

令和 4 年 6 月 6 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04549

研究課題名（和文）ASR補修対策後の再劣化原因の解明とそれに基づく補修戦略の提案

研究課題名（英文）Clarification of causes of redegredation after ASR repair measures and proposal of repair strategies based on the findings

研究代表者

久保 善司（KUBO, YOSHIMORI）

金沢大学・地球社会基盤学系・准教授

研究者番号：50324108

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：コンクリートの劣化原因の一つであるASR劣化においては対策後に再劣化を生じた事例が多い。これらの再劣化原因の解明を行うため、補修対策後の構造物の各種調査およびモニタリングを行った。力学的拘束のない表面保護による補修においては凍結防止剤散布下の厳しい環境下においても一定の効果が得られ、確実な効果を得るためには背面側の水分供給を抑制することの重要性が明らかとなった。力学的拘束による対策においては、効果検証のためのモニタリングを組み合わせた維持維持を行うことの重要性が明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ASR劣化は対策後に再劣化が生じやすく、維持管理対策が難しい劣化の一つである。他方、再劣化の原因の解明は十分でなく、対策効果の検証が行われた事例は少ない。本研究では、補修対策の効果検証に主眼を置き、有効な補修戦略に対する成果を得た。膨大なコンクリート構造物の維持管理において、それらの成果は、ASR劣化構造物のより効率的および効果的な補修対策の選定および実施、さらにはその後の維持管理に関して大きく貢献するものとなる。

研究成果の概要（英文）：ASR degradation is one of the causes of concrete deterioration, and there are many cases of redegredation after remedial measures. In order to clarify the causes of such redegredation, various investigations and monitoring of the structures after repair measures were conducted. The repair with surface protection without mechanical restraint was found to be effective even under the severe environment of anti-freeze application, and the importance of controlling the water supply on the back side was clarified. In the case of mechanical restraint, the importance of maintenance combined with monitoring to verify the effectiveness of the measures was clarified.

研究分野：土木材料、施工および建設マネジメント関連

キーワード：維持管理 ASR コンクリート アルカリ骨材反応 凍結防止剤 表面含浸工法

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

アルカリ骨材反応（ASR）により劣化した構造物において再劣化を生じやすく、さらに、それらの構造物の補修効果の検証が未解明のまま放置されていることが、ASR劣化構造物の維持管理がうまく機能していない大きな原因であるとの認識を得た。特に、申請者が参画しているSIP（戦略的イノベーション創造的プログラム）コンクリート橋の早期劣化機構の解明と材料・構造性能評価に基づくトータルマネジメントシステムの開発（研究代表者 鳥居和之 金沢大学特任教授 2014年度～2018年度）においては、地方自治体におけるASR劣化構造物の劣化実態、対策の現状などの調査・研究を通じて、補修対策の改善が進まない原因の一つとして、「再劣化の原因と補修効果の検証」が十分に行われていないことを痛感した。これらの現状を解決すべき課題であった。

ASRに関する研究の国内の動向として、ASR診断とその維持管理に関する研究が重要な課題として取り上げられ、過去JCI（日本コンクリート工学会）において、3つの委員会で検討が進められてきた（作用機構を考慮したアルカリ骨材反応の抑制対策と診断研究委員会、ASR診断の現状とあるべき姿研究委員会、性能規定に基づくASR制御型設計・維持管理シナリオに関する委員会）。それらの検討において、ASR補修に関しては、再劣化しやすいことが認識されている一方、補修効果の検証が十分でなく、診断および対策の改善などを阻害していることが指摘されている。

国外では、ダムや水理施設、さらには超長期耐用構造物などに発生したASRが施設あるいは構造物の重要性からモニタリングあるいは現地構造物における詳細調査などが進められ、維持管理手法の改善などが進められている。しかし、補修対策後の再劣化の原因やその解明、あるいはそれに基づく補修手法の改善などは、国内外を通じて進められていない。

## 2. 研究の目的

アルカリ骨材反応は、コンクリートに使用された骨材中に含まれる反応性珪物とコンクリート中の水溶液中にあるアルカリが反応によって生じるアルカリシリカゲルの吸水膨張によって引き起こされる。構造物内の劣化因子であるアルカリおよび骨材の除去が困難であることから、対策としては、外部からの水分供給の遮断、内部水分の逸散を目的とした塗膜あるいは含浸材などの表面処理が補修対策として実施されてきた。

外部からの水分供給を遮断した場合にも、内部に残留する水分および補修を施すことができない構造物背面側からの水分供給がある場合には、対策後もそれらの水分によって膨張が継続する可能性がある。

