

道路政策の質の向上に資する技術研究開発

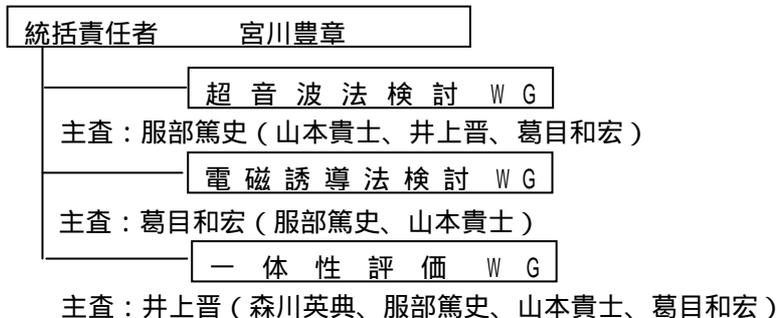
【研究終了報告書】

研究代表者	氏名(ふりがな)		所属		役職
	みやがわ とよあき 宮川 豊章		京都大学大学院工学研究 科社会基盤工学		教授
研究 テーマ	名称	ASR劣化構造物安全性能評価手法の開発			
	政策 領域	[主領域](8)道路資産の保全	公募 タイプ	タイプ	政策実現型
		[副領域]			
研究経費(単位:万円)	平成17年度	平成18年度	平成19年度	総合計	
端数切り捨て。	1,593万円	1,587万円	1,582万円	4,762万円	
研究者氏名	(研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。)				
氏名	所属・役職(平成20年3月31日現在)				
服部 篤史	京都大学大学院工学研究科・社会基盤工学 / 准教授				
山本 貴士	京都大学大学院工学研究科・社会基盤工学 / 准教授				
井上 晋	大阪工業大学工学部・都市デザイン工学科 / 教授				
森川 英典	神戸大学工学部・建設学科 / 教授				
葛目 和宏	(株)国際建設技術研究所 / 代表取締役社長				
研究の目的・目標	(提案書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。)				
<p>アルカリ骨材反応(以下ASRと略す)が顕在化した構造物の維持管理では、コンクリートの品質特性、鉄筋破断量、コンクリートと鉄筋の一体性などを、簡便に評価できる非破壊検査手法の開発が不可欠である。本研究ではこれらの非破壊検査方法として超音波法と電磁誘導法とを取り上げ、実構造物への適用事例、検出精度の検討を行って現場で実施する適切な検査手法の提案を行なうことを目的とした。</p> <p>さらにASR劣化構造物の外観状況、非破壊検査結果などから、合理的に構造安全性を評価し、構造物の管理者が補修・補強の対策を適切に選択できる手順を提案することを、本研究の究極の目標とした。</p>					

これまでの研究経過・目的の達成状況

(研究の進捗や目的の達成状況、各研究者の役割・責任分担、本研究への貢献等(外注を実施している場合は、その役割等も含めて)について、必要に応じて組織図や図表等を用いながら、具体的かつ明確に記入下さい。)

(1)研究体制



(2)目的の達成状況

1)ASR 劣化構造物に適用する非破壊検査手法の提案

超音波を斜めに透過させ、その経路毎の伝播速度の変化を分析することで、ASR による劣化深さを評価できることが分った。

電磁誘導法を用いることによって鉄筋曲げ加工部での破断の有無を評価できることが分った。

2)ASR 劣化構造物の安全性評価手法の提案

鉄筋破断の生じた ASR 劣化コンクリート部材の耐荷性能評価におけるコンクリートと鉄筋の付着・定着性能の取扱い方法をフローチャートの形式で整理することができた。

中間評価で指摘を受けた事項への対応状況

(中間評価における指摘事項を記載するとともに、その対応状況を簡潔に記入下さい。)

(1)非破壊検査に係る評価手法について、特に重点的に研究することが望まれ、より計測措置や環境条件に左右されにくい方法を検討していただきたい。

超音波による非破壊検査について、ASR 劣化状況や伝搬距離に応じた超音波の減衰について定量化するデータの収集を目的として供試体の製作や実橋からの部材切り出しを行った。

