

Quantitative evaluation of microstructure in concretes by SEM-BSE image analysis

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2020-01-27 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: Igarashi, Shinichi メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24517/00056631

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



反射電子像の画像解析による内部組織定量評価と コンクリートの物性評価システムの構築

(課題番号 16560398)

平成16年度～平成17年度科学研究費補助金 (基盤研究 (C)(2))
研究成果報告書

平成18年3月

研究代表者 **五十嵐 心 一**

(金沢大学自然科学研究科 助教授)

金沢大学附属図書館



0800-04189-5

目 次

1. 研究課題	1
2. 課題番号	1
3. 研究組織	1
4. 研究経費	1
5. 研究発表	1
5.1 学会誌等	1
5.2 国際会議論文	2
6. 研究成果	2
6.1 研究目的	2
6.2 研究成果の概要	3
7. 付録	5
渡辺暁央, 五十嵐心一, 川村満紀: 加圧処理を施した繊維補強 (1) RPCの微視的構造と力学的特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.309-314, 2004.	5
加藤俊充, 五十嵐心一, 川村満紀: 軽量骨材による内部養生が高強度 (2) コンクリートの内部組織形成に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文 集, Vol.26, No.1, pp.675-680, 2004.	11
池崎由典, 五十嵐心一, 川村満紀: 画像解析による硬化コンクリートの (3) 配合推定, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.2019-2024, 2004.	17
Igarashi, S., Kawamura, M. and Watanabe, A.: Analysis of Cement (4) Pastes and Mortars by a Combination of Backscatter-Based SEM Image Analysis and Calculations Based on the Powers Model, Cement and Concrete Composites, Vol.26, No.8, pp.977-985, 2004.	23

(5)	五十嵐心一, 池崎由典, 渡辺暁央: 残存未水和セメント粒子の粒度分布の評価に基づく水和度と水セメント比の推定, コンクリート工学論文集, Vol.16, No.1, pp.87-95, 2005.	32
(6)	渡辺暁央, 五十嵐心一, 川村満紀: 反射電子像の画像解析による鉱物質混和材混入セメントペーストの細孔構造の解明, 土木学会論文集, No.781/ V-66, pp.145-155, 2005.	41
(7)	Igarashi, S., Watanabe, A. and Kawamura, M.: Evaluation of Capillary Pore Size Characteristics in High Strength Concrete at Early Ages, Cement and Concrete Research, Vol.35, No.3, pp.513-519, 2005.	52
(8)	井上豪, 五十嵐心一: 2, 3の手法により求めたセメントの水和度の比較, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.541-546, 2005.	59
(9)	田野原孝之, 五十嵐心一: セメント硬化体の物質透過性に及ぼす粗大毛細管空隙構造の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.823-828, 2005.	65
(10)	Igarashi, S., Watanabe, A. and Kawamura, M. : Effects of curing conditions on the evolution of coarse capillary pores in cement pastes Concrete Science and Engineering, A Tribute to Arnon Bentur, Proc. of the Intl. RILEM Symp., PRO36, pp.105-116, 2004.	71
(11)	Igarashi, S., Ikezaki, Y. and Watanabe, A : Determination of Degree of Hydration and Water/Cement Ratio by Stereological Analysis of Unhydrated Cement Particles, Proc. of CONMAT'05 and Mindess Symposium, (CD-ROM), 2005.	83
(12)	Igarashi, S., Watanabe, A.: Effects of Pozzolan reaction on the evolution of coarse capillary pore structure and phase constitution in cement pastes with mineral admixtures, Proc. of International RILEM-JCI seminar, Concrete Life '06 (ed. K. Kovler), pp.83-93, 2006.	93
(13)	五十嵐心一, 渡辺暁央: 超吸水性ポリマーの使用による自己収縮の抑制効果, セメントコンクリート論文集, No.59, pp.109-116, 2006.	104

平成 16 年度～平成 17 年度 科学研究費補助金

基盤研究(C) (2) 研究成果

1. 研究課題名

反射電子像の画像解析による内部組織定量評価とコンクリートの物性評価システムの構築

2. 課題番号

16560398

3. 研究組織

研究代表者 五十嵐心一 (金沢大学自然科学研究科助教授)
研究分担者 久保善司 (金沢大学自然科学研究科助手)

