

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 28 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K18101

研究課題名(和文) ASRによる材料劣化および鋼材拘束がPC梁性能低下に及ぼす原因の要因解明について

研究課題名(英文) A Study on the degradation of performance of PC beam due to ASR expansion under the effect of material deterioration and constraint by prestressing tendon

研究代表者

山本 大介(Yamamoto, Daisuke)

九州大学・工学研究院・技術専門職員

研究者番号：40398095

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：ASRによる力学的性能低下と内部ひび割れ発生状況を整理し、内部ひび割れ観察から材料劣化程度を推定する方法について検討。鋼材の拘束条件がASRひび割れの抑制に及ぼす影響について整理。ASR劣化したPC梁供試体を用いて、材料劣化状態と内部ひび割れ発生状況、鋼材拘束条件、および梁構造体としての耐荷性能との関係を明らかにする、などを目的として研究を行った。その結果、ひび割れ幅の大きい損傷状態では、ひび割れ幅も考慮した評価が必要であること、拘束下でASRによる膨張が進展した場合はひび割れ長さは抑制され、また軸直角方向の拘束が無ければ、ひび割れに方向性が生じることなどが確認された。

研究成果の概要(英文)：This Research was conducted with the purpose of clarifying the relation between material degradation state and reduction of performance under occurrence of internal cracks due to ASR expansion. The research topics could divided into 3 parts.(1) Method of estimating material deterioration degree from internal crack observation.(2) Organizing the influence of restraint effect by steel on ASR crack suppression.(3) Clarify the relationship between material degradation state and occurrence situation of internal cracks, and load carrying capacity under the condition of constraint by steel bar using ASR deteriorated ASR beam specimens. As a result, crack length was suppressed in the case of damage caused by ASR under restraint, in the damaged state with large crack width, it is necessary to consider crack width, and if there is no constraint in the direction perpendicular to the axis, It was confirmed that damage direction occurs in the cracks.

研究分野：コンクリート工学

キーワード：ASR膨張 内部拘束 ひび割れ密度 ひび割れ幅 損傷の方向性

1. 研究開始当初の背景

わが国において、ASR 劣化現象は、新規建設構造物に対する ASR 抑制対策が実施されるようになって以来、そのほとんどが制御された。しかし、その後も少ないながらも ASR 劣化現象が報告されている。これらは、現行 JIS で規定される化学法やモルタルバー法では無害でないと判定される遅延膨張性骨材を用いた場合や、混合骨材としたときに発現するペンナム現象、または外来アルカリが多量に供給される供用環境の場合などに発生する。よって、ASR 劣化は国内において未だ散見されており、それら劣化構造物を適切に維持管理する必要がある。しかし、現在まで ASR を生じた構造物の性能評価技術が十分確立されておらず、合理的な維持管理計画を策定することが困難な状況にある。

ASR は膨張し始めるとその膨張を抑制することは容易ではない。また既存構造物では点検時の ASR 材料劣化程度を把握することは困難である。海外では、Damage Rate Index 法や Crack Index 法によりコンクリートのひび割れ状況から ASR 損傷度合を推定する方法が試みられているが、正確な損傷度の評価は難しく、その精度向上が求められる。また、ある膨張時点からコンクリート圧縮強度や静弾性係数が著しく低下し、コンクリート表面および内部に多数のひび割れが発生し、塩害等の複合劣化を誘発する危険性が高まる。とりわけ、PC 構造物では高強度コンクリートが用いられるため、内在アルカリ量が多く ASR が発生する危険性が高いとされている。

既往の研究では ASR 劣化した PC 構造物の曲げ耐力低下は若干であるものの、剛性低下は大きいとされている。しかし、ASR による材料劣化と耐荷能力低下の関係には未だ不明な点が多い。そのため、ASR を生じた PC 構造物の性能評価技術を発展させるためには、材料劣化と構造性能低下の関連性を解明することが必須である。

