可塑性充填材による実大空洞充填実験を対象とした数値シミュレーション
～　粘性特性をパラメーターにした数値実験　～

大成建設(株)　正会員　石井 裕泰
東京工業大学 正会員　北詰 昌樹

1. はじめに

亜炭などの採掘跡に残された地下空間や，杭で支持されたスラブ下において地盤沈下で生じた空間を，セメント系充填材(可塑性充填材)で埋め戻す事例がいくつか報告されている [1)~3)]．これらにおいては，全体的には流動性の高い配合を用いて，一つの打設地点からより広い範囲を効率的に充填することを基本とする一方，意図しない範囲への流出を抑制するために，高粘性配合(すなわち低流動配合)で端部や外周に隔壁を施工する方法が用いられている．ここで採用される充填材としては，圧力が加わらない状態では形状を保持するが若干の作用で容易に押し出すことができる，「可塑性状」を持つグラウト材が用いられ，連続した隔壁状の打設を可能にしている．

こうした配合の使い分けで目的とする機能を確保できるかどうかについては，空間高さや基礎勾配などの打設条件，密度や粘性特性などの配合条件に応じた検討・評価が必要となる．これまで経験則と実験的検討に基づき実務適用にあたってきたが，今後の様々な適用に向けた評価・検証手法として，著者らは数値シミュレーションの適用可能性を検討している [4)~6)]．本報では，実物大の充填実験を対象とした数値シミュレーションに関して，粘性特性をパラメーターとした数値実験を行い，充填の進捗状況や充填圧への影響を検討した．

2. 検討モデル [5)]

検討対象は沈埋トンネル建設に際して実施したもので，函体底部と基礎地盤の間の空間を充填するにあたって実施した実物大規模の実験である．平面形状 5m×7m，高さ 500mm の対象空間に対して，実施工で想定しうる起伏として高さ 300mm のマウンドを 1 か所，砕石で設けた．その後，全体を水没させた上で，一か所の充填孔から長手方向に片押しで，可塑性充填材を 300L/min で供給した．

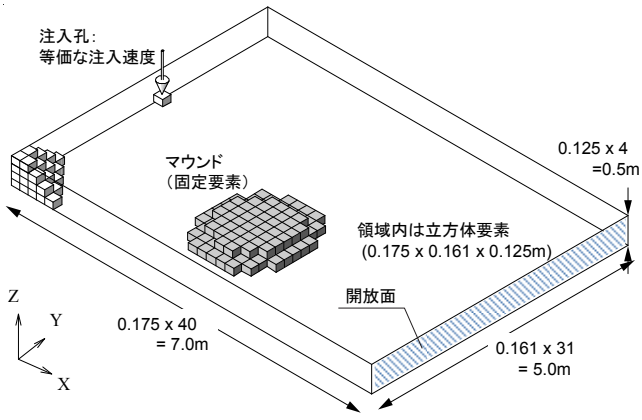


図-1　解析モデル

本実験を対象に行った数値シミュレーションでは，周辺の水はニュートン流体でモデル化し，可塑性充填材はビンガム流体として，実際の φ80mm，h=80mm のシリンダーフロー（JH フロー）で 100mm 程度(スランプ値としては 20mm 程度)を再現する降伏応力 τ_f= 400N/m^2 を入力パラメーターとした．図-1 のような三次元格子を用い，充填箇所には実験相当の流入速度を境界条件として差分計算を行った結果，表-1(a)のように充填中の可塑性充填材の広がりを経過時間にそって再現し，充填圧力の推移は図-3 中の(a)のように実測値に整合のとれた結果を得た．

