

令和 2 年 7 月 1 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03285

研究課題名(和文) 硬化過程の温度履歴によるコンクリートの異種材料界面の状態変化と耐久性の関連性評価

研究課題名(英文) Study on interface variation between different materials in concrete depending on temperature history during hardening and its association with durability

研究代表者

浅本 晋吾 (Asamoto, Shingo)

埼玉大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：50436333

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、コンクリートに最大70 程度の高温が初期に作用したときに、構成材料の界面の損傷評価、それに伴う材料特性の変化について検討をした。その結果、使用材料によっては、初期の高温作用で界面に損傷がもたらされる可能性を示し、有害物質に対するコンクリートの移動抵抗性が低下し得ることも示した。また、体積変化や変形特性も使用材料と初期温度作用によっては大きくなり得ることが分かった。初期の高温作用が要因の膨張劣化については、炭酸イオンによって促進される可能性を実験、解析の両面で示し、フライアッシュという石灰による長期的な抑制効果を実験で確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

生産年齢人口の減少が進みつつあるわが国では、現場での施工を必要とせず、生産性の高いコンクリートの工場製品の土木構造物への活用が期待されている。一般に、工場製品では、初期に高温を作用させて早期強度を得ることが多く、それが耐久性といった長期の性能に与える影響は必ずしも明らかではない。使用材料と温度履歴によって変化する力学的特性から耐久性までを体系的に検討した本研究成果は、後世に堅固な構造物を残すためにも、重要な知見といえる。なお、初期の高温作用は必ずしも悪影響を与えるわけではない。また、高温作用は、熱帯地域の開発途上国では重要な命題であり、本成果は海外での問題解決にも貢献できると期待される。

研究成果の概要(英文)：This study investigated the damage around constitutive materials of concrete and the subsequent change of material properties when the high temperature over 70 C is exposed to concrete at early ages. It is suggested that the high temperature can cause the micro damages at the interfacial zones depending on the materials and the resistivity of concrete to mass transfer of harmful materials may be decreased due to the damage. It is also found that the volumetric change and deformation characteristics can increase according to the materials and initial temperature history. The experimental and numerical analysis indicated that the swelling arising from the high temperature at early ages can be accelerated by carbonate ion. The long-term inhibition of the swelling by the coal ash was also experimentally confirmed.

研究分野：コンクリート工学

キーワード：初期温度履歴 異種材料界面 熱作用 時間依存変形 耐久性

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

早期強度の確保を目的とした高温蒸気養生、富配合コンクリートやマスコンクリートの水和発熱によってコンクリートの温度は、60°C以上になることがある。こうした高温作用は、コンクリートの物質移動抵抗性を低下させ、収縮、クリープの低減をもたらすことが知られており、そのメカニズムは、欧州を中心に、毛細管空隙の粗大化、C-S-HのGlobuleの緻密化といった微視的な構造変化などで説明されることが多い。その一方で、骨材やセメント種類によっては互いの線膨張係数などの熱物性、ヤング係数などの力学的特性が大きく異なり、温度上昇・降下中に、骨材とセメントペーストの界面にマイクロクラックなどの損傷を生じ得ることが指摘されており、コンクリートと鉄筋の界面にも同様な損傷が発生し得る。骨材、鉄筋周辺のマイクロクラックが連結すると、水分やイオンの大きな移動パスとなり、これが物質移動抵抗性低下の主要因となる可能性もある。また、こうした材料界面での損傷は応力伝達に不連続性を与え、収縮やクリープの低減や、内外の持続応力によって損傷が進展し、収縮、クリープ挙動の変化、物質移動抵抗性のさらなる低下をもたらす可能性もある。