それゆえ、本研究課題では PC 構造物における ASR 劣化に着目し、材料劣化の評価手法の確立および構造性能低下メカニズムの解明を研究ターゲットとした。ASR 膨張は、使用骨材岩種、配合条件、配筋条件、供用環境により様々な挙動をとるが、供試体レベルでこれらの関係を詳細把握することにより、材料劣化と構造性能低下の一般的な関連性を解明する一助になると考えた。

2. 研究の目的

PC 構造物において ASR 劣化が生じた場合、維持管理方針を決定するために必要となる情報として、

-)現状の材料劣化程度
 -)鋼材による拘束条件がひび割れ発生に及ぼす影響
 -)現状の構造物性能評価
 -)膨張劣化終了期までの残存膨張性能
- の 4 点が挙げられる。このうち)残存膨張

性能については JCI-DDR2 法による残存膨張量評価、圧搾抽出法による現有アルカリ含有量推定、および水分の供給状態判定などにより、ある程度推定することが可能である。以下に)~)の現状の問題点を抽出する。

-)材料劣化程度；実構造物では膨張量の長さ初期値が不明なため、たとえひび割れが確認されたとしても、その時点でどの程度の膨張量かを判定することは困難。
-)鋼材の拘束条件；拘束条件と ASR 膨張抑制効果について、既往の知見が少なく十分に体系化されていない。
-)構造物性能評価；仮にコンクリートの劣化程度が判明しても、そこから部材の性能低下を把握するには、)、)の影響を明確にしたうえで構造性能評価を行う必要がある。

材料劣化(ASR 膨張量や内部ひび割れ状況)と構造性能低下(耐荷力低下や剛性低下)を関連付けて、コア採取試料による内部ひび割れ状況と内部鋼材拘束条件から、点検時の材料劣化および構造性能を評価できれば、合理的な ASR 診断および補修工法選定が可能となる。上記の項目の解明を本研究の目的とした。

3. 研究の方法

実験 A；ASR 劣化小型無筋コンクリート供試体を用いた強度特性と内部ひび割れの関連性の明確化

各膨張過程(潜伏期、進展期、加速期、劣化期、膨張収束後)の蛍光樹脂含浸法を用いたマイクロ/マクロスケールの内部ひび割れ状態と強度特性との関連について整理する。またひび割れマッピングを作成し、ひび割れ発生状況について、画像相関法を用いた載荷試験時の破壊過程のひずみ伸展過程を把握し、内部ひび割れ状況が強度・静弾性係数の低下に及ぼす影響について検討する。

実験 B；内部拘束鉄筋がひび割れ抑制に及ぼす影響

鋼材により内部拘束力を導入した供試体と、拘束力のない供試体の内部ひび割れ発生状況を、蛍光樹脂含浸法を用いて観察する。拘束力や拘束方向の違いがひび割れ抑制に及ぼす影響について、ひび割れ密度、ひび割れの方向性、などの方法を用いて評価する。

実験 C；ASR による材料劣化と PC 部材性能の低下の関連性の明確化

鋼材による膨張拘束やコア供試体の内部ひび割れ、プレストレス応力の増減に着目し、ASR 劣化の膨張における PC 梁供試体を用い、ASR によるコンクリート材料劣化と、部材としての性能低下との関係性について整理を行う。

これらを取りまとめ、内部ひび割れ等、コア試料から得られる情報と鋼材拘束条件、および部材性能評価をリンクさせ、PC 部材耐荷性能低下の原因となる要因について整理

する。

4. 研究成果

実験 A

アルカリシリカ反応 (ASR) により生じたひび割れがコンクリートの力学的性質に及ぼす影響を明らかにするため、膨張量ごとの力学的性質、内部のひび割れ性状を詳細に調査した。また、圧縮载荷試験を行うと同時にデジタル画像相関法を適用し、ASR による内部ひび割れとひずみ分布の特徴についても考察した。その結果、ASR による内部ひび割れは膨張開始初期に発生し、膨張に伴い力学的性質は低下した。また、ASR により生じた水平方向と斜め方向ひび割れに大きな縦ひずみが確認できた。これにより、载荷によってひび割れが閉じ、それに伴い変形量が大きくなり、静弾性係数が低下したと推察された。得られた結果を以下に示す。

