

可塑状グラウトの充填挙動に対する三次元数値流体解析の適用

大成建設 ○正会員 石井 裕泰 非会員 檜垣 貴司

1. はじめに

可塑状グラウトは、自立性がありながら若干の圧力で圧入が可能で、トンネル背面の裏込め注入等で多用されている¹⁾(図-1)。注入時にグラウト中に発生する圧力は、周辺の構造物や地盤に何らかの影響を与えるものの、多くの場合実験的、経験的に、施工性、安全性を判断しているのが実情である。一方で、近年は構造物直下の基礎地盤構築など、発展的な利用事例も見られるようになっており、理論的、数値的検討の必要性も高まっていると言える。

これらを背景として、著者らは可塑状グラウトの充填挙動の検討にあたっている。本報では、三次元流動挙動を対象とした数値解析の適用性を検証した。

2. グラウト特性と解析モデル

検討対象とした可塑状グラウトは、セメント、水、ベントナイト、ケイ酸ナトリウムを混合したものである。数時間後にセメントの水と反応により固結するが、可塑性状を示す数時間の間にも、粘性特性は随時変化し、充填時の発生圧力に影響を及ぼすことが容易に想像できる。そこで実施した、ミニチュアベーン装置 (ASTM D4648) を用いたベーンせん断強度試験では、混合後、1.5 時間ほどの間で図-2 のように、経過時間に対して線形的な増加傾向を示した。

充填中の可塑状グラウトと周辺部(本検討では水)をモデル化する手法は、既往の文献²⁾で示したものをベースとし、図-3 に示す計算格子を用いた三次元モデルに拡張した解析コードを本検討に用いた。ここでは、(1)カラー関数としてグラウト部を1、周辺水部を0とした数値分布を三次元関数で表現しこれを移流計算してグラウトの充填領域を数値的に表現する、(2)充填孔でのグラウト流入時刻 (T_{inj}) を同様に移流計算し、 T_{inj} の三次元的な分布を把握する、ことを特徴としている。後者は、計算時刻 T を含む(式-1)により各格子でのグラウト経過時間 (dT_{inj}) の算定を可能にし、これに基づき図-2 の粘性特性変化の空間分布を数値解析に反映させることにした。

$$dT_{inj} = T - T_{inj} \quad (式-1)$$

3. 充填実験のシミュレーション解析

充填実験は、図-4 に示す長さ 10m、奥行き 1m、高さ 0.45m の鋼製容器を用いて実施した。充填孔から、可塑状グラウトを 67L/min で、全体が充填されるまで一定速度で送り続け、容器上部に取り付けた 5 つの圧力計で、圧力分布を計測した。

解析モデルは、対称性を考慮し、図-5 のように奥行き方向の半分をモデル化した。充填孔位置には、実験条件に相当する一定速度を境界条件として与え、鋼製容器壁面に相当する部分は、非滑り面と



図-1 可塑状グラウト

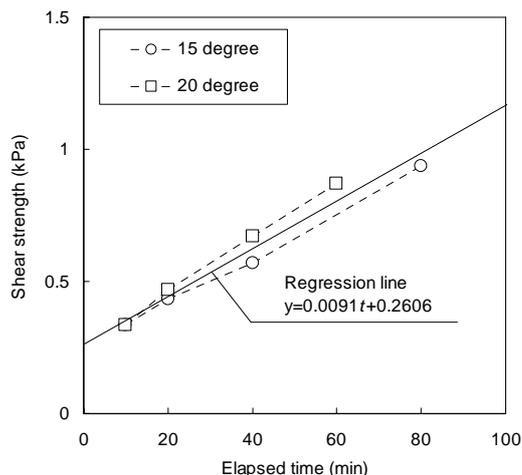


図-2 可塑状グラウトのせん断強度変化

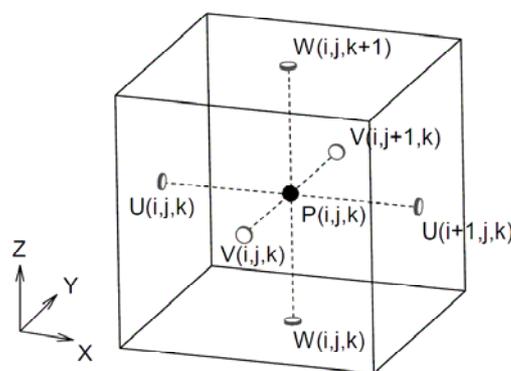


図-3 三次元解析における計算格子

キーワード グラウト、充填、数値流体解析、粘性特性

連絡先 大成建設 技術センター (〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 TEL 045-814-7217)

して、速度の境界条件を定めた。

図-6には、解析で得られたグラウト流動範囲の変化を示す。ここで、可視化にあたっては、各格子中心部に定義されたカラー関数が0より大きい部分に球体を描き、0~1の範囲では、半径を縮小している。先端部では重力の作用により勾配が発生し、鋼製容器の壁面では摩擦力を受けながら充填範囲が広がる様子を、定性的にうまく表現することができている。

図-7に解析で得られた鋼製容器上面での圧力分布を、50%、80%充填完了時について示す。図中には、実験値を示すとともに、参考のため、粘性特性の時間変化を考慮しない場合の解析値も合わせて示している。時間変化を考慮した解析結果は、両時点とも圧力分布の実験値をうまく捕らえた結果となっている。一方で、時間変化を考慮しない場合には、時間の経過に伴い、明らかに圧力分布を過小評価する傾向がある。水和反応等に起因する粘性特性を考慮することの重要性を示唆していると言える。