また、少子高齢化による生産年齢人口の減少が進みつつあり、建設分野での生産性向上が強く求められているわが国において、高温蒸気養生を施すプレキャストコンクリート(以下、PCa)製品は、現場施工の大幅な省人化・工期短縮できるため、ボックスカルバート、セグメント桁、床版など大型の土木構造物への活用が期待されている。一般に、現場施工のコンクリートに比べ、PCa製品は蒸気養生により早期強度が得られ、安定した環境で部材製作ができるため、品質は安定すると考えられている。しかし、製品の大型化により、コンクリート標準示方書に示されている蒸気養生の最高温度制限(65°C)では、断熱状態に近いコンクリートの内部は、水和発熱により70°C以上を呈することも容易に想定され、品質に影響する可能性がある。70°C以上の温度がコンクリートに作用した場合、上記の物質移動抵抗性や時間依存変形のみならず、遅延エトリンサイト生成(Delayed Ettringite Formation, 以下DEF)による膨張ひび割れにも留意する必要がある。今後の土木構造物の品質を長期的に確保するためには、早期強度だけでなく、硬化過程の温度履歴が耐久性に与える影響を十分理解したうえで、温度管理、材料設計などの規基準類の整備を行うことが急務である。

以上の背景のもと、高温蒸気養生がもたらす、材料界面の損傷評価、物質移動抵抗性の低下機構の解明、時間依存変形特性の把握、DEF発生要因の整理と分析が重要と考え、本研究を提案するに至った。

2. 研究の目的

本研究では、コンクリートの硬化過程の温度履歴と異種材料界面の状態変化に着目し、高温作用による物質移動抵抗性の低下機構、収縮、クリープに対する界面損傷の影響を、実験・解析の両面から検討することを目的とした。高温作用はC-S-Hの凝集や空隙構造の粗大化をもたらし、それが耐久性に直結するというミクロな観点からの検討が多い中、本研究では、コンクリート、骨材、鉄筋の各界面の状態変化というメゾスケールの観点からマクロな物性評価を行う点に特色がある。また、初期の温度、使用材料に依存するDEFについても、DEF膨張の長期実験の分析、スリランカやタイでDEFと疑われている実構造物の分析、欧州と日本のセメント成分の違いに着目した分析などを中心に、DEF発生条件の検討を行う。生産年齢人口の減少に伴い、生産性を向上する大型プレキャストコンクリートの活用が見込まれることもあり、今後の構造物の品質を長期に渡って確保するため、コンクリートの初期温度履歴と各材料特性の影響を加味した設計・施工上の留意点、対策を提案することを本研究の最終目的とした。

3. 研究の方法

(1) 高温蒸気養生による骨材・鉄筋界面の損傷評価及びコンクリートの材料特性変化の検討

材齢初期の高温作用による、細骨材もしくは粗骨材の界面、コンクリートと鉄筋の界面における損傷の評価と、それがコンクリートの動弾性係数、透気係数、乾燥収縮、クリープといった材料物性に与える影響を、温度履歴、骨材、セメント種類によって比較検討をした。

セメントは、普通ポルトランドセメント(以下、OPC)と高炉セメントB種(以下、BB)を用い、W/C=0.5のコンクリートで、粗骨材に石灰石及び硬質砂岩を粗骨材に用いたもので検討した(本実験の範囲では、石灰石と硬質砂岩で相違は見られなかったため、以下の結果では、骨材種類の影響については議論しない)。下記の所定の養生を施したのち、蛍光エポキシ樹脂含浸による界面観察、動弾性係数、透気係数、乾燥収縮、クリープについての検討を行った。さらには、鉄筋比0.71%の鉄筋コンクリートでも、動弾性係数、水分逸散、乾燥収縮の検討を行った。

養生は、蒸気養生を模擬し、前養生を20°Cで2時間行い、15°C/hrで昇温し65°Cを5時間作用させたのち、4.5°C/hrで20°Cまで降温し、20°Cを保った養生(以下、蒸気養生)、同様の前養生を施し20°Cから10.5時間65°Cに曝露し、20°Cに戻した養生(以下、65°C養生)、20°C一定での養生(以下、20°C養生)の3パターンを材齢1日まですべて封緘で施した。材齢1日までの各養生終了後、材齢1日で脱型し、すべての供試体を飽和状態にするため、材齢7日まで20°Cで水中に浸漬した。その後、20°C、相対湿度60±5%の恒温恒湿室にて、乾燥収縮、乾燥クリープ試験を実施した。動弾性係数は収縮及びクリープ試験中に経時的に計測し、試験終了後、蛍光エポキシ樹脂含浸による界面観察、透気係数の計測を行った。

