

パイプルーフ仕様の違いによる地表面沈下抑制効果の検討

山口大学大学院 学生会員○千々和辰訓 鉄建建設(株) 平田亮
山口大学工学部 正会員 進士正人 臨床トンネル工学研究所 フェロ-会員 中川浩二

1. はじめに

近年、都市部において鉄道・道路などの既設重要構造物に近接してトンネルが建設される事例が増加している。その際、地表面沈下を確実に抑制し、既設構造物に与える影響を最小化する補助工法として、パイプルーフ工法がしばしば採用されている。しかし、地表面沈下抑制を目的としたパイプルーフ工法のメカニズムや、パイプルーフを採用した際の周辺地山挙動は十分把握されておらず、設計段階でパイプルーフ工法の打設仕様を選定しにくいのが現状である。そこで本研究では、三次元数値解析を用い、パイプの打設間隔と管径に着目したパイプルーフ仕様と地表面沈下抑制効果の関係を明確化し、定量的な設計指標を得ることを目的とする。

2. 解析諸条件

2-1 地山条件の決定

本研究で用いた地山モデルを図-1に示す。支保部材は吹付コンクリートと鋼製支保工を一体化し、ソリッド要素によりモデル化した。また、坑口より4Dまでを一括掘削し、切羽より1m遅れて支保部材、インバートを切羽手前1mまで設置した。表-1に各解析物性値を示す。

2-2 パイプルーフ仕様の決定

パイプルーフのモデル化は、鋼管と中詰め注入材の合成部材とし、ソリッド要素で表現した。なお、密度を地山と同じ値を採用した。検討したパイプルーフの仕様はパイプの管径と打設間隔をパラメータとし、管径は表-2に示す5パターン、打設間隔は約500mm～2000mmの4パターンとした。但し、打設間隔500mmにおいては施工可能な管径406.4mm、216.3mmの2パターンのみを検討することとした。

3. 解析結果

3-1 パイプルーフ仕様と地表面沈下抑制効果の関係

トンネルセンターの縦断方向において、素掘り状態と、各々のパイプルーフ仕様を用いた掘削状態における地表面沈下挙動を比較・検討することにより、パイプルーフ仕様の違いによる地表面沈下抑制効果を検討した。結果の一例として、打設間隔1000mmを固定して管径を変化させた結果を図-2(a)に、逆に、管径1016mmを固定し打設間隔を変化させた結果を図-2(b)を示す。これらの図から、パイプルーフを使用する事で地表面沈下は確実に抑制できている事がわかる。また、管径が大きい程、打設間隔が狭いほど若干ではあるが地表面沈下抑制効果が高くなる事がわかる。これは、管径が大きい程、また、打設間隔が狭い程、隣接するパイプ間の離隔距離が狭くなり、より密なグラウンドアーチが形成されるためであると考えられる。

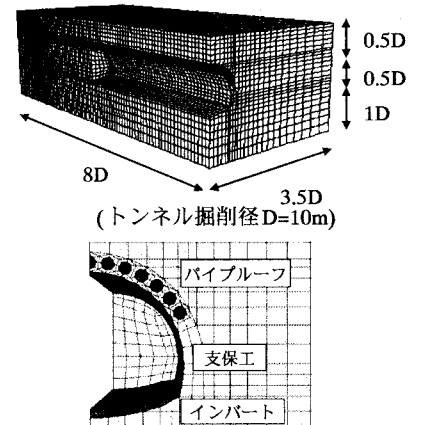


図-1 地山モデル

表-1 各解析物性値

	弾性係数 E (MPa)	密度 γ (kg/m ³)	ポアソン比 ν
地山	150	2100	0.35
支保部材	2040	2986	0.2
インバート	5498	2400	

表-2 パイプ物性値

管径 ϕ (mm)	弾性係数 E (MPa)	密度 γ (kg/m ³)	ポアソン比 ν
1016	3.356×10^4	2100	0.2
812.6	3.359×10^4		
609.6	3.743×10^4		
406.4	3.916×10^4		
216.3	4.943×10^4		