(2)非破壊検査手法については、最終的に検査マニュアルのようなものが出来ることが好ましい。

全国的な ASR の発生状況を網羅できるようなデータの収集が出来るように試験フィールドの提供を呼びかけた。また本研究でこれまで使用してきた機器や手法に拘らず、現在我が国で使用されているものの適用性についても整理を行った。

(3)鉄筋とコンクリートの一体性評価については、限られた供試体の劣化状況に依存する部分が多く、確実に一定の効果が得られるよう、慎重な研究進捗管理が望まれる。

ASR は骨材の選定や配合によってひび割れの進展速度が左右されるので、ペシマム試験で反応の大きな配合を選定するとともに、実質 2 年間の暴露期間を考慮して、一部膨張コンクリートで過大膨張を模擬する実験なども実施した。

研究成果

(本研究で得られた知見、成果、学内外等へのインパクト等について、具体的にかつ明確に記入下さい。)

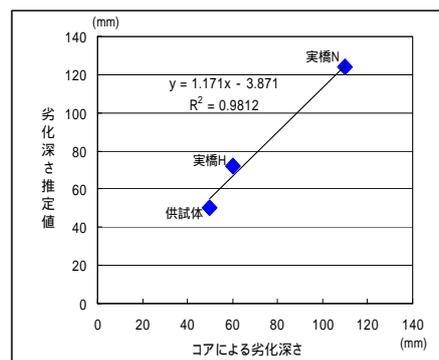
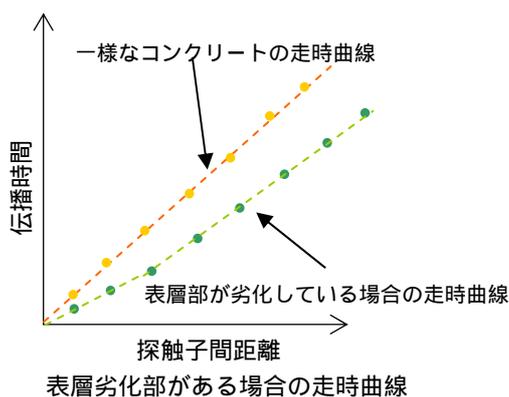
(1) 超音波法によるコンクリート品質特性の評価

ASRによる劣化が発見された場合、通常目視で観察されるひび割れ状況から劣化の程度をグレーディングによって潜伏期、進展期、加速期、劣化期と分類することが行われる。補修・補強のような対策は、このうち加速期以降の構造物を対象として検討されるが、コンクリートがASRによってどの程度膨張したのかを知ることが構造安全性能を評価する上で重要となる。

本研究では超音波法を適用することによって、コンクリートの膨張量を、透過させた超音波伝播速度、周波数特性などから推定できる可能性があるという結論が得られた。

ただし、超音波伝播速度や周波数特性には伝播距離による補正を行う必要性があり、一般的な道路橋の下部工の寸法として2～3m程度の寸法に関するデータを、少なくとも進展期以前と加速期以降に分けて広範囲に収集すれば全国的に適用できる定量的な基準値を設定できる。

本研究では斜角法を用いれば、部材表面からのASR劣化深さが推定できることが分かった。



斜角法による劣化深さ推定値と実測値との関係

この場合、探触子間距離の補正を行うこと、斜角の伝播距離を変化させながら変曲点を見つけ出すことが重要である。

超音波法はコンクリートの非破壊試験方法の中では、比較的実績の多い方法であるが、装置の規格が定められていない現状ではメーカーによって仕様が異なっている。今回の研究の範囲でも、周波数としては100kHz以下、印加電圧が1000V程度のものがASR劣化構造物を対象とした測定に適していると考えられる。

(2) 電磁誘導法による鉄筋破断の評価

電磁誘導法の測定精度を高めるため、主として以下の3点で改良を加え、かぶり100mm以内で、かつ測定対象の近傍にスペーサーや段取筋などの金属材料がなければ、鉄筋破断の有無を実橋で73～75%の信頼性で検出することが可能となった。

- ・ 多重周波による不用信号の抑制
- ・ センサ改良による不用信号の抑制
- ・ 生波形の信号処理

研究成果（つづき）



測定状況



鹿島橋 鉄筋はつり調査
(穴水側 L側はり先端部)