(2) 長期の DEF 膨張観察及び熱力学的相平衡計算に基づくエトリンタイトの安定性の検討

2015 年から石灰石微粉末から溶出する炭酸イオンに着目し、DEF に対する炭酸イオンの影響について検討している。その結果、炭酸イオンが供給されると、DEF が促進される可能性を示した。一方で、フライアッシュをセメント質量の 25% と置換させた場合は、若材齢時に 90℃ 養生、SO₃ をセメント質量に対して 3% 添加、炭酸イオン含有水溶液への浸漬といった促進環境でも、1 年の試験期間で DEF による膨張は観察されなかった。本研究を通じて計測を継続し、セメントペーストとモルタルでの長期 DEF 膨張挙動の比較、フライアッシュによる DEF 膨張の長期抑制効果の検討を行った。

さらには、系内に炭酸カルシウムが混在している場合の DEF の生じ易さについて熱力学的相平衡計算を用いて検討した。計算の水準は系内における炭酸カルシウムの有無とし、環境温度を変化させて *ettringite* が安定する温度域を整理した。本計算では、系内においてアルミネート相 (C₃A : 3CaO·Al₂O₃) のみ、もしくは、C₃A と炭酸カルシウムが溶解して、monosulfate (Ms と呼称) と monocarbonate (Mc と呼称), *ettringite* (Ett と呼称), 3CaO·Al₂O₃·Ca(OH)₂·12H₂O (C4AH13 と呼称) が析出することを想定して成分を入力した。

4. 研究成果

(1) 高温蒸気養生による骨材・鉄筋界面の損傷評価及びコンクリートの材料特性変化の検討

各養生後材齢 50 日まで封緘した円柱供試体を円盤上に切断し、蛍光エポキシ樹脂を含浸させたコンクリートの断面をブラックライトで照射させ、Otsu(1979)により提案された多値化手法で画像処理した結果を図-1 に示す。なお、65℃ 養生の画像処理結果は、どちらの配合も、蒸気養生と大きな違いはなかった。初期に高温を施した場合、OPC を用いた供試体(以下、OPC 供試体)は、作用温度の違いによって界面の損傷状態にさほどの違いはないが、BB を用いた供試体(以下、BB 供試体)は、初期に高温が作用すると、骨材周りを中心に樹脂含浸が観察された。高炉セメントは、線膨張係数が大きくなることが報告されており、骨材との線膨張係数の相違が大きく、温度の昇温・降温時に骨材周辺のセメントペーストが損傷し、そこに樹脂が含浸したと考えられる。画像処理の結果は、研磨面の厚さ、断面の骨材量、ブラックライトの照射光度などによっても変わり得るため、今後より詳細な検証が必要と考えているが、図-2 に示すように、65℃ の養生の BB 供試体で、エポキシ樹脂が含浸した骨材界面の周りに、微細なひび割れをデジタルマイクロスコープでも確認した。

同様に、所定の養生後、材齢 50 日まで封緘した各供試体の透気係数を図-3 に示す。BB を用いた場合、20℃ 養生に比べ、初期に高温作用を施した場合の透気係数が増加した。初期の高温と、その後の自己乾燥に伴う骨材界面の損傷が、空隙に連続性を与え、透気性を増加させたと考えられる。高温作用による界面の損傷が小さいと考えられる OPC 供試体の透気係数に関しては、初期の高温作用の影響が小さかった。

