

画像処理による硬化コンクリート気泡計測装置の開発

Development of Measurement Device for Air Voids in Hardened Concrete by Image Processing

中野隆志

Takashi NAKANO

株式会社ファースト、T.Nakano@fast-corp.co.jp

概要： コンクリートの気泡組織は、コンクリートの耐久性に大きく影響を及ぼすものであり、特に気泡組織計測で得られる空気量、気泡間隔係数は、冬季に厳しい凍結融解作用を受ける地域において施工されたコンクリートに対する抵抗性の指標となる。この気泡組織を画像処理と光学系の応用により自動的に測定可能とした装置を開発したので報告する。

1. はじめに

硬化コンクリートの気泡組織の測定方法は ASTM C 457-98「Standard Test method for Microscopical Determination of Parameters of the Air-Void System in Hardened Concrete」にその詳細が規定されている。この測定方法は実体顕微鏡下において肉眼で行い手動ステージを操作しながら硬化コンクリート中の 10μ 程度から数 mm までの気泡の分布を測定するため、気泡部分とセメントペースト部分や骨材部分を分けて計測する必要がある。さらに、幅広い測定レンジを詳細に観察するため1サンプル数時間という多大な時間と労力を測定作業者に要し、また、測定作業者の熟練度や個人誤差が測定値に大きく影響を与えていた。

そこで熟練した測定作業者による肉眼での認識精度と同じレベルでの自動化の必要性が強く求められている。現在知られている一般的な自動測定装置は、画像処理のために測定面に対して特殊加工処理(樹脂等の埋め込み等)を施して画像処理する方法であるが、これには特殊加工処理にともなう手間や精度的な問題もあり、広く普及するまでには至っていない。

これら実用上の問題点を解決し、ASTM C 457 に準拠したリニアトラバース法(補足1)による測定を自動的に短時間で行い、また、測定作業者らの個人誤差を排除した再現性および信頼性の高い実用機として画像処理と光学系の応用により硬化コンクリート気泡計測装置の開発を行った。

2. システム構成

装置の外観を図1に、全体の構成を図2に示す。本装置は自社製画像処理装置(FV2300-XPe Pentium4 相当)をメインに、モノクロカメラ、LED照明(3機)、供試体の移動用としてXYステージ及びステージコントローラから構成される。モノクロカメラの解像度は、512(H)画素 × 480(V)画素 / 8Bit(256 階調)、分解能は 10μ /画素になる。ステージの移動可能範囲は、X方向が 140mm、Y方向が 260mmで、測定時は予め指定された範囲内において約100視野を分割して順次撮像し測定を行う。各視野の測定データは画像処理装置に蓄積され全視野の測定終了後に空気量、気泡間隔係数等の出力値を算出する。測定範囲と各視野との関係を図3に示す。

