

Ⅲ-B28 パイプルーフトンネルにおける支保工の設計について

日本鉄道建設公団 鹿島 隆
 日本鉄道建設公団 五十嵐良博
 ㈱熊谷組 正会員 ○藤吉昭彦
 ㈱熊谷組 山根広信

1. はじめに

「みなとみらい21線」は、横浜駅～みなとみらい21地区を経由して元町に至る4.1kmの地下鉄路線である。その終端部にあたる元町駅（仮称）の構築に際して、山下開削部、元町開削部は開削工法で、堀川トンネル部は非開削工法で計画された。

図1に示すように、堀川トンネル部は、首都高橋脚等に対する近接施工となるため、止水性の向上と変位抑制効果を期待して、補助工法として、日本最大級のパイプルーフト工法（ $\phi 711.2$ 、 $t=12\text{mm}$ 、平均延長 $L=70\text{m} \times 57\text{本}$ ）を採用し、上下半を6分割して掘削を行った。

本報文は、パイプルーフトンネルの支保工の設計手法についてまとめたものである。

図-2に設計フロー図を示す。

2. 地層構成

地層構成は、上部より表土(B)、沖積砂礫層(Ag)、洪積粘性土層(Dc)で、最下位に分布する地層は横浜地方に広く分布する泥岩が主体となす上総層群いわゆる土丹層よりなる。パイプルーフトンネルは、土丹層(Kc、Ksc)内に位置しており、Kc・Kscは、共に $N>50$ 、粘着力 $c=1000\text{kN/m}^2$ 程度であった。

3. 2次元FEM弾塑性解析

2次元FEM弾塑性解析（弾－完全塑性モデル）を用い、発生する支保工の応力および首都高橋脚の変位を算出した。

解析に際して考慮した条件を表-1に示す。

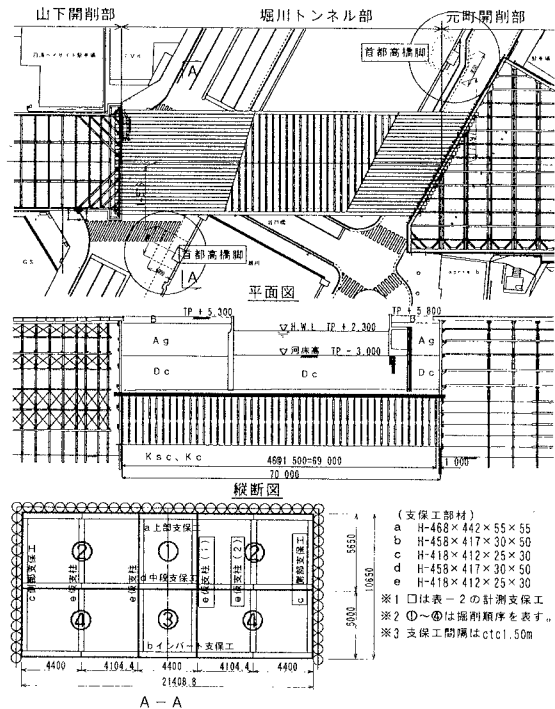


図-1 パイプルーフトンネル全体図

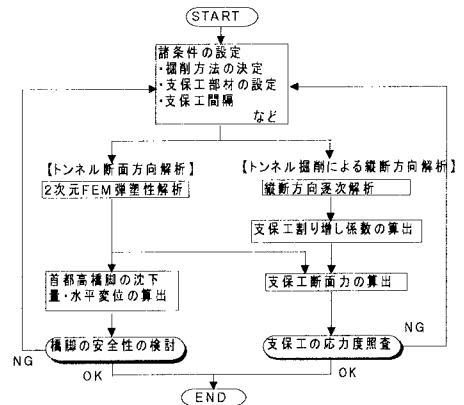


図-2 設計フロー図

キーワード パイプルーフトンネル 支保工の設計 2次元FEM弾塑性解析 近接施工 トンネル掘削
 連絡先 東京都新宿区津久戸町2-1 ㈱熊谷組土木事業本部土木技術部 電話03-3235-8622 FAX03-5261-5576

4. 縦断方向逐次解析

2次元FEM解析は断面方向の解析であり、縦断方向の影響つまり上下半掘削に伴う支保工設置時の応力集中を考慮できたものとなっていない。そこで、縦断方向逐次解析により算出される最大反力から、支保工応力の割り増し係数を求めた。縦断方向逐次解析の際、考慮した条件を①～③に示す。

- ①支保工の建込余裕量を50cmとし、切土法面勾配を1：0.3とする。そのとき、下半支保工建込時には、図-3に示すように2本抜けの状態となる。
- ②地山の主働崩壊角として45°をとり、ゆるみ領域を設定し、地盤バネ値を通常の1/2に低減する。
- ③パイプルーフを支える支承バネは、地盤バネと支保工バネの直列バネとして考える。

