

シース管内における空気をモデル化した MPS 法によるグラウトの充填性評価の検討

福岡大学 学生会員 ○岩井 耀平 正会員 千田 知弘・橋本 紳一郎
オリエンタル白石株式会社 正会員 中村 敏之・吉村 徹

1. はじめに

PC 橋施工時における、シース管内のグラウト充填不良問題の対策として、著者らは粒子法の一つである MPS 法を用いて適切な排気口の配置を定めるアプローチを試みている¹⁾。先行研究¹⁾では、MPS 法によるグラウト充填性評価を目的とし、斜め区間 1m のシース管を対象とした実験と解析を行い、グラウトの物性値を入力することでシース管内の動きを再現できた。しかし、シース管内の空隙までを評価するには空気を予め粒子でモデル化する必要性が認められた。そこで本研究では、シース管内の空気をモデル化した解析手法として 2 種類の解析手法を試み精度を確認した。また、解析結果から得られた知見を基に水平区間にも排気口を設け、空気を全て排出することが可能であるかを実験と解析で確認した。

2. 解析モデル及び解析概要

本研究では、汎用粒子法流体解析ソフトウェアである Particleworks(ver.6.0)を用いて解析を行った。本研究で対象としたシース管のモデルを図-1 に示す。対象モデルとしては、先行研究¹⁾のモデルと同じサイズとし、 $\phi 76\text{mm}$ 、角度 15° の斜め区間 1000mm、水平区間 500mm、排出口を端部から 100mm の箇所に配置したモデルをモデル 1 とする。加えて水平区間に、斜め管と水平管の接合部から右方に 50mm の位置に排気口をもう一つ取り付けたモデルをモデル 2 とする。モデル 2 の位置に新たに排気口を取り付けた理由は 3. に詳述する。解析に使用した各材料定数を表-1¹⁾と表-2 に示す。本解析では、シース管内に予め空気粒子を充填した上で、注入口からグラウト粒子を注入する手法を試みる。予備解析においては、シース管内の空気をモデル化する場合、特に制御を行わない場合、軽い空気粒子が高速で移動するため、収束が困難であった。そこで本研究では、空気粒子の密度を 100 倍にすることによって速度を制御した手法と粒子の速度を制限するクーランリミッターを使用した制御法の 2 種類の解析手法を試みた。また、解析で使用する粒子径は、実験で生じた空隙の大きさと、粒子に依存する解析時間¹⁾とを鑑み粒子径を $\phi 3\text{mm}$ とした。

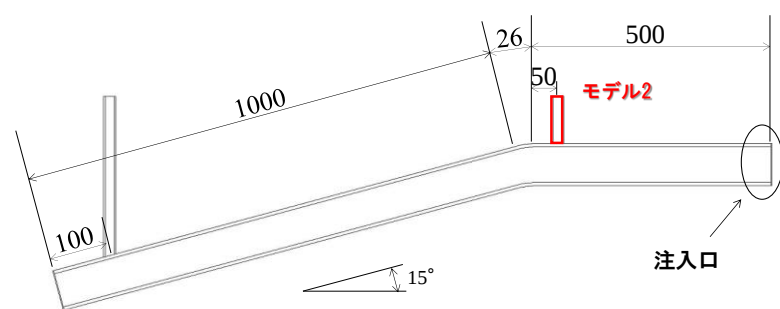


図-1 実験と解析に用いたシース管の側面図 (mm)

表-1 グラウトの物性値¹⁾

密度(kg/m ³)	塑性粘度(Pa・s)	降伏値(Pa)
2010	0.271	2.99

表-2 空気の物性値

密度(kg/m ³)	動粘性係数(m ² /s)
1.205	1.512×10^{-5}
120.5	

3. 解析結果及び考察

(1) 一つの排気口を有するモデル 1 を対象とした解析結果

モデル 1 を対象に、①実験、②空気をモデル化せず、グラウトのみを流動させた解析¹⁾(以下、ケース 1)、空気のモデル化を行い、③空気粒子の密度を 100 倍にした解析(以下、ケース 2)と④クーランリミッターを使用した解析(以下、ケース 3)の計 4 種類の結果を図-2 に示す。図-2 には、グラウトが排気口から流れ出すタイミング(20 秒時)と、最終段階(43 秒時)の挙動を示した。実験においては、実験開始 20 秒時に、排出口からグラウトが排出されるが、大量の空気が残存することが見てとれる。今回は、解析を行っていないが、排気口を閉じると空気が圧縮され、グラウトは上昇していくが、残留空気が 1/5 程度まで圧縮された時点で、シース管の接続部からグラウトが漏れ始めた。グラウトの注入量やシース管の配置によって圧力条件は異なるため、残留空気の量にばらつきが生じ得るが、排出口を閉じた後も管内に大量に空気が残存することが確認された。よって、排出口を閉じた後の挙動までを解析でシミュレートする

