

1. はじめに

構造体コンクリートの品質確保を目的とした施工の合理化や作業自体の省力化を図るためには、練混ぜ・運搬・打設および締固め時におけるフレッシュコンクリートの変形・流動性状を予測しうる解析方法確立し、現場におけるコンクリートの施工性を合理的に評価することが必要である。フレッシュコンクリートの流動シミュレーションは、施工設計法を確立する上での重要な手がかりとなるばかりではなく、その一手段となる可能性をもっている。このようなシミュレーションを行うには、コンクリートのレオロジー性質に関する情報の収集と流動解析の手法の検討がともに不可欠な要素となる。しかし、現在では、フレッシュコンクリートのレオロジー的研究のほとんどは、前者にウエイトが置かれており、後者に関する情報は非常に少なく、特に、各種施工条件に対応できる流動現象の解析手法に関する報告はほとんどみられない。

このことより、本研究では、フレッシュコンクリートの流動シミュレーションとして、鉄筋が配置された型枠内のフレッシュコンクリートの流動シミュレーションを行った。

2. 解析手法とその適用性

本解析手法では、液体と気体の界面を追跡するためにVOF (Volume of Fluid) 法という方法を用いている。これは、各流体セルに含まれる液体（ここではコンクリート）の体積分率をVOFという関数で表し、VOFの輸送を解くことにより、液体と気体の界面を追跡するという方法で、自由表面解析では最も一般的に使用される方法である。

まずは、過去に行われた実験値と解析によって得られた値を比較することで、本解析手法のコンクリート解析への適用性について検討を行った。

表 1 配合表

W/P	s/a(%)	単位重量(kg/m ³)				
		W	C	Sg	S	G
0.32	49	170	266	266	769	850
0.34	49	170	250	250	796	850

(1) 解析対象

解析対象は、表1に示した配合で設計した高流動コンクリートに対してL型フロー試験(図2)を行ったものである。

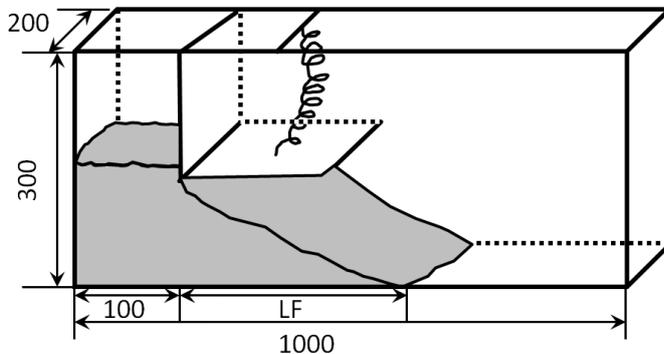


図 2 L型フロー試験装置

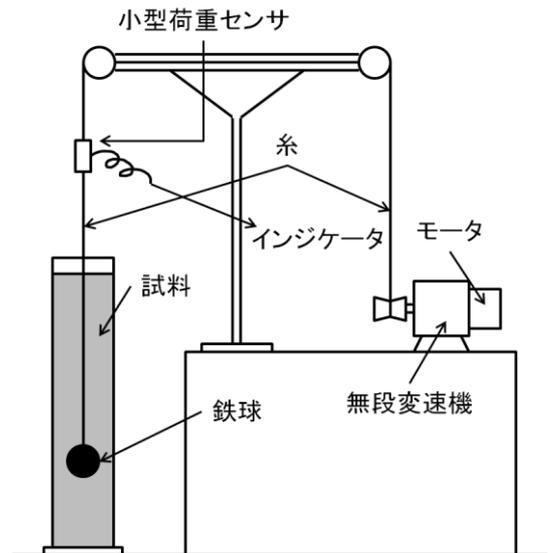


図 3 球引上げ粘度計

(2) 実験値との比較

図3に示す球引上げ試験により得られたレオロジー定数(降伏値及び塑性粘度)から表2のように解析モデルのパラメータを設定した。球引上げ粘度計によって測定されたレオロジー定数は、水結合材比0.32のコンクリートが降伏値57.3Pa, 塑性粘度799Pa・sであり, 0.34のコンクリートが降伏値63.0Pa, 塑性粘度621Pa・sであった。

モデル1において流動シミュレーションを行った結果を図4に示す。図は、L型フロー試験装置の解析モデルにおいて中央断面を取り出したもので、流動開始から1秒ごとに5秒間をコンクリートのVOF分布で表している。VOF分布で、コンクリートが10%を満たしたところを黒で表示している。なお、本解析ではこの空間において、コンクリートが10%を満たしたところでその地点を通過したとみなしている。また、流動距離をわかりやすくするため、流動開始から25mm間隔で補助線を引いている。

