

パイプルーフ工法の支保機能に関する研究

山口大学大学院 学生会員 千々和 辰訓
 西松建設株式会社 正会員 大谷 達彦
 山口大学大学院 正会員 進士 正人

1. はじめに

近年，都市部において，構造物に近接してトンネルを建設する事例が増加している．その際，近接構造物に生じる沈下量を抑制する工法として，パイプルーフ工法がしばしば採用されている．しかし，パイプルーフ工法の沈下抑制効果のメカニズムは十分に解明されておらず，設計段階においてパイプルーフ工法により許容値内に沈下量を抑制できるか否かを厳密に把握できないのが現状である．本研究では，三次元数値解析を用いて，パイプルーフの打設仕様と地表面沈下抑制効果の関係を「効果率」の考え方をを用いて整理し，更にパイプルーフ工法が有する沈下抑制効果を発揮するためには，パイプルーフの支点沈下が重要な役割を果たすことを示す．

2. 解析条件

三次元有限差分解 (FLAC) を用いて，パイプルーフ工法の沈下抑制効果を分析した．ここで，パイプルーフは，図-1に示すように，円柱状の改良体として表現した．そのため，解析ケース毎に，パイプルーフ鋼管径，鋼管中心間隔が異なるため，それぞれ異なる解析モデルとなる．また，パイプルーフ部の剛性は，鋼管と鋼管内に充填されるモルタルの剛性を合成した値とした．ここで，パイプルーフが採用される地山は，坑口付近の脆弱な地山を想定し，D 等級相当の弾塑性地山を仮定し，表-1に示す地山モデルとした．

解析ステップは，パイプルーフ設置後，坑口より40mを一括掘削すると同時に，切羽から1m離れた39mまで，一次支保工を設置した．このとき，一次支保工は，吹付け3時間後のコンクリートの弾性係数⁹⁾を有するシェル構造として表現した．

3. 効果率の算出

数値解析結果から，パイプルーフ工法の「効果率」を算出する．効果率とは，事前調査における孔内水平載荷試験によって得られた地山の弾性係数(E_s)と，施工時の計測データから逆解析して求めた等価弾性係数(E')との比(E'/E_s)で定義されている²⁾ため，本研究ではそれを下式のように沈下量から関連付けるものとした．

$$\text{効果率} = \frac{E'}{E_s} = \frac{U_s}{U'}$$

ここに， U_s ：無支保掘削による地表面沈下量

U' ：パイプルーフおよび一次支保を考慮した地表面沈下量

次に，本研究におけるパイプルーフの鋼管径と沈下抑制効果（効果率）との関係を図-2に整理した．その結果，

キーワード：トンネル，パイプルーフ工法，数値解析，効果率，一次支保工

連絡先：〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-166-1 TEL：0836-85-9301

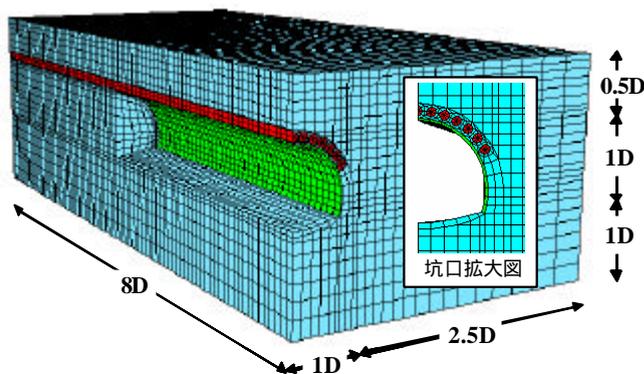
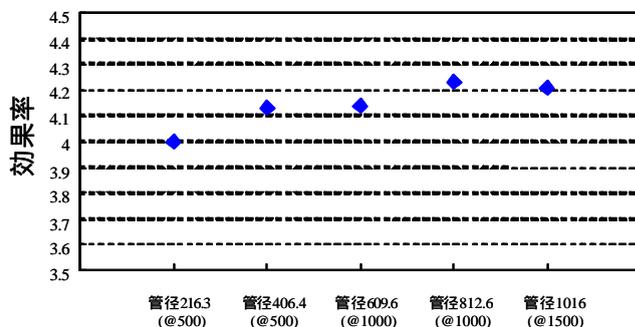


図-1 解析モデル

表-1 解析諸条件

	弾性係数	密度	ポアソン比	粘着力	内部摩擦角
	E (MPa)	(kg/m ³)		C	F (°)
地山	150	2100	0.35	0.05	30
一次支保工	3400	2509	0.2		



パイプルーフ仕様

図-2 パイプルーフ仕様と効果率の関係

パイプ工法の管径が異なっても、あまりその効果率には大きな差が生じないことがわかる。

なお、これらの解析では、打設間隔は既往の実績で用いられている（上半約120度）範囲とした。この検討結果から、既往の施工実績から評価されるパイプ工法は、4.0相当の効果率を有していると判断されるものの、実際の現場において「効果率」の値が2～4の範囲で変化するのは、支点部に生じた支保工沈下量の大きさに応じて、パイプ工法が発揮する沈下抑制効果が異なるためと推測する。

4. 支保工の弾性係数の違いによる沈下挙動の比較

管径 812.6mm，打設間隔 1000 mm のパイプ工法仕様の解析モデルを用いて、支保工の弾性係数 $E=3400\text{Mpa}$ を基準とし、その2倍の $E=6800\text{Mpa}$ ，1/2倍の $E=1700\text{Mpa}$ の3ケースにおいて、支保工の弾性係数の違いによる沈下挙動の比較を行った。その結果を図-3に示す。図より、弾性係数が小さくなるにつれて、トンネルC.L. から側方に向かって沈下分布が拡大することがわかる。

