

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02219

研究課題名(和文)材料及び環境条件に基づくDEF膨張の発生・抑制機構の解明と構造性能への影響評価

研究課題名(英文) Study on mechanism of DEF occurrence and inhibition based on material and environmental conditions and structural performance of DEF affected members

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) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：日仏の異なるセメントを用いたコンクリートを80℃にさらし、高温作用でもたらされる長期のコンクリートの膨張挙動を、さいたま、横須賀、長岡、沖縄の4か所で検討した。その結果、セメント種類にかかわらず膨張が生じたが、膨張速度の環境依存特性はセメント種類によって異なった。また、同じく膨張させたプレストレストコンクリート梁の曲げ性能を実験的に検討したところ、膨張ひび割れが多数入っても曲げ剛性、耐力といった構造性能への影響は小さいことが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

コンクリートに70℃以上の高温が作用して生じ得るDEF膨張は1%を超える過大のものであるが、本研究によって、鋼材で膨張が十分に拘束されていると、ひび割れは生じるものの、構造性能に与える影響は小さいことが分かった。現状、フランスではDEFによる膨張劣化が確認されている一方で、日本では明確にDEFが主要因とされる劣化は確認されていない。将来日本でもDEFが発生するリスクはゼロではないが、上記の本研究成果から仮にDEF膨張が発生しても構造物に与える影響は小さいことが示唆され、その意義は大きい。

研究成果の概要(英文)：Concrete cubes with Japanese and French cements were fabricated to be exposed to high temperatures of 80°C, and the expansion behavior related to the high temperature exposure was studied at four locations: Saitama, Yokosuka, Nagaoka, and Okinawa. The results showed that expansion occurred regardless of cement type. The environmental dependency of the expansion rate was dependent on the cement type. The flexural performance of prestressed concrete beam with the expansion was studied. It was found that the effect of the large expansion on the flexural stiffness and loading capacity of the beam was small even though a large number of expansion cracks were observed in the beam.

研究分野：コンクリート工学

キーワード：初期温度履歴 遅延エトリンサイト生成 アルカリ骨材反応 化学-力学膨張モデル 構造性能評価

1. 研究開始当初の背景

DEF 膨張によるひび割れについては、フランスでは 100 以上の実構造物での事例があるという一方で、日本国内においては、80°C以上というかなりの高温にさらされた実構造物でも DEF によってひび割れが生じたという明確な事例は現状確認されていない。タイでは、高速道路橋脚のフーチングにおいて多数の亀甲状ひび割れが生じ、高い気温を理由に DEF を要因と挙げる報告もあるが、岩石学的分析のもと ASR が主要因という報告もある。DEF と ASR はどちらも亀甲状ひび割れをもたらすため、実構造物の外観からは要因判定することが難しく、フランスでは高温が作用した構造物のコア分析で ASR ゲル脈が確認できなかったために DEF と判定しているが、遅延性骨材の場合コア分析に高度な観察技術が必要となり、判定には議論の余地がある。一方で、フランスと日本では、セメントの化学組成や骨材特性、さらには、気象も異なるため、これらの条件の違いが高温作用後の DEF 膨張の有無に影響している可能性もある。また、DEF、ASR の抑制にはどちらも混和材の活用が有効であるが、DEF 抑制機構については、エトリンガイトの安定空間及び高い物質移動抵抗性などから説明がなされているものの、必ずしも明確ではない。混和材の化学組成も国により異なり、熱帯開発途上国では発熱対策としてフライアッシュの活用が進む一方で品質が安定しているわけではなく、DEF 抑制の有効性について検討の必要がある。

DEF による膨張挙動に関する研究は、欧米、近年では国内、アジア熱帯地域でも検討が進みつつあるが、数%という大きな膨張が、構造物の構造性能に与える影響についての検討事例は非常に少ない。構造に関連する数少ない研究によれば、DEF 膨張を拘束した場合、拘束方向に膨張は減少する一方で、無拘束方向には拘束の影響はなく、拘束直交方向に膨張が大きくなる ASR とは異なる傾向にある。これまでの ASR 劣化に関する一連の構造研究も参照しながら、DEF 膨張の鉄筋やプレストレスによる拘束の影響を把握したうえで、コンクリート構造物の構造性能に与える影響を評価することが、DEF のリスク管理のうえで重要といえる。