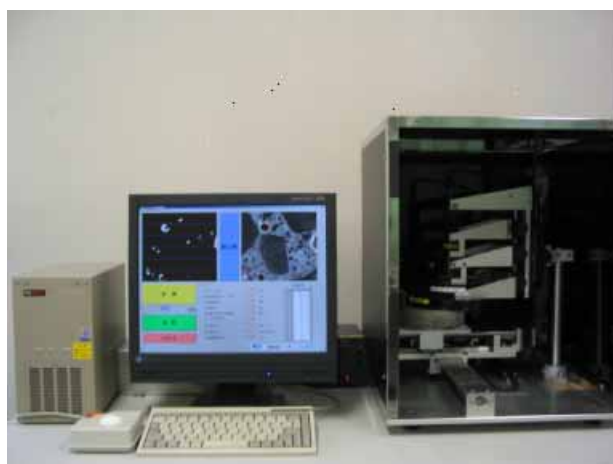


図1 装置外観

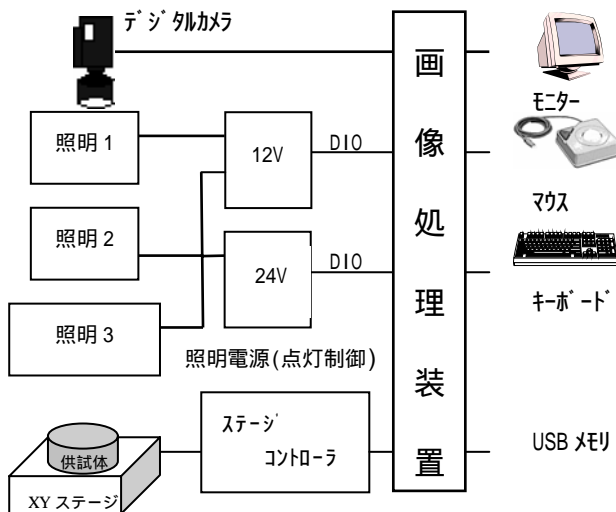


図2 全体の構成

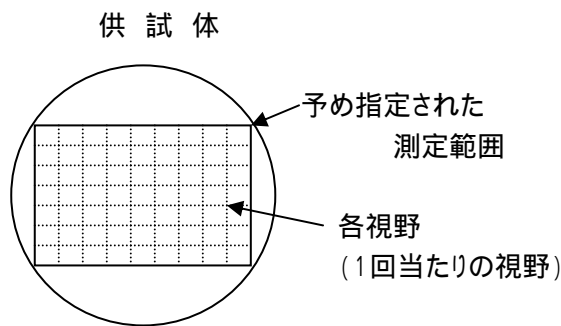


図3 測定視野と各視野との関係

また、光学系の構成について図4に示す。本装置には3機のLED照明を用意し、第1照明は、赤色LEDを使用し気泡部分の底面に対して均一に光源が照射されるように配置する。第2照明は、青色LEDを使用し測定対象面の全面に対して高輝度に照射されるように配置する。第3照明は、赤色LEDを使用し測定対象面に対して近い位置に配置し気泡部分に陰影が出来るようにする。全ての光学系において測定対象面に平行に配置する。

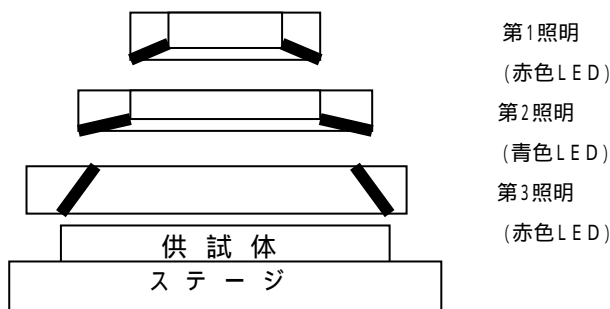


図4 光学系の構成

3. 測定原理

画像処理を行う際の気泡認識作業を測定面への光の当て方により生じる陰影の違いに着目して行っている。この方法によれば測定面の特殊加工処理(樹脂等の埋め込み等)が必要なく、通常の研磨処理だけで測定することが可能になる。

3.1 測定対象物の特徴

本測定の難しさは、図5からも推測されるように対象物の表面にセメントペースト、気泡、骨材等が任意に出現することにある。他のFAなどの検査は、決まった形状や模様に対しての外観検査が主流であるが、硬化コンクリートではそこに含まれる骨材や気泡の大きさは多種多様であり、また骨材の色彩も白色骨材から黒色骨材までいろいろ存在する。これらの配置は、常に変化しており、テクスチャーを基準としたアルゴリズムでは対応出来ない。

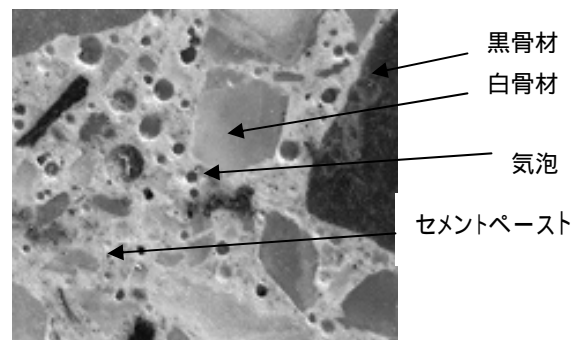


図5 測定対象物(供試体)の一例

3.2 測定原理

基本的な測定原理は図6に示すようなデジタル画像上の濃度差分法により気泡を認識し、2値化することにより、リニアトラバース法へと展開し測定を行う。しかし、気泡には浅い気泡と深い気泡の2種類が存在する。浅い気泡とは、薬品等で人為的に硬化コンクリートに発生させた気泡(エントレインドエアー)であり

