

## CFD-MPPIC coupling 解析を用いた自己充填コンクリート圧入時の流動予測

佐藤工業 技術センター 正会員 ○小野 知義, 加藤 謙吾, 歌川 紀之, 黒田 千歳  
 数値流体力学コンサルティング 正会員 川村 隆文  
 筑波大学 正会員 京藤 敏達

## 1. 目的

自己充填コンクリートは、締固めなしで型枠のすみずみまで充填できる一方、型枠に作用する圧力が大きくなるなどの特徴を持つ。トンネルなどの大規模構造物へ自己充填コンクリートを適用する場合、型枠に作用する圧力および流動状態などの予測は、品質管理を行う上で重要と考えられる。CFD(Computational fluid dynamics)-MPPIC (Multiphase particle-in-cell)coupling 解析は、流体と個体粒子の流れの運動を同時に解くことが可能であり、自己充填コンクリート圧入時の流動予測への適用が期待される。本稿は、CFD-MPPIC coupling 解析結果と模型実験結果とを比較することで、その適用性を検討する。

## 2. 解析概要

解析フローは、主に次の3つに分かれる。(1)室内・現場試験によるパラメータの決定、(2)解析モデルのキャリブレーション、(3)実験結果と解析結果の比較。図-1に解析モデルを示す。寸法は、壁枠高さ1,000mm, 1,420mm, 長さ10,500mmおよび奥行300mmである。圧入孔の直径は、 $\phi=130\text{mm}$ である。実験では、圧入孔から自己充填コンクリートの圧入を行った。圧入孔側の型枠に透明なアクリル板を設置し、自己充填コンクリート圧入時の流動状況を目視で確認できるようにした。また、充填状況を確認するために、型枠に充填センサを設置した(図-2に示す赤丸)。

CFD-MPPIC coupling 解析には、OpenFOAM に実装されている流れの場と個体粒子との相互作用

を考慮できる MPPICInterFoam を用いた。本解析においては、自己充填コンクリートを流体、粗骨材を個体粒子とみなしてそれぞれをモデル化した。流体モデルには、Herschel-Bulkley モデルを用いた。Herschel-Bulkley モデルに必要な降伏せん断応力  $\tau_0$  と塑性粘度係数  $\mu_0$  は、スランプフロー試験およびV漏斗試験結果より推定した。また、初期塑性粘度係数  $\nu_0$  については、実験により決定できないため、複数の値を入力することでその影響をキャリブレーションした。乱流モデルについては、自己充填コンクリートの塑性粘度が大きいことや流速が小さいことなどを考慮して、層流モデルを用いた。個体粒子のモデル化には、粗骨材の粒度分布、粒子密度または  $1\text{m}^3$  当たりの粒子数などの情報が必要となる。これらのパラメータについては、実験に用いた自己充填コンクリートの配合表より決定した。抗力モデルには Ergun-Wen-Yu 抗力モデルを用いた。表-1に解析に用いた主なパラメータを示す。

表-1 解析に用いた主なパラメータ

流体モデル	Herschel-Bulkley モデル
流体密度 ( $\text{kg/m}^3$ )	2,300
初期塑性粘度係数 $\nu_0$ ( $\text{Pa}\cdot\text{s}$ )	690.0, $6.21 \times 10^9$
塑性粘度係数 $k_0$ ( $\text{Pa}\cdot\text{s}$ )	108.0
降伏せん断応力 $\tau_0$ ( $\text{kPa}$ )	92.0
乱流モデル	層流
粒子密度 ( $\text{kg/m}^3$ )	2,700
粒子発生数 (個/秒)	2,000
抗力モデル	Ergun-Wen-Yu モデル
粒度分布	Uniform
最小径 (m)	0.005
最大径 (m)	0.025
境界に対する反発係数 $e$	1.0
粒子同士の衝突	なし
粒子形状	球体

## 3. 結果と考察

図-2に、自己充填コンクリートの自由表面形状を比較する。実験において、圧入開始直後の自己充填コンクリートは、圧入孔の周りに小さな盛り上がりが生じた後、側壁方向へ流動した。また、圧入が進み、側壁まで達した後においても、圧入孔の周りに盛り上がりが生じた。解析では、実験と同様に、圧入開始直後は側壁

キーワード 自己充填コンクリート, CFD-MPPIC coupling 解析, 流体解析

連絡先 佐藤工業株式会社 技術センター 〒300-2658 茨城県つくば市諏訪 C30 街区 1

方向に流動した。また、圧入が進んだ後も圧入孔の周りに盛り上がりが生じたことも同様であった。くわえて、解析における自由表面形状は、どの時間においても実験時の充填センサの反応箇所と一致しており、おおむね自己充填コンクリート圧入時の自由表面形状を再現した。図-3に、実験結果と解析結果における、型枠に作用した圧力を比較する。なお、圧力は、図-1に示すP1~P5で測定した。静水圧と仮定した場合の最大圧力は、模型実験で計測された型枠に作用する自己充填コンクリートの圧入による最大圧力と比較すると、4~25%程度大きかった。また、解析結果の最大圧力は、圧入孔から近い箇所(P4, P5)の圧力と比較すると1~7%の差であり、離れた箇所(P1, P2, P3)の圧力と比較すると24~32%の差であった。静水圧および解析による圧力は測定値より大きな値となっており安全側の評価と言えるが、予測精度には改善の余地がある。実験結果の圧力が解析および静水圧の値より低かった理由として、型枠から自己充填コンクリートに作用するせん断応力が自重を支えるように作用したことなどが考えられる。