4. 研究経費

平成 16 年度	2600 千円
平成 17 年度	1100 千円
計	3700 千円

5. 研究発表

5.1 学会誌等

- (1) 渡辺暁央, 五十嵐心一, 川村満紀: 加圧処理を施した繊維補強 RPC の微視的構造と力学的特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.309-314, 2004.
- (2) 加藤俊充, 五十嵐心一, 川村満紀: 軽量骨材による内部養生が高強度コンクリートの内部組織形成に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.675-680, 2004.
- (3) 池崎由典, 五十嵐心一, 川村満紀: 画像解析による硬化コンクリートの配合推定, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.2019-2024, 2004.
- (4) Igarashi, S., Kawamura, M. and Watanabe, A.: Analysis of Cement Pastes and Mortars by a Combination of Backscatter-Based SEM Image Analysis and Calculations Based on the Powers Model, Cement and Concrete Composites, Vol.26, No.8, pp.977-985, 2004.
- (5) 五十嵐心一, 池崎由典, 渡辺暁央: 残存未水和セメント粒子の粒度分布の評価に基づく水和度と

水セメント比の推定, コンクリート工学論文集, Vol.16, No.1, pp.87-95, 2005.

- (6) 渡辺暁央, 五十嵐心一, 川村満紀: 反射電子像の画像解析による鉱物質混和材混入セメントペーストの細孔構造の解明, 土木学会論文集, No.781/V-66, pp.145-155, 2005.
- (7) Igarashi, S., Watanabe, A. and Kawamura, M.: Evaluation of Capillary Pore Size Characteristics in High Strength Concrete at Early Ages, Cement and Concrete Research, Vol.35, No.3, pp.513-519, 2005.
- (8) 井上豪, 五十嵐心一: 2, 3 の手法により求めたセメントの水和度の比較, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.541-546, 2005.
- (9) 田野原孝之, 五十嵐心一: セメント硬化体の物質透過性に及ぼす粗大毛細管空隙構造の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.823-828, 2005.
- (10) 五十嵐心一, 渡辺暁央: 超吸水性ポリマーの使用による自己収縮の抑制効果, セメントコンクリート論文集, No.59, pp.109-116, 2006.

5.2 国際会議論文

- [1] Igarashi, S., Watanabe, A. and Kawamura, M. : Effects of curing conditions on the evolution of coarse capillary pores in cement pastes Concrete Science and Engineering, A Tribute to Arnon Bentur, Proc. of the Intl. RILEM Symp., PRO36, pp.105-116, 2004.
- [2] Igarashi, S., Ikezaki, Y. and Watanabe, A : Determination of Degree of Hydration and Water/Cement Ratio by Stereological Analysis of Unhydrated Cement Particles, Proc. of CONMAT'05 and Mindess Symposium, (CD-ROM), 2005.
- [3] Igarashi, S., Watanabe, A.: Effects of Pozzolanic reaction on the evolution of coarse capillary pore structure and phase constitution in cement pastes with mineral admixtures, Proc. of International RILEM-JCI seminar, Concrete Life '06, 2006 (ed. K. Kovler), pp.83-93, 2006.

6. 研究成果

6.1 研究目的

医学, 理工学の様々な分野で画像診断システムの開発が飛躍的に進む今日において, セメント系材料科学の分野においてもコンクリート内部組織の様々な情報を担った種々の画像から, コンクリートの特性の評価や性能診断システムの開発を行うこと, およびその展開による画像シミュレーションの開発は時代の自然な趨勢である. 特に, コンクリートの耐久性の問題が顕在化した今日においては, コンクリートの劣化原因を正しく突き止め, 劣化の程度を定量的に評価して, 適切な寿命予測を行うことが必要とされ, コンクリート構造物の維持管理の手段として画像情報が果たす役割は大きい.

本研究においては, マクロ, メゾ, ミクロの各レベルに対応した目視, 実体顕微鏡, 蛍光顕微鏡および電子顕微鏡観察を行い, 得られた画像に対して画像解析を行う. そして, 各観察レベルにおいて得られる定量的な評価値の特性値としての妥当性を明らかにし, その特性値に基づいて, コンクリートの物性を総合的に評価する方法をシステム化された形式で構築することを目的としている.

具体的には、ミクロレベルにおける内部組織構成相（骨材粒子，セメント粒子，毛細管空隙）の総量と寸法の分布，および配置の幾何学的特徴をステレオロジーの援用により定量評価する。このようにして求めた定量値を既往のセメント水和反応モデルとの整合性の観点から検証し，画像解析手法の有効性を確認する。手法の有効性を確認した後は，それらの定量値とコンクリートの配合，養生条件，強度発現，物質透過性など個々の特性との対応を明らかにし，それらを総括して特性相互の関連性を詳細に検討し，コンクリートの性能発現機構に関して画像解析結果の変化からの解釈を行う。さらに，ミクロレベルで特性化された特徴量とコンクリートの性能発現（強度，耐久性）の関係を基準にして，既設コンクリートのメゾおよびマクロレベルで観察される様々な事象（損傷，ひびわれ，体積変化，劣化 etc.）の発生原因と現状の性能を総合的に判断する評価システムの構築を行うことを目的としている。