- (A-1) 供試体内部のひび割れは、膨張量 2000 μ までは主にひび割れ総延長が増大し、膨張量 2000 μ から 4000 μ までは主にひび割れ幅が増大する結果となった。
- (A-2) W/C=40%の方が W/C=55%よりも膨張に伴う圧縮強度の低下量は大きい結果となり、W/C=40%および W/C=55%の場合でも、膨張初期の段階で静弾性係数は大きく低下する傾向を示した。
- (A-3) 膨張量 500 μ に達するまでに内部のひび割れ密度が増加したことにより、W/C=55%の圧縮強度を除く力学的性質は 500 μ において低下する結果となった。
- (A-4) 本研究では、静弾性係数は内部のひび割れ密度の影響を大きく受け、圧縮強度は内部のひび割れ密度と内部のひび割れ幅の両者の影響を大きく受ける傾向があると考えられた。

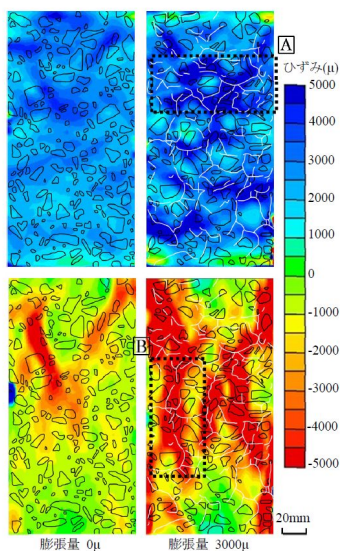


図-9 最大応力時の縦ひずみ(上段)と横ひずみ(下段)

図-1 実験 A 円柱供試体圧縮試験時画像相関最大応力時 縦ひずみ(上段) 横ひずみ(下段)

(A-5) 圧縮载荷試験を行った結果、ASR によって静弾性係数が低下するのは、水平方向と斜め方向のひび割れが閉じたためであると考えられた。

実験 B

コンクリート内部の拘束条件が、ASR による表面ひび割れ、内部ひび割れおよび力学的諸性能に及ぼす影響について検討を行うため、5 種類の拘束条件を設定したコンクリート供試体を作製し、ASR 促進膨張を行った。その結果、拘束力や拘束の方向性が ASR 損傷の進展に大きく関与し、そのため ASR 膨張やひび割れ密度、ひび割れ幅、およびひび割れの方向性もその影響を受けることを示した。またこれらに関連し、圧縮強度、静弾性係数および超音波伝播速度も拘束力および方向性の影響を大きく受けることを示した。得られた結果を以下に示す。

- (B-1) コンクリート内部に拘束がある条件下で ASR による膨張が進展した場合、表面および内部に発生するひび割れ密度やひび割れの方向性は、その内部応力条件に大きく影響を受ける。また、内部ひび割れの方が表面ひび割れに比べ、ひび割れ幅が小さいが、ひび割れ密度は大きい。
- (B-2) 鉄筋による拘束下で ASR による膨張が進展した場合、軸方向の拘束力が大きいほど、ひび割れ長さは抑制される。しかし、軸直角方向の拘束が無ければ、ひび割れに方向性が生じる。
- (B-3) 鉄筋による拘束下でスターラップの有無を比較すると、スターラップ無しでは軸直角方向のひび割れの卓越が見られ、スタ