#### 4. 結論

CFD-MPPIC coupling 解析は、自己充填コンクリート圧入時の自由表面形状を概ね再現した一方、型枠に作用する最大圧力を30%ほど大きく評価した。今後は、Herschel-Bulkely モデルに合わせた抗力モデルの提案や粒子形状を考慮した抗力、粒子の衝突などを含めた解析を行う予定である。

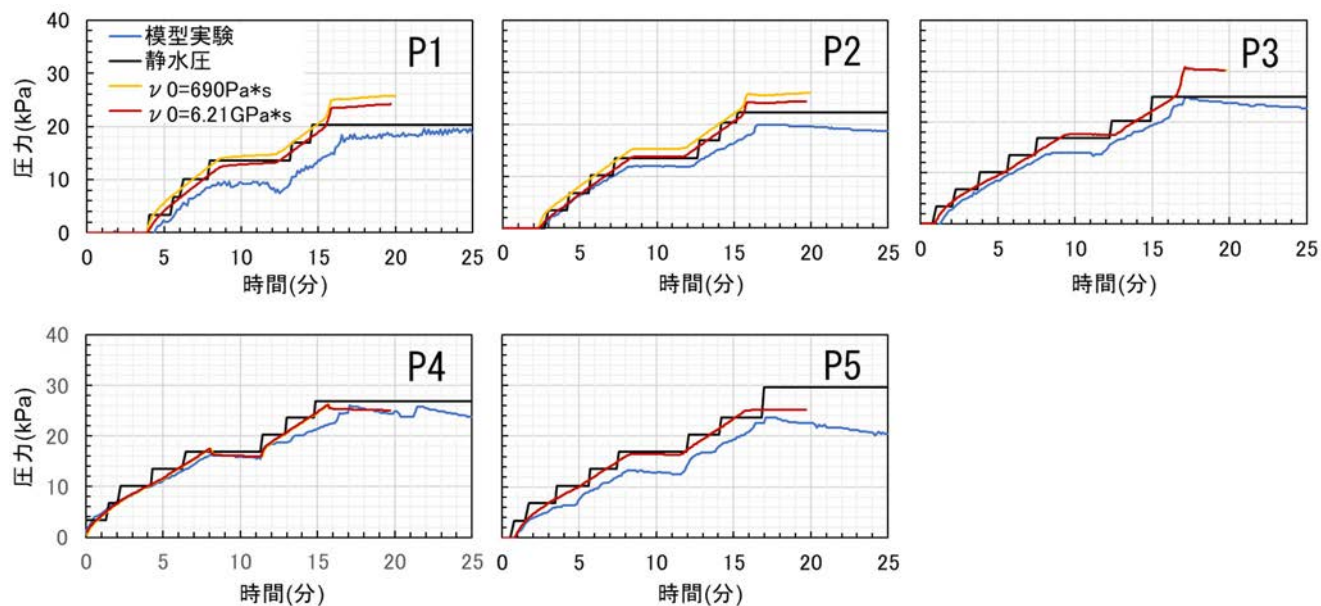


図-3 型枠に作用した圧力の比較

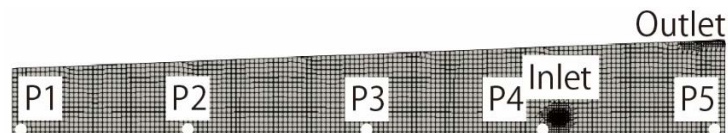


図-1 解析モデル

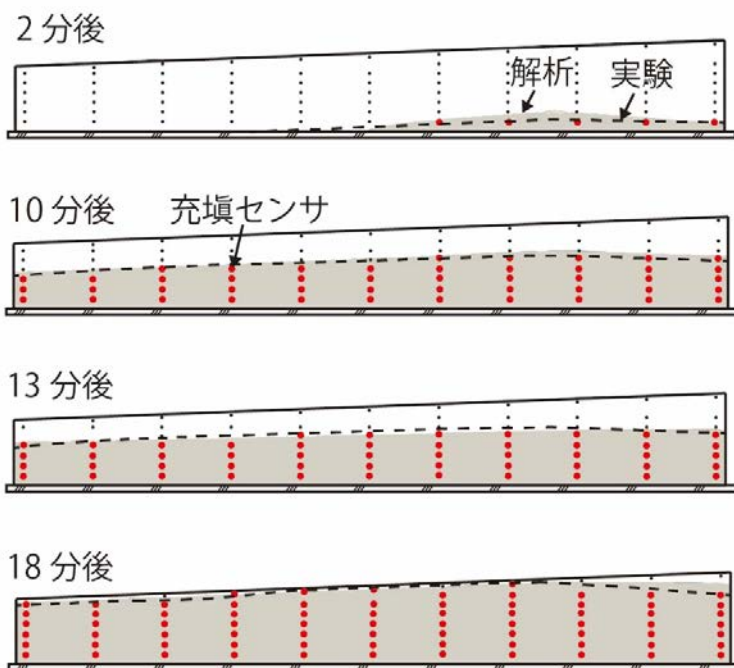


図-2 自己充填コンクリートの自由表面形状の比較