6.2 研究成果の概要

本研究により得られた主な結果は以下の通りである。

(1) セメントの水和反応過程の定量評価と水和反応モデルとの整合性（論文(4)，(6)，(8)，[1]）

- ・ 画像解析により求められた水和度は，結合水量法や定量 X 線回折法により求めた水和度とよく一致する。しかし，若材齢にて若干差が大きくなる傾向があり，観察倍率と観察者のサンプリングバイアスの影響を考慮する必要がある。
- ・ 画像解析により求めた水和度と Powers のモデルを矛盾を生ずることなく組み合わせることが可能である。また，これにより，特徴的な内部構成相を定量的に明らかにすることができる。
- ・ またその水和度を用いて Powers-Brownyard のゲルスペース比を求めることができ，強度発現機構を構成相の変化から理解することができる。
- ・ 粗大毛細管空隙構造は，配合や材齢の変化を反映する材料特性である。
- ・ 低水セメント比のセメント硬体では，毛細管空隙構造全体の細孔径分布が不連続になる。大きな空隙をある程度残存したまま，微細な空隙は充填されていくため，ある特定の寸法範囲の細孔が少なくなるというギャップを有した細孔径分布になる傾向が現れる。
- ・ 養生温度の相違にともなう細孔構造の変化は，粗大毛細管空隙の範囲にも現れるが，その特徴は水セメント比により異なる。

(2) 混和材が内部組織形成に及ぼす影響の解明（論文(6)，[3]）

- ・ 鉱物質混和材のポゾラン反応は硬化体中のセメントゲル固体分の増大に寄与するが，比較的大きな空隙を効果的に減少させることはできない。
- ・ シリカフェュームの混入により，細孔径分布には上述のようなギャップを有した構造が現れる。
- ・ 混和材混入系でもゲルスペース比により強度発現機構を理解することができる。しかし，同じゲル空隙比であっても，混和材混入系の方が低い強度を示し，また，限界強度も混和材混入系の方が低く推定される。
- ・ 混和材混入系にて強度が増大するという一般的な認識と異なる結果が得られたが，これは従来の考え方と矛盾するものではなく，細孔構造の特徴を考慮する必要性を示唆している。
- ・ 全細孔量だけでなく，粗大毛細管空隙の全空隙に対する相対的な割合が強度を決定付ける一因子になるようである。

- ・ 混和材混入系において比較的大きな空隙が残存する原因の一つに、Hadley 粒子の存在が考えられる。

(3) 組織形成と種々のコンクリートのマクロな物性との関係 (論文(1), (2), (7), (9), (10))

- ・ RPC の製造過程における加圧により、鋼繊維の近傍のセメント粒子の充填構造が変化し、これが繊維の付着特性に影響を及ぼす。
- ・ 高強度コンクリートの若材齢時の自己収縮の拘束によるひび割れ発生は、耐久性に重大な影響を及ぼすと考えられるが、保水性の軽量骨材を使用する内部養生を行うことにより、自己収縮を抑制することは可能である。この場合、骨材粒子の近傍の組織変化を画像解析により評価することが可能である。
- ・ 超吸水性ポリマーを使用した場合の水分到達距離はあまり大きくはない。このため、bulk セメントペーストマトリックスにおける空隙率が、ポリマーを使用しない場合とほぼ等しいことが、画像解析結果からも示された。
- ・ 低水セメント比のシリカフェーム混入系は、ごく若材齢にて既に、微細な毛細管空隙を普通セメントペーストよりも多く含むようであり、これが自己収縮の増大に関係している。
- ・ 粗大な毛細管空隙量とセメントペーストの拡散係数の間には良好な相関性が認められる。すなわち、画像解析にて明らかにされる粗大毛細管空隙構造は、コンクリートの物質透過性を考える上で、重要な情報を担う。
- ・ 粗大毛細管空隙径分布における最大細孔径は、拡散係数と良好な相関性を示し、空隙の連続性を反映することが示唆された。

(4) 実コンクリートの性能評価への適用 ((3), (5), [2])

- ・ 実コンクリートの劣化原因推定の前提となる水セメント比を、画像解析により求めた残存セメント量と結合水量により求めた水和度を組み合わせることにより、精度よく推定することが可能である。
- ・ 断面に現れたセメント粒子の粒度分布をもとにして、ステレオロジーの方法を援用することにより 3 次元の残存未水和セメント粒子の粒度分布を評価することが可能である。
- ・ 3 次元粒度分布における平均径は水和の進行を表すパラメータであり、これと残存セメント量を組み合わせて、コンクリートの水セメント比を精度よく推定することが可能である。