以上のような条件によって、上半掘削、下半掘削時に支保工に集中する応力の割合を求めると、

割り増し係数 $\alpha = R_{max}/R = 3.23$

R_{max} ：逐次解析による最大反力(kN/m²)

(※印の支保工における反力323.4kN/m²)

R ：平均的な反力 $R = 100\text{kN/m}^2$

となった。

この割増係数を2次元FEM弾塑性解析による発生断面力に乗じて支保工部材を決定した。

また、本体構造構築時に応力集中は緩和されると考え、 α =割り増し係数/1.5m=2.15から支保工の間引きを2本に1本行うことを提案した。

5. まとめ

図-1のA-A断面付近において支保工の計測を行っている。表-2に仮支柱・側部支保工の間引き前の最終的な軸力N1および上記 α の設計値と実測値の比較表を示す。

バラツキは多いものの、N1の合計および α の平均値はほぼ設計値となっており、N1 $\div$ (2次元FEM解析結果)、 $\alpha \div$ (逐次解析結果)であると判断できることから、今回紹介した設計手法は、実状をある程度表現できている手法であると考えられる。バラツキが多いのは、分割施工やプレロード荷重の影響で部分的に応力が集中してしまったことが原因と考える。

今後の同種工事における課題としては、プレロード荷重を考慮した解析による応力集中度合いの予測および情報化施工によるプレロード荷重等に関する施工管理が重要であると考えられる。

<参考文献>

- 1)「深い掘削上留工設計法 平成5年9月 社団法人 日本鉄道技術協会 p254～258」
- 2)「パイプルーフ工法を用いた火力発電所・水路トンネル工事 土木施工36巻7号 1995.6 p89～94」

表-1 2次元FEM解析時に考慮した条件

項目	考慮したもの
掘削解放率	パイプルーフ先受け効果を期待して、兼担りに対して50%減とする。解析では、支保工建込前の解放率を30% $\times$ 1/2=15%、支保工建込後の解放率を85%とする。
パイプルーフ断面剛性	先受け効果を考慮するため、断面剛性は無視する。
変形係数	実際のリバウンド量は解析値よりも小さいという報告 ¹⁾ から、トンネル下壁以降では変形係数を6倍とする。
水圧の考慮	K _{sat} 値については、湧水注入を考慮していないことから側方から水圧をパイプルーフ外側に直接数値する。
プレロード荷重	実際にはプレロードを導入して施工を行うが、安全側にプレロード荷重は無視する。

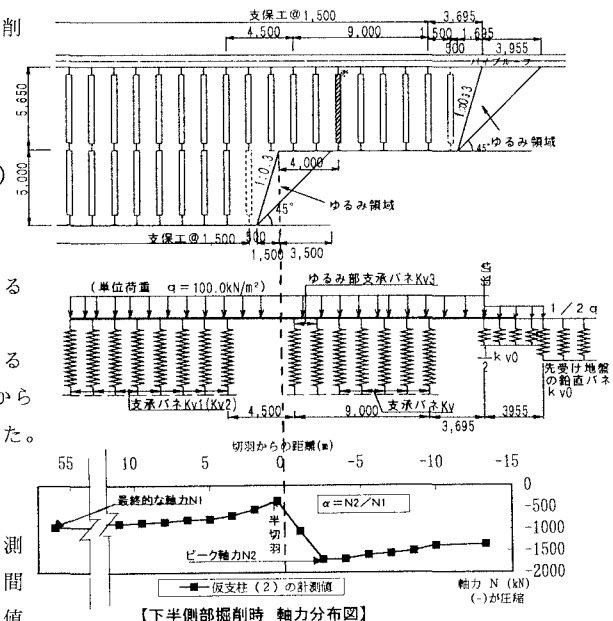


図-3 逐次解析モデルと実測値

表-2 設計値と実測値の比較

	最終的な軸力N1(kN)		$\alpha = N2/N1$	
	設計値	実測値	設計値	実測値
仮支柱(1)	1631	2337	2.15 (-4.0m)	1.41 (-2.5m)
仮支柱(2)	1631	970	2.15 (-4.0m)	1.77 (-2.5m)
側部支保工	677	608	2.15 (-4.0m)	3.23 (-2.5m)
軸力合計	3939	3915	平均	2.14

※1 最終的な軸力とは、全掘削終了時の軸力を示す。

※2 ()内は下半切羽から応力集中発生位置までの

距離を表す。掘削側が正。

※3 仮支柱(1)の α は、下半中央掘削時のものである。