

## 論文審査の結果の要旨

氏名：岸良 竜

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：アルカリシリカ反応により劣化した道路橋RC床版の構造性能評価とその補強方法に関する研究

審査委員：（主査） 教授 岩城 一郎

（副査） 教授 子田 康弘

日本大学教授 梅村 靖弘 九州大学准教授 小山 智幸

わが国のインフラの多くは高度経済成長期以降に集中的に建設されており、建設後50年を超えるインフラの割合が今後飛躍的に増加することが見込まれている。このうち、道路橋は、現在全国に約72万橋あるとされ、建設後50年を経過する橋梁の割合が、2019年の27%に対し、10年後の2029年には52%まで急増すると予想されている。インフラは国民生活および経済活動の基盤であり、今後は計画的に維持管理・更新を進めていく必要がある。すでにNEXCO、首都高速道路および阪神高速道路では、それぞれ保有する道路インフラの大規模更新・大規模修繕プロジェクトを立ち上げ、老朽化対策に着手している。このうちNEXCOでは、総工費約30,200億円のうち、約半分にあたる約16,500億円を道路橋の床版の更新・修繕に充てるとしており、道路橋を構成する部材の中でも、特に床版の劣化への対応が急務であることが認識されつつある。

近年、道路橋の鉄筋コンクリート(以下、RC)床版では、交通荷重の繰返しによる疲労損傷に加えて、塩害や凍害、アルカリシリカ反応(以下、ASR)といったコンクリートの材料劣化との複合劣化が顕在化しつつある。材料劣化のうちASRに着目すると、RC床版ではASRの発生は比較的少ないという認識も過去にはあったが、凍結防止剤の散布が本格化して以降、RC床版におけるASRの発生事例や損傷事例の報告が多くみられるようになってきた。RC床版の維持管理を今後効率的に行うには、ASRによるRC床版の劣化性状を把握し、その構造性能にどのような影響を及ぼすかを明らかにすることが必要である。また、国や地方公共団体を通じて財政状況が厳しい現状を考慮すると、床版自体の架け替え(更新)が困難なケースも多くなると予想され、ASRにより劣化したRC床版に対する効果的な補修・補強方法を明らかにすることも重要である。

RC床版の構造性能へのASRの影響に関する研究事例は少なく、十分な検討がなされているとは言い難い。通常、この種の検討を実験的に行う場合は、比較的高温の促進養生によりASRを急速に生じさせることが多いが、著者を含む研究グループはこれまでの検討で、ASRの反応速度がRC床版の耐疲労性に大きな影響を及ぼし、特に実環境のように促進試験と比べ緩やかにASRが進行した場合に耐疲労性が大きく低下することを明らかにしている。すなわち、ASRによるRC床版の劣化機構の解明に向けては、より実環境に即した条件下での検討が重要であるとともに、低下した構造性能を回復、向上させる補修・補強方法の確立が必要であるといえる。

以上の背景から、本研究では、ASRによるRC床版の構造性能への影響を明らかにし、効果的な補強方法を提案することを目的に実験的に検討を行った。実橋のRC床版のASRによるひび割れは、内部鉄筋に加えて鋼主桁の拘束の影響を受けると想定されることから、これらの拘束作用についても検討においては再現することとした。具体的には、屋外環境下の鋼主桁上に実物大のRC床版を作製し、約4年間、ASRによる劣化性状を評価した。また、実物大RC床版から供験体を切り出して静的載荷試験を行い、ASRがRC床版の押抜きせん断耐力に及ぼす影響について実験的に検討を行った。さらに、ASR劣化したRC床版に対してラテックス改質コンクリート(以下、LMC)を用いた部分打替え補強を行い、静的耐力および耐疲労性の向上効果を検証した。

本論文を要約すると、以下の通りである。

第1章は「序論」であり、本研究の背景となるRC床版の現状を示した後に、ASRがRC床版の構造性能に及ぼす影響の解明および補強方法の検討の必要性を示し、本研究の目的を示した。

第2章の「既往の研究」では、RC床版におけるASR損傷事例、ASRがRC部材の構造性能に及ぼす影響に関する既往の研究の要点、およびASRが生じたコンクリート構造物の補修・補強方法に関する検討事例を収集、整理し、本研究で取り組むべき課題を抽出した。まず、ASRより劣化したRC床版でみられる変状の特徴を整理し、RC床版におけるASRによる劣化機構の解明の必要性を示した。つぎに、ASRがRC床版の構造性能に及ぼす影響が十分に解明されていないことを示し、ASRに関する研究においてより実環境を再現した条件下で検討を行うことの重要性を示した。さらに、ASRにより劣化したRC床版に対する効果的な補強方法の検討の必要性を示した。

第3章の「部分打替え補強したASRと疲労の複合劣化RC床版の耐疲労性評価」では、凍結防止剤散布下におけるASRと疲労により複合劣化したRC床版を想定し、その補強方法の検討を行った。まず、ASRと疲労を実験的に生じさせたRC床版供試体を作製した後、床版供試体の上側の損傷部を除去し、LMCを用いた部分打替え補強を行った。その後、輪荷重走行試験を実施することで、部分打替え補強による耐疲労性向上効果を評価した。

