

振動締固めをともなうコンクリートの流動解析技術に関する基礎的研究

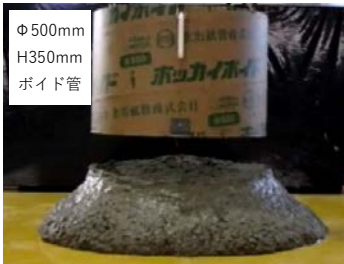
鉄建建設(株) 正会員 ○西脇 敬一 正会員 岩城 圭介 正会員 車 紅升
(株)ボセイドン CAE 根本 泰則

1. はじめに

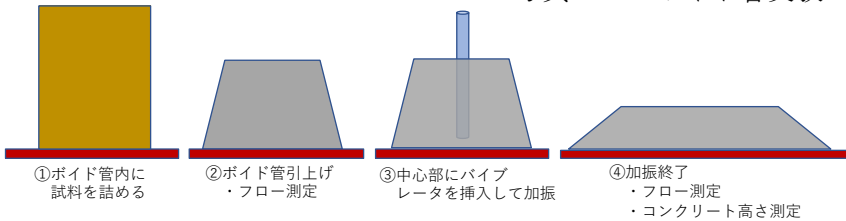
近年、コンクリート構造物においては、配筋の過密化や形状の複雑化などが進み、施工計画段階に過去の実績や経験からコンクリートの充填性を判定することが困難な場合が増加している。このような場合、施工前に施工条件を考慮した実大規模の施工実験を実施することが多く、充填性の判定に多大な時間とコストを要しているのが実状である。これを解決するため、解析手法による検討が進められている¹⁾。しかし、バイブレータを用いるコンクリートの振動締固めを対象とした解析手法については、浦野ら²⁾により報告されているものの、報告例が少ないのが実状である。本研究では、VOF (Volume of Fluid) 手法による流動解析技術について、振動締固めをともなうコンクリートへの適用性の検討を行った。

2. 流動解析の対象実験

流動解析技術の適用性の検討に向けた対象実験は、ボイド管をスランプコン代替りに使用したスランプ実験（以下、ボイド管実験と称す）とした。ボイド管実験の概要を写真－1 および図－1 に示す。ボイド管の寸法は、φ50cm、高さ35cm および φ60cm、高さ 350mm の 2 種類とした。実験では、ボイド管に試料を 2 層に分けて詰め、上面を均した後、ボイド管を 3 秒程度で引き上げコンクリートの高さおよびフローを測定した。その後、φ50mm のバイブレータを中心部に底板から 5cm の高さに挿入し、目視でフローの増大がないと判断される 8 秒間の加振を行った後、コンクリートの高さおよびフローを測定した。ボイド管実験は、各ボイド管寸法で 2 回行った。実験に供したコンクリートの配合を表－1 に示す。なお、実験時の JIS A 1101 によるスランプは 15.0cm であった。



写真－1 ボイド管実験



図－1 ボイド管実験

表－1 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
		W	C	S	G
51.8	48.0	170	328	844	942

3. 解析手法概要

解析手法は、連続体モデルの VOF 法とし、コンクリートは粘弾塑性でモデル化した³⁾。振動締固めを行う前、すなわち加振をしていない状態のコンクリートのレオロジー定数は、スランプ試験とその解析結果から、降伏値 1500Pa、粘度 100Pa・s に設定した。一方、加振時は、バイブレータの振動による加速度がコンクリートを伝播し液状化して流動する。既往の研究⁴⁾では、この加速度はバイブレータから距離が離れるほど減衰し、式(1)で表されることが報告されている。浦野ら²⁾は、降伏値が式(1)の加速度に応じて変化すると考え、バイブレータからの距離毎に降伏値を算出するための式(2)を提案している。また、コンクリートが加振によって影響を受ける範囲は、バイブレータから半径でバイブレータ径の

$$\alpha_x = \alpha_0 \times (1/x)^n \times \exp(-\beta x) \cdots \text{式(1)}$$

$$\tau_x = \tau_y \times (1/(D\Phi - x))^n \times \exp(-\beta(D\Phi - x)) \cdots \text{式(2)}$$

α_x : 振動機から距離xにおけるコンクリートの応答加速度
 α_0 : 振動機の位置における仮想応答加速度
 n : 幾何学係数
 β : 材料減衰係数

τ_x : 振動機から距離xにおける降伏値
 τ_y : 加振をしてない状態での降伏値
 D : 加振による影響範囲 (Φ に対する倍数)
 Φ : 振動機の直径

表－2 解析ケース

解析ケース	ボイド管 (cm)	加振による影響範囲の設定値
1	φ 50	11 φ (半径55cm)
2		12 φ (半径60cm)
3		13 φ (半径65cm)
4	φ 60	11 φ (半径55cm)
5		12 φ (半径60cm)
6		13 φ (半径65cm)

キーワード 流動解析, 締固め, バイブレータ

連絡先 〒286-0825 千葉県成田市新泉 9-1 鉄建建設(株) 建設技術総合センター TEL0476-36-2355

10～13 倍程度との報告²⁴⁾がある．そこで，今回の検討では，加振による影響として加速度や影響範囲がこれらに従うと考え，バイブレータからの距離に応じてレオロジー定数のうち降伏値を変化させることで締固めの影響を再現することとした．