以上のことから、本研究で核心をなす学術的「問い」として、材料と構造で大きく分け、

- ・ DEF 膨張を発生させる材料特性及び環境条件と膨張抑制のメカニズム解明
 - ・ DEF 膨張が発生した場合の鋼材との相互作用の把握と構造物の構造性能評価
- の 2 点のもと、研究を行うこととした。

2. 研究の目的

本研究では、日本、フランスの材料特性と環境条件の違いに着目し、DEF の発生要件を実験的に整理し、それらのデータをもとに、化学的・岩石学的分析と数値解析による検証を行い、膨張機構とともにその抑制機構を明らかにすることを目的とした。さらには、DEF 膨張がコンクリート構造物の構造性能に与える影響を実験・解析の両面から検討し、これまで国内で培った ASR に対する補修・補強対策も参考に、DEF による大きな膨張リスクに対して、材料的な抑制対策から構造的な保全手法まで提案することを最終目的とした。

3. 研究の方法

(1) 日仏の異なるセメント種類および日本の環境条件が DEF 膨張に及ぼす影響の検討

日仏のセメント種類の違いが DEF 膨張に与える影響を検討するため、日本の早強ポルトランドセメント(以下、RJ)、日本の耐硫酸塩ポルトランドセメントに相当するフランスのセメント(以下、ROF)、早強ポルトランドセメントに相当するフランスのセメント(以下、R1F)の 3 種類のセメントを用い、骨材はフランスのものでコンクリートを作製した。配合はフランスの材料設計に基づき、R1F には DEF の膨張を促進するため、KOH を添加した。DEF を効果的に促進するため、打設 2 時間後から 22 時間かけて昇温し、72 時間 80 °C に保ち、55 時間かけて降温した。

研究開始と同時の 2020 年 4 月に RJ をフランスに送ったものの、COVID-19 によりパリでは度重なるロックダウンがあったため、フランスでの供試体作製が大幅に遅れ、R1F は、2020 年 10 月 16 日、ROF は 2021 年 1 月 27 日、RJ は 2021 年 4 月 1 日と異なる作製時期となった。作製後、アルミテープで封緘にした状態でフランスの実験室内で静置したが、ロックダウンなどの影響で日本への輸送も大きく遅れ、2021 年 12 月にフランスから日本に向けて封緘のまま輸送し、2022 年 2 月に日本に到着、2022 年 3 月よりさいたま、横須賀、長岡、沖縄で曝露実験を開始した(写真-1)。膨張の計測は上面 2 か所、南東面 2 か所、南西面 2 か所の計 6 か所にコンタクトチップを貼り付け、コンタクトゲージ(基長 200mm、精度 0.001mm)により行った。



さいたま



横須賀



長岡



沖縄

写真-1 各地での曝露の様子

(2) コンクリートの内部膨張反応による鉄筋コンクリートの膨張挙動と付着特性の変化の検討
 150×150×150mm の立方体供試体で、DEF 膨張、さらには DEF と ASR 複合膨張を促進させる 2 種類作製した (以下、DEF 膨張させた供試体を DEF、DEF と ASR 複合膨張させた供試体を DEF-ASR とする)。DEF-ASR では、ASR 促進のため粗骨材の 30w% を反応性骨材とし、両配合ともに DEF を促進するため、セメントの 2.5w% の SO₃ に相当する硫酸カリウムを添加した。供試体は鉄筋無し供試体、鉄筋あり供試体 (以下 RC 供試体とする) の 2 種類作製した。RC 供試体では、主筋として長さ 300mm の異形鉄筋 D13 鉄筋 (SD490) を公称直径の約 5 倍の付着長 70mm で配置した。また補強筋として異形鉄筋 D6 鉄筋 (SD345) を用いて各辺で囲った。打設後封緘し、恒温槽にて 20°C で 4 時間養生、その後 90°C で 12 時間高温養生することで DEF 膨張促進を行ったのち、20°C で 2 時間封緘養生を行った。養生の後、17.5±2.5°C の水中で養生した。無筋及び RC 供試体いずれも 1 面にコンタクトチップを貼り付け、主鉄筋軸 (以下、軸方向) 及び軸垂直方向の長さ変化を測定した。



