

グラウト注入解析

(株)計算力学研究センター 篠崎 貴浩
オリエンタル建設(株) 正会員 吉岡 民夫
(株)計算力学研究センター 熊井 規
(株)計算力学研究センター 正会員 吉川信二郎

1. はじめに

グラウト注入プロセスは、土木・建築工事で多用されているが、その流動特性が複雑なこと、注入界面が存在すること等、数値解析上の難しさもあって、十分に解明されていない。この過程を解明し、高品質化・高効率化に対応することを目指して、近年急速にその実用性・適用性を確保してきている (Table 1) 汎用熱流体解析プログラム「FIDAP8.5」を用いて、数値実験を行った。

グラウトは、非ニュートン流体であり、またグラウトと空気または水との界面（フロント）をVOF (Volume of Fluid) 法によって考慮している。数値実験の結果、グラウト注入過程の検討に対して「FIDAP8.5」の、適用性・有用性が明らかになった。

2. 基礎方程式

液相

$$U_{i,i} = 0 \quad (1)$$

$$\rho \left(\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \right) \quad (2)$$

$$= -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \rho g_i + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \right] \quad (3)$$

$$\rho \left(\frac{\partial C}{\partial t} + U_j \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) = D \frac{\partial^2 C}{\partial x_j \partial x_j}$$

ここで

u_i : i 方向流速成分、 ρ : 密度、 p : 圧力、 g_i : i 方向重力、 C : 濃度、 μ : 粘性係数、 D : 拡散係数、 σ_{ij} : 応力テンソル、 ϵ_{lm} : ひずみテンソル、 D_{ijlm} : 応力 - ひずみテンソル。

固相

$$\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} + \rho f_i = 0 \quad (4)$$

$$\sigma_{ij} = D_{ijlm} \epsilon_{lm} \quad (5)$$

3. モデル化

(1) 粘度特性

グラウトは次式である。

$$\mu = \mu_0 + \frac{\sigma_B}{2} \Phi^{-\frac{1}{2}} \quad (6)$$

ここで、 $\Phi = 2\dot{\epsilon}_{lm}\dot{\epsilon}_{lm}$ 、 $\dot{\epsilon}_{lm}$: ひずみ速度テンソル、 μ_0 : ニュートン粘度、 σ_B : 降伏応力。

(2) 界面表現モデル

界面の表現法は追跡法と捕捉法 (EDICT 等) の2法に大別される¹⁾。ここでは、グラウトフロントを表現するために捕捉法の代表的手段であるVOF法を用いる。VOF法は、Euler座標系で問題を記述し、流体占有率 f (連続関数) で流体の存在を表現するモデルである。

キーワード Grout, Bingham, VOF, FIDAP

〒142-0041 東京都品川区戸越1-7-1 TEL 03-3785-3033 FAX 03-3785-6066

$$\frac{df_i}{dt} = \sum_k \frac{-\beta_k}{V_i} \int_{S_k} u_n ds$$

ここで、

f_i :要素*i*の流体占有率 V_i :要素*i*の体積 β_k :有効面積比 u_n :要素境界面外向き法線方向流速 S_k :要素境界面

節点*n*の占有率 f_n は次式で算出する。

$$f_n = \frac{\sum_i f_i V_i}{\sum_i V_i} \quad \text{ここで、} i \text{ は } n \text{ を構成節点とする要素である。}$$

4．解析対象

fig.1 の領域を解析対象として、グラウト解析を行った。同図に要素分割をあわせ示す。

5．解析結果

fig. 2 にグラウト充填の様子を流速場と共に示す。同図のケース ($\mu_0 = 0.6 Pa \cdot s$, $\sigma_B = 3.8 Pa$) の様に粘度が比較的低い場合、重力の影響によって上部に空間がある状態で充填されている様子が観察される。

6．結論

本報告では、グラウトの注入過程を有限要素法による汎用熱流体解析プログラム「FIDAP 8.5」を用いて解析し、その適用性について検討を加えた。非ニュートン性、時間とともに進行する界面形状などに留意して解析した結果グラウトの流動のパターンが重力とニュートン粘度に大きく依存することが明らかとなった。

Table.1 History of development of solver for FIDAP

Year	Ver.	Solver	Remarks
1983	2.0	Direct/Fully coupled	Gaussian Elimination (Skyline Index)
86	3.0	Direct/Segregated1	Pressure Projection/correction/update Gaussian Elimination for each governing equation runtime ratio: almost the same stage ratio:10 ~ 15 times
87	4.0		
89	4.5		
90	5.0	iterative/Segregated2	Generalized Conjugate Gradient (CGS,GMRES,CR,CG) runtime rataio:10 ~ 100 times Strage ratio : 10 ~ 100 times(vs ver.5)
91	6.0		
93	7.0	iterative/Segregated2	Generalized Conjugate Gradient (CGS,GMRES,CR,CG)(Rewrite) runtime rataio:3 times(vs ver.6)
95	7.5	iterative/Segregated2	Automatic Parameter setting runtime ratio:2times(vs ver.7)
96	7.6	iterative/Segregated2	Tuning runtime ration:3times(vs ver7.5)
98	8.0	iterative/Segregated2	Jacobi variant Vectorization of Element PassSingle point quadrature runtime ratio:2.5 times(vs ver.7.6) Tuning runtime ration:8.5times (vs ver7.6)
99	8.5	iterative/Segregated2	Parallel(Auto mated Domain Decomposition ,MPI)

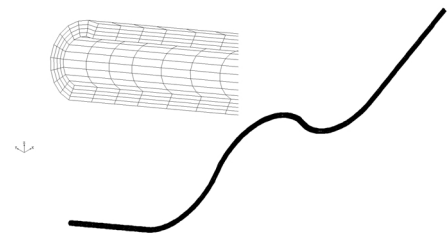


fig.1 要素分割 (12,100 節点、15,060 要素)

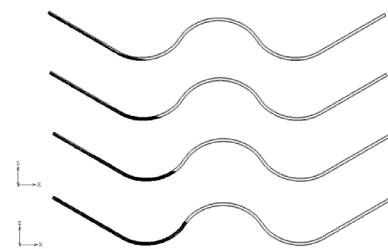


fig.2 充填の様子 ($\mu_0 = 0.6 Pa \cdot s$, $\sigma_B = 3.8 Pa$)

参考文献

- 1) Tezduyar, T.E., S.Aliabadi, and M.Behr: Proc. I SAC '97 High Performance Computing on Multiphase Flows, JSME (1997).
- 2) 熊井規、佐藤勝：日本機械学会 第 6 回 計算力学講演論文集 No.930-71(平 5-11) 366.
- 3) 熊井規、佐藤勝、五十嵐 真一：第 6 回複合材料界面シンポジウム講演要旨集 (平 9-5)