解析ケースは表－2 に示すように，ボイド管の径 2 ケースとバイブレータの加振による影響範囲 3 ケースの計 6 ケースとした．なお，加振の影響範囲については，バイブレータ径 (φ50mm) の 11 倍，12 倍および 13 倍を設定した．また，バイブレータからの距離に応じた降伏値は，加振による影響範囲の設定値毎に式(2)から算出される図－2 に示す値とした．なお，加振による影響範囲外では，降伏値を 1500Pa 一定とした．解析結果の検証は，加振前と加振後の各段階でフローおよびコンクリート高さを比較することで行った．

4. 解析結果の検証

ボイド管実験の結果を表－3 に解析結果を表－4 に示す．加振前のフローは，ボイド管 φ50cm で実験値 92.0cm に対して解析値 89.0cm となった．またボイド管 φ60cm では，実験値 98.5cm に対して解析値 97.5cm となり，解析値は実験値と概ね一致する結果であった．さらに図－3 に示すように形状も，解析と実験でほぼ一致した．これより，加振をしていない状態でのレオロジー定数は，概ね妥当であると考えられる．一方，解析における加振後のフローは，影響範囲の設定値によって異なり，影響範囲の増大に伴い大きくなることが確認された．今回の設定値の範囲では，解析値のフローは，影響範囲をバイブレータ径の 13 倍とした場合に実験値に最も近く実験値に対して ±5% の範囲となった．また，加振後のコンクリートの高さについてもほぼ一致することが確認された．さらに，図－4 に示すように，加振後の形状も解析と実験がほぼ一致する結果であった．

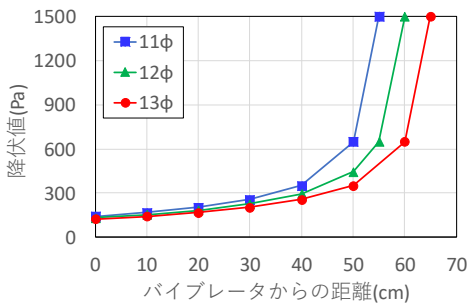
これらより，振動締固めをとまなうコンクリートでは，加振による影響を適切に設定することで解析技術によって流動をシミュレーションできる可能性があると考えられる．

5. おわりに

今回，締固めを行うコンクリートの流動シミュレーションとして，解析技術の適用性について検討を行った．その結果，バイブレータからの距離に応じて入力値であるレオロジー定数を変化させることで流動をシミュレーションできる可能性が得られた．ただし，今回は，スランプやバイブレータ径も限定的な範囲の検討であり，特にバイブレータの影響範囲などは仮定によって行ったものである．今後は様々な条件下での検討を行い，流動シミュレーション技術として整理を進める予定である．

【参考文献】

- 1)例えば，コンクリートの確実な施工のための PDCA サイクル研究委員会報告書，日本コンクリート工学会，2016.9
- 2)浦野真次，根本浩史，山田義智，崎原康平：締固めを行うコンクリートの充填性評価への流動解析手法の適用に関する研究，土木学会論文集 E2，Vol.73，No.2，pp.179-190,2017
- 3)中村知博，西脇敬一，土井至朗：高流動コンクリートの流動シミュレーションに使用する粘弾塑性物性値の推定，土木学会第 73 回年次学術講演会，V-607，2018.8
- 4)村田次郎：コンクリート振動機の知識，コンクリート工学，Vol.33，No.8，pp.26-34，1995.8



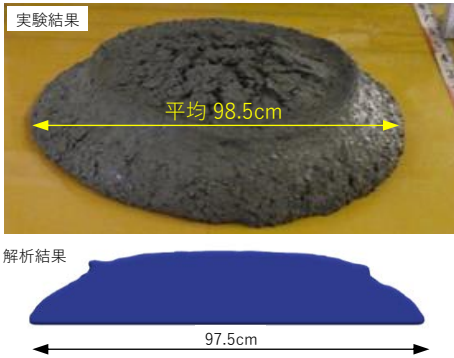
図－2 バイブレータからの距離に応じた降伏値の設定値

表－3 ボイド実験の結果

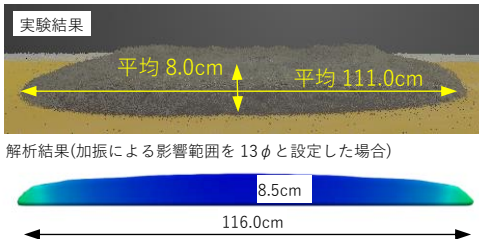
ボイド管 (cm)	実験 No.	加振前		加振後	
		フロー (cm)		コンクリート 高さ (cm)	
		平均	平均	平均	平均
φ 50	1回目	95.0	112.0	8.0	8.0
	2回目	89.0	110.5	8.0	
φ 60	1回目	101.5	128.0	9.0	9.0
	2回目	95.5	132.0	9.0	

表－4 解析結果

ボイド管 (cm)	加振前	加振後			
	フロー (cm)	加振による 影響範囲の 設定値	フロー (cm)		コンクリート 高さ (cm)
			解析値	実験値	
φ 50	89.0	11 φ	105.0	0.95	9.5
		12 φ	111.0	1.00	8.5
		13 φ	116.0	1.05	8.5
φ 60	97.5	11 φ	115.0	0.88	11.5
		12 φ	119.0	0.92	11.0
		13 φ	124.0	0.95	9.5



図－3 加振前の外観の一例 (ボイド管 φ60cm)



図－4 加振後の外観の一例 (ボイド管 φ50cm)