写真-2 鉄筋の付着試験

鉄筋の付着特性の検討では、RC 供試体の主鉄筋部と 650mm の異形鉄筋 D13 (SD490) をカプラーで接続し、アームスラ万能試験機と供試体の間にはロードセルを設置し、鉄筋を引っ張り、荷重を測定した (写真-2)。供試体下部には変位計を設置し、荷重とともに滑り変位を計測した。

(3) コンクリートの内部膨張反応がプレストレストコンクリート梁の構造性能に与える影響に関する検討

コンクリートは、単位水量 174kg/m³ で水セメント比が 50% の一般的な配合とし、(2) の検討と同様に、DEF を促進するため、セメントの 2.5w% の SO₃ に相当する硫酸カリウムを添加した配合 (以下、DEF)、ASR と DEF の複合膨張のため、硫酸カリウムの添加とともに粗骨材の 30w% を反応性骨材とした配合 (以下、ASR-DEF) で、後述の高温作用を与え、DEF を促進させた。また、硫酸カリウムや反応性骨材のない膨張無しの配合 (以下、Normal) も用いて、3 種類の配合で、プレストレストコンクリート (以下、PC) 梁、自由膨張と強度試験の円柱供試体 (φ100mm×200mm) を作製した。PC 梁は、曲げ引張破壊になるように設計した。梁の諸元を図-1 に示す。圧縮鉄筋、引張鉄筋およびせん断補強筋には D6 異形鉄筋 (SD345) を使用し、PC 鋼棒は φ9.2mm (JIS 規格 G3109: SBPR/1240) を使用した。

Normal の梁及び円柱供試体については、室温で 24 時間封緘養生を行った後に脱型し、室内で水中養生を行った。DEF および ASR-DEF では、梁、円柱供試体ともに封緘状態のまま 20°C で前養生を 4 時間したのち、型枠にいれたまま水の入ったプールに入れ、プールに入れたヒーターで 4 時間かけて水温を約 80°C まで上昇させ、そのまま 12 時間約 80°C の温度を保ち、DEF 膨張の促進を行った。その後、ヒーターを止め 20°C まで温度を降下させ、脱型した。脱型後は、室温の水中プールで水中養生を行った。材齢 7 日で 55KN のプレストレスを導入し、再び水中で膨張促進を行った。膨張は、鉄筋 (圧縮鉄筋、引張破壊、せん断補強筋、PC 鋼棒) はひずみゲージで計測し、コンクリートは表面にコンタクトチップを貼り付け、コンタクトゲージ (精度: 0.001mm、基長: 100mm) で計測した。

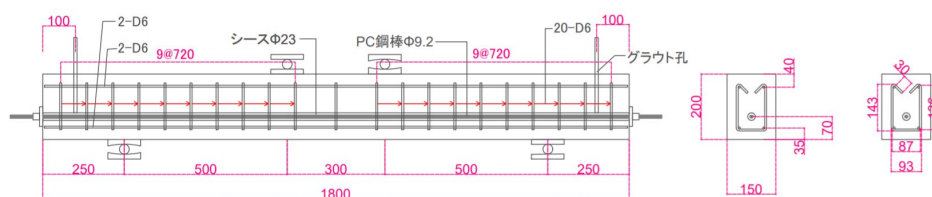


図-1 PC梁の諸元

4. 研究成果

(1) 日仏のセメント種類および日本の環境条件が DEF 膨張に及ぼす影響の検討

図-2 に、さいたま、長岡、横須賀、沖縄の各所で、RJ、ROF、R1F それぞれの DEF 膨張に伴う立方体 3 面の平均ひずみの変化を示す。ROF では環境条件による膨張挙動の違いは確認できなかった。R1F、RJ では、曝露環境で異なる膨張特性が確認された。共通して横須賀での膨張は小さく、R1F、RJ の長岡とさいたままでの膨張は、200 日以降概ね同等の膨張挙動を示した。初期の膨張を比較すると、長岡では、RJ が 100 日以前から膨張していたのに対し、R1F は 100 日以降急激に膨張し、さいたまでは、RJ、R1F ともに初期から膨張が進行した。沖縄での膨張は、R1F と RJ で大きく挙動が異なっており、各環境での膨張特性の傾向は明確には確認できなかった。