次に、この3ケースにおいて、パイプ工法の変形挙動を比較する。その結果を図-4に示す。ここでは、最も変形が大きいと推測されるトンネルC.L. 直上のパイプを比較し、計測点はパイプの中心とした。この図からわかるように、支保工の弾性係数が大きい程パイプの変形は小さく、弾性係数が小さい程パイプの変形は大きくなる。このことから、支保工の弾性係数の違い、つまり、一次支保工に生じた沈下量がパイプ自体の変形に大きく影響していることがわかる。

最後にこの3ケースにおいて、トンネルC.L. 上の地表面沈下挙動を検討することにより、一次支保工の弾性係数の違いと地表面沈下抑制効果の関係を検討した。その結果を図-5に示す。この図より、パイプ工法の施工は確実に地表面沈下を抑制していることが分かる。そこで、詳細に地表面沈下抑制効果を照査するために効果率を算出し検討する。その結果を図-6に示す。この図より、支保工の弾性係数の違いが地表面沈下抑制効果に大きく影響する結果となった。つまり、支保工により生じた沈下量の大きさに応じて、パイプ工法が発揮する地表面沈下抑制効果も異なることがわかった。

5. まとめ

本論文では、三次元数値解析により、パイプ工法の沈下抑制効果を分析した。その結果、パイプ工法が沈下抑制効果を発揮するためには、パイプ工法の支点となる切羽近傍の支保工に沈下を生じさせないことが重要であり、パイプ工法の施工には脚部沈下対策が極めて重要であることがわかった。

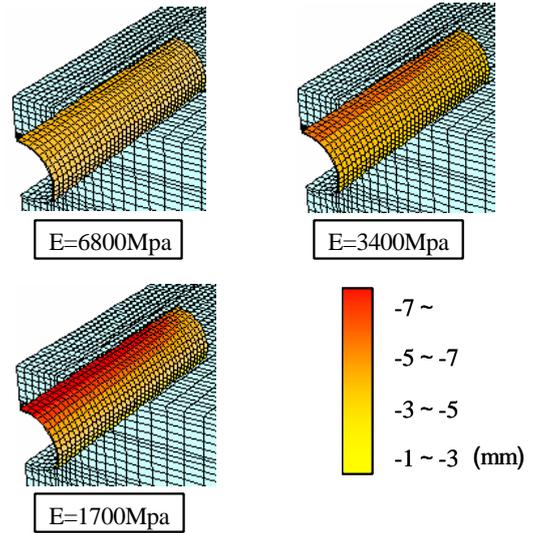


図-3 一次支保工の沈下挙動の比較

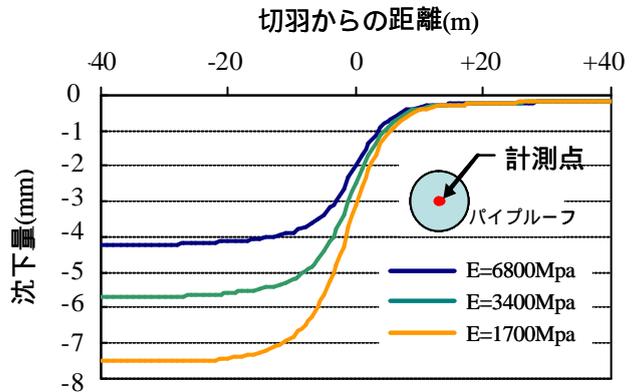


図-4 パイプ工法の変形挙動の比較

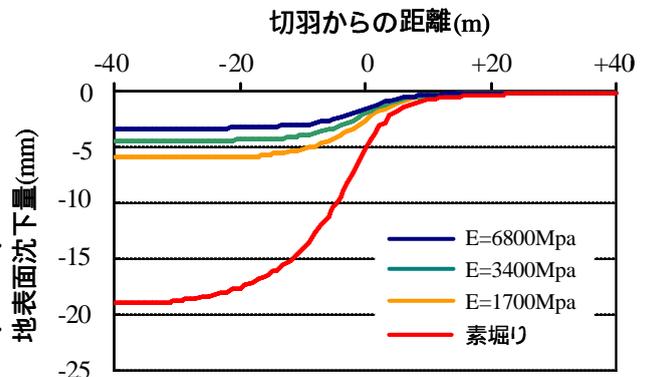
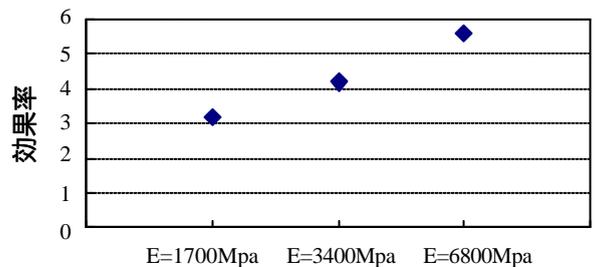


図-5 地表面沈下挙動の比較



一次支保工弾性係数

図-6 一次支保工と効果率の関係

参考文献

- 1) 土屋敬：トンネル設計のための支保と地山物性値に関する研究，土木学会論文集，第364号/III-4，1985年12月．
- 2) 櫻井春輔編著：都市トンネルの実際 合理的な設計・施工法を目指して鹿島出版会，1998