(3) 非破壊試験方法によるコンクリートと鉄筋の一体性評価

・はりのせん断耐荷特性

本研究では、ASR損傷を生じたコンクリートの付着強度ならびにASRによりせん断補強筋の破断したRCはりのせん断耐荷特性を検討した。得られた主な結果では、普通コンクリートはりがせん断破壊したのに対し、ASRコンクリートはりはいずれも曲げ引張破壊した。このことから、本研究で用いた供試体に見られた損傷程度では付着強度の低下はわずかであり、部材の耐荷特性に及ぼすせん断補強筋破断の影響よりはケミカルプレストレスの効果の方が卓越する結果となった。ただし、せん断強筋を破壊させた供試体では、主鉄筋に沿う膨張ひび割れが観察され、これが載荷時の付着割裂ひび割れへと進展する傾向が認められた。本研究からはせん断補強筋の破断が載荷特性に及ぼす影響は少なかったものの、今後更なる劣化を生じた場合、耐荷性状が変化する可能性があり、継続的に暴露による経時変化を観察し、所定の損傷が生じた段階で載荷試験を実施することも必要である。

・はりの曲げ載荷特性

ケミカルプレストレスが $2.0 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ 程度以上になると、ケミカルプレストレスが剛性に及ぼす影響が大きくなり、その影響によってASR劣化が進行した供試体の剛性増加が生じたと考えられる。載荷試験時のひび割れ進展状況によれば、ASR劣化供試体では、載荷の進展に伴い付着すべりが生じた可能性が考えられる。

本研究で得られたASR劣化コンクリートと鉄筋の付着に関する基本的な考え方をもとに、鉄筋破断を生じた道路橋橋脚等のASR劣化コンクリート部材の耐荷性能評価におけるコンクリートと鉄筋の付着・定着性能の取り扱い方法をフローチャートの形式で整理した。

本研究の成果は、鉄筋に沿ったひび割れの性状や鉄筋周囲のコンクリートの健全性から付着性能を判断する手法、特に、ガイドラインによる耐荷性能の評価が極度に安全側とならないように、劣化程度によって有効に機能する鉄筋とそうでない鉄筋をスクリーニングする手法として提示するものである。なお、フロー中に現れる具体的な数値に関しては、模擬実験あるいは膨張による劣化度が限られた実験データからのものであるため、今後さらにデータを蓄積して精度を上げる必要があると考えている。

研究成果の発表状況

(本研究の成果について、これまでに発表した代表的な論文、著書(教科書、学会抄録、講演要旨は除く)、国際会議、学会等における発表状況を記入下さい。なお、学術誌へ投稿中の論文については、掲載が決定しているものに限ります。)

波多野雄士, 大下寛司, 澤井健二, 井上晋: コンクリートの膨張およびせん断補強筋の付着・定着がRCはり部材のせん断耐荷性状に及ぼす影響, 土木学会第61回年次学術講演会講演概要集, pp119-120, 2006.9

成清公平, 山本貴士, 服部篤史, 宮川豊章: ASR膨張ひび割れを模擬したコンクリートと鉄筋の付着・定着性状, 土木学会第61回年次学術講演会講演概要集, pp125-126, 2006.9

大下寛司, 澤井健二, 波多野雄士, 井上晋: コンクリートの膨張およびせん断補強筋の付着・定着がRCはり部材のせん断耐荷性状に及ぼす影響, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, 第6巻, pp83-88, 2006.10

金海鉦, 葛目和宏, 山本貴士, 服部篤史, 宮川豊章: ASR劣化が顕在化した既存構造物の内部劣化の評価手法について, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, 第6巻, pp95-102, 2006.10

山本貴士, 成清公平, 服部篤史, 宮川豊章: ASR膨張ひび割れを模擬したコンクリートと鉄筋の付着特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.1, pp1293-1298, 2007.7

研究成果の社会への情報発信

(ウェブ、マスメディア、公開イベント等による研究成果の情報発信について記入下さい。ウェブについてはURL、新聞掲載は新聞名、掲載日等、公開イベントは実施日、テーマ、参加者数等を記入下さい。)

該当事項はありません。

研究の今後の課題・展望等

(研究目的の達成状況や得られた研究成果を踏まえ、研究の更なる発展や道路政策の質の向上への貢献等に向けた、研究の今後の課題・展望等を具体的に記入下さい。)

