

浮力法によるフレッシュコンクリート中の気泡組織の測定

正会員 ○太田宏平*
同 平野彰彦**
同 浜 幸雄***

浮力法 フレッシュコンクリート 気泡組織
気泡間隔係数 リニアトラバース法

1. はじめに

コンクリートの耐凍害性の確保には適切なエントレインドエアの連行が必要であり、一般には空気量測定による品質管理が行われている。しかし、厳密には耐凍害性に重要な気泡特性は気泡間隔係数であるといわれており、気泡の質の管理が重要となる。通常行われている ASTM C 457 に準じた硬化コンクリートでの気泡組織の測定には多大な労力と時間を要することから、近年フレッシュコンクリートでの気泡組織の測定方法¹⁾がいくつか開発されているが、わが国での検討事例はほとんどみられない。

本研究では、レディーミクストコンクリートの品質管理への適用を考慮し、装置および測定方法の簡便さから浮力法²⁾に着目し、気泡組織の測定結果の信頼性を評価するとともに、化学混和剤の種類が気泡組織に及ぼす影響について検討した。

2. 浮力法による気泡組織の測定原理と測定方法

浮力法の基本原理は粉体の粒度分布測定で用いられる沈降天秤法を応用したものである。図 1 に装置の概要を示す。ライザーコラムをグリセリン水溶液を沈めた脱気水で満たし、ウェットスクリーニングしたモルタル試料をコラム下部の水溶液中に注入後、スターラで攪拌する。モルタル中の全気泡は水溶液中で気泡径を維持したまま分散・解放され、写真 1 のように水中を上昇する。水中での気泡の上昇速度は径が大きいほど速く、気泡径と上昇速度の関係はストークスの法則により式(1)で示される³⁾。

したがって、コラム上部のペトリ皿で上昇する気泡を捕捉して浮力の経時変化を測定すると、ある気泡径に対応する気泡量が浮力の経時変化として式(2)、試料中の全気泡量はそれぞれの径の気泡量の合計として式(3)、気泡組織の比表面積は式(4)で求められ、コンクリート全体の空気量は式(5)で算出され、これらの結果から ASTM C 457 に定義される気泡間隔係数を算出することができる。

また、リニアトラバース法で得られる結果は側線を横断した気泡の弦長の分布であるのに対し、浮力法では気泡径自体の分布が得られることに特徴がある。

$$v = \frac{g(\rho_a - \rho)}{18\mu} D_a^2 \quad (1)$$

v : 気泡上昇速度(m/s) 、 g : 重力加速度(m/s²)
 ρ_a : 気泡密度(kg/m³) 、 ρ : 媒質密度(kg/m³)
 μ : 媒質粘性係数(Pa・s) 、 D_a : 気泡径(m)

$$Va_i = \sum_{i=1}^n t \Delta \left(\frac{dB}{dt} \right) \quad (2)$$

Va_i : 直径 Da_i の気泡の容積(cm³) 、 t : 時間(min)

B : 浮力(g)

$$Va = \sum Va_i \quad (3)$$

Va : 全気泡の容積(cm³) 、 Va_i : 直径 Da_i の気泡容積(cm³)

$$\alpha = \frac{\sum \alpha_i Va_i}{Va} \quad (4)$$

α : 比表面積(mm⁻¹) 、 α_i : 直径 Da_i の気泡の比表面積(mm⁻¹)

$$A = \frac{Mo Va}{Mo \frac{Va}{Vo} + 100} \times 100 \quad (5)$$

$Mo = M / (100 - Ae) \times 100(\%)$ 、 $Vo = Vs - Va$

A : 空気量(%) 、 M : コンクリート中のモルタル容積率(%)

Ae : 目標空気量(%) 、 Vs : 試料の容積(cm³)

3. 実験計画および方法

セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は登別産陸砂、粗骨材は敷生川水系安山岩碎石を用いた。表 1 に使用した化学混和剤を、表 2 にコンクリートの条件を示す。水セメント比を 35、45、55、65%の 4 水準、目標空気量を 1.0~6.0%とし、水セメント比および目標空気量に応じて化学混和剤の種類および使用量を調整した。 $\phi 10 \times 20$ cm の円柱供試体を作製し、打設直後と 1 時間後にモルタル試料を採取して浮力法による気泡組織の測定を行い、硬化後の供試体を用いて ASTM C 457 (リニアトラバース法)による気泡組織の測定を行った。