セメントの種類による膨張量は R1F と RJ が同等、あるいは R1F、RJ、ROF の順で大きい。これは RJ、R1F が早強ポルトランドセメントであり、SO₃ の量が多く (R1F: 3.5%, RJ: 3.0%)、エトリンガイトが生成しやすいためである。一方で、ROF は耐硫酸塩ポルトランドセメントであり、C₃A が少なく (2.4%)、エトリンガイトは R1F、RJ に比べ生成しにくく、膨張は小さくなったと言える。膨張促進の添加材を入れていない RJ でも R1F と概ね同等の膨張が観察されたこと

から、本実験の厳しい高温履歴を与えた場合、日本とフランスのセメント成分の違いが DEF 膨張に及ぼす影響は小さい可能性がある。さいたま・沖縄の供試体において、RJ が大きい亀甲状のひび割れ、R1F は細かい亀甲状のひび割れを呈しており、R1F は膨張が均一に大きく発生した一方で、RJ は不均一に膨張している可能性が示唆された。

RJ, R1F の供試体では、いずれの曝露環境でも、膨張初期は上面より側面の膨張ひずみが大きくなった。曝露は3月から開始したため、夏場に上面は強い日射を受け乾燥し、温度も上がったため、エトリングが再生しにくかった可能性がある。一方で、R0F の供試体では、いずれも上面のひずみが大きくなり、膨張ひび割れも上面で顕著であり、RJ, R1F と異なる傾向となった。日射で同じく乾燥はするため、膨張速度の温度依存性がセメントの種類によって異なる可能性も考えられる。本成果は、今後、フランスでの室内実験と化学-力学膨張モデルで検証を行う。

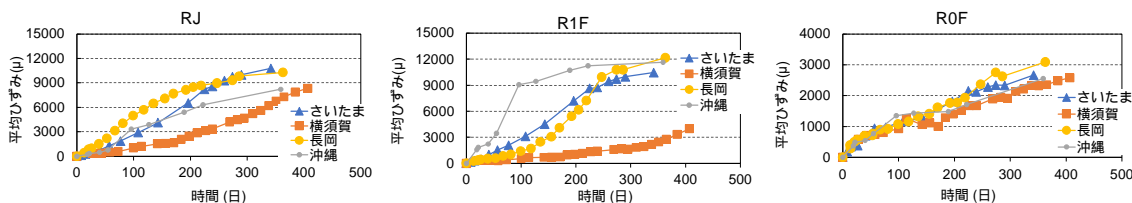


図-2 各曝露地域での膨張ひずみの経時変化

(2) コンクリートの内部膨張反応による鉄筋コンクリートの膨張挙動と付着特性の変化の検討

図-3 に、DEF 及び DEF-ASR の RC 供試体の付着試験における初期の滑りと付着応力の関係を示す。滑りが増加し始めたときの付着応力を、滑り応力とし、図には、滑り始めたところを両矢印で示し、そのときの滑り応力を付記した。各材齢の膨張ひずみは軸方向のものである。DEF 供試体においては、膨張とともに滑り応力は大きくなった。一方で、DEF-ASR 供試体では、材齢 14 日までは膨張の増加とともに滑り応力は大きくなったが、材齢 28 日では、材齢 14 日に比べ滑り応力は若干低下し、材齢 55 日では大幅に減少した。滑り応力は、鉄筋とコンクリートの静摩擦力に依存し、コンクリートの膨張が補強筋に拘束され、主鉄筋に圧縮の拘束応力が導入され、材齢 14 日までは摩擦力が増加したと考えられる。一方で、材齢 28 日では膨張が 1000 μ を超えており、拘束が十分に作用せず、内部にひび割れなどを生じている可能性あり、滑り応力が若干低下したと考えられる。材齢 55 日においては膨張による軸方向のひび割れが表面で観察され、鉄筋周りもひび割れが生じたため鉄筋との摩擦力も低下し、鉄筋滑り応力が低下したと考えた。

