間隙充填モルタルの間隙流動挙動に関する解析的検討

首都大学東京	学生会員(〕武地	慧征	首都大学東京	正会員	宇治	公隆
首都大学東京	正会員	上野	敦	首都大学東京	正会員	大野倭	ま太郎

1.目的

耐震補強工法等に用いられる鋼板巻立て工法の間隙 充填モルタルには、高い充填性が要求される。充填性と して、流動性と材料分離抵抗性が必要であり、両者を満 たす間隙充填モルタルの製造や品質評価は難しい。本 検討は充填不良を起こさない間隙充填モルタルの条件 解明とその流動シミュレーションの確立を目的とした。

2.試験概要

過去の検討¹⁾²⁾より、充填不良を起こさない間隙充填 モルタルの混和剤添加量は高性能 AE 減水剤 1.00%未 満、増粘剤 0.10%以下、且つ降伏値 4Pa 以上であればよ いと定義した。そして新たに考案した間隙充填性試験 を行い、流動性・材料分離抵抗性を実験により評価した。 本検討では、間隙充填モルタルの間隙流動挙動を流体 解析で表現することを試みた。

試料の配合として、上記条件を踏まえ、塑性粘度が大 中小の3種類用意した。各配合と粘度試験結果を表-1 に示す。流体解析に用いたモデルを図-1に示す。領域1 に1Lの試料を投入し、間隙入り口部の仕切りを開放さ せ流動させる。間隙部を通過する到達時間を、実験結果 と解析結果で比較した。また、実施工では最狭部の間隙 幅を5mm以上確保することが望ましく、本検討の間隙 幅は5mmとさらに条件の厳しい3mmの2水準とした。

3.解析手法の概要

本検討で用いた解析手法は粒子法の1種である MPS 法である。本手法では、粒子同士の位置関係が固定され ず、流動を柔軟に表すことが出来る。しかし、MPS 法 で再現される流体は全粒子が均一でありセメントや骨 材など複数材料で構成される間隙充填モルタルの材料 分離の再現は困難である。そこで、本検討で用いた試料 は材料分離しない均一材料のビンガム流体と見なした。

MPS法では、流体の支配方程式である「ナビエ-スト ークス方程式」式(1)と「連続の式」式(2)に従って流体

表-1 配合とレオロジー定数

	W/C	高性能 AE減水 剤(C×%)	増粘剤 (W×%)	消泡剤 (C×%)	塑性粘度 (Pa∙s)	降伏値 (Pa)	
No.1		0.5	0.05		1.886	13.85	
No.2	0.4	0.7	0.05	0.05	0.820	4.82	
No 3		07	0 10		1 1 2 6	5 64	1



図-1 流体解析モデル図

を移動させ、また質量や密度を計算する。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + (u \cdot \nabla)u = -\frac{1}{\rho}\nabla p + v\nabla^2 u + g + F$$
$$\nabla u = 0$$

ここで、u:速度、 ρ :密度、p:圧力、g:重力加速度 ベクトル、F:流体に加わるカベクトルである。

MPS 法は流動時の運動方程式中の微分演算子を粒子間の相互作用によって表現する。MPS 法では連続体を 有限個の粒子に置き換え、式(3)で表される重み関数wを 用いて粒子間相互作用を解く。

$$w(r) = \begin{cases} \frac{r_e}{r} - 1 & r \le r_e \\ 0 & r_e < r \end{cases}$$
(3)

ここで、r:粒子間距離、 $r_e:$ 粒子間相互作用影響半径である。流体の支配方程式には微分演算子として勾配と ラプラシアンモデルが含まれる。MPS法では粒子iのある物理量を ϕ とすると勾配とラプラシアンは重み関数 を用いてそれぞれ式(4)、(5)で表される。

$$\langle \nabla \phi \rangle_i = \frac{d}{n^0} \sum_{j \neq i} \left[\frac{\phi_j - \phi_i}{\left| r_j - r_i \right|^2} (r_j - r_i) w(\left| r_j - r_i \right|) \right]$$
(4)

$$\langle \nabla^2 \phi \rangle_i = \frac{2d}{\lambda n^0} \sum_{j \neq i} [(\phi_j - \phi_i) w(|r_j - r_i|)]$$
(5)