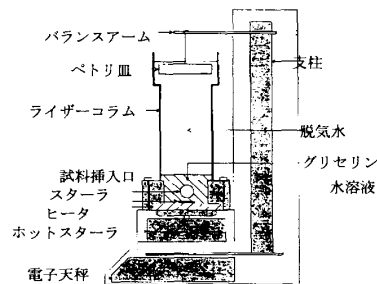


図 1 浮力法装置概要

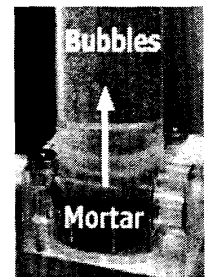


写真 1 気泡の上昇

表 1 化学混和剤の種類

記号	化学混和剤種類	主成分
SB	高性能AE減水剤標準形	ポリカルボン酸エーテル系
SX	低空気連行タイプ	
N	AE減水剤標準形	リグニンスルホン酸系
A	AE剤	アルキルエーテル系
R	空気量調整剤(消泡剤)	ポリアルキレングリコール誘導体

4. 実験結果および考察

図2に浮力法による打設直後と1時間後における空気量、比表面積、気泡間隔係数を比較して示す。両者はばらつきのあるものの良好な対応を示し、浮力法ではグリセリン水溶液中でのモルタルの分散が可能な範囲であれば、試料採取時間が結果に及ぼす影響は小さいといえる。

図3に浮力法およびリニアトラバース法による空気量と圧力法による空気量とを比較して示す。圧力法による空気量に対し、浮力法では小さめの空気量となり、リニアトラバース法では大きめの空気量となっている。

図4に浮力法とリニアトラバース法による比表面積を比較して示す。両者はばらつきのあるものの比較的良く対応している。また、高性能 AE 減水剤を用いた高強度コンクリートの比表面積が普通強度コンクリートに比べ小さく、高強度コンクリートの気泡径が大きいことを意味している。

図5に浮力法とリニアトラバース法による気泡間隔係数を比較して示す。浮力法による気泡間隔係数が大きめの値を示しているが、相対的な評価に問題はない。また、nonAE の普通強度コンクリートと消泡剤で空気量を調整した高強度コンクリートで、リニアトラバース法による気泡間隔係数が 0.3mm 以上の値を示し、消泡剤で空気量を調整することにより良質で微細な気泡が減少して、気泡間隔係数が大きくなるものと考えられる。

リニアトラバース法では、硬化コンクリートの切断面における気泡の弦長から平均気泡径を求め、全ての気泡が同じ大きさで等間隔の立体格子状に分布しているという仮定の下で気泡パラメータを算出しているが、浮力法では気泡径を直接測定しその分布を把握できることから、

従来の方法では得られない情報も得ることができると可能性があり、今後の検討課題としたい。

5. 結論

- 1) 浮力法による測定結果は、リニアトラバース法の結果と比べ、空気量は小さめに、気泡間隔係数は大きめに算出される傾向があるが、相対的評価に問題はない。
- 2) 高性能 AE 減水剤を用いた高強度コンクリートでは、比表面積が小さくなり、消泡剤を用いて空気量を調整することにより気泡間隔係数が大きくなる。

【参考文献】

- 1) Ansari, F.: Rapid In-Place Air Content Determination in Fresh Concrete International, Vol.13, No.1, pp.39-43, 1991
- 2) Donald D. magura: Evaluation of the Air Void Analyzer, Concrete International, Vol.18, No.8, pp.55-59, 1996
- 3) 粉体工学研究会編：粒度測定技術，日刊工業新聞社