材齢 7 日までの水中養生直後及びその後材齢 50 日まで乾燥させた試験体の動弾性係数の計測結果を図-4 に示す。いずれのセメントも、材齢 7、50 日ともに、20℃ 養生に比べ、高温を作用させた供試体の動弾性係数は低下した。特に、BB を用いた供試体は、材齢 50 日で高温作用による動弾性係数の低下が大きい。これは、初期温度の温度作用で上記のように骨材界面に損傷が生じ、その後、封緘時に自己乾燥の大きい BB では、ペースト部分の収縮によって損傷が進展し、より大きな動弾性係数の低下をもたらしたと考えられる。OPC 供試体は、エポキシ樹脂含浸では骨材界面の損傷は明確に観察されなかったが、いずれの材齢でも動弾性係数の低下が見られたことから、OPC 供試体には、高温作用による骨材界面の損傷が多少なりとも生じていた可能性がある。いずれの供試体も 65℃、蒸気養生での違いは小さく、昇温・降温速度の影響は、本実験条件では観察されなかったが、今後詳細に検討する必要があると認識している。

乾燥収縮ひずみの計測結果を図-5、6 に示す。OPC 供試体では、既往の研究と同様に、高温履歴を受けると乾燥収縮は低減したのに対し、BB 供試体では、高温履歴によって乾燥収縮が大きくなった。本研究では、乾燥収縮試験の前に供試体を水中浸漬しており、W/C も 0.5 であり、材

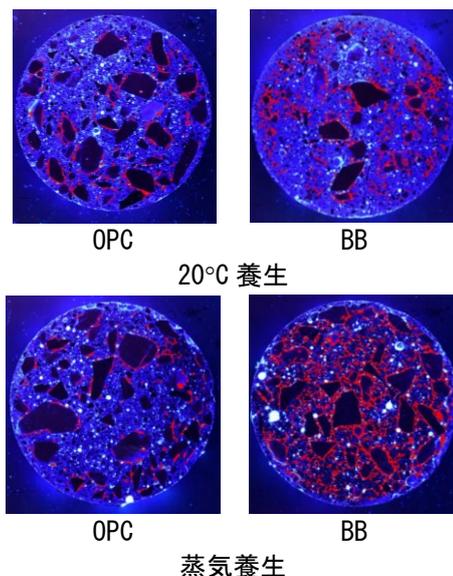


図-1 エポキシ樹脂含浸結果 (赤が含浸部分)

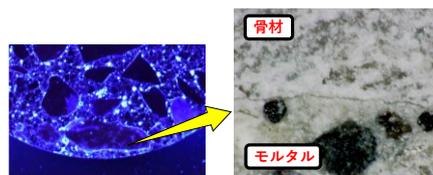


図-2 デジタルマイクロスコープによる骨材界面のひび割れ確認

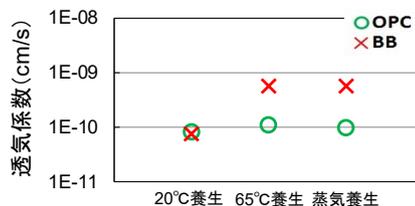


図-3 材齢 50 日での透気係数

齢1日までの温度履歴の違いによる自己乾燥の影響は小さいと考えられる。当初、BB では高温履歴で発生した界面損傷で剛性が低下したことで乾燥収縮が増加し、OPC では界面損傷による剛性低下は小さく、高温作用による C-S-H ゲルの構造変化がもたらす収縮低減の影響の方が大きくなったと推察した。しかしながら、その後、BB を用いたセメントペーストで、同様の 20℃養生、蒸気養生を施したのち乾燥収縮を計測したところ、図-7 に示すように、初期に高温作用をさせたペーストの収縮が大きくなった。この理由については、いまだ明確ではないが、スラグを用いた場合は、初期の高温作用によって、C-S-H などの水和物の構造が変化し、ペーストマトリックス自体の収縮が大きくなる可能性などを考えている。

20℃養生、蒸気養生後の単位クリープの試験結果を図-8 に示す。一般に、硬化過程に高温履歴を与えるとクリープが低減することが知られており、本試験においても OPC 供試体は、同様の傾向を示した。一方で、BB を用いた場合、上記の乾燥収縮と同様に、初期に高温が作用することでクリープも増加した。収縮と同様に、高炉セメントは、初期高温作用でセメントペーストのクリープが大きくなる可能性があり、今後セメントペーストによる検証を行う予定である。

