

コンクリート断面の気泡計測法が気泡間隔係数に及ぼす影響

金沢大学 学生会員 細川智史

金沢大学 正会員 五十嵐心一

1. 序論

コンクリートの耐凍害性は、フレッシュ時における空気量測定と硬化後における ASTM C457 の規定に従った気泡間隔係数の測定を行うことによって担保される。気泡間隔係数の測定は、一般にリニアトラバース法によって実施されるが、計測に長時間を要することや、外れ値の影響が大きいことが知られている。現在では、自動的に計測を行う装置や解析ソフトウェアも開発され、計測の労力は著しく改善されるとともにオペレーターによるバイアスの導入の問題も解決されている。しかし、Snyder ら¹⁾は、ASTM の規準にしたがって計測を行っていても、検出気泡数が少ない場合には、計測結果の誤差が大きいことをシミュレーションによって明らかにし、少なくとも 1000 個以上の気泡検出を行うことを奨めている。

本研究においては、空気量を変化させたコンクリートに対して、ASTM の規定以上のトラバース長にてリニアトラバース法を実施して気泡検出数を変化させ、空気量及び気泡間隔係数の変化傾向を明らかにする。特に、リニアトラバース法の計測の最重要パラメータである気泡の比表面積に着目し、それを ASTM の規定通りに平均弦長から求める場合と、画像から直接求める面積法により求める場合の異同について論ずることを目的とする。

2. 実験概要

(1) 使用材料およびコンクリートの配合

セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材には陸砂、粗骨材には砂岩碎石(最大寸法 20mm)を使用した。また、JISA6204 の I 種適合の変性ロジン酸化物系の AE 剤を使用した。コンクリート供試体(100×

100×400mm³)は打込後 24 時間にて脱型し、所定材齢まで水中養生(20±2℃)を行った。配合は表-1 に示す通りである。

(2) 画像の取得方法

所定材料にて供試体を切断し、研磨された断面の中心部 60×60mm² を解析対象とした。この解析領域を 11×11=121 個の小領域に分割して、各領域の高精細画像を自動取得した。個々の領域画像取得時にて、順光および斜光照射を繰り返し、陰影の差分に基づいて気泡を同定した。同定された気泡を抽出するように二値化処理を行い、画像解析により空気量を求めた。取得した小領域画像の例を図-1 に示す。

(3) リニアトラバース法による気泡計測

コンクリートの最大骨材寸法が 20mm であることから、ASTM の規定に従うならば全トラバース長としては 2400mm 程度が確保できればよい。このことを考慮して、各小領域に対して 4 本(トラバース長 2971mm), 8 本(5842mm), 12 本(8913mm) のトラバース線を置くことにした。気泡の二値化データをテキストデータに変換して、数値演算によって気泡間隔係数を求めた。なお、観察対象の領域全体をその本数で代表させるように、適宜トラバース線間のピッチを調整して計測を行った。なお、隣接する領域の両者にまたがる弦数は多くないと判断して、これに関わる弦数の補正は行っていない。また、画像解析ソフトを用いて直接

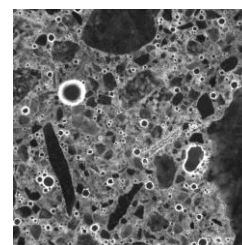


図-1 取得画像の例

(6.14×6.14mm²)

空気量 4.5%)

表-1 コンクリートの配合

設計空気量 (%)	水セメント比 W/C(%)	細骨材率 s/a(%)	単位量(kg/m ³)				AE剤 (%wt./C)
			水	セメント	細骨材	粗骨材	
3.0	50	45	165	330	813	1027	0.004
4.5	50	45	165	330	797	1003	0.007
6.0	50	45	165	330	779	982	0.010

表-2 硬化前後の空気量(%)

設計空気量(%)	計測空気量(%)		
	フレッシュ時	硬化時	
		リニアトラバース法	画像解析法
3.0	3.7	2.1	1.6
4.5	5.0	3.6	3.0
6.0	6.5	5.3	4.2

