気泡消失理論の提案と実験的検証(その1:中流動コンクリート)

(株)IHI 正会員 ○木作 友亮,(株)IHI建材工業 正会員 武藤 香穂,正会員 黒澤 隆 リブコンエンジニアリング(株) 正会員 伊藤 祐二,(株)NejiLaw 非会員 道脇 裕

1. はじめに

コンクリートの表面気泡は,構造物の美観だけではなく,耐久性に悪影 響を与える¹⁾.本研究では,コンクリート中に生じる気泡の消失メカニズムに 関する新理論を提案する.また,加振条件をパラメータとした気泡消失試 験で効果を検証し,気泡消失に最適な加振条件を見出す.

2. 気泡の消失に関する理論(CB 理論)

本研究では、コンクリート中の気泡を CB と呼ぶ. CB の消失現象には、 以下 3 つのメカニズムが存在するとの仮説を立てている²⁾.

(1) 第1メカニズム(変動的慣性力による低摩擦化と流動崩壊の連鎖)

CB 消失第1メカニズムの概要を図-1 に示す. 変動的慣性力の印加によ り, 振動の上下ピーク間の中間で瞬間的に無重力に近い状態となり, 各構 成材料に作用する摩擦力がほぼゼロとなる. 振動のピークに達すると, 各 構成材料が互いに接触して再配置が成される. この過程において, 安定 状態に向かってコンクリートが液相的に流下する. これが繰り返され, 密度 が最小である気泡が, コンクリートの上面まで到達して大気中に放出され る.

(2) 第2メカニズム(変動的慣性力による CB の分裂・細分化)

CB 消失第2メカニズムの概要を図-2に示す.変動的慣性力の印加により, CB とコンクリートとの質量差による慣性力差で CB を崩壊させる.これにより, CB を二次, 三次と高次の CB に分裂させ, 所望する大きさの CB に細分化させる.このとき, CB はコンクリート中に微細化して残存する.したがって, CB の高次化分裂を進行させれば, 粗大なエントラップトエアをエントレインドエアに変化させることも理論的には可能だと考えられる.

(3) 第3メカニズム(キトラ古墳型 CB の共振崩壊による CB の微細化)

第1,第2メカニズムで消失できない CB を本研究ではキトラ古墳型 CB と呼ぶ. キトラ古墳型 CB は、複数の粗骨材で囲まれてエアが捕捉されたものであり、密度が比較的近い粗骨材とセメントペーストで集合体を成している. ゆえに、第1、第2メカニズムでは崩壊させることができない. 消失には、キトラ古墳型 CB を構成する粗骨材の固有振動数に近い振動を印加し、粗骨材自体を共振させることが有効であると考えられる.

3. 実験方法

試験ケースを表-1 に示す.変動的慣性力の付与時間を30秒とし,振動 数と振幅を試験パラメータとした.再現性確認のため,同条件で複数回試 験をしたケースもある.以降は,試験体名を振動数-振幅-加速度で表現す る.本試験では,42-21-20Nの中流動コンクリート(空気量2.0%)を用いた.

キーワード CB 理論, 変動的慣性力, 表面気泡, 振幅, 振動数, 加速度

連絡先 〒235-8501 神奈川県横浜市磯子区新中原町1 番地(株)IHI 基盤技術研究所 TEL 045-759-2864



図-1 CB 消失第1メカニズム



図-2 CB 消失第2メカニズム

表-1 試験ケース

項目		加速度 (G)					
振動数 (Hz)		10	20	30	40	50	60
振幅 (mm)	1.0	I	0.8	1.8	3.2	5.0	7.3
	1.5	I	1.2	2.7	4.8	7.6	
	2.0	-	1.6	3.6	6.4	10	_
	2.5	0.5	2.0	4.5	8.1	١	
	3.0	0.6	2.4	5.4	9.7	١	-
	3.5	0.7	2.8	6.3	I	١	
	4.0	0.8	3.2	7.2	I	١	
	4.5	0.9	3.6	8.2	-	-	-
	5.0	1.0	4.0	9.1	-	-	_
	5.5	1.1	4.4	10	_	_	_
	6.0	1.2	4.8	_	_	_	_

本試験に用いた試験体を図-3(a) に示す. 試験体は, 使い捨て のアクリル製容器にコンクリートを充填したものである. 変動的慣性 力を付与する際は, 電磁加振機に設置した塩化ビニル製外型枠 で試験体を固定した(図-3(b)).

試験体の気泡を正確に把握するため,硬化後の試験体表面に エアを吹き付けて表面のセメントペーストの膜を除去した.表面の 処理が完了した後に,試験体の4側面をデジタルカメラで撮影した (図-4).本研究では,表面積に占める気泡の総面積の割合を気 泡面積率と定義する.加速度が1.0Gに満たない試験体は,表面ま でセメントペーストがまわっておらず,気泡面積率の算定が困難で あった.こうした試験体は,分析対象から除外した.撮影した画像 を2値化し,画像解析ソフトで気泡面積率を算定した(図-5).本研 究では,直径1mm以上10mm未満の気泡に着目して結果を整理 した.

4. 実験結果および考察

気泡面積率と加速度の関係を図-6 に示す.気泡面積率と加速 度との間には相関関係が認められ,加速度を大きくするほど,気泡 面積率が小さくなることが明らかとなった.一方,本試験に用いたコ ンクリートは,4.0G 以上の加速度で材料分離(水の分離や粗骨材 の一部露出)が生じる傾向を示した.ゆえに,表面気泡を最小化す るためには,材料分離が生じない範囲で最大の加速度を与えれば 良いことになる.

振幅 1.5mm の加振条件に着目し, 100mm 角あたりの気泡数お よび気泡面積率を図-7 に整理する. 100mm 角としたのは, 材料分 離の影響により, 評価範囲が試験体毎に異なるためである. 図-7よ り, 加速度が大きくなるにつれて, 総気泡数は増加し(図-7 (a)), 逆に気泡面積率は減少する(図-7 (b)). 特に $1.0 \leq 2R$ (直径) < 1.5mm の小さい気泡の増加が顕著である. こうした現象が生じるの は, 変動的慣性力の印加で気泡が細分化する第 2 メカニズム(CB の分裂・微細化)が影響しているものと推察される.

5. まとめ

本研究の範囲で得た知見を以下に示す.

- 1) 気泡面積率と加速度との間に相関関係が認められた.
- 2) 4G 以上の加速度を与えた場合,コンクリートが材料分離する 傾向が見られた.
- 3) 材料分離が生じない範囲で最大の加速度を与えれば、表面 気泡の量を最小にできることが明らかとなった.
- 4) 気泡数および気泡面積率の分析結果から、第2メカニズムによる気泡の微細化現象の存在が示唆された.

参考文献

- 1) 坂田昇, 渡邉賢三, 細田暁:コンクリート構造物の品質向上と表層品質評価手法, コンクリート工学, Vol.50, No.7, pp.601-606, 2012
- 2) 道脇 裕:生コンクリートの気泡の微細化方法,特開 2018-145089,2017.2.27



図-3 試験体および試験準備の状況





図-4 試験体の撮影例

図-5 2 値化の例



図-6 気泡面積率と加速度の関係



図-7 振幅 1.5mm の気泡数および気泡面積率