5. まとめ

三次元数値流体解析を併用した本検討手法により、充填速度、充填空間高さの違いをはじめとした、施工条件の変化に対する圧力評価が可能になる。今後は、実施工に関わる評価・検討にあたる予定である。

参考文献

- 1)三木五三郎, 下田一雄: 可塑状グラウト注入工法, 日刊建設工業新聞社, 2001.
- 2)石井裕泰, 檜垣貫司, 伊藤一教, 木村政俊, 小山文男: セメント系可塑状グラウト材料の充填挙動に対する数値流体解析の適用, 土木学会論文集F, Vol.66, No.1, 170-180, 2010

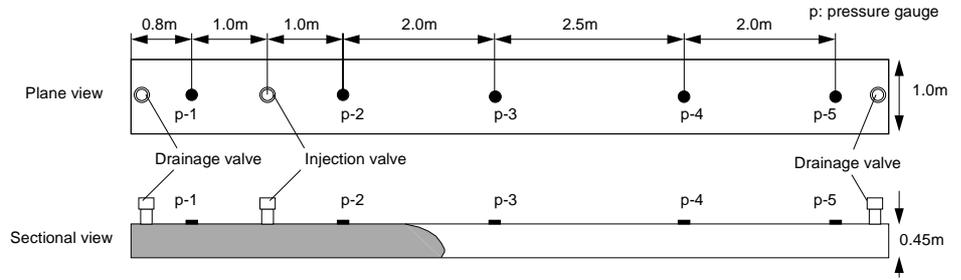


図-4 充填実験の概要

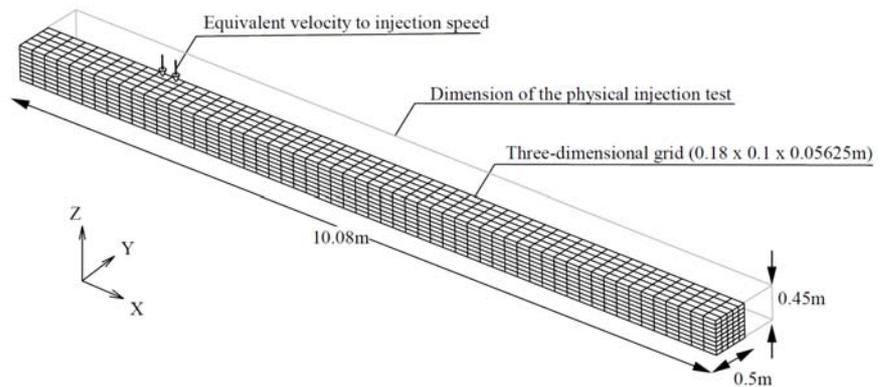


図-5 充填実験を対象とした解析モデル

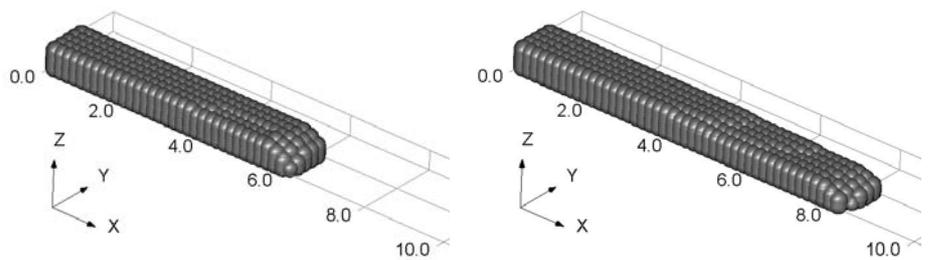


図-6 解析で得られたグラウト流動範囲の変化

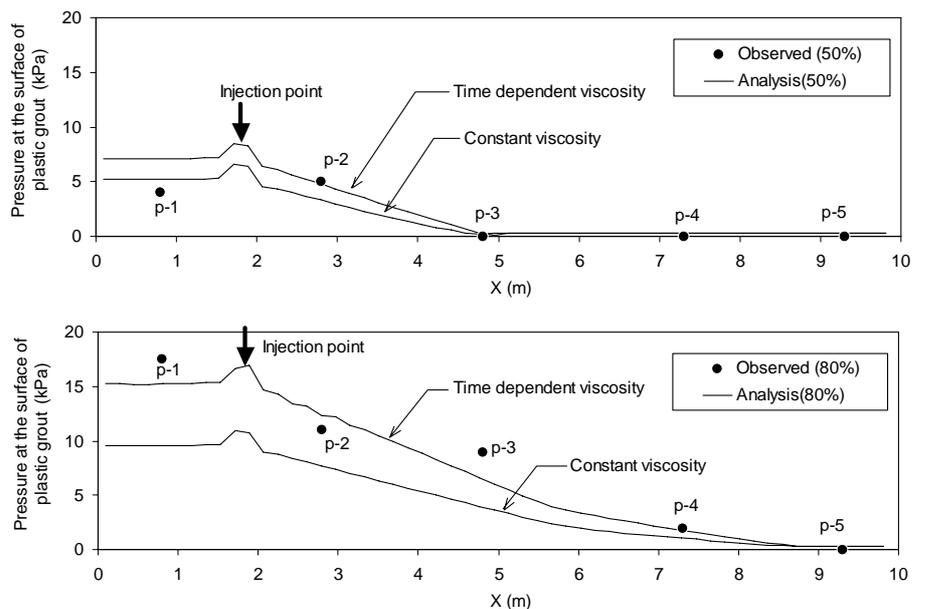


図-7 解析で得られた鋼製土槽上面の圧力分布