ここで、()_i: 粒子iにおける粒子間相互作用モデル、

キーワード 間隙充填モルタル、流動性、流動解析、MPS 法 連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京 Tel042-677-1111(代表) r:粒子の位置ベクトル、j:近傍粒子番号、d:次元数、 n⁰:初期配置から求められた粒子数密度である。

間隙流動時の抵抗力は、壁面とモルタル間の摩擦や 骨材同士、骨材とペースト間に働く力等が挙げられる。 また、その大きさは可変であり、この挙動を正確に組み 込むことは困難である。そこで、「ナビエ-ストークス方 程式」の粘性項に補正係数を乗じ、粘性項による影響を 高め、それを間隙流動時の抵抗力と見なすこととした。

4.試験結果

実測の間隙流動と同様の流動を示すように設定した 補正係数を乗じた解析による到達時間と実測の到達時 間の結果を表-2 に示す。また、補正係数を乗じていな いもの、乗じたものの到達時間と実測到達時間の関係 を図-2 に示す。粘性項は流体の速度を周りの流体の速 度に近づけようとする力であり、この効果を補正係数 により高め、実挙動に近い結果を得るようにした。

5.実施工への応用に向けて

本検討では、間隙流動挙動を MPS 法によって再現す ることが出来た。しかし実施工では間隙内に、曲がり部 やボトルネックとなる箇所等がある。そのため、それら の箇所での流動挙動を再現する必要がある。そこで、曲 がり部を有する際の挙動を MPS 法によって検証した。 **図-3**に流体解析に用いたモデルを示す。

表-3 に通常のモデル(直線)と曲がり部を有するモデ ルの到達時間の比較を示す。直線の間隙流動と比較し て曲がり部がある場合は到達時間が長くなっている。 また、塑性粘度が大きくなるほど、到達時間には差が生 じる。この根拠として、解析データをもとにした MPS 法による曲がり部の間隙流動挙動の概念図を図-4 に示 す。曲がり部の隅角部では粒子が流動せず留まってい る。その留まった粒子により間隙が狭まり、流動しにく くなるため到達時間が長くなる。また、曲がり部を通過 後の粒子は壁面外側に流れている。そのため、曲がり部 流動直後は充填できる粒子数が直線の間隙流動時と比 較して少なくなり、流動に時間を要する。この一連の傾 向が解析によって明らかになった。つまり、MPS 法は 粒子の簡易的な流れを表現するのではなく、流れの乱 れを再現することが出来る。実施工への応用に向けて、 今後の検討では実挙動で見られる曲がり部や、局所的 間隙幅の減少位置での間隙充填モルタルの流動の乱れ と MPS 法による間隙流動の粒子の乱れの比較を行い、



表-3 直線と曲がり部の到達時間の比較

塑性粘度		補正係数	解析到i	到達時間 の差(s)	
	(Pa•s)		直線(a)	曲がり部(b)	(b−a)
No.1	1.886	1.23	1.95	2.80	0.85
No.2	0.820	2.81	1.85	2.15	0.30
No.3	1.126	1.92	1.65	1.95	0.30

整合性の確認を行いたい。

6.まとめ

粘性項に係数を乗じ、それにより間隙流動時の諸々 の抵抗力を抱合して表現することで MPS 法によって間 隙流動挙動を示すことが出来た。また、間隙内に曲がり 部を有する際の粒子の流れの乱れを解析的に再現する ことが出来たが、今後実挙動との整合性を検討したい。 参考文献

- 武地慧征ほか: 塑性粘度を考慮した間隙充填モル タルの充填性評価に関する研究、土木学会第72回 年次学術講演会論文集、V-118、2017
- 2) 矢野華ほか:流動性・材料分離抵抗性を満足する間 隙充填モルタルの評価に関する実験的研究、土木 学会第73回年次学術講演会論文集、V-416、2018