図-4 に、RC 供試体の軸方向膨張ひずみと付着強度の関係を示す。DEF 及び ASR-DEF 供試体ともに、コンクリート表面にひび割れが観測されなかった平均膨張量 1000 μ 程度の時点まで付着強度は増加した。供試体の付着強度は主鉄筋である異形鉄筋表面の凹凸による抵抗力及びコンクリートと鉄筋の動摩擦力に依存すると考えられる。膨張がさほど大きくなければ、上記と同様に補強筋による拘束応力の影響で動摩擦力が増加し、付着強度が増加すると考えられる。ASR-DEF 供試体では、滑り応力は材齢 28 日で若干低下したが、膨張も小さくひび割れも目視で確認できるレベルではなかったため、動摩擦力や凹凸に対する提供力にはさほど影響しなかったと推察される。一方で、材齢 55 日のように、軸方向にひび割れが生じると、動摩擦力、異形鉄筋の抵抗性が大幅に低下し、付着強度も低下したと言える。実際、付着試験終了後、付着割裂による軸から放射状に生じるひび割れがコンクリートに観察されなかったため、鉄筋引抜けの際、凹凸による抵抗力がもたらすコンクリートの破壊は起こっていないと考えられる。

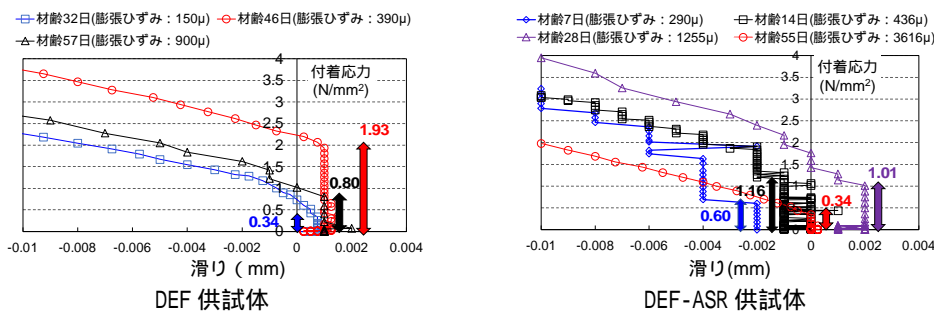


図-3 RC 供試体の初期の滑り-付着応力の関係

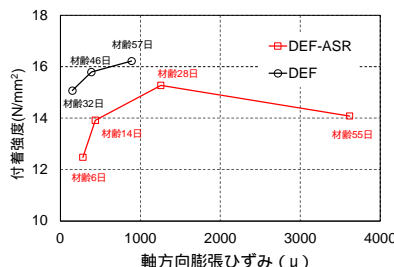


図-4 RC 供試体の軸方向膨張ひずみと付着強度の関係

(3) コンクリートの内部膨張反応がプレストレストコンクリート梁の構造性能に与える影響に関する検討

PC 梁を曲げスパン 300mm，せん断スパン 500mm で曲げひび割れが発生しない低荷重（10kN 程度）で 4 点曲げ載荷を行い，荷重-変位関係の線形の傾きから見かけのコンクリートの剛性（以下，剛性）を算出した．各材齢における鉄筋ひずみと見かけの剛性を図-5 に示す．Normal の梁は，膨張が全く発生していないことが各鉄筋のひずみから確認され，見かけの剛性も材齢でほとんど変化はない．DEF と ASR-DEF の梁の圧縮鉄筋は，材齢とともに 1000 μ ，6000 μ 以上の引張ひずみを計測したが，引張鉄筋はいずれもほとんど膨張が観察されなかった．PC 鋼棒を引張側に配置しており，プレストレス力による圧縮応力によって圧縮クリープを生じ，DEF，ASR の内部膨張反応による膨張を大きく抑制したと考えられる．

自由膨張の円柱供試体は，DEF，ASR-DEF とともに劣化の特徴である亀甲状のひび割れが発生した．一方で，DEF，ASR-DEF の PC 梁のひび割れは長手方向の割裂ひび割れが多く発生し，軸直交方向のひび割れは少なかった．プレストレスによって長手方向に圧縮応力が作用し，膨張も PC 鋼棒で拘束されているためにひび割れは割裂方向に留まったと考えられる．DEF の梁は材齢 135 日，ASR-DEF の梁は材齢 69，95，160 日で，膨張の進行とともにみかけの剛性が大きく低下したが，20GPa からは膨張が進んでもさほどの低下はなかった．したがって，みかけの曲げ剛性は膨張によるひび割れによって一定レベルまで低下するが，割裂方向にひび割れ進展は留まり，それ以降の膨張が進行してもたわみを増加させる方向にひび割れは発生せず，ASR や DEF で大きな膨張を呈しても PC 梁のたわみ増加に与える影響は少ないと考えられる．