鉄筋コンクリートでも、鉄筋とコンクリートの界面損傷に着目して、動弾性係数の経時変化、水分逸散、乾燥収縮の計測を行った。その結果、OPC は、鉄筋を有する供試体の水分逸散量は、無筋の供試体に比べ多く、鉄筋とコンクリートの界面に損傷が存在すると考えられたが、その損傷は動弾性係数の低下に寄与しなかった。一方で、BB を用いた場合、動弾性係数の結果より初期高温作用による鉄筋界面に損傷の可能性があることが示唆されたが、水分逸散は鉄筋を有しても大きくならなかった。鉄筋コンクリートの実験については、計測の不備もあったため、今後の検証が必要といえる。

(2) 長期の DEF 膨張観察及び熱力学的相平衡計算に基づくエトリングタイトの安定性の検討

以下、長期の DEF 膨張実験の結果の凡例は、(セメント種類)_(SO₃添加量(%))_(浸漬溶液の種類)とする。ここで、浸漬溶液の種類は、水道水を T、炭酸イオン含有水溶液を C と表記する。膨張後の計測データがない供試体は、大きな膨張によって計測ができなくなったものである。結果は、長期の計測であることと、各供試体の膨張量を明確にするため、両軸を対数として示す。

図-9 に、水道水に浸漬したときの長期膨張挙動の結果を示す。セメントペーストでは、SO₃を3%添加した LSP のみ (LSP_3_T_P) が大きな膨張、表面ひび割れを生じた。他の供試体は、材齢 1672 日の時点で、明確な膨張が観察されず、SO₃を3%添加した HPC のセメントペースト (HPC_3_T_P) は、材齢約 4 年半でも 2000μ程度の膨張に留まっている。一方で、SO₃を3%添加したモルタルは、LSP、HPC (LSP_3_T_M、HPC_3_T_M) とともに、材齢 30 日くらいから明確な膨張が観察された。HPC のセメントペーストは、石灰石微粉末による炭酸イオンの影響もなく、モルタルより空隙が緻密で、膨張に必要な水分が内部まで浸透していないため、SO₃を3%添加しても緩慢な膨張になっていると考えられる。もしくは、本実験では、いずれも K₂SO₄をセメントとともに粉体として混ぜたのちに、水と練り混ぜたため、この配合については十分に K₂SO₄が溶解しておらず、徐々に K₂SO₄が溶解しながら、緩慢な膨張を示した可能性も考えられた。