表-3 トラバース長増大による気泡間隔係数の変化

トラバース長 本数 / 長さ(mm)	気泡間隔係数(mm)/気泡数		
	3.0	4.5	6.0
4/2971	0.268/367	0.176/767	0.170/955
8/5843	0.258/761	0.175/1554	0.167/1924
12/8913	0.261/1101	0.177/2299	0.167/2888
面積法	0.160	0.117	0.106

表-4 リニアトラバース法と面積法の比表面積の比較

設計空気量(%)	比表面積 α (mm ² /mm ³)			面積法
	リニアトラバース法			
	粗大気泡消去前	消去後	微細気泡追加後	
3.0	30.30	43.95	58.79	49.48
4.5	34.48	42.87	49.41	51.22
6.0	34.19	42.65	53.40	49.01

各々の気泡を同定し、気泡径分布および空気量を求めることも行った。比表面積 α は、リニアトラバース法と面積法のそれぞれにおいて以下の式で求められる。

$$(\text{リニアトラバース法}) \quad \alpha = \frac{4}{\bar{l}} \quad (1)$$

$$(\text{面積法}) \quad \alpha = \sqrt{\frac{6\pi}{a}} \quad (2)$$

ここに平均弦長 $\bar{l}$ 、気泡の平均面積 a である。

3. 結果および考察

表-2 はフレッシュ時に計測された空気量と硬化後にリニアトラバース法にて得られた空気量、および画像解析にて直接求めた空気量を比較したものである。フレッシュ時に比べて硬化後の空気量は小さい。また、リニアトラバース計測にて求めた空気量と画像計測の間にはやや大きな差異がある。

表-3 は気泡間隔係数とトラバース長の関係を示し、表-4 は比表面積を比較したものである。いずれの空気量においてもトラバース長を増大させても、気泡間隔係数にはほとんど差がなく、ASTM の規定を満足していれば、計数された気泡数が少なくても、気泡間隔係数は安定した値として得られている。しかし、リニアトラバース法で求めた比表面積と面積法で求めた比表面積には大きな差があり、結果として両者

の気泡間隔係数も異なっている。リニアトラバース法で求めた比表面積は面積法のそれに比べて小さいことから、気泡間隔係数の算定において仮定される気泡球は大きく、面積法では逆に小さな気泡球を仮定することになる。仮定される気泡の格子配置の辺長が異なることになって、気泡間隔係数が異なると考えられる。

リニアトラバース法において、弦長 300 μm 以上の粗大な気泡を除去して計数すると、平均弦長が小さくなり、面積法の結果に近づく。また、リニアトラバース法において、微細な気泡を検出する確率は低くなるので、検出気泡数が小さく評価される

ことにより、平均弦長は大きく評価され、結果として、比表面積は小さく評価される。そこで、面積法にて検出された微細な気泡割合に相当する弦長と個数を加えると、さらに面積法の結果に近接するようになる。その一方において、本研究においては、

個々の小領域にて気泡を抽出し、その面積に相当する円へ置換している。このため、個々の小領域画像のエッジに接する気泡を一つの気泡として処理することになり、隣接領域をまたぐ場合には気泡数として重複計数される。このことが気泡球寸法および立法体格子辺長に影響を及ぼすことも考えられる。

4. 結論

気泡間隔係数はトラバース長を増大させて気泡検出数を増やしたとしても大きく変化することはない。その一方にて、気泡比表面積は計測法により異なり、単純な計数が比表面積の評価に誤差を生じさせることが考えられる。リニアトラバース法における粗大な気泡の除去や微細な気泡に関する処理、面積法計測における気泡のエッジ処理についてさらに検討が必要である。

謝辞

本研究を行うにあたり、八洋コンサルタント(株)より気泡画像データを提供いただきました。ここに記し謝意を表します。

参考文献

- 1) Snyder, K.et al:Cem.Concr.and Aggre.Vol.13,No.1,p.p.3-10,1991