

鋼管間の抜け落ちに着目したパイプルーフ工法の合理的な設計法の提案

復建調査設計(株) 正会員 ○土井 勇介

(株)熊谷組 正会員 佐藤 翼

山口大学大学院理工学研究科 正会員 進士 正人

1. はじめに

近年,土被りが十分でない地山条件においても NATM を採用し,その際,周辺環境へのトンネル掘削の影響を極小化することを目的として,パイプルーフ工法などに代表される先受け工法を併用する事例が多い.しかし過去の施工実績への依存度が高く,そのため施工上のトラブルも多い.特に写真-1 に示すように鋼管間の土砂の抜け落ちが発生し,鋼管そのものがむき出しになってしまうことで期待している支保効果が得られない場合も考えられる.本研究では,合理的な先受け工法の設計法を提案することを目的として,粒状体解析による数値シミュレーションから地山物性値と鋼管間の土砂の抜け落ち現象との関係を明らかにする.そして,地山物性値の違いによる地山の抜け落ち状態から,材料物性に応じた最適支保間隔を検討した上でそれに基づく合理的なパイプルーフ工法の設計手法を提案する.

2. 本研究で用いた解析手法

PFC2D は個別要素法に基づく粒状体解析プログラムである.特徴として粒子の集合体として様々な形状をモデル化できる点が挙げられる.その粒子間の接着方法に本研究では Contact Bond を用いて粒子をモデル化した.また,PFC2D では地山の弾性係数,ポアソン比といったマクロパラメータを直接与えることはできないので,表-1 に示すマイクロパラメータを入力値として用いた.

3. 二軸圧縮要素試験

粒状体数値シミュレーションで用いるマイクロパラメータを決定するために二軸圧縮要素試験を行った.二軸圧縮要素試験は図-1 に示すモデルを用い,解析条件として側圧 σ_3 を一定に保ち軸方向に σ_1 を作用させていく.また軸方向応力が最大応力を過ぎてその 80%に低下すると解析終了とした.その時,側圧は 0.05MPa, 0.1MPa, 0.4MPa とした.表-2 に二軸圧縮要素試験により得られた物性値の一例を示す.

4. 鋼管間の土砂の抜け落ちシミュレーション



写真-1 パイプルーフ鋼管間の土砂の抜け落ち

表-1 マイクロパラメータ

r_{ls}	最小粒子半径 (m)
r_{ls}/r_{lb}	最大粒子半径と最小粒子半径の比 (-)
ρ	粒子密度 (kg/m^3)
E_c	接触係数 (Pa)
K_{sv}/K_h	鉛直方向剛性と水平方向剛性の比 (-)
μ	摩擦係数 (-)
$\sigma_c(\text{mean})$	鉛直方向強度の平均値 (N)
$\tau_c(\text{mean})$	せん断方向強度の平均値 (N)

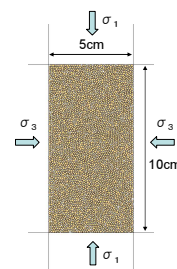


図-1 二軸圧縮試験

表-2 粘着力を変化させた物性値

マイクロパラメータ							
$\sigma_c(\text{MN})$	0.036	0.13	0.35	0.53	0.75	1.02	1.17
$\tau_c(\text{MN})$	0.45	0.50	0.77	1.00	1.20	1.56	1.80
マクロパラメータ							
$c(\text{MPa})$	0.05	0.10	0.21	0.30	0.41	0.50	0.60
$\phi(^{\circ})$	21.1	19.5	20.3	20.5	19.0	22.2	21.1
$E(\text{MPa})$	137	140	142	142	143	144	145
ν	0.31	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30

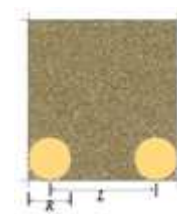


図-2 粒状体解析モデル

キーワード パイプルーフ工法, 都市部, 抜け落ち, 個別要素法

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学大学院理工学研究科 TEL (0836) 85-9335

数値シミュレーションではパイプルーフ施工したトンネルの一部分として天端付近の一部を解析モデルとして想定し、図-2のようにモデル化した。このとき、モデルの土被りは5mを想定した。またモデル条件は表-3に示す。解析物性パターンは粘着力 c 、内部摩擦角 ϕ それぞれを変化させたマイクロパラメータを用い数値シミュレーションを実施した。この時、鋼管は座標を固定し地山部分の粒子と一緒に落下しない条件とした。