表2 コンクリートの条件

記号	W/C (%)	Air (%)	混和剤種類・使用・記号				
			SB	SX	N	A	R
			C×wt. (%)				
3SB	35	4.0	—	—	—	—	—
3SB-AR		4.0	0.90	—	—	0.0005	0.02
3SB-R1		2.0	0.90	—	—	—	0.004
3SB-R2			0.90	—	—	—	0.008
3SB-R3			0.90	—	—	—	0.02
3SX		2.0	—	0.90	—	—	—
3SX-A	6.0	—	0.90	—	0.004	—	
3SX-AR1	4.0	—	0.80	—	0.001	0.02	
3SX-AR2	6.0	—	0.80	—	0.002	0.02	
3SX-R1	2.0	—	0.90	—	—	0.004	
3SX-R2	—	—	0.80	—	—	0.02	
4N	45	4.0	—	—	0.25	—	
4N-A		6.0	—	—	0.25	0.002	
4P-A1		4.0	—	—	—	0.003	
4P-A2	6.0	—	—	—	0.005		
5N	55	4.0	—	—	0.25	—	
5N-A		6.0	—	—	0.25	0.002	
5P-A1		4.0	—	—	—	0.003	
5P-A2		6.0	—	—	—	0.005	
6P	65	1.0	—	—	—	—	
6N		4.0	—	—	0.25	—	
6N-A		6.0	—	—	0.25	0.002	
6P-A1		4.0	—	—	—	0.003	
6P-A2	6.0	—	—	—	0.005		

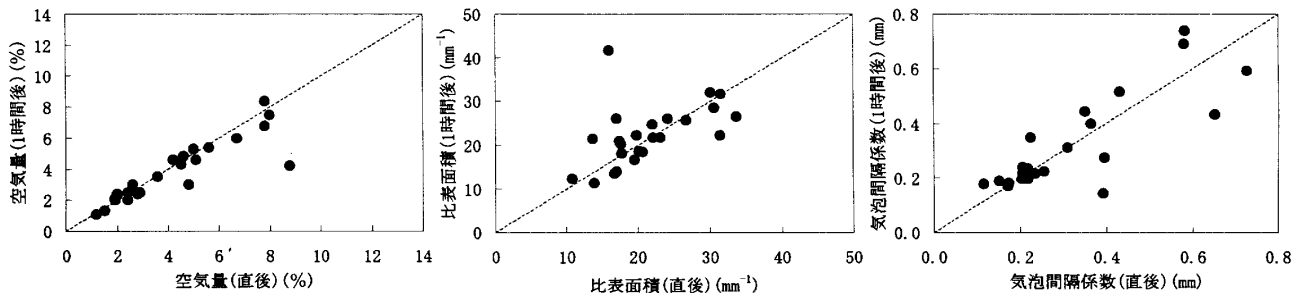


図2 打設直後と1時間後における浮力法による測定結果の比較

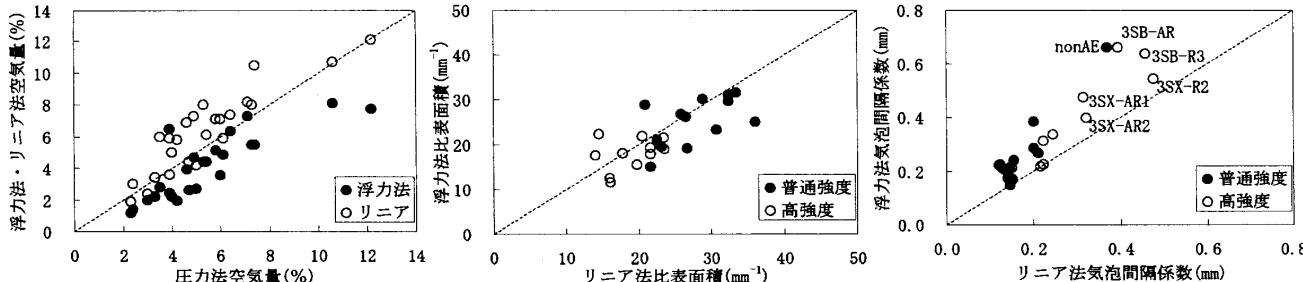


図3 各種測定方法による空気量

図4 浮力法・リニア法による比表面積

図5 浮力法・リニア法による気泡間隔係数

* 室蘭工業大学大学院
 ** 北海道職業能力開発大学校 助教授
 *** 室蘭工業大学工学部 助教授・博士(工学)

Graduate School, Muroran Institute of Technology
 Assoc.Prof., Hokkaido Polytechnic College
 Assoc.Prof., Muroran Institute of Technology, Dr.Eng