SO₃を添加しない場合、モルタル供試体はいずれの配合も数 100μの膨張にとどまっており、DEF による膨張は始まっていない。一方で、石灰石微粉末を混和した

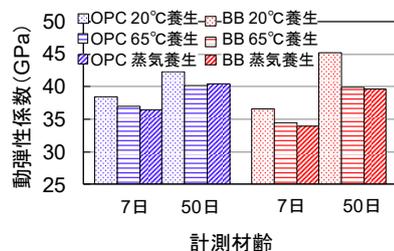


図-4 材齢 7, 50 日の動弾性係数

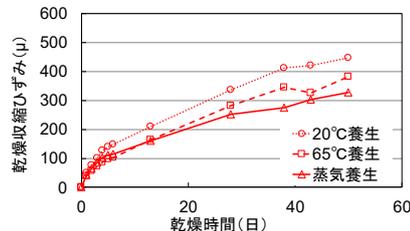


図-5 OPC を用いたときの乾燥収縮

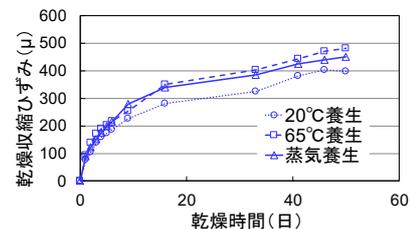


図-6 BB を用いたときの乾燥収縮

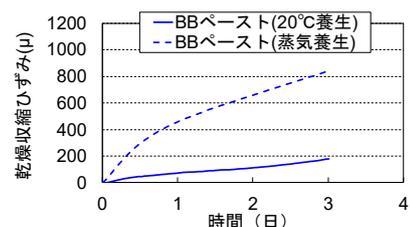


図-7 BB セメントペーストの乾燥収縮

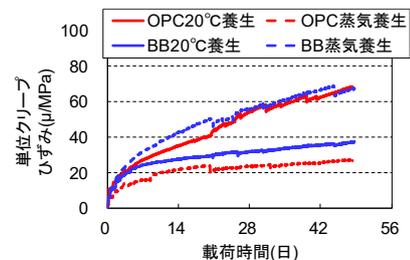


図-8 単位クリープひずみ

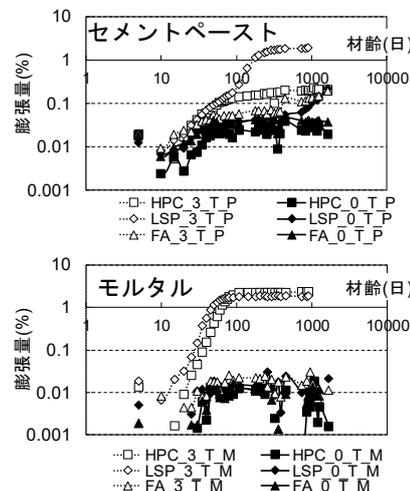


図-9 水道水に浸漬したときの長期 DEF 膨張挙動

LSP のセメントペースト (LSP_0_T_P) は、SO₃ を添加していない場合でも、材齢 1000 日くらいから、急激に膨張し始めた。DEF 膨張に起因するのはセメントペーストであるため、その挙動がセメントペーストでより明確になっているといえる。また、浸漬させる水道水を定期的に交換しているため、セメントペーストより透水性の高いモルタルでは、カルシウムの溶脱が内部まで進み、Crystal pressure が減少し、膨張が抑制された可能性もある。

フライアッシュを添加させた場合は、ペースト、モルタルともに、SO₃ を 3% 添加させると、SO₃ を添加させていない他の配合より若干大きな膨張を示すが、ひび割れを発生させるような顕著な膨張までには至っていない。SO₃ を 3% 添加したセメントペーストの FA (FA_3_T_P) では、緩やかな膨張を示し、材齢 1672 日で 2000 μ まで達している。フライアッシュは、DEF 膨張を抑制させる効果があるものの、SO₃ 添加などの促進環境では、膨張を防止させるまでには至らないと考えられる。

図-10 に、0.15mol/L の炭酸イオン含有水溶液に浸漬したときの続報を示す。高濃度の炭酸イオン含有水溶液に浸漬した場合は、SO₃ を 3% 添加した HPC, LSP 供試体については、セメントペーストとモルタルともに、早期に大きな膨張を呈した。また、SO₃ 無添加の LSP 供試体(LSP_0_C_P, LSP_0_C_M)も材齢数 100 日で大きな膨張を示し、内外から供給される炭酸イオンによって DEF 膨張が促進された。

水道水浸漬と同様に、炭酸イオンによる DEF 促進環境でも、フライアッシュをセメントと 25wt% 置換すると、セメントペースト、モルタルともに、材齢 1672 日時点で顕著な膨張は観察されていない。SO₃ を 3% 添加したセメントペーストの FA (FA_3_C_P) では、緩やかな膨張が観察され、材齢 1672 日で 1000 μ を超えている。モルタルについては、炭酸イオン含有水溶液に浸漬した場合、SO₃ の添加無しでも LSP と HPC では顕著な膨張が観察された。一方で、フライアッシュを 25wt% セメントと置換したモルタル供試体は、SO₃ 添加、炭酸イオン含有水溶液浸漬といった厳しい DEF 促進条件でも大きな膨張は観察されず、数 100 μ に留まり、DEF 抑制に大きな効果があるといえる。