Normal と膨張が十分に進行した DEF，ASR-DEF の梁で，曲げスパン 300mm，せん断スパン 500mm で，破壊に至るまで曲げ載荷試験を行った．載荷試験と同時期に円柱供試体の圧縮強度は，Normal で 55MPa，ASR-DEF で 4.4MPa，DEF で 4.7MPa であった．圧縮強度から PC 梁の曲げ耐力を算出すると，Normal の梁は約 54kN で曲げ引張破壊，ASR-DEF と DEF の梁では約 18kN で曲げ圧縮破壊となる．Normal と ASR-DEF の曲げ破壊試験の荷重-変位関係を図-6 に示す．Normal の梁は，ひずみゲージから鉄筋と PC 鋼棒の降伏を確認し，上記の計算と同じく曲げ引張破壊であったが，耐力は計算より大幅に大きかった．これは PC 鋼棒や引張鉄筋のひずみ硬化の影響が考えられる．一方で，ASR-DEF 及び DEF 梁は，円柱供試体の圧縮強度から推定された曲げ圧縮破壊とはならず，鉄筋と PC 鋼棒は降伏し，最大荷重に達した後に徐々に荷重が低下した．また，これらの梁を Normal の梁と比較すると，じん性が大きく，変位が 30mm を超えると，圧縮部のコンクリートの大部分が粗骨材とモルタルの界面で剥離が起っていた．DEF 膨張は骨材-モルタルでギャップが生成されるため，圧縮応力下でギャップ閉じ変形が進み，最終的には界面で剥離すると推察された．破壊形式については，PC 梁上部のコンクリートの圧縮強度がプレストレスや鉄筋の拘束により，無拘束の円柱供試体のように大きく低下せず，曲げ圧縮破壊に至らなかったため，耐力の低下は小さかったと考えた．