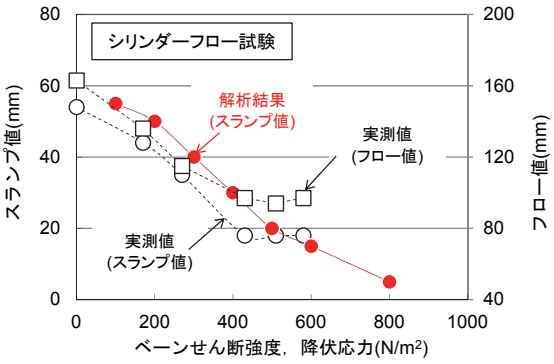


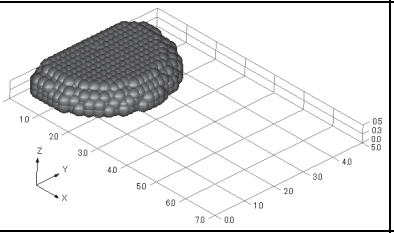
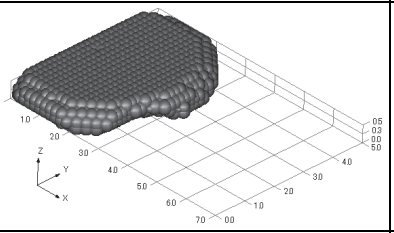
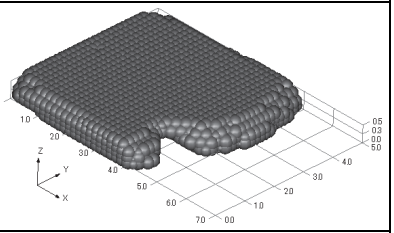
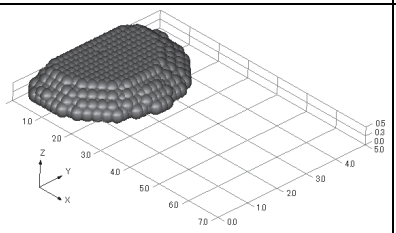
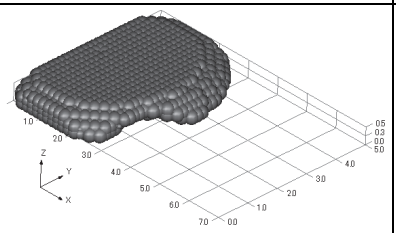
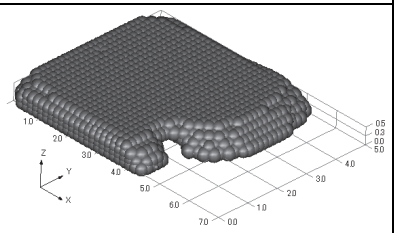
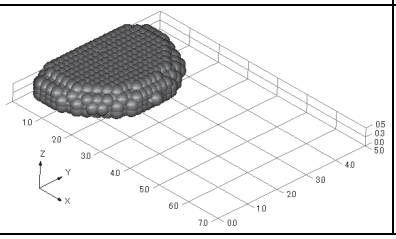
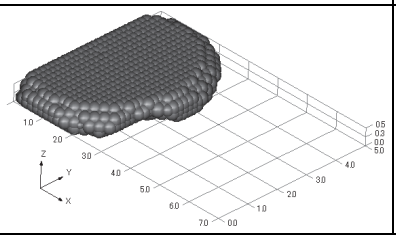
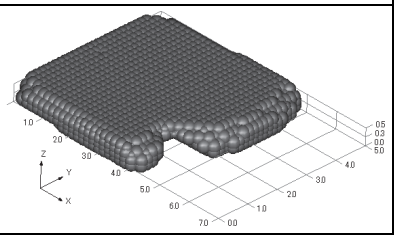
図-2　降伏応力，スランプ，フロー値の関係

3. 検討ケース

本検討では，上記数値シミュレーションにおいて，降伏応力 τ_f をパラメーターとした数値実験を行った．設定値については，上記設定値 400N/m^2 に対して，低粘性条件として 0.5 倍の 200N/m^2，高粘性条件として 1.5 倍の 600N/m^2 を採用した．参考文献 [4)]の図-2 に基づけば，それぞれフロー値で 130mm，100mm

