

粒状体解析に基づくパイプルーフ間地山の抜け落ちの再現と打設間隔の検討

山口大学大学院理工学研究科 学生会員○土井 勇介
西松建設土木設計部 正会員 大谷 達彦
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

都市部では、土地利用上の制約により既設構造物の直下や近接してトンネルが計画される事例が多くみられる。その際、地表面沈下を確実に抑制する必要性から、パイプルーフや AGF 等の先受け工法を補助工法として併用し、トンネル施工することが一般的である。



このような先受け工法の中で、パイプルーフ工法は特に地表面沈下の抑制効果が最も確実な工法といわれている。しかし、施工時の問題点として、写真1に示すように先受け鋼管の間の土砂が抜け落ち、鋼管が地山中に剥き出しの状態となり先受け工法が本来発揮すべき地表面沈下抑制効果を発揮できない可能性が生じる現象が発生する¹⁾。それに対し、千々和はパイプルーフの支保効果を明らかにするため3次元連続体解析を用いて地山条件・施工条件(鋼管径、間隔)など変えて解析を行ったが、パイプルーフの間隔や剛性の違いだけでは先受け工法の沈下抑制効果をうまく表現できなかった²⁾。

本研究では合理的なパイプルーフの設計手法の確立の第一歩として、鋼管の間の地山の抜け落ちを粒状体解析により数値シミュレーションにより再現し、抜け落ち形状とパイプルーフの打設間隔との関係について基礎的検討を実施した。

2. 解析手法

本研究で用いた粒状体解析プログラムは PFC2D(Itasca 社製)である。個別要素法は、各要素を剛体と考へ、要素の変位、要素間の力の伝達は接点のみで伝達されるとして、要素ごとに独立な運動方程式を立てて、時間領域で前進的に解く数値解析手法である。PFC2D では粒子同士の接着方法には、Contact Bond と Parallel Bond を選択できる。Contact Bond は、粒子間の点接着状態、Parallel Bond は、Contact Bond に加えてモーメント力も粒子間で伝達する事ができる。本研究では、Parallel Bond を採用し、粒子間の応力が、指定強度を超えた時、Parallel Bond が機能しなくなるように物性値を設定した。

3. 粒状体数値シミュレーション

3. 1 シミュレーションの目的

パイプルーフ間の地山の抜け落ち挙動を再現することを目的に数値シミュレーションを実施した。そのため、解析条件として、まず粒子の入力パラメータを仮に設定し解析を実施し、Parallel Bond 関連の強度パラメータを徐々に低下させながら解析を繰り返し、鋼管の間の地山の抜け落ちの挙動が上手く表現できる表-1 のように入力パラメータを採用した。

表-1 入力パラメータ

各入力パラメータ	記号	値	単位
最大半径	rhi	15	mm
最小半径	rlo	10	mm
密度	dens	2000	kg/m3
摩擦係数	md_fric	2.5	-
パラレルボンドの垂直バネ強度	pb_kn	1	pa
パラレルボンドの鉛直バネ強度	pb_ks	1	pa
パラレルボンドの垂直強度	pb_n	5	pa
パラレルボンドの鉛直強度	pb_s	5	pa
パラレルボンドの接着半径	pb_r	1	-

3. 2 解析パターン

数値シミュレーションではパイプルーフの打設位置の違いによる地山の抜け落ち挙動を再現するため、図-1 に示すように、パイプルーフ施工したトンネルの一部分として、天端付近と肩部付近を取り出しそれぞれにモデル化を試みた。ここでは、パイプルーフの径は一定として表-2 に示す4種類のパイプルーフ間隔の異なるケースについて解析を行った。なお L/H₁ は一定である。

表-2 解析で用いたパイプルーフ仕様

	case1	case2	case3	case4
L(mm)	550	700	850	1100
R(mm)	216.3	216.3	216.3	216.3
	case1-a	case2-a	case3-a	case4-a
L(mm)	550	700	850	1100
R(mm)	216.3	216.3	216.3	216.3
H ₁ (mm)	137.5	175	212.5	275