得られた主な結果は、以下のとおりである。

- ・ 輪荷重走行試験における疲労限界時の等価繰返し走行回数を比較すると、補強後は補強前の178倍となり、ASRと疲労の複合劣化RC床版に対する部分打替えによる耐疲労性向上効果が明確に認められた。
- ・ 輪荷重走行試験終了後の断面観察から、疲労限界が上側鉄筋付近における水平ひび割れの発生に加え、打替え界面の剥離によって有効な床版厚さが減少し、せん断耐力が低下したことに起因したものと考えられ、部分打替えにおける既設部との一体性の確保の重要性が明らかとなった。
- ・ 強制振動試験による共振周波数比は、ASRや輪荷重走行試験による疲労損傷により大きく低下し、また、部分打替え補強後は健全時までとはいかないが回復した。すなわち、この種の非破壊検査からも耐疲労性に対する補強効果の評価が可能であると考えられた。

第4章の「鋼主桁上RC床版のASRによる劣化性状評価」では、RC床版におけるASR劣化性状についてより実環境に即した評価を行うことを目的として、鋼主桁上に実物大のRC床版を架設し、約4年間、屋外暴露環境下で各種計測を実施した。具体的には、RC床版内部に設置した埋込み型ひずみ計により、RC床版の膨張挙動をモニタリングするとともに、強制振動試験、透気試験により、劣化の進行度を評価した。また、偏光顕微鏡観察とSEM-EDS分析により、ASRの発生状況を確認した。

得られた主な結果は、以下のとおりである。

- ・ 床版内部の鉄筋による拘束を受け、RC床版におけるASRによる膨張は、水平方向より鉛直方向で卓越した。このことにより、床版内部には水平方向のひび割れが生じ、耐疲労性に影響を及ぼすと考えられる上側鉄筋位置で特に幅の大きなひび割れが生じた。また、水平方向の膨張には主桁の拘束も影響していた。
- ・ ASRの温度依存性により、実環境下のASR膨張は季節変動を示した。ASRの進行により膨張挙動を開始する温度は低下する傾向を示し、ASRの膨張は夏期に卓越するものの、この時期に限定されるものではないことが判明した。
- ・ 実体顕微鏡、偏光顕微鏡観察の結果、粗骨材の反応性リムの生成、ASRゲルの滲出、ひび割れの生成、セメントペースト中の高密度なひび割れが確認され、ASRの劣化進行度としては中程度～顕著と判定された。また、ASRゲルおよびCSHゲルの分析結果から、ASRの進行過程としては中期ステージであり、ASRによる反応余力をなお十分に有していると考えられた。
- ・ ASRによる床版供試体の膨張にともない、共振周波数比は低下し、強制振動試験はASR劣化を検知するうえで有効な手法と考えられた。
- ・ 透気試験の結果、実環境下におけるRC床版の表層品質は、床版の上下面で大きく異なることが明らかとなった。また、ASRの進行にともない透気係数は大きくなり、ASRによるひび割れを避ける計測を行えばRC床版の表層付近の状態を透気係数にて評価できる可能性が示唆された。

第5章の「鋼主桁上でASRを受けたRC床版の構造性能評価および部分打替えによる補強効果」では、第4章の実物大RC床版から供試体を切り出して静的載荷試験を行い、ASRがRC床版の押抜きせん断耐力に及ぼす影響について検討を行った。さらに、鋼主桁上の実物大RC床版上でLMCを用いた部分打替え補強を行った後に、同様に供試体を切り出して静的載荷試験を行い、部分打替えによる押抜きせん断耐力の

向上効果を評価した。

得られた主な結果は、以下のとおりである。

- ASRが生じた供試体では、ASRにより床版内部に発生した水平方向のひび割れの影響により、静的載荷による斜めひび割れが水平方向に誘導される傾向を示し、特に、供試体配力鉄筋方向では斜めひび割れが圧縮側鉄筋付近より水平方向に進展した。
- 鋼主桁や主鉄筋、配力鉄筋による拘束を受けて、ASRが中程度～顕著に進行したRC床版では静的耐力が明らかに低下することが判明し、その破壊形態や耐荷機構は、ASRにより発生した水平方向のひび割れに依存することが確認された。
- 部分打替え補強後の供試体の押抜きせん断耐力は、補強前の約1.5倍であり、LMCを用いた部分打替えが、ASR劣化RC床版の静的耐力の向上に有効であることが確認された。

第6章の「結論」では、本研究で得られた主な結果を各章ごとにまとめるとともに、今後の課題について述べた。

このような研究成果が得られたことは、論文提出者の豊富な学識と優れた研究能力を裏付けるものである。

よって本論文は、博士（工学）の学位を授与されるに値するものと認められる。

以 上

令和3年9月16日