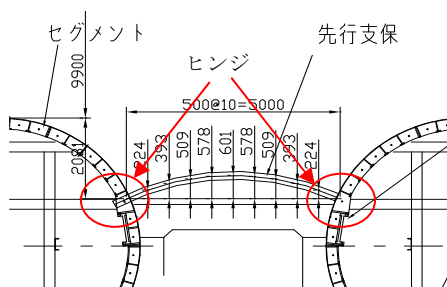


図-1 上先行支保工

表-1 角鋼管 250×250 物性値

鋼管 緒元	形状	1本あたり 各鋼管	
	外径	250×250	(mm)
中詰 諸元	厚さ	9.0	(mm)
	変形係数	E_s	2.1×10^8 (kN/m ²)
	断面積	A_s	75.41 (cm ²)
	断面2次 モーメント	I_s	6290 (cm ⁴)
合成 物性値	断面係数	Z_s	470 (cm ³)
	変形係数	E_c	2.0×10^7 (kN/m ²)
	断面積	A_c	486.2 (cm ²)
	断面2次 モーメント	I	3.707×10^4 (m ⁴)

①先行支保工の中央部のばねモデル評価

図-1 に上先行支保工をヒンジアーチとして、骨組構造モデルで評価し、土圧相当の分布荷重を載荷して中央部変位を算出する。そして、変位と分布荷重から上先行支保工中央部のばね値を算定する。この解析に用いた□-250の先行支保工の物性値を表-1に示す。

②曲線ボーリングと縦断方向の掘削開放応力度の評価

図-2 のようにポンプ室中央のトンネル方向断面を2次元FEM解析

表-2 地盤の物性値

岩種	単位体積質量 γ (kN/m ³)	変形係数 E (kN/m ²)	ポアソン比 ν	粘着力 C (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
上総層 粘性土 (Kac1)	17	54,400	0.35	260	0
上総層 砂質土 (Kas1)	18	75,300	0.35	0	42
上総層 砂室土 (Kas1) リバウンド時		225,900			

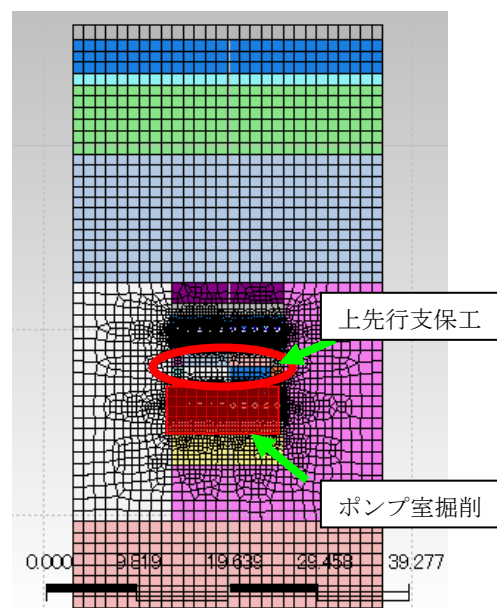


図-2 縦断方向モデル

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

のモデルで評価し、初期応力、曲線パイプルーフ施工、そして①で算定したばねモデルで指示された鋼管の設置およびポンプ室内部掘削の4段階の施工毎に解析を行った。そして、施工完了時の先行支保工周辺における鉛直方向地盤応力度と初期応力度との比率で掘削開放応力率を評価した。なお、ポンプ室内部掘削は上下の交換に接している地山のみを掘削した。その結果、先行支保工に作用する掘削解放応力度は、全土被り鉛直応力度の約80%となった。地盤条件を表-2に示す。

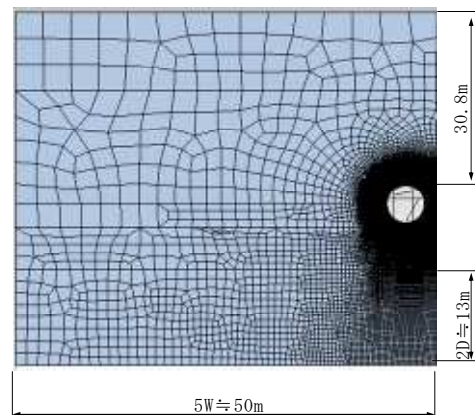


図-3 解析モデル（全体）

図-3、4に示すトンネル横断方向FEM解析から得られるポンプ室最上部掘削施工ステージの先行支保工に生じた断面力を抽出する。なお、トンネル上方は全土被り、側方はトンネル径の約5倍そして下方はトンネル径の約2倍の解析領域とし、構成要素には表-3に示した要素モデルを、物性値には表-1、2の値を採用した。

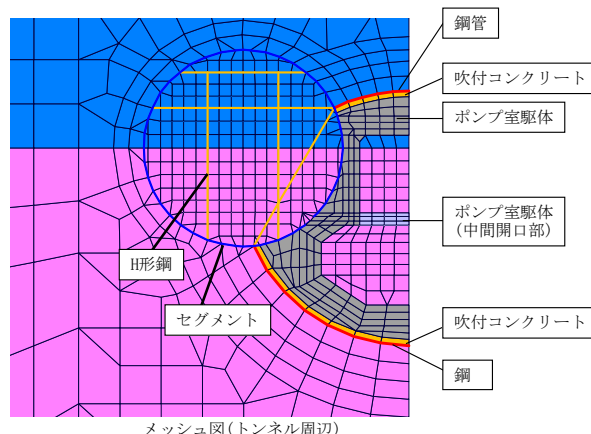


図-4 解析モデル（中心部詳細）

表-3 地山および部材のモデル化

構成要素	要素モデル
地 山	平面ひずみ要素
吹付コンクリート	平面ひずみ要素
ポンプ室躯体	平面ひずみ要素
セグメント	梁要素
鋼管	梁要素
H形鋼	梁要素

表-4 解析結果

	軸力(kN)
計測値	550
解放力考慮	628
無 視	786

3. 解析結果

解析結果の評価は、曲線パイプルーフによる地盤内応力の変化を考慮したケースと考慮していないケースにおける、2ケースで先行支保工に生じた断面力を比較して表-4に記す。この結果から、ポンプ室内の1次掘削時の解放力を考慮すると先行支保工に発生する軸力は628kNと計測値の550kNに近い値となり、曲線ボーリング施工時の応力再分配と掘削時の3次元的なアーチ効果を考慮しない場合には、計測値の約1.5倍の786kNとなった。このことから、曲線パイプルーフによる地盤内応力の変化を考慮することで、上方からの掘削解放力の推定精度を向上できると考えられる。しかし、両者とも2次掘削以降は計測値と差が大きく傾向があり¹⁾、曲線パイプルーフによる地盤内応力の変化を考慮しただけでは、ポンプ室掘削時の挙動を再現する精度を向上させることができないことがわかった。

4. まとめ

今後、ポンプ室の掘削時における挙動をさらに解明し、設計法の確立を目指す予定である。

謝辞: データの使用を快く承諾してくださった東京地下鉄 大石氏と解析方針にヒントをくださった日本シビック 斉藤氏には心から感謝を申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 千代啓三, 辻雅行, 村松奏, 梶山雅生, 岩波基: 都心部での非開削切掘り施工の計測結果と解析に関する一考察, トンネル工学論文集第18巻 PP79-90, 2008