



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Characterization and Modeling of Alkali-Silica Reaction of Reactive Siliceous Materials in Conducting Model and Mortar Experiments [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	Baingam, Lalita
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第12469号
Issue Date	2016-09-26
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/63422
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Lalita_Baingam_review.pdf, 審査の要旨



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 Lalita Baingam

審査担当者 主 査 教 授 名和 豊春
 副 査 教 授 廣吉 直樹
 副 査 教 授 佐藤 努
 副 査 准教授 胡桃澤 清文

学位論文題名

Characterization and Modeling of Alkali-Silica Reaction of Reactive Siliceous Materials in
Conducting Model and Mortar Experiments

(モデルおよびモルタル実験によるアルカリシリカ反応のキャラクラリゼーションおよびモデル化)

アルカリシリカ反応 (ASR) は、コンクリート中の主にセメントからもたらされるアルカリと反応性骨材 (オパール、安山岩やチャートなど) 中の反応性鉱物と反応し、膨張性の ASR ゲルを骨材内部に生じ、コンクリートに膨張性ひび割れを生じさせる現象である。1940 年に、米国において最初に発見され、我が国でも 1983 年に阪神高速道路で初めての被害が報告された。このように、ASR を起こす可能性のある骨材は世界的に分布しており、ASR によるコンクリート構造物の劣化は日本のみならず世界中で報告されている。ASR によるコンクリートのひび割れは、景観・美観の損失を招くだけでなく、鋼材の腐食、コンクリートの強度低下、曲げ加工部や圧接部での鉄筋破断などの損傷をもたらすことが報告され、我が国でも 1980 年代後半に研究が進展し対策が進んだ。

ASR の抑制対策は大別すると、コンクリート中のアルカリ総量の抑制、抑制効果のある混合セメントなどの使用、安全と認められる骨材の使用の 3 点が挙げられている。しかし、ASR の反応は遅く、反応が収束するまでには数十年もの歳月を要する場合もあるため、ASR の進行予測や抑制・防止技術の検証は未だ不十分である。事実、最近でもアルカリ総量が規制値以下でもコンクリート構造物に ASR による劣化が生じた事例や、フライアッシュや高炉セメントを使用したコンクリート構造物でも ASR 劣化が生じた事例が報告され、ASR 抑制対策を根本的に見直す必要性が社会的に要請されている。この根本的な ASR 防止対策を実現するためには、ASR によるコンクリートの膨張ひび割れ機構を明らかにすることが必要であり、膨張をもたらす ASR 生成物の化学組成や構造について定量的に把握し、膨張挙動の予測モデルを構築することが必須要件となる。

本研究は、既に ASR 反応性が認められているチャート骨材およびパイレックスガラスを用いて、生成した ASR ゲルの種類と構造を精密に解析し、さらにその熱力学的相平衡モデルから ASR ゲルの生成機構を解明し、最後にモルタル中の ASR ゲル生成と膨張挙動を関連付けることにより、ASR の予測モデルの確立を目指したものである。主たる成果は以下に列挙される。

第一の成果として、ASR に及ぼす Ca イオンの効果を考慮しながら、硬化コンクリート中の液相を模擬した溶液中での骨材中の反応性シリカの溶解速度を、ICP を用いて測定し、生成した ASR ゲルの種類とその構造を固体核磁共鳴法 (^{29}Si MAS NMR) や XRD を用いて精密に解析することにより、ASR ゲル生成反応の機構を解明したことが挙げられる。特に、シリカの溶解速度によって、初期に生成される C-S-H ($\text{C}=\text{CaO}$, $\text{S}=\text{SiO}_2$, $\text{H}=\text{H}_2\text{O}$) の Ca/Si 比が異なることを SEM-EDX を用

いて実証し、さらにその後生成される C-N-S-H($N=Na_2O$) 中のシリケートイオンの重合度が異なることを明らかにし、骨材からのシリカの溶解速度が生成する ASR ゲルの性質を大きく変化させることを解明した点は高く評価される。

第二の成果は、上記の擬 ASR 生成実験で得られた結果が一般的に成立するかを、骨材からのシリカの溶解を律速過程とした熱力学的相平衡モデルで実証した点である。その結果、Ca イオンが存在すると、C-S-H が最初に生成し、アルカリによるシリカの溶解を抑制するが、Ca イオン濃度の低下と共に Na が Ca と置換した C-N-S-H が生成し、シリカの溶解が促進され、最後に Ca イオンが液相中から消失すると、N-S-H が生成するという ASR の反応過程を明らかにすることができた。なお、シリカの溶解速度が大きいと、C-S-H が過飽和となり、Ca/Si 比の高い C-S-H が生成するが、この高 Ca/Si 比 C-S-H のシリカ溶解の抑制効果は低いことが示唆されたことは、従来解明されていなかった一般的な反応性骨材とパイレックスガラスの ASR 挙動の相違を説明できる成果となっており、秀逸である。

第三の成果は、本研究で示した ASR ゲルの熱力学的相平衡モデルを、実際のセメントと反応性骨材の系にまで拡張し、モルタル中での ASR ゲルの生成過程を予測し、膨張挙動との関連付けを行った点である。具体的には、反応性骨材からのシリカの溶解速度と、セメントペースト中のアルカリ量およびセメント水和反応による水酸化カルシウム量とから生成する ASR ゲルの種類と量を予測し、実際に測定したモルタルの ASR による膨張量と比較し、どの ASR ゲルが膨張挙動に寄与しているかを解析した。その結果、従来から言われていたように C-S-H は膨張には寄与しないが、従来は非膨張性考えられていた C-N-S-H が膨張性であることを明らかにしており、今後の ASR 防止策への展開が期待される。

これを要するに、著者は ASR によるコンクリート構造物の劣化を防止するために、セメントペースト中の細孔溶液を模擬したモデル実験で生成した ASR ゲルの化学組成と構造を各種の分析装置を用いて詳細に解析すると共に、シリカの溶解を考慮した熱力学的相平衡モデルを構築し、そのモデルを実際のモルタル中の ASR ゲル生成予測に適用し、ASR による膨張挙動予測に成功したものであり、資源工学およびコンクリート工学に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。