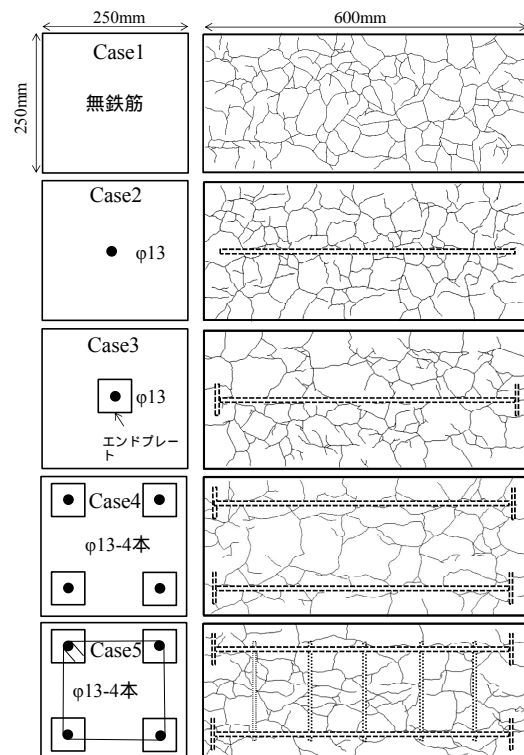


図-2 実験 B ひび割れ後の供試体概念図

ーラップ有りでは、ひび割れ密度が小さくなり、ひび割れも方向性をあまり持たなくなる。またその影響は、表面ひび割れよりも内部ひび割れで顕著であった。

(B-4)鉄筋による拘束により ASR によるひび割れに方向性が生じた場合、圧縮強度や静弾性係数、および超音波伝播速度もひび割れの方向性の影響を受ける。その場合、コア採取方向が軸方向と平行な場合よりも直角な場合に、上記 3 種の力学的性質の低下が顕著に表れる。

実験 C

ASR 反応性骨材を用いて作製され、鋼製シーソの内部に PC 鋼棒を中立軸より 35mm 下方に偏心させて配置し、引張強度の 65% の 160kN の緊張力を与えプレストレス(下縁 13.8N/mm^2 、上縁 0.4N/mm^2)を導入した PC 梁供試体を用いて、上面のみから吸水させる条件で ASR 反応

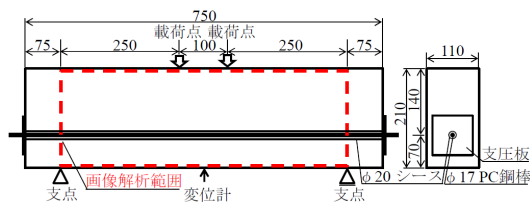


図-3 実験 C 供試体寸法

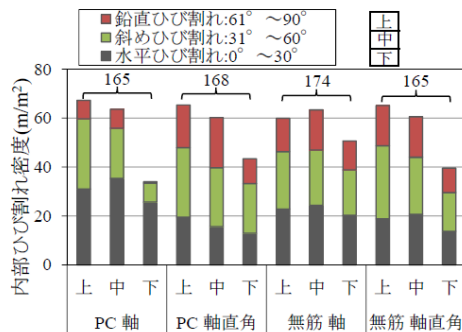


図-6 膨張量 2000μ 時の各断面の内部ひび割れ密度

図-4 実験 C 膨張量 2000μ 時の各断面の内部ひび割れ密度

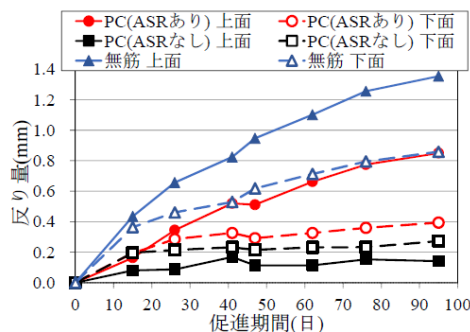


図-5 実験 C 梁供試体反り量の経時変化

を促進させ、その反応による内部ひび割れ発生状況および変形状について測定を行った。以下に、得られた知見を示す。

(C-1)促進期間47日のPC梁供試体と無筋梁供試体の内部ひび割れ密度は $165 \sim 174\text{m}^2/\text{m}^2$ であり、大差はなかった。また、PC梁供試体の軸方向の断面では、上面付近の方がプレストレスの拘束が小さくなるため、上面に近いほど、水平ひび割れの占める割合が小さくなり、斜めひび割れと鉛直ひび割れの占める割合が大きくなった。