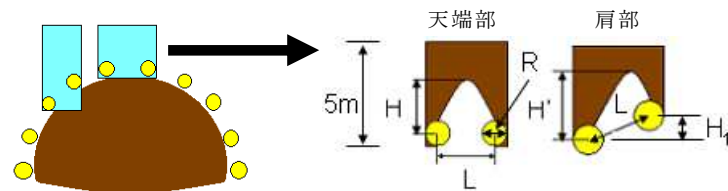


図-1 解析で用いたパイプルーフモデル

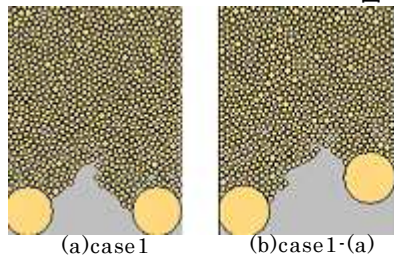


図-2 地山の抜け落ち挙動

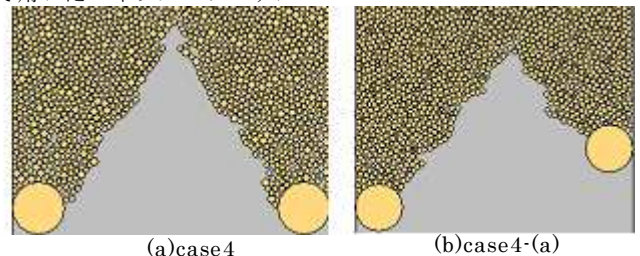


図-3 地山の抜け落ち挙動

4. 解析結果

図-2, 3 にシミュレーション結果の一例を示す. 図-2 の結果はパイプの間隔が最少($L=550\text{mm}$)で図-3 の結果は最大($L=1100\text{mm}$)の地山状態を示している. 図-2 (a)と図-3 (a)を比較すると, 同じ地山条件ではパイプルーフ間隔が広がるほど抜け落ちる地山の高さが高く, 抜け落ち量も大きくなることがわかる. また, 同間隔における(a), (b)に示すパイプルーフの打設高さの違うモデルでは, 抜け落ちの頂点が高い方のパイプルーフ側に移動するものの, 高さ自体はあまり変わらない傾向を有することがわかる.

図-4, 図-5, 図-6 にパイプルーフの間隔と抜け落ちた地山の高さ・地山の量との関係として整理する.

図-4 は, 打設間隔 L 抜け落ちの高さ H について整理した結果である. この図から, パイプルーフの打設間隔の違いに関らず打設

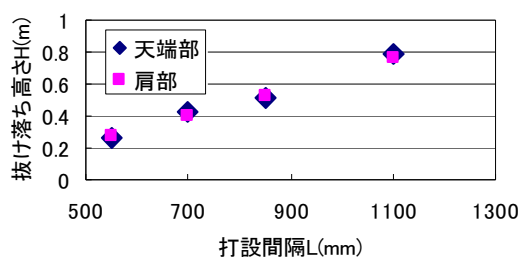


図-4 打設間隔と抜け落ち高さの関係

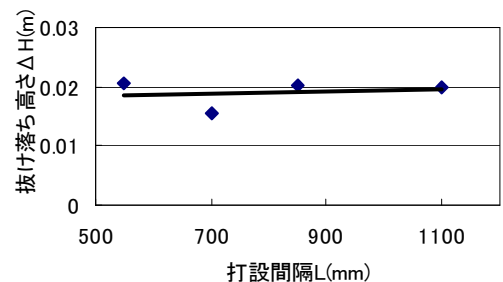


図-5 打設間隔と ΔH との関係図

さにはほぼ比例関係がみられる. また, 図-5 から, 打設間隔が広がっても, 抜け落ち高さの差 $\Delta H = |H - H'|$ はほとんど一定であることが分かる. したがって, 打設位置の違いによる抜け落ち高さはほぼ変わらないことがわかる. 図-6 は打設間隔と抜け落ち面積に単位奥行き幅 1 m を掛けて抜け落ち量とした関係をグラフに表した. この図から抜け落ち量は肩部の方が天端部よりも少なくなることがわかる.

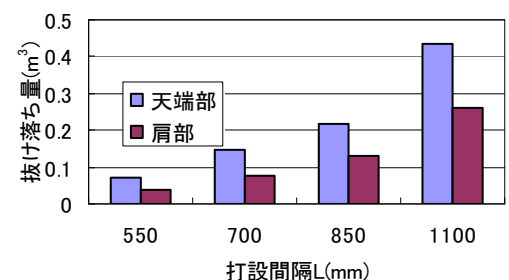


図-6 打設間隔と抜け落ち量との関係図

5. 考察

本研究で明らかになった点を列挙する.

- ・ パイプルーフ間の地山の抜け落ち挙動を粒状体解析で再現する事ができる.
- ・ 抜け落ち部の地山高さはパイプルーフの間隔に依存し, 打設位置の影響は小さい.
- ・ パイプルーフの間隔と地山の抜け落ちの高さ, 抜け落ち量には比例関係が見られる.

しかし, 現実の物性と数値シミュレーションとの解析パラメータの関係などは, 今後の要素数値試験を行い適切な数値パラメータと実際の現場の物性に近い条件を検討すべきであり, 今後の課題である.

6. 参考文献

- 1) 鹿島建設: トンネル先受け工法, <http://www.kajima.co.jp/news/press/200406/21c1to-j.htm>
- 2) 千々和辰訓 大谷達彦 進士正人: パイプルーフ工法の地表面沈下抑制効果に関する数値解析的解釈, 土木学会岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp. 85-90, 2007 年 1 月