

個別要素法によるトンネル先受け工法の最適打設間隔の決定法

(株)熊谷組 正会員 ○佐藤 翼
 復建調査設計(株) 正会員 土井 勇介
 山口大学大学院 正会員 進士 正人

1. はじめに

山岳トンネル工法において、土被りの小さい坑口部や沢部では、切羽安定対策や地表面沈下対策として AGF やフォアポーリングといわれるトンネル施工に先立ち、鋼管をトンネル位置上部に施工する先受け工法が補助工法として採用されることがある。しかし、先受け工法は基本的な設計法の提案はされていないものの、過去の施工実績への依存度が高く¹⁾、そのため施工上のトラブルも多い。特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。

そこで、本研究では、AGF 工法に着目し、個別要素法に基づく粒状体解析を用いることで AGF 工法の最適な鋼管打設間隔を数値シミュレーションにより明らかにし、最適な打設間隔の決定手法を提案する。

表-1 マイクロパラメータ

r_{10}	最小粒子半径 (m)
r_{hi}/r_{10}	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_n/K_s	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)

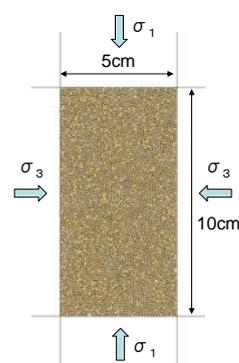


図-1 二軸圧縮要素試験モデル

2. 数値シミュレーション

2-1 粒状体解析

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。

2-2 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を示す。

表-2 二軸試験によって得られた結果

物性値	case0	case1	case2	case3	case4	case5
c(MPa)	0.05	0.21	0.41	0.60	0.81	1.00
$\phi(^{\circ})$	21.1	20.3	19.0	21.1	20.3	22.2
E(MPa)	137	142	143	145	146	147
ポアソン比	0.31	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30

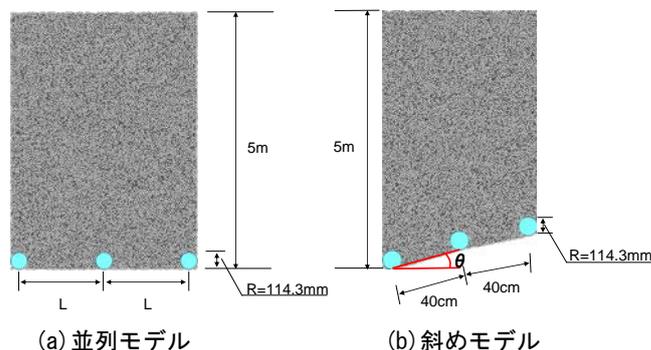


図-2 シミュレーションモデル

2-3 抜け落ちシミュレーションのモデル化

トンネル天端及び肩部を解析モデルとして取り出し図-2 のようにモデル化した。以下「並列モデル」、「斜めモデル」と呼ぶ。鋼管は 3 本配置し、土被りは 5m、用いた鋼管径 R は 114.3mm²⁾とした。並列モデルにつ

いては鋼管中心間隔 L を 40,60,80cm の 3 パターンとし、斜めモデルについては L を 40cm とし、鋼管打設角 θ を 12° , 31° , 50° の 3 パターンとした。採用した物性値は表-2 に示したとおりである。この時、鋼管は座標を固定し地山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。

2-4 解析終了条件

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。

2-5 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-3 に示すように並列モデルでは、浮遊粒子を除いた状態で鋼管中心から鋼管間の最高点の粒子までの距離をモデル左側部分では H_L 、モデル右側部分では H_R と定義し、両者のより高いほうを抜け落ち高さ H として決定した。斜めモデルではモデル左側部分に着目し、右方鋼管中心から鋼管間の最高点の粒子までの距離を H として決定した。

3. 結果

並列モデルでは、図-4 に示すように、粘着力 c と抜け落ち高さ H の関係は、どの打設間隔においても右下がりの相関を得た。また、粘着力が 600KPa 程度までの範囲においては打設間隔が広がると抜け落ち高さが急に高くなることがわかった。

$L=40\text{cm}$ とした斜めモデルでは、図-5 に示すように、鋼管打設角 θ が 0° , 12° の場合では顕著な抜け落ちが生じているが、 θ が 31° , 50° の場合では抜け落ちが発生しないことがわかった。

4. 考察

図-5 から、斜めモデルにおいて鋼管打設角 θ が 30° を超える範囲においては抜け落ちが発生しないことか

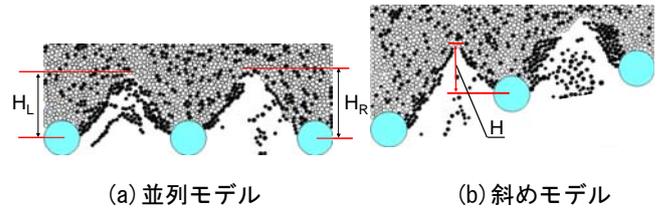


図-3 評価方法の概略図

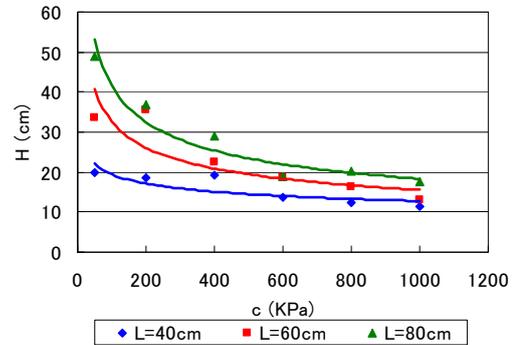


図-4 c と H の関係(並列モデル)

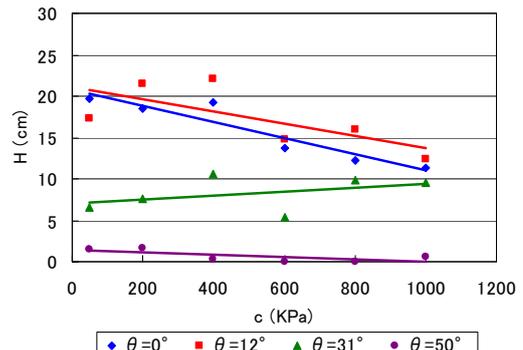


図-5 c と H の関係(斜めモデル, $L=40\text{cm}$ の場合)

ら、鋼管間隔を 40cm とすると、 θ が 30° を超える範囲では間隔を拡大しても良いと考えられる。また、最適な鋼管打設間隔の決定には、図-4 に示す並列モデルにおける抜け落ち高さを考慮すべきであると考えられる。

今後の課題として、斜めモデルにおける鋼管配置間隔を $L=40\text{cm}$ より広くした場合のシミュレーションをすることで、より最適な打設間隔の決定が行えると考えられる。

5. 参考文献

- 1) 武内秀木：長尺鋼管フォアパイリング(AGF 工法)の設計法の提案,pp.191-202,土木学会論文集,1999.6
- 2) GFRP 切羽補強研究会：長尺切羽補強工技術資料,p8,2009