しかし、再劣化が生じた構造物において、再劣化の原因が調査あるいは解明された事例は皆無に等しい。確実かつ有効な対策には、「何故、再劣化を生じたのか」を詳細に明らかにする必要がある。また、再劣化は本来好ましくないものの、対策を講じていない場合よりも、水分や外部からの塩分などの劣化因子を抑制し、鉄筋腐食発生などによる部材としての性能の低下が抑制され、一定の補修効果が担保されている可能性もある。再劣化の有無のみの補修効果ではなく、「部材性能の担保の観点からの補修効果」の検証を行う必要がある。

本研究では、ASR対策後の再劣化の発生原因とともに、再劣化が生じた場合も含めて補修効果の再検証を行い、「真の補修効果」を明らかにし、より有効な補修対策の提案を行うことを奥のとした。

## 3. 研究の方法

### 3.1 ASRによる再劣化発生状況の実態分析に基づく対象橋梁選定

北陸地方におけるASR劣化調査データおよび自治体の橋梁管理データ等は集積されており、橋梁の劣化原因の分類、飛来塩分あるいは凍結防止剤散布、漏水などの環境作用に関するデータ、目視点検による健全度などの各種データ、さらには詳細点検の結果などのデータは収集・整理されている。これらのデータからASR劣化構造物における再劣化事例と環境要因との関係を把握し、補修が実施された橋梁の損傷状況を詳細に分類・整理を行うこととした。さらに、これらに基づき、再劣化原因の調査橋梁を選定した。

### 3.2 補修対策後の効果検証

#### (1) 表面保護工法

補修後の再劣化状況とその原因を解明するため、選定された橋梁において保護膜下の損傷状況、塩分浸透状況、鉄筋腐食状況の調査・分析を行った。

ASR 劣化対策および耐震補強の両者の目的から、RC 巻立て工法および鋼板巻立て工法による対策が実施された橋梁を対象として、対策後の効果検証のため、膨張モニタリングを実施した。膨張モニタリングにおいては、検長長さを大きくし、部材レベルの膨張を追跡できるよう実施した。

## 4. 研究成果

### 4.1 検討対象橋梁の選定

検討対象橋梁として、遮水系塗膜あるいは断面修復材との併用による補修後に再劣化を生じ、再劣化後の補修対策として、表面含浸材およびひび割れ注入材による対策が実施された橋梁の地覆部を選定した（橋梁 A）。橋梁 A における再劣化の現状については、本研究実施前の SIP での検討において、再劣化状況の調査が実施されており、その後に行った表面含浸材およびひび割れ注入材による効果を検証することとした。

対象橋梁 A に加えて、ASR 膨張が生じた橋脚に対して、劣化対策および耐震補強の二つの目的で実施された力学的拘束による対策の検証として、RC 巻立ておよび鋼板接着工法が実施された 4 橋梁を対象とした（橋梁 B, C, D, E）。なお、本検証開始時点において、橋梁 B においては遮水系塗膜にひび割れ等の変状が生じ、橋梁 C, D には鋼板部の塗装に腐食による変状が生じていた。また、表面保護工のない RC 巻立てによる橋梁 E においては、ひび割れ等が発生していた。

これらの再変状部の補修時および補修後において膨張モニタリング用のチップを取り付け、膨張モニタリングによる効果検証を実施した。なお、橋梁 B については塗膜除去時に塩分採取を行い、塗膜の遮塩効果を確認した。選定した橋梁の外観を写真-1 に示す。膨張モニタリングチップ貼付けの様子を写真-2 に示す。



写真-1 対象橋梁外観

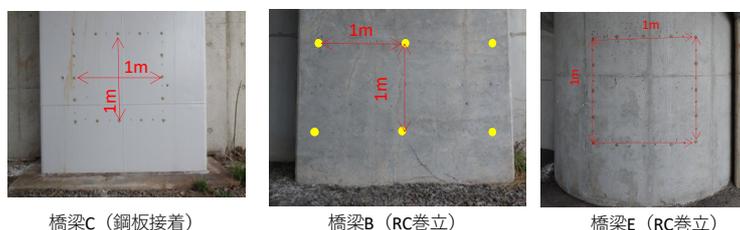


写真-2 膨張モニタリング

### 4.2 補修対策後の効果検証

#### (1) 表面保護工法

橋梁 A においては、再補修時において鉄筋腐食調査および塗膜除去による塗膜下のひび割れ観察も実施した。塗膜には 1mm 幅以上のひび割れが認められ、はつり調査の結果、ひび割れに沿った鉄筋には腐食が発生し、腐食グレードの高い段階まで進行していた。塩化物イオンの浸透は鉄筋腐食が生じる閾値には達しておらず、腐食の原因は膨張によるひび割れ部からの水分と酸素の供給によることが明らかとなった。遮水系表面処理によって塩化物イオンの浸透は抑制さ