次に、熱力学平衡計算に基づき、炭酸カルシウム有り無しで、環境温度と系内の相組成の関係を計算した結果を、SO₃/Al₂O₃=0.5 と 2.0 を例に、図-11, 12 に示す。SO₃/Al₂O₃ が 1.0 以下であれば、余剰の硫酸イオンがなく、炭酸カルシウムが存在しない系では、平衡時には、AFm 相が主要な相として析出する。一方で、炭酸カルシウムが固相として余剰するくらい十分に存在した場合、系内のアルミネートは炭酸イオンと反応して Mc を析出するため、系内で余剰した硫酸イオンによって、50 $^{\circ}$ C 以下では Ett が Mc とともに相として析出した。50 $^{\circ}$ C 以上の高温では、炭酸カルシウムの有無によらず、Ett は不安定で析出せず AFm 相のみが析出した。

SO₃/Al₂O₃ が 2.0 以上であれば、硫酸イオンが十分に存在するため、炭酸カルシウムの有無にかかわらず、常温でもエトリンガイトが生成し、炭酸カルシウム無しでは Ms, 有りでは Mc と共存することになる。高温になると Ett は安定な温度域でないため析出せず、硫酸イオンが十分にある場合は、炭酸カルシウム有りの系では、Mc より Ms が安定して析出する結果になった。

これらの平衡計算を通じて、炭酸カルシウムによる DEF の生じ易さは、SO₃/Al₂O₃ のモル比に依存することが分かった。また、上記実験の SO₃/Al₂O₃ の範囲 (SO₃ 無添加 : 0.81, SO₃ を 3% 添加 : 1.57) で十分に炭酸イオンが供給された場合、DEF は生じ易くなることが確認された。

<引用文献>

- 1) 浅本晋吾, 村野耕基, 蔵重勲, Anura Nanayakkara : 遅延エトリンガイト生成に及ぼす炭酸イオンの影響に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vo.38, No.1, pp.819-824, 2016