ASR劣化は、反応性骨材の種類や環境条件、構造物の形状や配筋量・間隔などによって進行速度が異なることが知られている。このため地域や構造物の種別によっては、ASR劣化が塩害、凍害などと複合して顕在化が複雑化し、外観上の特徴であるひび割れの発生状況や表面状況も異なっている可能性もある。

(1)ASR劣化深さを評価する非破壊試験方法

本研究で開発した超音波を部材の隅角部で斜め方向に透過させる方法は、コンクリート表面に過大なひび割れや浮きなどが無い状況を想定しており、全ての劣化現象に対応できるように今後研究を展開すれば適用範囲が増大する。完成させれば、補修・補強を前提とした詳細調査として定量的な評価が行える面で有効性が高いと考えられる。また、煩雑にはなるが、超音波トモグラフィへの展開も可能であろう。

(2)鉄筋破断を生じたASR劣化部材における鉄筋の付着・定着性能の取り扱い

劣化程度によって有効に機能する鉄筋とそうでない鉄筋を選別する場合の基準値が限られた範囲での実験結果によるものであることから、形状寸法のことなる供試体や劣化が著しく進行した場合に適用できるようにデータの収集を進めれば、適用範囲をより広範囲とすることが可能である。

はり供試体の載荷実験では、劣化によって生じた引張鉄筋付近のマイクロクラックによって付着すべりが生じ、ひび割れの分散性やひび割れ本数の低下が認められたことから、劣化の進行に伴う破壊形態の変化に注意が必要である。

研究成果の道路行政への反映

(本研究で得られた研究成果の実務への反映等、道路政策の質の向上への貢献について具体的かつ明確に記入下さい。)

今回開発した超音波斜角法を、複合劣化の特徴を考慮した工夫を行えば、表面から内部へのその劣化ごとの劣化深さを推定する非破壊検査手法を確立することが出来る可能性がある。例えばこの方法を、有害物質の浸透速度を推定する手段として利用すれば構造物の耐久性能を評価する分野で、また有効断面積を推定する手段とすれば耐荷性能を評価する分野で、定量的な根拠を得る試験方法として提案できる。

鉄筋の曲げ加工部での破断はASRが顕在化した場合に発見されているが、今回開発した電磁誘導法を利用すれば、直線部での破断の有無も容易に検出することができる。

ASR劣化構造物でなくても、塩害劣化が進行した構造物において、鉄筋の付着・定着性能を評価しなければならぬ場合にも、基本的には本研究で提案された考え方に基づいた検討が可能であると考えられる。

ASRによるひび割れが顕在化した場合には、付着すべりによるせん断耐荷機構の一部がアーチ機構へ移行することで、せん断耐荷力が大幅に増加する。主鉄筋が破断している場合には、これを取り囲むスターラップの破断の有無が付着が大きく影響する。提案した安全性能評価手法の適用範囲を明確に出来れば耐荷性能を過度に安全側に評価することなく、補強の効率化が図れる。

自己評価

(研究目的の達成度、研究成果、今後の展望、道路政策の質の向上への寄与、研究費の投資価値についての自己評価及びその理由を簡潔に記入下さい。)

・ 目的研究の達成度

非破壊検査手法は現地で簡便に評価できる手法となっており、また付着・定着性能を評価する手順もフローチャートとして整理されている。基礎となるデータが、ASRの多様性を考慮すると、未だ限定されたものであるとはいえ、一応のレベルまで達していると考えている。

・ 研究成果

研究成果は、一部学会などに論文発表され、全容は報告書として整理されている。

・ 今後の展望

ASR劣化状況を評価する手法として開発された非破壊検査手法や付着・定着性能の評価手法も、適用範囲を拡大できる余地を残している。これらを解決すれば、コンクリート構造物の補修・補強に先立つ詳細調査手法や耐荷性能評価手法として役立つ可能性が高い。

・ 道路政策の質の向上への寄与

研究成果を地方整備局の道路管理課の担当者に噛み砕いて説明を行えば、ASR劣化構造物の維持管理のコストを抑えて適切に実行できる可能性が生まれる。

・ 研究費の投資価値

大学の研究機関を中心に研究を実施したので、委託業務として発注するよりは民間会社経費の計上が少なく、総額でも1/3程度で済んだのではないかと考えられる。