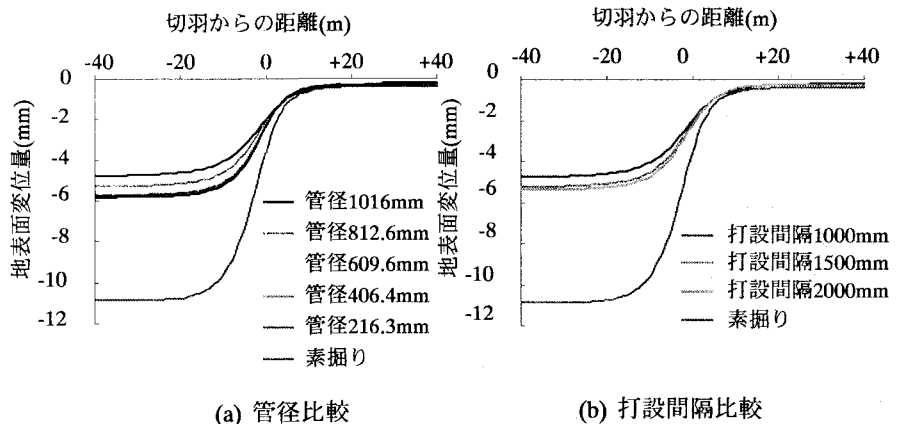


図-2 地表面沈下挙動の比較

3-2 パイプルーフ仕様と地表面沈下挙動の特徴

図-2に示す通り、パイプルーフ仕様の違いにより地表面沈下形状が異なる事が分かる。そこで、図-3に示すように地表面沈下曲線の先行変位発生点A、変位収束点Bとの距離を沈下範囲と定義し、また、曲線の最大勾配を求め、それらの関係について検討した。結果の一例として、図-4に打設間隔1000mmを固定し、管径の違いによる最大勾配についての比較を行った結果を示す。また、図-5に沈下範囲についての比較を行った結果を示す。これらの図から、管径が大きい程、最大勾配は小さく、かつ沈下範囲は広いことがわかる。つまり、パイプルーフの剛性が高いほど、その時の地表面は広い範囲で緩やかな沈下挙動を示すことが分かる。また、最大勾配と沈下範囲から地表面沈下分布曲線を推測することができる。従って、最大勾配を用いて設定したパイプルーフ仕様を用いた時の最大沈下量が得られるので、その値から今後の追加対策工の必要性の有無を判定することが可能となる。

3-3 地表面沈下抑制効果率

地表面沈下分布曲線において変位が収束した点における沈下量を最終地表面沈下量と定義し、パイプルーフ仕様の違いによる地表面沈下抑制効果率を算出した。以下に計算式を記す。

$$\text{地表面沈下抑制効果率} = \frac{U - U'}{U} \times 100(\%)$$

U : 素掘り掘削時の最終地表面沈下量

U' : パイプルーフ使用時の最終地表面沈下量

パイプルーフの設計段階においての打設仕様を決定する際の指標として、縦軸に打設間隔、横軸に管径をとり、両者の関係から地表面沈下抑制効果率を選定する図を図-6に示す。使用方法として、まず、近接構造物の沈下量を許容値以下にするために必要となる効果率を下式により計算する。

$$\text{必要効果率} = \frac{U - U'}{U} \times 100(\%)$$

U : 素掘り掘削時の計算変位量

U' : 近接構造物の許容変位量

そして、この必要効果率を満足する地表面沈下抑制効果率を有するパイプルーフ仕様を図-6を用いて決定する事ができる。

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に述べる

- ・ 打設間隔が狭いほど、管径が大きいほど地表面沈下抑制効果は高い。
- ・ 地表面沈下抑制効果が高いパイプ仕様ほど、地表面沈下挙動は広い範囲で緩やかな挙動を示す。
- ・ パイプルーフ仕様と沈下抑制効果率との間には相関性があり、この関係から最適なパイプルーフ仕様を選定できる。

参考文献

- 1) 島田秀樹, 松井紀久男, 森田智, 松元文彦, 酒井栄治: 推進工法を用いたパイプルーフ工法適用時の地山の安定性, 第34回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.312-314, 2005.1.

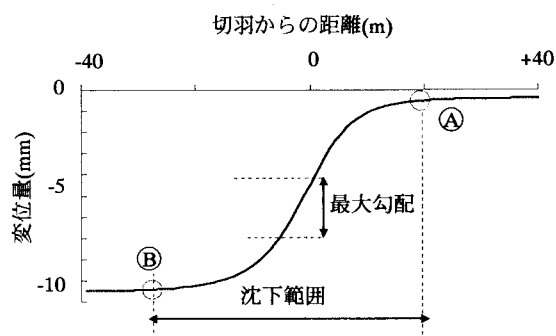


図-3 地表面沈下分布曲線

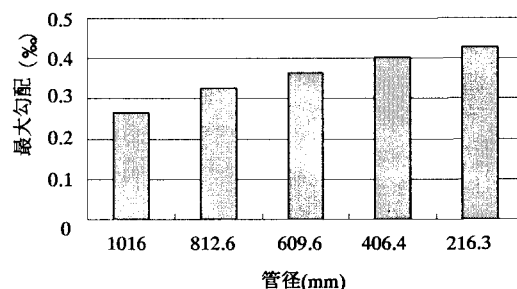


図-4 最大勾配

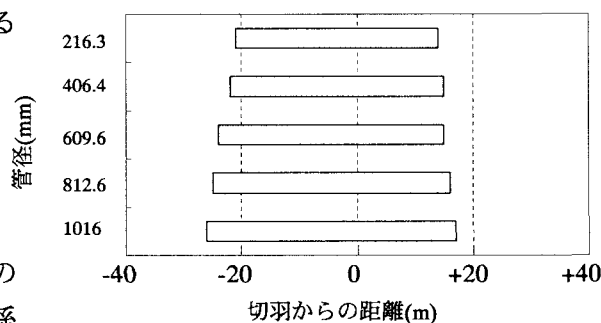


図-5 沈下範囲

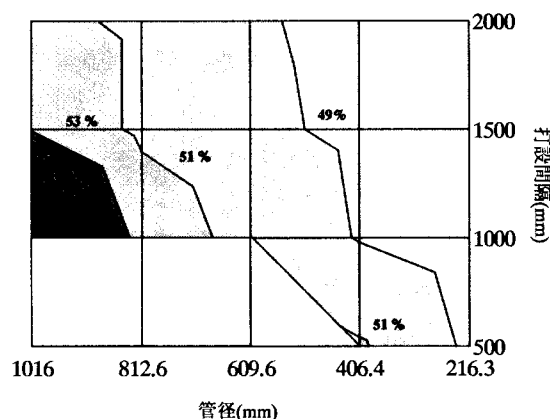


図-6 等地表面沈下曲線