可塑状グラウトを用いた充填注入に対する数値流体解析の適用

大成建設 土木技術研究所 正会員 〇石井 裕泰 正会員 檜垣 貫司

1. はじめに

充填性に優れるなどのメリットから,可塑状グラウトが,建設工事における充填注入に活用されている.構成 材料,強度発現といった材料の検討に加えて,注入圧,充填度合いといった施工面での検討も重要であるが,こ れまでのところ経験的な知見に頼るところが大きい.そこで,数値解析による評価への適用を目指し,充填注入 時の状況を数値流体解析により表現することを試みた.

2. 可塑状グラウトの特性

検討で想定した可塑状グラウトは、セメント、水、水ガラスなどからなる.一般にはセメントが主成分のミル クと水ガラスとを別経路で送り、注入直前で混合しゲル化したものを圧入していく.静置していると自己流動性 がなく自立しているが若干の加圧で流動化する特性を持つため、限定的な空洞への充填に適し、かつ水に希釈さ れにくい(図-1 参照).充填注入中は可塑状を保つ必要があり、保持時間は配合や混和剤で調整される.充填注入 後は、時間の経過とともにセメントの水和反応が進み、28日材齢で1~10N/mm²程度に達する.

図-2 に示すとおり、注入孔から充填された可塑状グラウトは、形状を保ったまま、新たに注入されたものが前

面の材料を押し出す形で充填される.充填形状や可塑状モルタルの 粘度で決まる抵抗圧に 0.05~0.1N/mm² を上乗せした値が注入圧力 の目安になるとされている.最近では、シールドのテールテールボ イドや既設構造物の裏込め注入などへ数多く利用されている¹⁾.

3. 数值流体解析

注入過程における x, y 方向流速 u, v と圧力 p に対して,以下の連 続式,運動方程式 (ナビエストークスの方程式) を適用した. $\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$ $\cdot \cdot \cdot \vec{x}(1)$ $\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\eta'}{\rho} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)$ $\cdot \cdot \cdot \vec{x}(2)$

 $\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\eta'}{\rho} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + g \qquad \cdot \cdot \cdot \vec{\mathfrak{T}}(3)$

ここで、 ρ :単位体積質量、 η :ひずみ速度に応じた見かけの粘性係数、g:物体力(重力加速度)

解析領域には、圧力を各格子点中心位置に、各速度成分を格子境 界上に互い違いに配置するスタッカードメッシュを用いた.式(2)、 (3)を変形すると、 p_n 、 u_n 、 v_n を用いて差分化した速度増加量 Δu_n 、 Δv_n が算定され、n+1ステップにおける u_{n+1} 、 v_{n+1} を近似計算できる. さらにこれらを式(1)に代入し p_{n+1} を算定し、n+1ステップにおける 状態を順次特定する手法を用いた.

なお、上記差分計算には解析領域境界部の値を設定する必要があり、すべり、非すべり境界、流入境界などをu、vに対して設定した. また、充填部と未充填部(水があるものと想定)では特性が変わるため、これらの境界部分を解析上特定することが重要となる.ここでは、各格子点において充填部分を1、それ以外を0で定義するカラーファンクションφを定義し、u_n、v_nで移流させる方法を用いた.ただし、境界部にあたる0から1への急変部分の判別が必要になるため、φを格子ごとに3次関数で近似し、x、y方向の変化率をあわせて





図-1 検討対象とした可塑状モルタル



キーワード 可塑状グラウト,充填,数値解析

連絡先 〒245-0015 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株)技術センター TEL 045-814-7236



図-3 解析モデル



図-4 解析に用いた可塑状グラウトの特性



図-5 充填範囲の変化



図-6 注入圧の流入方向分布

移流させる方法2)を適用した.

4. 解析概要

解析は、図-2 に示した可塑状グラウトの注入形態といった定性的 な挙動の再現を目的に、図-3 に示すモデルに対して行った.高さ 120mm、長さ 300mm の充填空間に、領域の左端の一部を注入孔とし て, x 方向に一定速度(0.02m/s)を境界条件として設定した.

可塑状モルタルには、図-4の特性を適用した.一般的な可塑状グ ラウトの強度が 0.001~0.01N/mm² であることを考慮し、せん断ひず み速度とせん断応力の関係を定めている.最大せん断強度にいたる までは、解析上ニュートン流体(水の 3×10⁵倍)として扱われ、降 伏後はせん断ひずみ速度に応じて見かけの粘性係数 n'を算定して用 いることにしている.実際の特性は構成材料,配合により依存する ので別途検証が必要となる.なお、本検討では、式(3)におけるgは0 とし、重力の影響を無視した.

5. 解析結果

化を図-5に示す.今回実施した解析における格子は大変粗いものの, 注入孔から押し出される形で充填される様子が再現されている. 一 般には充填範囲の下部が先行して押し出されると思われるが、重力 を考慮しなかった本結果では、注入孔高さの部分が先行する形態と なっている. なお、本結果では、単位奥行きあたり 0.12m³/min の注 入速度となり,一般的な注入速度 0.1m³/min¹⁾に対して近い値となっ ている.

t=3, 6, 12, 18(s)における注入圧の分布を図-6に示す. せん断応 力が卓越する注入孔部分に大きな圧力が生じ、充填範囲先端部に向

かい分布は低減し、先端部にはほとんど圧力は生じていない.充填完了時の注入孔部分の圧力は 200 N/m²で、一 般に見られる 0.1~0.2N/mm²を大きく下回る. 可塑状グラウトの特性値, 注入部分の形状等に依存するものであり, 今後の検討課題と位置付けたい.

6. まとめ

可塑状グラウトの充填注入に関して数値流体解析による再現を試み、充填時の挙動を定性的にはうまく再現す ることができた、本工法の適用にあたり、構造物に隣接した部分や高度な充填率が求められる場合には、注入圧 の予測・評価が重要になるであろう、安全管理、品質管理の観点で、定量的な検討を含めて実務への展開を図っ ていきたい.

参考文献 1)三木ら:可塑状グラウト注入工法,日刊建設工業新聞社(2001) 2)矢部ら: CIP 法 原子から宇宙 までを解くマルチスケール解法,森北出版株式会社(2003)