モデル2においても同様にして流動シミュレーションを行い、それらの結果をまとめたものを図5に示す。図は、水結合材比0.32および0.34のコンクリートを試料として、L型フロー試験における流動開始から1秒ごとのLF値を測定した結果を実験値として点線で示し、流動シミュレーションにより得られたLF値を近似曲線によって表した結果を解析値として実線で示している。

図より、実測の時間-LF値曲線と解析による曲線を比較すると、多少の誤差は見られるが、その挙動をほぼ再現できているといえる。

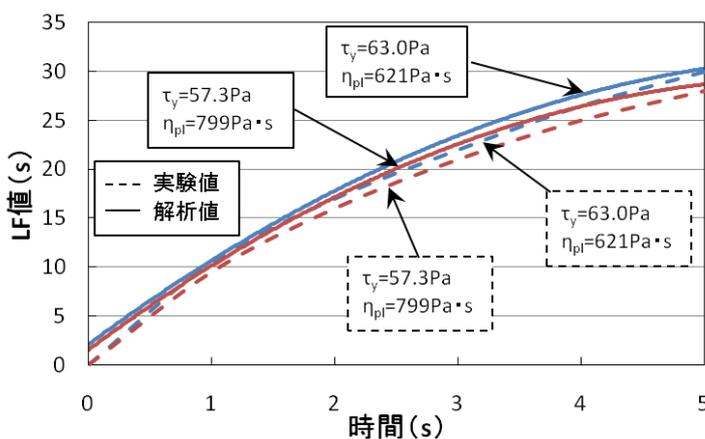


図5 実験と解析の時間-LF値曲線の比較

表2 解析モデルのパラメータ

レオロジー定数	モデル1	モデル2
降伏値(Pa)	63	57.3
塑性粘度(Pa・s)	621	799

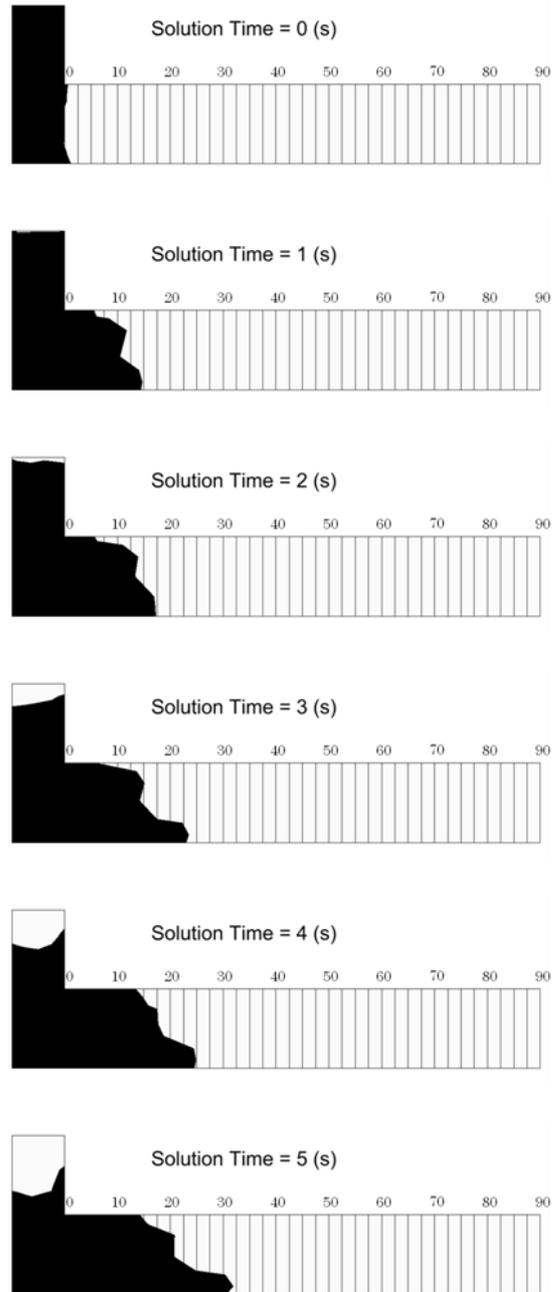


図4 コンクリートのVOF分布(モデル1)