微細で形状は球状に近い。一方、深い気泡とは、製造工程上の原因で巻き込まれた気泡(エントラップドエア)であり測定対象面からの深さが穴の入り口の断面の狭い部分の幅より大きく形状は不定形である。(図7参照)浅い気泡に関しては、図6に示す基本的な測定原理で対応出来たが、深い気泡に関しては、光学系による陰影の違いで気泡を認識することが難しかった。原因は、気泡の底面に対して照明光が十分に照射されないことにある。それにより濃度差分法に必要なコントラストが得られず、気泡として認識されなかった。この問題の解決策として、3機搭載したLED照明を測定対象面に対して全て同時に点灯させて濃淡画像のサチュレーション現象を発生させる。この現象により、白骨材、黒骨材、セメントペースト、浅い気泡は、全て高い濃度値を示すようになる。しかし深い気泡だけは、十分な照明光が得られない状態で低い濃度値を示す。これにより大きなコントラストの差が発生し単純な2値化処理で深い気泡部分のみ認識することが可能になった。

基本的な測定方法により、浅い気泡のみを認識した2値画像と、深い気泡のみを認識した2値画像との画像論理和を行い、気泡測定画像を作成しニアトラバース法による測定を行った。

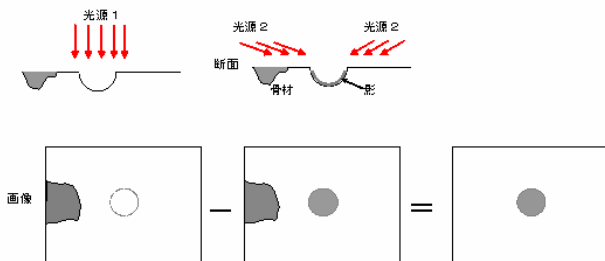


図6 測定原理

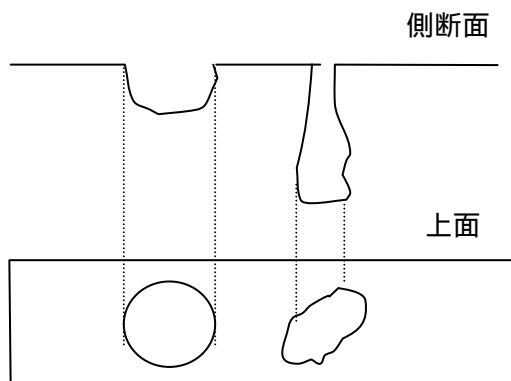


図7 気泡形状の特徴

3.3 画像処理の流れ

撮像から画像処理への一連の流れを実際の画像を使って以下に説明する。

1) 画像取込み及び、画像処理の実行

