

都心部での非開削切掘り工法における曲線パイプルーフの挙動再現に関する試み

長岡工業高等専門学校 学生会員 ○齊藤 悠耶

長岡工業高等専門学校 正会員 岩波 基

1. はじめに

東京地下鉄(株)では、地下鉄副都心線において、雑司が谷駅と西早稲田駅間の中間点付近が最深部となることからポンプ室を構築した。中間ポンプ室は交通量の激しい交差点直下であり、かつ、土被りは約 33m で、地下に大型埋設物が輻輳する点を考慮し、ディープウェル工とウェルポイント工との併用によってポンプ室まで地下水位を下げた上で、シールドトンネル内から曲線パイプルーフを施工し、非開削で切り掘げる工法(Pss-Arch 工法)を採用した。本報告では曲線パイプルーフと地盤境界面間にばね要素を入れて境界面に生じるずれを考慮した上で、地盤の掘削より深い位置の剛性を変化させて二次元 FEM 解析を行い、曲線パイプルーフの挙動を再現することを試みた。

2. 施工方法の概要

図1は中間ポンプ室の構造を示した平面図と断面図である。ポンプ室近傍のシールドトンネルには、鋼製セグメントで構築されており、セグメントは外径がφ6,600mm、厚さが270mm、リング幅は一般部と同じ1,600mmである。上下の曲線パイプルーフを1.2mピッチで設置し、シールドトンネル内にH-250×250による変形防止鋼材をパイプルーフと同じ1.2mピッチで設置した。ポンプ室部の掘削は4回に分けて行い、1次掘削でポンプ室の上側を掘削し、厚さ100mmの吹付けコンクリートを行った。2次掘削以降、ポンプ室を逆巻きで打設し、4次掘削で下パイプルーフまで掘削を行った。地下水压は掘削底版で約0.32MPaであり、そのような状況では施工が出来ないため、ディープ・ウェルとウェル・ポイントを併用して、地下水位を掘削部より低下させて施工を行った。

3. 解析の概要

(1) 方針

ここでは、曲線パイプルーフで計測された軸力と曲げモーメントを解析で再現することを試みる。掘削におけるリバウンド挙動は、地盤の剛性を3倍程度にすることで実挙動を再現できると言われているが、既往の研究で6倍でもリバウンドが大きかったため、今回は掘削以深の地盤の剛性を通常時の6倍、8倍、10倍にして解析を行った。なお、上下のパイプルーフと地盤の間にばね要素を取り入れてノンテンションであることを考慮した。今回の解析には、Soil+Staticを用いた。

(2) 条件

表1, 2, 3は地盤、曲線パイプルーフおよびばね要素の物性値をまとめたものである。曲線パイプルーフは、挿入後に鋼管内を中詰めコンクリートで

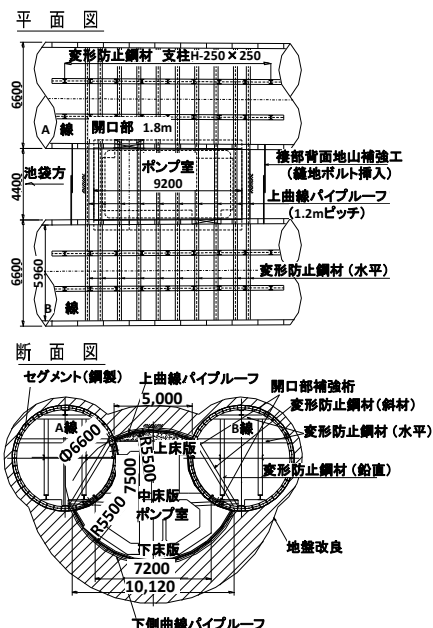


図1 中間ポンプ室施工概要図

表1 地山の物性値

項目	単位	上総層粘性土 (Kac1)	上総層砂質土 (Kas1)
N値	—	30~50	50以上
単位体積重量	kN/m ³	17	18
粘着力	kN/m ²	260	0
内部摩擦角	°	0	42
変形係数	kN/m ²	54,400	75,300
透水係数	cm/sec	—	1×10 ⁻³

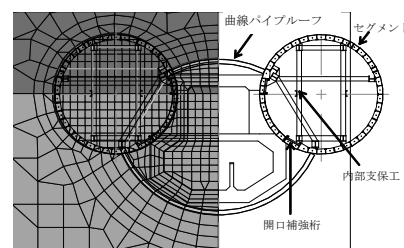
表2 曲線パイプルーフ鋼管の物性値

	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 ⁻⁴

表3 ばね要素の物性値

	Kac1	Kas1	Kas1*
軸圧縮方向ばね定数	(kN/m)	1.0×10 ⁶	
せん断方向ばね定数	(kN/m)	19584	27108 81324
粘着力	(kN/m ²)	260	0
内部摩擦角	(°)	0	42

図2 解析モデル



キーワード シールド工法, ポンプ室, 非開削工法, 曲がり鋼管, 地盤改良工, FEM 解析

連絡先 〒949-8532 新潟県長岡市西片貝町 888 長岡工業高等専門学校長岡工業高等専門学校 TEL 0258-32-6435

充填したため、鋼管とコンクリートの合成構造とした物性値を使用した。なお、計測ひずみより断面力を算出する際には、軸力は鋼管と中詰コンクリートで分担し、曲げモーメントは鋼管のみで受け持つものとした。