キーワード　空洞充填，可塑性グラウト，数値流体解析
連絡先　神奈川県横浜市戸塚区名瀬町３４４－１　　ＴＥＬ　０４５－８１４－７２３６

表-1　充填状況の比較（グラウトが満たされた要素を球体で表示）

	(a) 10 分	(b) 20 分	(c) 35 分
(a) 実験相当配合 τ_f=400 kN/m^2			
(b) 低粘性(高流動)配合 τ_f=200 kN/m^2			
(c) 高粘性(低流動)配合 τ_f=600 kN/m^2			

程度に相当する．

4. 解析結果

表-1 に，解析で得られた充填材の広がりの経時変化を 10 分，20 分，35 分で比較する．低粘性で流動性が高い配合ほど，充填範囲外周で重力の影響を受け，流動勾配が緩やかになっているが，マウンドの影響を受けない 20 分までの間は，充填状況に目立った差は見られない．一方，それ以降でマウンドまわりに充填が進むと，低粘性配合ではその背面への周り込みが早まっている．本条件では配合の違いによる充填状況は限定的であるが，マウンドがより高い場合など，条件によっては未充填部を残す可能性があるものと考えられる．

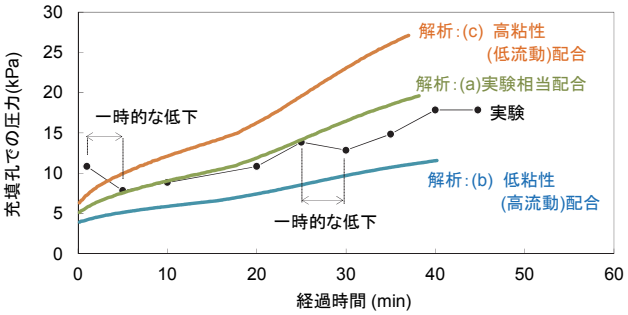


図-3　充填孔付近の圧力推移の比較

図-3 には，充填孔直下での圧力の推移を比較する．充填材の粘性・流動性に応じて充填圧は増減し，降伏応力の設定幅と同様に(a)の実験相当配合に対して 0.5，1.5 倍程度となり，結果として本検討の範疇ではでは 2.5 倍程度の開きが生じている．過去の事例では，フローの施工管理幅として経験的に 40mm（±20mm）等が採用されることがあるが，図-2 にて示した通り本検討でのフロー幅は 30mm 程度となっている．充填部分外周部分への許容圧力に制限がある場合には，フローの管理幅についても見直しを図る必要が生じることを示唆していると言える．

5. まとめ

可塑性グラウトの充填挙動を対象とした数値実験を通して，充填材の配合設定による充填性への影響を明らかにするとともに，フローの施工管理幅に関する知見を得ることができた．地盤や構造物の損傷に対する予防保全や維持補修を目的に，今後，更なる活用が見込まれる充填工事に関して検討を重ね，知見を蓄積していきたい．

【参考文献】1) 和田ら, “限定充填工法における端部充填材の自立性に関する研究”, 第 46 回地盤工学研究発表会, pp.1903-1904, 2011.　2) 安井ら, “空洞充填工法の開発 –廃坑充填工における端部隔壁の施工- ”, 第 46 回地盤工学研究発表会, pp.515-516, 2011.　3) 大谷ら,” 杭基礎で支えられたスラブ下部の空洞充填（その３：充填施工と事後確認）”, 第 69 回土木学会年次学術講演会, 2014(投稿中).　4) 石井 裕泰: “可塑グラウトのスランプシミュレーションと粘性特性評価”, 第47回地盤工学研究発表会, 2012.　5) 石井 裕泰: “可塑性グラウトによる実大空洞充填実験を対象とした数値シミュレーション”, 第48回地盤工学研究発表会, 2013.　6) 石井 裕泰: “可塑性グラウトの空洞充填挙動に関する室内実験と数値シミュレーション”, 第 49 回地盤工学研究発表会, 2014(投稿中).