数値シミュレーションは、壁で囲まれた領域内に粒子を発生させた後、重力解析を行い粒子間に接触力を発生させ、重力解析終了後にモデル底に固定していた壁要素を取り除きトンネル掘削状態を再現した。そして次に示す解析終了条件を満たすまで計算を行った。

4-1. 解析終了条件の検討

掘削状態を再現するため、繰り返し計算を一定間隔で行い、繰り返し計算中のモデル全体の粒子数と抜け落ちた粒子数を算出し、抜け落ちた粒子数がモデル全体の粒子数の1%以下になった時を解析終了条件とした。

4-2. 評価方法

解析結果を図-3に示す。図中の黒く塗りつぶされた粒子は他のどの粒子とも接触していない粒子であるため、いずれ落下する粒子と判断した。そして図のように抜け落ち高さ H を定義した。

5. 解析結果

鋼管間隔を変化させた時、鋼管間隔を広くするにつれ抜け落ち高さ H が徐々に増加する。また、図-4からわかるように、粘着力と抜け落ち高さの間には右肩下がりの相関がある。しかし、内部摩擦角 ϕ においては粘着力で見られた相関関係はほとんどなく、内部摩擦角 ϕ に基づく従来の設計法の矛盾が明らかとなった。

次に図-5に各 L/R (鋼管間隔 L) と鋼管径 R の比)における粘着力と H/L (抜け落ち高さ H) と鋼管間隔 L の比)の関係図の一例を示す。この図からわかるように、鋼管径 R がどのような大きさであっても、粘着力と H/L の間におおよそ同様な相関関係を示す。すなわち地山の粘着力 c を事前に評価すれば、それぞれの間隔のときに、どのくらいの抜け落ちが発生するかおおよそ推定することが出来る。そのため地山の c が期待できれば適切な鋼管間隔をより広くとることができることがわかる。

6. まとめ

- 鋼管間隔 L が広くなるにつれ抜け落ち高さ H は増加する。また、従来の支保間隔の設計方法では内部摩擦角 ϕ に着目した方法が提案されているものの、本研究では粘着力 c と H/L との間に明らかな相関関係が認められたが、内部摩擦角との関係はなく従来の設計の考え方に問題を有することがわかった。
- 図-5から、支保間隔 L と鋼管径 R の比 L/R は、鋼管径が今回の数値シミュレーションで検討した範囲であれば、地山の粘着力 c との間におおよそ同様の相関を示す。従って、地山の粘着力 c を事前に評価し、採用する鋼管径 R を設定すれば、同図を用いて適切な鋼管間隔 L の決定を行う事ができる、合わせて、おおよその抜け落ち高さ H を事前に推測することも可能となる。

参考文献

- ・TH パイプルーフ協会：パイプルーフ工法 工法説明・積算資料，p.41，2002

表-3 モデル条件¹⁾

鋼管径R(mm)	406.4 / 609.6 / 812.6
L/R	1.5/2.0/2.5/3.0
土被り(m)	5.0

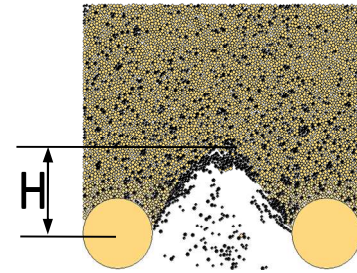


図-3 抜け落ち高さ H の定義

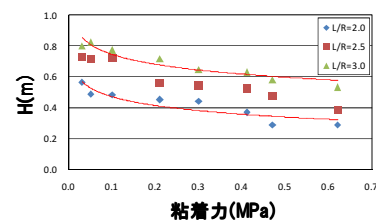


図-4 粘着力と抜け落ち高さとの関係

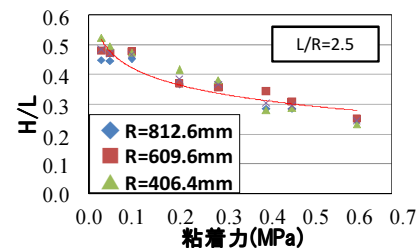


図-5 粘着力と H/L の関係図