(3) モデル

図2は今回の解析モデルのポンプ室周辺を示した図である。解析領域は、水平方向に掘削幅の6倍、鉛直方向は、ポンプ室の下に掘削幅の2倍取った。境界条件は側面でX方向を固定し、下端では両方向を固定した。地盤とポンプ室躯体、および吹付けコンクリートを平面ひずみ要素で評価し、セグメントと曲線パイプルーフ、内部支保工をはり要素でモデル化した。なお、縦桁は、モデル化せず、セグメントとポンプ室コンクリートは剛結としてモデル化した。

(4) 解析段階

図3は解析段階を示したものである。上半1次掘削時の応力解放は既往の研究から3次元効果考慮して80%とし、それ以外の全てのステップは、応力解放率100%として解析を実施した。

4. 計測値と解析値の比較

図4は上下曲線パイプルーフにおける軸力と曲げモーメントの計測値と解析値の比較を表したものである。着目する施工段階は、表4に示したように上半1次掘削時をstep1、上半2次掘削時をstep2、上半3次掘削時をstep3、下半掘削時をstep4としている。

図4から分かるように、上側曲線パイプルーフに生じた軸力も曲げモーメントとも計測値よりも解析値が大きい結果となった。また、地盤の剛性による違いはほとんどない結果となった。下側曲線パイプルーフの曲げモーメントは3次掘削まではほとんど生じず、計測値と解析値がほぼ一致した。しかし、4次掘削では解析だけ負曲げが生じる結果となった。軸力については3次掘削だけ解析値で300kN程度生じて計測値と異なったが、それ以外はほぼ一致した。

5. おわりに

今回の検討で、上側曲線パイプルーフでは解析値が計測値と際を生じたが、下側曲線パイプルーフの解析値は、一時的に異なる以外は、ほぼ一致した。また、地盤の剛性は6倍以上においては影響が無いことがわかった。今後、さらに、パイプルーフだけでなく全ての支保工とセグメントに生じる計測結果を表現できる解析手法を検討する予定である。

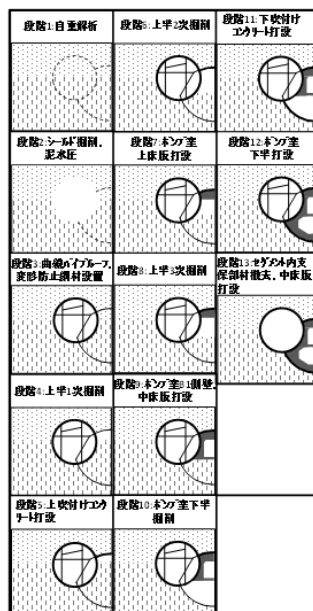


表4 着目した施工段階

step 1: 上半一次掘削 天端～-2.0m	
セグメント開口部設置 上半一次掘削 パイプサポート間土留め	
step 2: 上半2次掘削 -2.0～-3.0 (上床版打設前)	
上半2次掘削 パイプサポート間土留め	
step 3: 上半3次掘削 -3.0～-5.0 (中床版打設前)	
上床版打設 上半3次掘削	
step 4: 下半掘削	
側壁・中床スラブ打設 下半掘削	

図3 解析ステップ

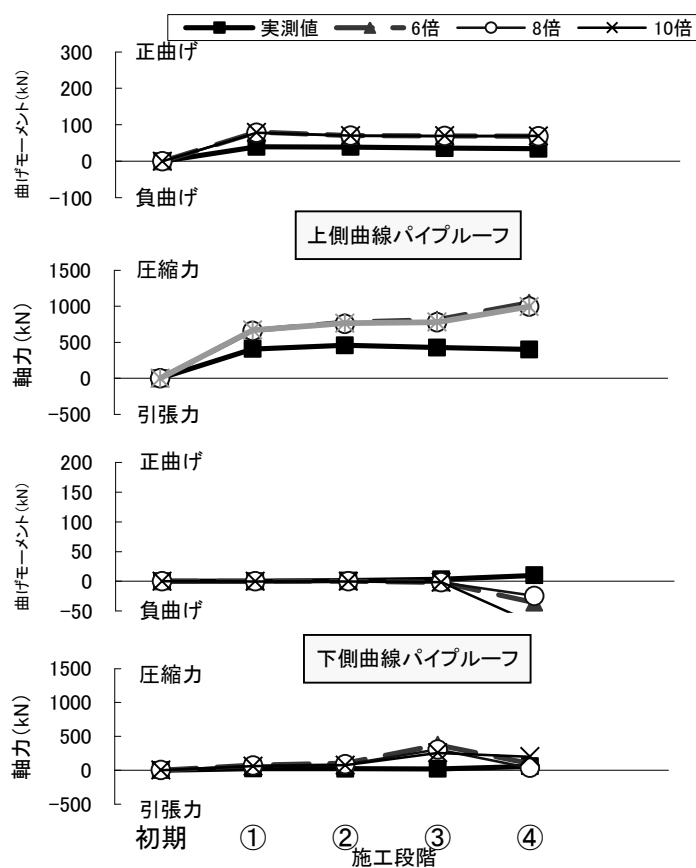


図4 計測値と解析値との比較(曲線パイプルーフ)