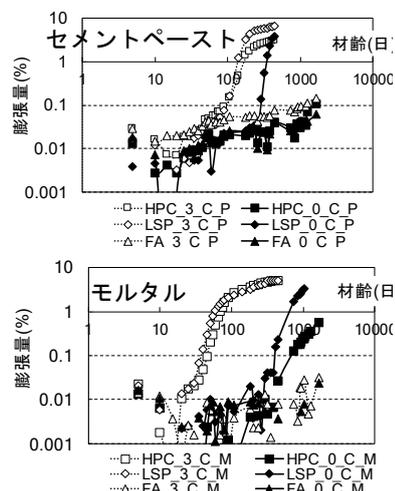


図-10 炭酸イオン含有水溶液に浸漬したときの長期 DEF 膨張挙動

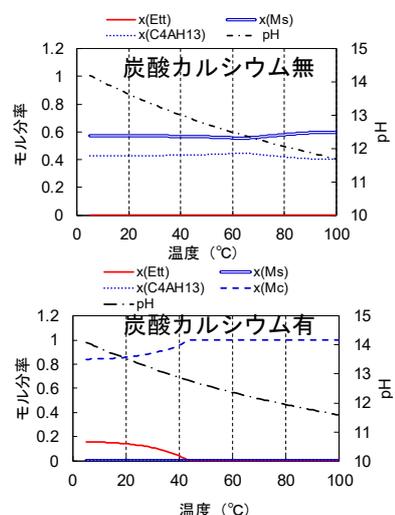


図-11 SO₃/Al₂O₃=0.5 の系の平衡計算結果

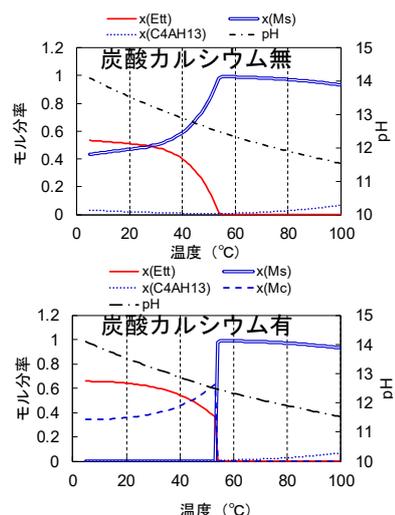


図-12 SO₃/Al₂O₃=2.0 の系の平衡計算結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Asamoto Shingo, Murano Kohki, Kurashige Isao, Nanayakkara Anura	4. 巻 147
2. 論文標題 Effect of carbonate ions on delayed ettringite formation	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Construction and Building Materials	6. 最初と最後の頁 221 ~ 226
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.107	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 A. Awasthi, K. Matsumoto, K. Nagai, S. Asamoto and S. Goto	4. 巻 3
2. 論文標題 Investigation on possible causes of expansion damages in concrete - a case study of sleepers in Indian Railways	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Asian Concrete Federation	6. 最初と最後の頁 49-66
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 安藤陽子, 片山哲哉, 浅本晋吾, 長井宏平	4. 巻 40
2. 論文標題 インドで発生したPC枕木のひび割れの原因究明とASRおよびDEFの相互作用	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 909-914
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Wang Yi, Meng Yushi, Jiradilok Punyawut, Matsumoto Koji, Nagai Kohei, Asamoto Shingo	4. 巻 104
2. 論文標題 Expansive cracking and compressive failure simulations of ASR and DEF damaged concrete using a mesoscale discrete model	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Cement and Concrete Composites	6. 最初と最後の頁 103404 ~ 103404
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.103404	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Wang Yi, Jiradilok Punyawut, Nagai Kohei, Asamoto Shingo	4. 巻 232
2. 論文標題 A mesoscale discrete model for mechanical performance of concrete damaged by coupled ASR and DEF	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Engineering Fracture Mechanics	6. 最初と最後の頁 107055 ~ 107055
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2020.107055	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 S. Asamoto, R. Yuguchi, I. Kurashige and P. J. Chun
2. 発表標題 Effect of high temperature at early age on interfacial transition zone and material properties of concrete
3. 学会等名 SynerCrete'18 International Conference on Interdisciplinary Approaches for Cement-based Materials and Structural Concrete (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Meng, P. Jiradilok, K. Matsumoto K. Nagai and S. Asamoto
2. 発表標題 Fracture simulation of concrete with ASR and DEF expansions by RBSM
3. 学会等名 10th International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures(FraMCoS-X) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大久保拓馬, 浅本晋吾, 湯口綾介
2. 発表標題 線膨張係数の異なる骨材材料を持つモルタルの高温作用による界面損傷の検討
3. 学会等名 土木学会第73回年次学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 浅本晋吾, 湯口綾介, 蔵重勲, 全邦釘
2. 発表標題 初期の高温作用がコンクリートの骨材界面に与える損傷と材料特性に与える影響評価
3. 学会等名 土木学会第73回年次学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 浅本晋吾, 大久保拓馬
2. 発表標題 DEF 促進環境におけるフライアッシュの抑制効果
3. 学会等名 「DEFのリスクを考える」に関するシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 浅本晋吾, 宮本慎太郎
2. 発表標題 熱力学的相平衡計算に基づく系内に存在する炭酸カルシウムがettringite の安定性に及ぼす影響
3. 学会等名 「DEFのリスクを考える」に関するシンポジウム
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	長井 宏平 (Nagai Kohei) (00451790)	東京大学・生産技術研究所・准教授 (12601)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	葦重 勲 (Kurashige Isao) (20371461)	一般財団法人電力中央研究所・地球工学研究所・主任研究員 (82641)	
研究 分担者	全 邦釘 (Chun Panjo) (60605955)	東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・特任准教授 (12601)	
研究 協力者	ナナヤカラ アヌラ (Nanayakkara Anura)	モラトゥワ大学・Department of Civil Engineering・ Professor	