れたものの、対策後の膨張によってひび割れおよび背面からの水分供給によって腐食の発生および進行が認められた。そのため、再補修においては、ひび割れ注入および水分逸散型の表面含浸を併用し、内部の水分逸散による乾燥と同時に外部からの劣化因子の膨張を目的とした補修対策を実施した。

本研究では、再劣化の原因の一つである背面側の水分供給の影響および再補修による効果を追跡調査によって検証した。再補修後の外観調査からは、顕著な外観変状の進展は認められず、再補修の対策による効果を確認した。また、鉄筋腐食の追跡調査結果の一例を図-1に示す。図-1には、再補修時点、補修半年後および4年後の橋軸に沿った分極抵抗測定結果を示す。再補修直後の半年後に分極抵抗には変化はなかったものの、追跡調査を実施した4年後においては、A面において大きな分極抵抗が認められた。B面ではA面ほど顕著でないものの、再補修時点よりも分極抵抗は大きくなった。背面側の路肩部には1mm以上の大きなひび割れが発生しており、再補修時時点では、路肩部の対策は未実施であったが、その後路肩部の表面被覆対策が実施され、背面側の水分供給が停止した。これにより再補修による対策効果が確実に得られたものと考えられる。

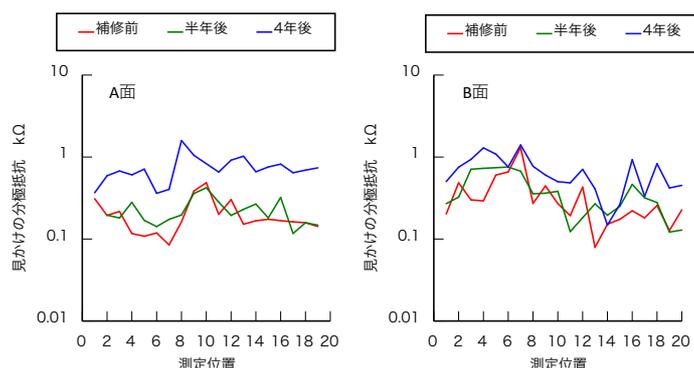


図-1 腐食測定結果

再補修時の調査および追跡調査結果から、力学的拘束のない対策においては対策後の膨張による再変状は避けがたく、塗膜系の場合には、高い遮断性が期待できるものの塗膜にひび割れが発生した場合には、ひび割れからの劣化因子の侵入により腐食が発生し、さらには、内部からの水分逸散を妨げられるため、腐食進行が容易となる可能性がある。他方、水分逸散型の含浸材の場合には、ひび割れ追従性はないものの、外部からの劣化因子の浸透を抑制するとともに、内部水分の逸散も同時に進行することができる。さらには、対策後の変状の観察が可能であり、および返上が生じた場合の再補修も塗膜系に比べると容易である。ASR そのもので顕著な劣化が生じない場合でも、膨張によるひび割れが進行する場合には、鉄筋腐食の発生および進行するため、凍結防止剤散布あるいは海水からの塩分供給を受けるなどの厳しい環境下においては、対策後の外観観察が可能かつ、内部水分の逸散が可能な表面含浸材による補修が有効であるものとかんがえられる。なお、確実な効果を得るためには、背面側の水分供給がある場合には、それらの影響を除去することはきわめて重要であることが明らかとなった。

橋梁BにおいてはRC巻立部には遮水系の表面処理対策が実施されていたが、橋梁A同様、対策後の膨張によって塗膜にひび割れが生じていた。他方、塗膜除去時に実施した塩化物イオンの浸透調査においては、内部への塩化物イオンの浸透は認められず、ひび割れの進展も軽微であった。遮水系の表面保護において変状が生じた場合にも、外部からの劣化因子の遮断効果は維持されていた。また、RC巻立てによって膨張が拘束されたため、塗膜下のひび割れは橋梁Aよりも軽微な状態が維持されていた。

## (2) 力学的拘束による補修対策の検証

橋梁Bおよび橋梁Eの橋脚部はRC巻立てによる対策が実施され、橋梁Cおよび橋梁Dの橋脚部は鋼板接着による対策が実施されていた。いずれも追跡調査実施時において、対策後10年経過していた。膨張モニタリングにおいては、コンタクトゲージおよび大型のデジタルノギスを用い、コンタクトゲージにおいては検査長250mm、ノギスにおいては検査長を1000mmとして膨張ひずみの計測を行った。検査長が短いコンタクトゲージにおいては、一辺につき、4点の計測点を設けた。1mから2mの長さを計測することで、部材レベルでの膨張を把握できるようにした。

