フライアッシュを混入した高流動コンクリートの間隙通過性に関する流動解析

太平洋セメント(株)	正会員	〇石井	祐輔
琉球大学 工学部	正会員	山田	義智

1. はじめに

前報では、FAコンクリートを用いたJリングフロー 試験結果について報告した。本報では、FEMの逆解 析によるフレッシュコンクリートの降伏値と塑性粘 度の推定方法,およびその推定値を用いたMPS法¹⁾に よるJリングフロー解析の結果について報告する。

2. レオロジー定数の推定手法

レオロジー定数(降伏値,塑性粘度)を推定するた めに、任意の降伏値を 11 パターン (30~700Pa の範 囲),任意の塑性粘度を 5 パターン (30~200Pa・s) 設定し、計55パターンの組み合わせで粘塑性有限要 素法(以降, FEMと称す)解析を行った。その結果か ら,スランプフロー値と降伏値の関係を求めた。ま た,55 パターンの FEM 解析結果のうち,フロー値が 60cm を超えたものに関して, フロー50cm 到達時間 と塑性粘度の関係を求めた。式(1)にスランプフロー と降伏値の関係式,式(2)にフロー50cm 到達時間と塑 性粘度の関係式を示す。

$$\tau_{\gamma} = 4.0 \times 10^{12} S f_c^{-3.88} \tag{1}$$

$$\eta = 35.208t_{50} + 2.861 \tag{2}$$

ここで, *Sf*_cはスランプフロー(mm), *t*₅₀は 50cm 到 達時間(s)である。上式の有効性を検討するために、 前報でスランプフロー試験を行った3種類の配合(N,

岐阜工業高等専門学	校	上原	義己
太平洋セメント(株) 正会員	中	新弥
太平洋セメント(株) 正会員	小川	洋二

NF1, NF2) のレオロジー定数を式(1), 式(2)より推定 し、その推定値を用いて FEM によるスランプフロー 解析を行った。図-1には,推定したレオロジー定数 を示すとともに、フロー曲線について FEM 解析結果 とフロー試験結果の比較を示す。同図より, FEM 解 析によるフロー曲線は、試験結果を概ね捉えられて いる。よって、今回提案したコンクリートのレオロジ 一定数推定手法は有効であると考えられる。

3. 解析条件

MPS 法による J リングフロー解析に用いる粒子モ デルおよび解析条件を図-2,表-2に示す。粒子モ



図 - 2 粒子モデル(鉄筋障害あり)



キーワード MPS 法,流動解析,シミュレーション,間隙通過性,高流動コンクリート,フライアッシュ 連絡先 〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋セメント(株) 中央研究所 TEL:043-498-3836

-412

	12 - 2 119	-1/1 75 17	
粒子モデル	粒子数	粒子径(cm)	時間刻み(s)
障害なし	38472		
障害あり(12 本)	39816	1.0	5.0 × 10 ⁻⁴
障害あり(18本)	40302]	

表 - 2 解析条件

デルは「障害なし」「障害あり(12本)」「障害あり(18本)」の3種類とし、2章で示した3組(N, NF1, NF2) の降伏値,塑性粘度(図-1参照)を物性パラメータ として入力することで、合計9ケースの解析を行っ た。なお、本解析ではスランプフロー値が試験結果と 同じになった時点で解析を終了し、50cm 到達時間お よびPJ値について試験結果との比較を行った。また、 流体粒子が障害間を通過する際には、鉄筋の存在に より見かけの粗骨材体積が増加すると仮定し、山田 らの手法 つを応用して局所的に粘度が増加するよう にしている。障害間を通過する際のフレッシュコン クリートの粘度式を以下に示す。

$$\eta_a = \eta \left(1 - \frac{\phi}{\phi_{max}} \right)^{-2.5} \tag{3}$$

$$\phi = \frac{\pi r^2}{2r \times (2r+d)} \tag{4}$$

$$\phi_{max} = \frac{\pi r^2}{2r \times (2r + G_{max})} \tag{5}$$

ここで、 η_a は間隙通過時のフレッシュコンクリートの 見かけの粘度、 η はレオロジー定数から求めたフレッシ ュコンクリートの粘度、rは鉄筋障害の半径(mm)、dは 鉄筋障害の空き(mm)、 G_{max} は粗骨材の最大寸法(mm)で、 本解析では、 $G_{max} = 20mm$ とした。

4. 解析結果および考察

表 - 3 に, 50 cm 到達時間の試験結果と解析結果の 比較を示す。同表より,解析結果は障害本数が多くな るほど,50 cm 到達時間が長くなっていることがわか る。また,「障害 12 本」の試験結果と解析結果の誤 差は比較的小さく,「障害なし」および「障害 18 本」 においては,試験結果,解析結果ともに,NF1 の配 合が最も 50 cm 到達時間が短く,N の配合が最も長い 傾向がみられる。しかし,多くのケースにおいて,試 験結果よりも解析結果の 50 cm 到達時間が短いこと がわかる。これは,本解析では,スランプ底面の境界 条件が実際を反映していない可能性がある事や,鉄

表 - 3 解析結果と試験結果の比較(50cm 到達時間)

	50cm到達時間 (s)					
配合名	障害	なし	障害 12 本		障害 18 本	
	実測	解析	実測	解析	実測	解析
Ν	9.40	4.53	7.65	6.76	22.48	9.99
NF1	8.27	3.97	5.21	6.08	10.67	9.12
NF2	9.00	4.41	9.45	6.60	14.09	9.76

表 - 4 解析結果と試験結果の比較(PJ値)

	PJ 値 (mm)			
配合名	障害 12 本		障害 18 本	
	実測	解析	実測	解析
Ν	17.5	8.438	52.5	26.904
NF1	16.3	10.2	40.0	22.662
NF2	13.8	8.595	35.0	15.422

筋周辺における材料分離や,粗骨材の架橋による閉 塞などを考慮していないことが原因と考えられる。

表 - 4 に PJ 値の試験結果と解析結果の比較を示す。 同表より,いずれの結果においても,「障害 12 本」 より「障害 18 本」の PJ 値が大きいことがわかる。 また,「障害 18 本」において,試験結果,解析結果と もに N, NF1, NF2 の順で PJ 値が減少する傾向がみ られる。しかし,いずれのケースにおいても,解析結 果の PJ 値は試験結果よりも非常に小さいことがわか る。これは,50cm 到達時間と同様に,スランプ底面 の正しい境界条件や鉄筋周辺における材料分離,粗 骨材の架橋による閉塞などを考慮していないことが 原因と考えられる。これらを反映したシミュレーシ ョン手法の提案に関しては,今後の課題とする。

4. まとめ

MPS法を用いてJリングフロー解析を行った結果, 障害本数が多くなるほど,50cm 到達時間は長くなり, PJ 値は大きくなることが分かった。また,試験結果 と解析結果が同様の傾向を示すケースがいくつかみ られた。今後は,鉄筋周辺における材料分離や,粗骨 材の架橋による閉塞を考慮したシミュレーション手 法を開発する予定である。

【参考文献】

- Koshizuka,S. and Oka,Y. : Moving Particle Semiimplicit Method for Fragmentation of Incompressible Fluid, Nucl. SciEng. 123, pp. 421-434, 1996
- 2)山田義智,赤嶺糸織,伊波咲子,浦野真次:フレッシュコンクリートのレオロジー定数推定に関する基礎的研究,セメント・コンクリート論文集, Vol.66, pp.661-668, 2012