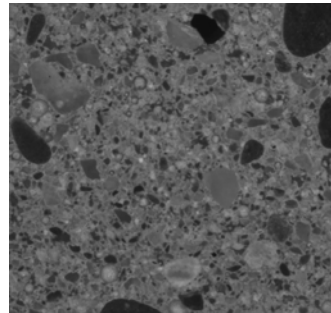


図8 第1照明を点灯し画像取込み

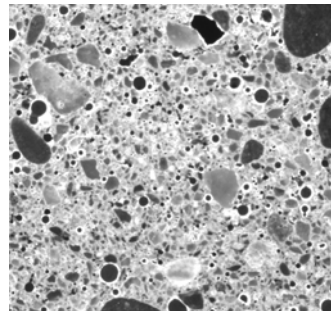


図9 第3照明を点灯し画像取込み

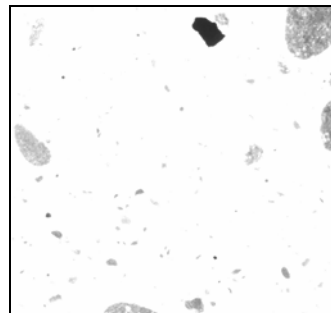


図10 第1、2、3照明を全て点灯し画像取込み

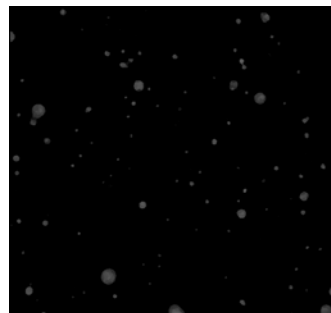


図11 図8画像と図9画像の差分処理

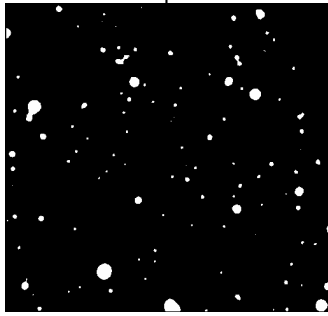


図12 図11画像を2値化

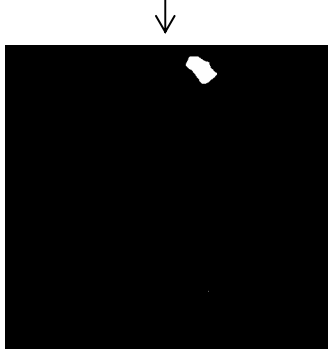


図13 図10画像を2値化後、反転処理

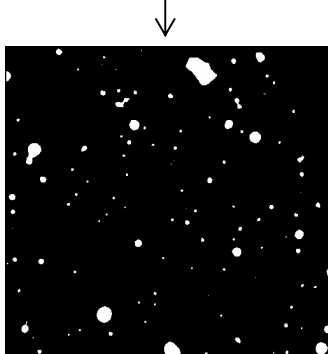


図14 図12画像と図13画像に対して画像の論理和処理

- 2) 図14画像に対してリニアトラバース法による測定
- 3) 1)～2)を順次各視野に対して実行
- 4) 気泡パラメータ(補足2)の出力

4. 実験結果

1) 繰り返し精度についての実験

同一供試体での空気量・気泡間隔係数について、供試体を回転させながら1角度当たり10回計測した際の度数分布を図15に、また繰り返し精度について表1に示す。

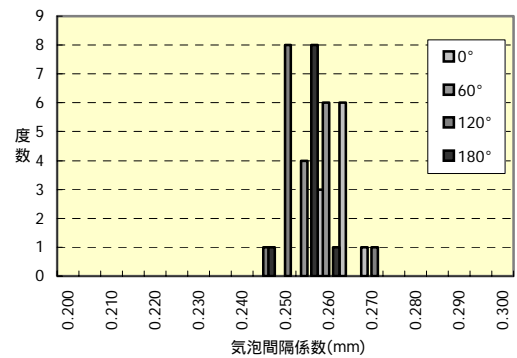
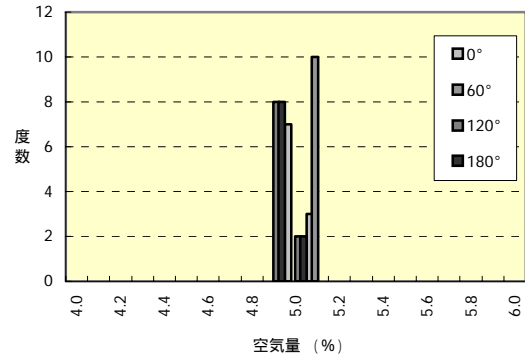