(C-2)プレストレスの拘束により軸方向の膨張が抑制されたため、PC梁供試体の反り変形の方が無筋梁供試体の反り変形より小さくなった。

(C-3)本実験の範囲では、PC梁供試体の破壊形態は、曲げ引張破壊からせん断圧縮破壊へと変化した。これはASRによるひび割れの影響でコンクリートの力学的性質が低下したことによるものと考えられる。

上記の成果より、ASR による膨張が及ぼす力学的性状変化には、 \cdot W/C は大きな影響を及ぼさないこと、 \cdot 内部ひび割れ発生状況が ASR による力学的性状変化に大きく影響を及ぼすこと、 \cdot 鋼材による内部拘束が ASR による内部ひび割れ発生に大きく影響を及ぼすこと、 \cdot 内部拘束条件が ASR による内部ひび割れの方向性に大きく影響を及ぼすこと、等が定量的に解明でした。これらの成果は ASR により損傷を受けたコンクリート構造物の劣化診断の精度の向上に寄与するものとする。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 5 件)

1. 上面から水分供給を受ける小型 PC 梁の ASR 膨張による変形状に関する研究、田城亨、山本大介、濱田秀則、阪井峻、土木学会西部支部研究発表会概要集、査読無、Vol.28、pp.635-636、2017.3

2. ASR 膨張によりひび割れが生じたコンクリートの圧縮応力下におけるひずみ分布に関する研究：阪井峻、山本大介、濱田秀則、佐川康貴、コンクリート工学年次論文集、査読有、印刷中、2017.7

3. 異なる拘束条件下において ASR が生じたコンクリートのひび割れおよび力学的性能低下について、山本大介、濱田秀則、佐川康貴、Tarek Uddin HOHAMED、コンクリート工学年次論文集、査読有、印刷中、2017.7

4. 上面のみから水分を供給した PC 梁の ASR による変形状、田城亨、阪井峻、山本大介、濱田秀則、土木学会第 72 回年次学術講演概

要集, Vol.72, 印刷中, 2017.9

5. ASR によりひび割れが生じた PC 梁部材の曲げ載荷試験時における破壊形態, 阪井峻, 山本大介, 濱田秀則, 佐川康貴, 田城亨, 土木学会第 72 回年次学術講演概要集, Vol.72, 印刷中, 2017.9

〔学会発表〕(計 5 件)

1. 上面から水分供給を受ける小型 PC 梁の ASR 膨張による変形性状に関する研究, 田城亨, 山本大介, 濱田秀則, 阪井峻, 2018 年度西部支部研究発表会, 査読無, 2017.3.4

2. ASR 膨張によりひび割れが生じたコンクリートの圧縮応力下におけるひずみ分布に関する研究: 阪井峻, 山本大介, 濱田秀則, 佐川康貴, コンクリート工学年次大会 2017, 査読有, 2017.7.12

3. 異なる拘束条件下において ASR が生じたコンクリートのひび割れおよび力学的性能低下について, 山本大介, 濱田秀則, 佐川康貴, Tarek Uddin HOHAMED, コンクリート工学年次大会 2017, 査読有, 印刷中, 2017.7.12

4. 上面のみから水分を供給した PC 梁の ASR による変形性状, 田城亨, 阪井峻, 山本大介, 濱田秀則, 土木学会第 72 回年次学術講演会, 印刷中, 2017.9.11-9.13

5. ASR によりひび割れが生じた PC 梁部材の曲げ載荷試験時における破壊形態, 阪井峻, 山本大介, 濱田秀則, 佐川康貴, 田城亨, 土木学会第 72 回年次学術講演会, 印刷中, 2017.9.11-9.13

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕
特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本 大介 (YAMAMOTO Daisuke)
九州大学大学院・社会基盤部門・技術職員
研究者番号: 40398095

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし

(4) 研究協力者

濱田 秀則 (HAMADA Hidenori)

佐川 康貴 (SAGAWA Yasutaka)