必要性は低いことが示された。先行研究¹⁾で示したケース 1 においては、20 秒時の残留空気の位置と量は実験と一致しているが、43 秒時には、グラウトが管内全体に充填されるため、最終的な残留空気の位置や量を把握できないことが分かる。空気粒子の密度を 100 倍に上げ速度を制御したケース 2 においては、20 秒時、43 秒時共に実験と解析は近い結果が得られた。ただし、粒子の自重を重くしたことで、グラウトと空気が混ざり合いながら排気口より排出される挙動が見られた。これにより、図-2 に矢印で記したグラウトの上昇位置が異なることが示された。ケース 3 においては、20 秒時までの挙動は一致するが、43 秒時には挙動が一致しない。実験では、管内に圧がかかると、残留空気は圧縮されるが、解析では、粒子は非圧縮性であるため、ボイルシャルルの法則が適用されず、接合部でバグが発生した。このバグは、クーランリミッターを使用した場合の、使用ツールの仕様限界によるものである。ただし、バグが発生する直前に残存した空気の位置やサイズの特定が可能である。また、クーランリミッター使用時の解析時間は、ケース 2 より約 10 倍速く、空気の位置や量といった点で高い精度が得られることから、クーランリミッターを用いた解析手法が実用的であると考えられる。以上より、シース管内の空気を予め粒子でモデル化することにより、実験を高精度で再現できることが確認された。

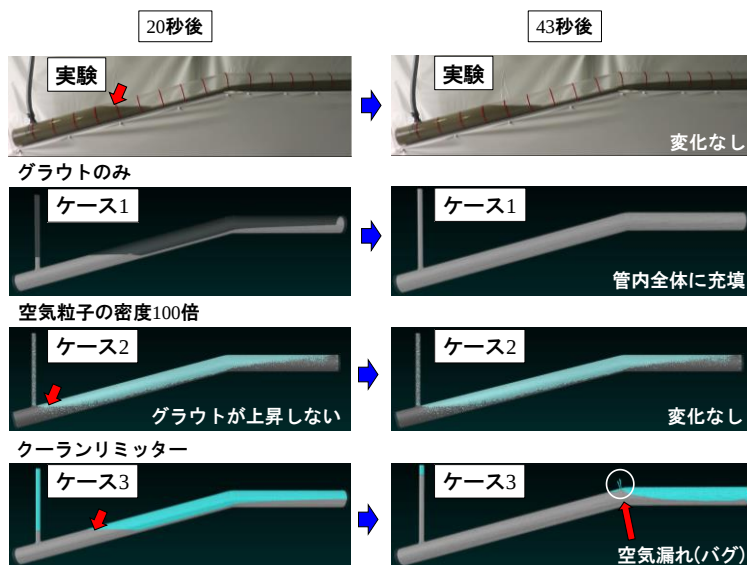


図-2 モデル 1 における 20 秒、40 秒経過時の実験と解析の挙動

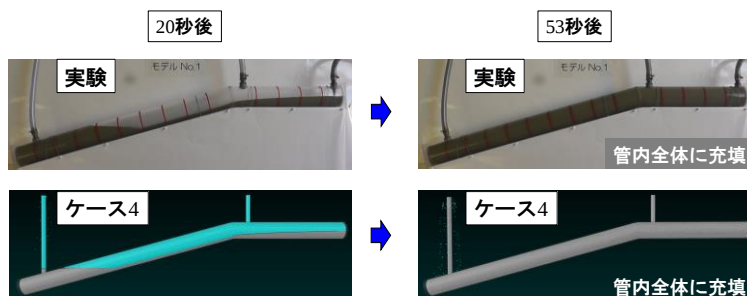


図-3 モデル 2 における 20 秒、40 秒経過時の実験と解析の挙動

(2) 二つの排気口を有するモデル 2 を対象とした解析結果

前節で、排気口からグラウトが排出されても、斜め区間と水平区間に、大量の空気が残存することが示された。また、図-2 に示すように、傾斜部に設置された排気口では、排出口より上部に空気が残存することが確認された。よって本節では、両区間の空気を抜くために、図-1 に示す接合部に近い水平区間に排気口を設けたケース 4 について、実験と解析を行った。なお、現行の指針²⁾では、斜め区間にも排出口を設けることになっている。モデル 2 を対象に、実験とクーランリミッターを使用した解析の結果を図-3 に示す。図-3 に示すように、実験と解析は、挙動が一致するとともに、中間排気を設けることにより、残留空気の排出が可能となり、グラウトが完全に充填されることが確認された。また、残留空気が生じない場合、解析が収束することが確認された。

4. まとめ

本研究では、MPS 法を用いて、シース管内の空気をモデル化した場合の解析精度と、新たに排気口を設け、空気を全て排出することが可能であるかの検討を行った。空気のモデル化を行い、クーランリミッターを用いた解析手法により、実験を高精度で再現できることが確認できた。また、得られた知見を基に、新たに水平区間に排気口を設けた場合、残留空気の排出が可能であることが確認された。

参考文献

- 1) 中村ら: MPS 法を用いた PC グラウトのダクト内における充填性評価の基礎的研究, (公社)プレストレストコンクリート工学会, プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, Vol.26th Page.297-302(2017.10.18)
- 2) 一般社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会, PC グラウト&プレグラウト PC 鋼材施工マニュアル 2013 改訂版, 2013.