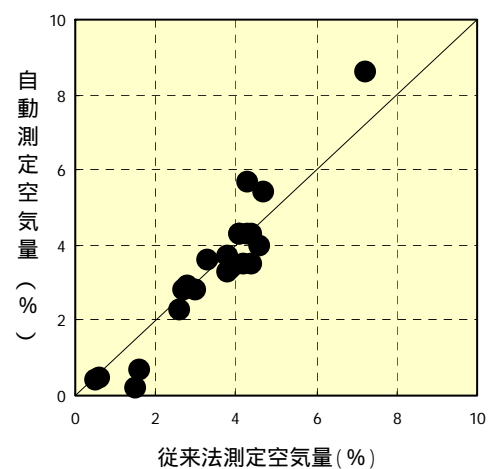
図15 度数分布

表1 繰り返し精度結果

	平均値	標準偏差
空気量 (%)	5.10	0.16
気泡間隔係数 (mm)	0.255	0.007

2) 従来法との比較についての実験

従来法による目視測定での空気量・気泡間隔係数について、本装置との相関図を図16に、また相関値を表2に示す。



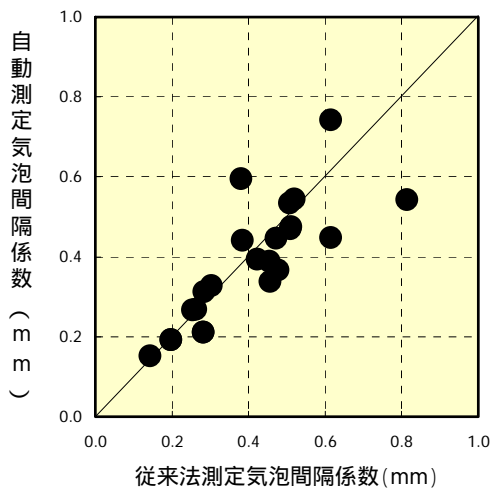


図16 相関図

表2 従来法との相関値

	結果
空気量 (%)	0.96
気泡間隔係数 (mm)	0.85

試料の異なる22個の供試体について実験を行った結果、空気量で「0.96」気泡間隔係数で「0.85」の相関が得られた。これは目視による測定とほぼ同一の結果が得られたと判断して良い数値である。また前述の実験結果からも分かるように目視による測定では、測定作業者の違いによる誤差もあるため、繰り返し精度に関しても画像処理による測定が良好と考える。

5. まとめ

本装置により従来法の問題点を解決できた。

- 1) 「認識精度の問題」については、画像処理による定量化測定が可能になり、測定作業者による個人誤差が無くなった。
- 2) 「使い勝手の問題」については、測定のための特殊加工処理が不要なく供試体を測定することができた。
- 3) 「測定時間の問題」については、従来法なら約2～3時間程の測定時間が必要だったが、画像処理による自動化が実現できたため2～3分で測定が可能になった。

6. 今後の課題

施工後の構造物に対しては採取されたコア供試体を使用して空気量・気泡間隔係数等を測定しているが、採取に伴う経済性や美観外観の損失、補修箇所が他の劣化の要因となる可能性もある。そこで今後の課題として、耐凍害性の指標となる空気量や気泡間隔係数等を現地の構造体コンクリートに対して直接測定し、その場で評価できる装置の開発を検討する必要がある。

謝辞

本開発において、ご指導いただいた(株)八洋コンサルタント 技術センター 浅野研一氏および高橋幸一氏に深く感謝いたします。

補足1

硬化コンクリート中の気泡に対して、空気量、気泡間隔係数等を測定するための方法。測定方法は、供試体を横切る平面上に一定間隔で設定された線上を走査して、各成分の区域を横切り通過した距離の総和を求め、固体の体積組織を決定する。

補足2

リニアトラバース法の測定から、空気量、気泡間隔係数等の気泡組織に関するパラメータを算出する。空気量とは、硬化コンクリートの体積に対する体積百分率で表したコンクリート中の空気泡の体積比であり、気泡間隔係数とは、気泡の表面からセメントペースト中の点に至る最大距離である。

参考文献

- [1] 辻内順平 他、"最新 光学技術ハンドブック"、朝倉書店
- [2] 浜 幸雄、太田宏平、"フレッシュコンクリートによる気泡組織の測定方法に関する研究"、コンクリート工学年次論文集、Vol.26、No.1、2004
- [3] 鮎田耕一、桜井 宏、田辺寛一郎、"硬化コンクリート気泡組織の照度差による画像解析"、土木学会論文集 V、420/V-13号、81～86頁、1990.8
- [4] 仁木孟伯、地頭蘭博、原田克己、"画像解析装置を用いた硬化コンクリート中の気泡組織測定方法について"、セメント・コンクリート論文集(1985)、VOL.39
- [5] 山宮浩信、児玉和巳、"硬化コンクリート中の気泡分布測定方法に関する検討"、セメント・コンクリート論文集(1994)、No.48
- [6] ASTM C457-71 (86)顕微鏡による硬化コンクリートの気泡システムのパラメータと空気量の測定方法

- [7] ASTM C457-98 、 ” Standard Test Method for Microscopical Determination of Parameters of the Air-Void System in Hardened Concrete”
- [8] Karl W.Peterson, ”Air Void Analysis of Hardened Concrete with a Flatbed Scanner”[1] A.Field: Research on Subjects by Some methods, Trans. ISFA, vol.34, no.2, pp.83-120, 2001.

中野隆志:1994年株式会社ファーストに入社。応用画像処理技術の開発に従事。現在、技術開発センター 画像技術グループリーダー。

(株)ファーストのホームページ：
<http://www.fast-corp.co.jp/>