鋼板接着による対策が実施された橋梁Cおよび橋梁Dの膨張モニタリング結果の一例を図-2に示す。モニタリング開始時期は冬季から開始した250日後の夏季の高温下において200μ程度の膨張を示すものの、その後、膨張は小さくなり、概ね膨張開始時の膨張となった。膨張の時間

に伴う変化は、季節変動に伴う温度変化と対応したものであり、鋼板接着による対策 10 年後においては膨張の収束が確認された。

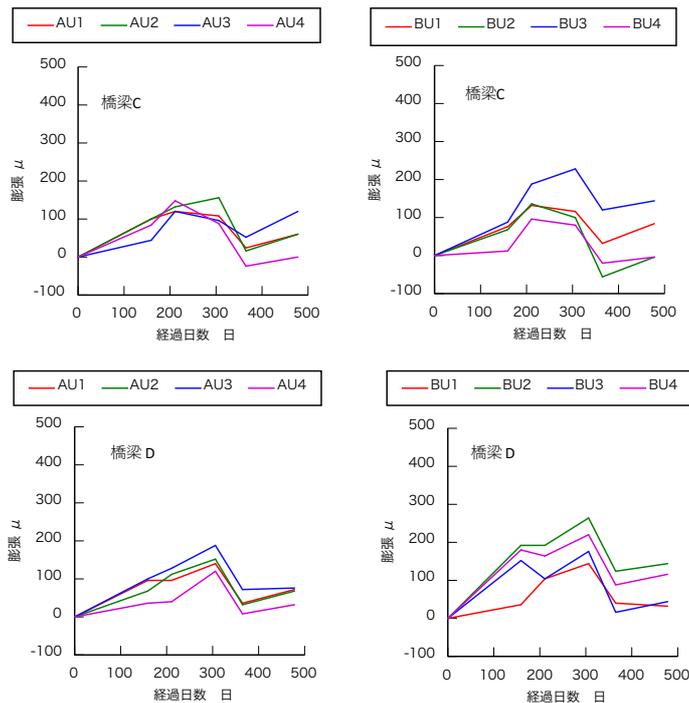


図-2 モニタリング結果（橋梁 C, 橋梁 D）

RC 巻立てによる対策が実施された橋梁 B および橋梁 E の膨張モニタリング結果の一例を図-3 に示す。鋼板巻立による橋梁 C および橋梁 D と同様に、季節的な膨張の変動挙動を示したものの、膨張は概ね収束傾向にあり、RC 巻立てによる対策約 10 年後においては膨張の収束が確認された。

橋脚などの部材厚の大きいものでは膨張が長期に渡り継続することが多い。今回の膨張モニタリングでは、このようなケースにおける対策後の膨張収束が確認された。したがって、鋼板接着および RC 巻立てによる力学的な膨張拘束が有効であるとともに、対策後の効果検証のためのモニタリングを組み合わせた維持管理の重要性も明らかとなった。一方、膨張モニタリングにおいては季節的な変動を伴うために、長期間の継続した計測が必要であり、そのことがモニタリングの導入を困難なものとしている。維持管理へのモニタリング導入を促進するためには、モニタリングへの Iot 技術の活用が今後の技術展開として期待される。

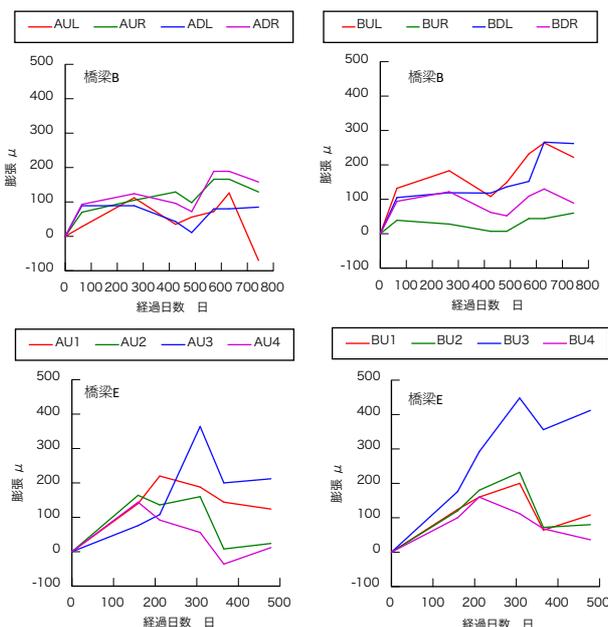


図-3 モニタリング結果（橋梁 B, 橋梁 E）

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------