



Title	C-S-Hの構造とその生成機構及びコンクリートの耐久性への応用 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	森永, 祐加
Citation	北海道大学. 博士(工学) 甲第13661号
Issue Date	2019-03-25
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/74086
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Type	theses (doctoral - abstract and summary of review)
Additional Information	There are other files related to this item in HUSCAP. Check the above URL.
File Information	Yuka_Morinaga_review.pdf (審査の要旨)



[Instructions for use](#)

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士(工学) 氏名 森永 祐加

審査担当者 主査 准教授 エラクネス ヨガラジャ
副査 教授 佐藤 努
副査 教授 五十嵐 敏文

学位論文題名

C-S-H の構造とその生成機構及びコンクリートの耐久性への応用
(C-S-H growth and characterization on durability of Concrete)

近年、セメント・コンクリート材料には社会資本の維持管理、環境対策、放射性廃棄物の埋設、隔離としての役割が求められており、コンクリートの及び耐久性の向上及び物性の長期予測が必要不可欠である。コンクリートのマクロスケールの物性はミクロスケールであるカルシウムシリケート水和物(以下 C-S-H)の構造が影響していることが報告されており、コンクリートの耐久性を評価する上では C-S-H の微細構造や相組成をより深く理解する必要がある。しかし、C-S-H の生成機構や構造には不明瞭な点が多く、更なる追求必要である。

本研究では C-S-H の生成機構及び構造に着目し、さらに C-S-H の構造についてより深く理解し、C-S-H の構造とコンクリートの劣化機構である乾燥収縮及びアルカリ骨材反応を関連付けた。

本論文は全八章で構成され、各章の概要及び内容を下記に示す。

第一章では、本研究の背景と目的及び論文の構成を整理した。

第二章では、C-S-H の生成機構、C-S-H のナノスケール、メゾスケール構造、及びコンクリートの劣化機構の中で乾燥収縮及びアルカリ骨材反応(以下 ASR)に着目して、劣化のメカニズムに関する既往の文献調査を行った。

第三章では、C-S-H の生成機構に関する中間体である hydrated silicate monomer(HM) の存在に着目をし、エーライトの水和反応における HM の役割について検討を行った。

水和反応速度を変化させたエーライトの水和系において XRD(X 線回折)-Rietveld 法、²⁹Si MAS NMR(²⁹Si 核磁気共鳴法)、強熱減量を用いてエーライトの水和反応に伴う HM 量、C-S-H の算定を行った結果、エーライトの水和反応において HM は準安定な C-S-H としての役割を示し、HM の生成反応の促進が C-S-H の生成反応を促すことが示された。

また、無機促進剤のアニオン、カチオン種がエーライトの水和反応に及ぼす影響について検討を行った結果、カチオン種は C-S-H の初期生成反応を促進させ、アニオン種は HM の生成速度を促進していることが示された。

第四章においては、C-S-H の基本構造に着目をした。Ca/Si、合成温度あるいは合成方法、出発原料の異なる C-S-H を合成し、²⁹Si MAS NMR、XRD、水蒸気吸脱着、XRF(蛍光 X 線分析)及び TEM(透過型電子顕微鏡)によりキャラクタリゼーションを行った。合成した C-S-H は Ca/Si、合成方法、出発原料では XRD パターンに大差がないものの、NMR や XRF のデータから得られる構造には差異がみられた。さらに、水蒸気吸脱着曲線や BET 比表面積及び TEM の結果から、合成方法及び出発原料が異なるとメゾスケールの構造及び C-S-H の粒子サイズが変化することが示された。

第五章においては、セメント硬化体中の C-S-H の構造を推定するための細孔構造解析手法の検討を行った。本章では測定の前処理として乾燥工程を要さない thermoporometry 法 (以下 TPM) 及び ^1H NMR 緩和法に着目した。TPM においては従来提案されていた方法を改良し、氷の核生成を考慮し且つ細孔表面の不凍水層の厚さを理論的に推定することで連結した細孔へ適用を可能とした。また、 ^1H -NMR 緩和法によるセメント硬化体の細孔径分布の評価方法の妥当性を検証するため、TPM により得られた細孔径分布との比較を行った。TPM と ^1H NMR 緩和法で得られた細孔径分布における gel 細孔 (細孔半径 6nm 以下) 部分においては概ね一致したが、capillary pore については乖離がみられた。

第六章では、C-S-H のメゾスケール構造に着目し、その構造と乾燥収縮による長さ変化を関連づけた。乾燥収縮では理論的なアプローチから細孔形状を 3 種類仮定し、乾湿による長さ変化を推定した結果、円筒型及び可動型のスリット型の統合モデルを用いることで、セメント硬化体の長さ変化を推定することが可能となった。また、実験的な結果より C-S-H の凝集構造は層状モデルではなく、層状コロイドモデルであることが示唆された。

第七章では、水の吸着による膨張劣化と代表例として、ASR に着目をし、NaOH 溶液中での早期膨張型モデル骨材あるいは遅延型膨張骨材と $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の反応による ASR 生成物のキャラクタリゼーションを行った。また、ASR 生成物の構造や組成、液相の組成を得ることで、ASR ゲルの生成要因についての検討を行った。ASR ゲルの生成は骨材の反応率のみでは決定されず、細孔溶液の pH に依存することが示された。

第八章では、まとめとして本研究の成果及び今後の課題について総括して述べた。C-S-H のナノ/メゾ構造をより深く理解し、さらにその構造変化が乾燥収縮及び ASR による劣化機構に及ぼす影響について纏め記述した。

以上、これを要するに、著者はコンクリート中のミクروسケールであるカルシウムシリケート水和物 (C-S-H) の生成機構及び構造とその構造がコンクリートの耐久性能に及ぼす影響に関して、C-S-H 生成反応における中間体の役割を明らかにし、C-S-H のメゾスケール構造を提唱したことに加え、コンクリートの劣化機構である乾燥収縮及びアルカリ骨材反応メカニズムと C-S-H の構造を関連付けたことに新知見を得たものであり、コンクリート工学に対して貢献するところ大なるものがある。よって、著者は北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める。