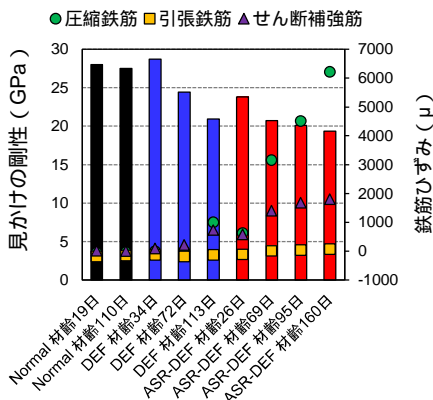


図-5 鉄筋ひずみと各材齢におけるみかけの剛性

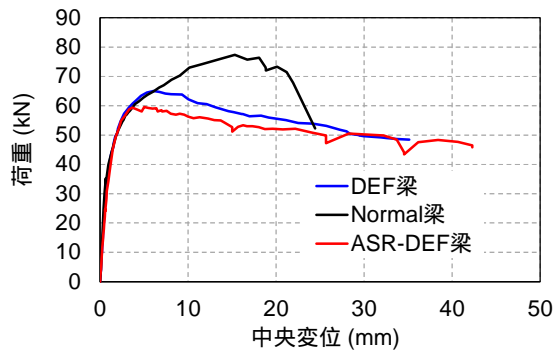


図-6 各梁の荷重 中央変位関係

上記の梁の結果を踏まえ，鉄筋などによって ASR 及び DEF 膨張が拘束されたときのひび割れパターン，付着，圧縮強度に与える影響を RBSM で検討した．膨張が強く拘束されると，拘束方向に割裂ひび割れが生じることが数値解析でも示された．また，ASR と DEF で鉄筋と周辺モルタルとの界面ひび割れ性状は異なるが，付着劣化についてはさほど違いがないことが分かった．さらに，側方筋の拘束があった場合，ASR 膨張が起っても圧縮強度の低下は小さいことが分かり，今後，DEF 膨張においても現在行っている拘束実験と解析の比較検証を行う．また，FEM による感度解析では，内部膨張反応による膨張が拘束されて圧縮強度の低下が 30% 程度であれば，上記 PC 梁の耐力と概ね同等の結果が得られたため，要素実験及び RBSM との整合性を今後検討する予定である．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 8件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Luo Jie, Asamoto Shingo, Nagai Kohei	4. 巻 277
2. 論文標題 Mesoscale simulation of compression-induced cracking and failure of ASR-damaged concrete with stirrup confinement	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Engineering Fracture Mechanics	6. 最初と最後の頁 108977 ~ 108977
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.engfracmech.2022.108977	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 Luo Jie, Asamoto Shingo, Nagai Kohei	4. 巻 351
2. 論文標題 An analytical investigation of bond deterioration between rebar and ASR/DEF-damaged concrete with and without stirrup confinement using 3D RBSM	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Construction and Building Materials	6. 最初と最後の頁 128923 ~ 128923
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.conbuildmat.2022.128923	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 Luo Jie, Wang Yi, Asamoto Shingo, Nagai Kohei	4. 巻 129
2. 論文標題 Mesoscopic simulation of crack propagation and bond behavior in ASR damaged concrete with internal/external restraint by 3D RBSM	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Cement and Concrete Composites	6. 最初と最後の頁 104488 ~ 104488
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cemconcomp.2022.104488	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 松本歩, Nirmal Joshi, 浅本晋吾, 川端雄一郎	4. 巻 43
2. 論文標題 DEF膨張が生じたコンクリートの圧縮応力下での内部損傷進行の検討	5. 発行年 2021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 227-232
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 Joshi Nirmal Raj, Matsumoto Ayumu, Asamoto Shingo, Miura Taito, Kawabata Yuichiro	4. 巻 128
2. 論文標題 Investigation of the mechanical behaviour of concrete with severe delayed ettringite formation expansion focusing on internal damage propagation under various compressive loading patterns	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Cement and Concrete Composites	6. 最初と最後の頁 104433 ~ 104433
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cemconcomp.2022.104433	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) 10.1016/j.engfracmech.2020.107055	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 Sriprasong Thanadet, Shingo Asamoto and Joshi Nirmal Raj	4. 巻 19
2. 論文標題 STUDY ON THE COMBINED ALKALI SILICA REACTION AND DELAYED ETTRINGITE FORMATION	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of GEOMATE	6. 最初と最後の頁 84-91
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.21660/2020.75.38051	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Joshi Nirmal R., Sriprasong Thanadet, Asamoto Shingo, Sancharoen Pakawat	4. 巻 19
2. 論文標題 Time-Dependent Deformation of a Concrete Arch Dam in Thailand - Numerical Study on Effect of Alkali Silica Reaction on Deflection of Arch	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Concrete Technology	6. 最初と最後の頁 181 ~ 195
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3151/jact.19.181	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 N.R. Joshi, A. Matsumoto, T. Sriprasong and S. Asamoto	4. 巻 Deterioration Mechanisms
2. 論文標題 Study on swelling effect due to ASR and DEF on reinforced concrete	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the ConMat'20	6. 最初と最後の頁 220-227
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 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2件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 泉杏沙, 浅本晋吾, 川端雄一郎, 下村匠, 富山潤, Renaud-Pierre Martin, Francois Toutlemonde, Celia Khetib
2. 発表標題 日仏のセメント種類および日本の環境条件がDEF膨張に及ぼす影響の検討
3. 学会等名 令和5年度土木学会全国大会第78回年次学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松本 歩, 浅本 晋吾
2. 発表標題 ASRとDEF及びその複合による鉄筋コンクリートの膨張挙動の検討
3. 学会等名 令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会
4. 発表年 2020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	川端 雄一郎 (Kawabata Yuichiro) (10508625)	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・港湾空港技術研究所・グループ長 (82627)	

6. 研究組織（つづき）

	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	三浦 泰人 (Miura Taito) (10718688)	名古屋大学・工学研究科・准教授 (13901)	
研究分担者	宮本 慎太郎 (Miyamoto Shintaro) (60709723)	東北大学・工学研究科・准教授 (11301)	

	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
研究協力者	トゥールモンド フランソワ (Toutlemonde Francois)	グスターヴ・エッフェル大学・Materials and Structures Department・Deputy Director	
研究協力者	マルタン ロナードピエレ (Martin Renaud-Pierre)	グスターヴ・エッフェル大学・Civil Engineering Deputy head of the EMMS laboratory・Research engineer	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
フランス	Universite Gustave Eiffel		