3. 各種要因がL型フロー試験の結果に及ぼす影響

レオロジー定数の変化, 試験装置の摩擦, 障害物の有無および大きさの変化でL型フロー試験の結果にどのような影響を及ぼすのか検討を行った。

(1) レオロジー定数の変化が結果に及ぼす影響

設定したコンクリートのレオロジー定数を表3に示す。このレオロジー定数は高流動コンクリートのものを想定しており、モデル1, 2では塑性粘度の影響、モデル3, 4では降伏値の影響を検討した。

シミュレーションの結果、各モデルの5秒間の推移を近似曲線によりまとめたものを図6に示す。

図より、モデル1, 2の塑性粘度を変化させることでLF値に40cm以上の差が出ている。また、モデル3, 4の降伏値を変化させたところLF値へほとんど差が見られなかった。これらのことから、高流動コンクリートのレオロジー定数において、降伏値はほとんどLF値に影響せず、塑性粘度がLF値および流動性に主に影響を与える要因だと考えられる。

(2) 試験装置の摩擦が結果に及ぼす影響

設定した解析モデルのパラメータを表4に示す。通常、L型フロー試験装置の壁面は滑らかなもの(スチール)で、それを考慮したものがノースリップで、壁面の摩擦をゼロとしたものをスリップと表している。

シミュレーションの結果、モデル2のすべり壁では3秒の時点で試験装置の端まで流れきってしまっている。また、1秒時のLF値の比較をしたものを図7に示す。図より、ノースリップとしたモデル1は流動開始から1秒の時点でLF値約15cmに対して、壁面をスリップとしたモデル2は流動開始から1秒の時点でLF値約40cmと大きく差が出ている。このことより、壁面の摩擦は試験結果に大きく影響を与える要因だといえる。

表3 解析モデルのパラメータ

レオロジー定数	モデル1	モデル2	モデル3	モデル4
降伏値 (Pa)	50		20	100
塑性粘度 (Pa·s)	200	1000	500	

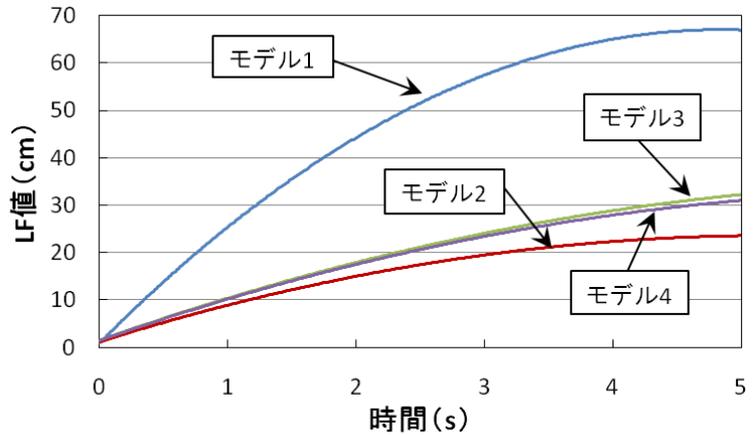


図6 各モデルの5秒間におけるLF値の推移

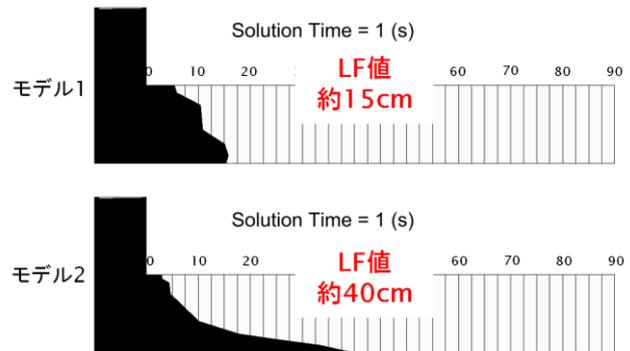


図7 各モデルの1秒時のLF値の比較

表4 解析モデルのパラメータ

設定条件	モデル1	モデル2
降伏値 (Pa)	50	
塑性粘度 (Pa·s)	500	
壁面の状態	ノースリップ	スリップ

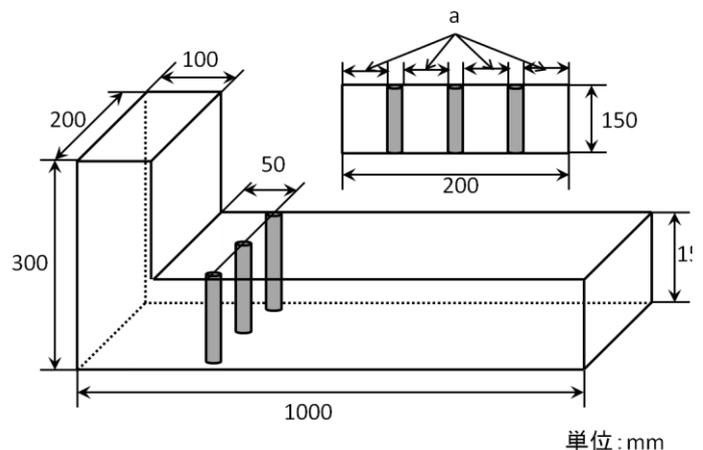


図8 障害物を配置した試験装置概略

(3) 障害物が結果に及ぼす影響

障害物は図8のように試験装置に均等に配置した。そこから表5のようにモデルのパラメータを設定し、障害物の有無及び大きさによる影響の検討を行った。また、障害物の直径はコンクリートの粗骨材最大寸法を考慮して設定を行った。

各モデルの流動シミュレーション結果を近似曲線によりまとめたものを図9に示す。ここでは、流動シミュレーションの対象時間を15秒までとしている。なお、15秒はコンクリートの流動が停止する時間を表している。

図より、モデル1の障害物を配置していないものに比べ、モデル2～4の障害物を配置したものは流動開始からその挙動が大きく違っていた。また、LF値に関しては両者で約15cmの差が表れた。これは、徐々に速度が落ちていくことでコンクリートが障害物付近で留まっていくためだと考えられる。

モデル2～4では、障害物が大きくなるほど留まるコンクリートの量は多少だが大きくなっており、LF値においても、障害物が大きくなることで約1～2cm程度差が出た。

4. 結論

以下に本研究から得られた結果を総括して本論文の結論とする。

- ① 高流動コンクリートでは、降伏値の変化より塑性粘度の変化のほうがより大きくLF値に影響していた。
- ② 試験装置の摩擦は、1秒間でLF値へ2倍以上の差が出ていることから、大きく影響を与える要因であるといえる。
- ③ 障害物の有無により、流動開始直後から挙動に大きな変化があり、LF値へは約15cmの差が表れた。また、障害物が大きくなることで、コンクリートが留まる量は増えており、LF値へも1～2cm程度の影響が表れた。

なお、実際の試験時にはコンクリート中の骨材の分離等が考えられるため、今後は、本解析手法においてそれを考慮できる解析モデルの改良等が必要であると思われる。

《参考文献》

- 1) 森 博嗣, 谷川 恭雄: 粘塑性有限要素法によるフレッシュコンクリートの流動解析, 日本建築学会構造系論文報告集, pp.1-9, 1987.4
- 2) 森 博嗣, 谷川 恭雄, 黒川 善幸, 西之園 一樹: 粘塑性解析によるL型フロー試験の流動シミュレーション, 日本建築学会構造系論文報告集, pp.101-104, 1995.2
- 3) 吉野公: 流動性コンクリートのワーカビリティ評価に関する研究, 鳥取大学工学部土木工学科博士論文, 1994.5

表5 解析モデルのパラメータ

設定条件	モデル1	モデル2	モデル3	モデル4
降伏値(Pa)	50			
塑性粘度(Pa·s)	500			
障害物の直径(mm)	-	12	16	20
障害物間の距離(mm)	-	41	38	35

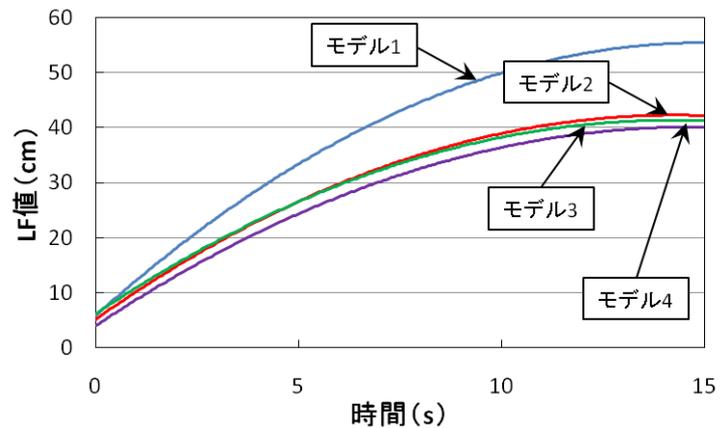


図9 各モデルの15秒間におけるLF値の推移