

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】 ※令和 4 年度以前採択研究課題用

①研究代表者		氏 名（ふりがな）	所 属		役 職
		岩城一郎（いわき いちろう）	日本大学工学部		教授
②研究 テーマ	名称	データ同化をベースとした高耐久フライアッシュコンクリート舗装についての技術研究開発			
	政策 テーマ	[主テーマ] (2)持続可能なインフラメンテナンス		分科会／ 公募タイプ	タイプI, ハード分野
		[副テーマ] (4)経済の好循環を支える基盤整備			
③研究経費（単位：千円） ※端数切り捨て。実際の研究期間に応じて記入欄を合わせる こと		令和4年度	令和5年度	令和6年度	総 合 計
		46,550	35,442	19,800	101,792
④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（※令和7年3月31日現在）			
前川宏一		横浜国立大学・名誉教授			
高橋佑弥		東京大学・准教授			
小松怜史		横浜国立大学・准教授			
山野井悠翔		電力中央研究所・主任研究員			
前島拓		日本大学・専任講師			
佐藤良一		広島大学・名誉教授			

⑤研究の目的

連続鉄筋コンクリート舗装(CRCP)は、舗装版内に配置した鉄筋の拘束により微細なひび割れを分散させる構造であり、目地部を設けないことから耐久性および走行性に優れることが知られている。設計上においては0.5mm以下の微細なひび割れは構造上の問題とならないとされているが、積雪寒冷地に供用されるCRCPにおいては、初期ひび割れの幅が許容範囲を大きく超え、そこから凍結防止剤(NaCl)混じりの水が浸入することにより供用10年未満で内部鉄筋が著しく腐食したケースが報告されている。そのため、積雪寒冷地でCRCPを広く活用していくには、ひび割れ幅を適切に抑制するとともに、コンクリート自体の遮塩性を含む耐久性を向上させるといった高耐久化を図る必要がある。他方、前川・岩城らは、SIP(1期)におけるインフラ維持管理・更新・マネジメント技術の中で、実物大モデルによる実験と解析を駆使(データ同化)し、凍結防止剤散布下における道路橋コンクリート床版の耐久性向上を図るためには、フライアッシュ(FA)や膨張材(Ex)を用いることが有効であることを突き止め、三陸沿岸道路をはじめとする復興道路・復興支援道路等に実装してきた。この種のコンクリートは舗装コンクリートとしても十分に適用可能と考えられるが、当該研究分野においては、材料および配合による強度について適正配合や疲労特性を評価した事例はあるものの、凍結防止剤散布下における材料劣化を考慮した検討は成されていない。また、FAをセメントの代替として使用したコンクリート舗装については、初期強度発現性が劣るものの、長期的な強度発現性を有すること、ひび割れ発生確率が低減することが示されているが、これらの研究は無筋コンクリート(普通コンクリート舗装)を対象としたものがほとんどである。

以上の背景により本研究では、今後アスファルト舗装からの適切な転換が期待されるコンクリート舗装に対し、設計供用期間100年の実現を目指し、SIP(1期)で培ったデータ同化手法をベースに、高耐久FAコンクリート舗装の開発と実装を行うものである。

⑥これまでの研究経過、目標の達成状況

■研究の役割と体制、責任分担

図-1に本研究の実施体制を示す。本研究は、これまでコンクリート工学の分野で活躍してきた50代から70代のシニア研究者3名(岩城、前川、佐藤)と30代の若手研究者4名(高橋、小松、前島、山野井)の構成としている。

これは、シニア研究者のこれまでの研究成果(実験や解析のツールやノウハウを含む)を若手に引き継ぎ、これらの技術を新たに舗装工学の分野に適用・発展させることで、今後30年にわたりこの分野で活躍できる体制作りを意識したものである。

各研究者の役割は表-1に示すとおりであり、それぞれの役割を担うことで関係者全員が本研究開発に大きく貢献している。



図-1 研究体制

表-1 各研究者の役割および貢献度

氏名	所属	役割および貢献度
岩城一郎	日本大学	研究全体を統括するとともに、開発した高耐久連続鉄筋コンクリート舗装の実装に向けて国土交通省東北地方整備局と交渉を重ね、直轄国道での実装に結び付けた。
前島拓	日本大学	連続鉄筋コンクリート舗装の各種耐久性試験・実機試験練りや試験施工の段取り、普通コンクリート舗装横目地部の輪荷重走行試験といった実験全般を担当し、各成果を取りまとめた。
前川宏一	横浜国立大学	コンクリート工学の観点から解析全体を統括するとともに、研究全体への助言を行った。
高橋佑弥	東京大学	マルチスケール解析により高耐久連続鉄筋コンクリート舗装の長期にわたる耐久性、耐疲労性を評価した。
小松怜史	横浜国立大学	普通コンクリート舗装横目地部の定点疲労試験および FEM 解析を通じて横目地部の疲労抵抗性を評価した。
山野井悠翔	電力中央研究所	FEM 解析により輪荷重走行試験の再現解析を行うとともに、路床・路盤を含めた普通コンクリート舗装の疲労解析モデルを構築した。
佐藤良一	広島大学	舗装工学の観点から、研究全体に対する助言を行い、研究の妥当性と方向性の確認に貢献した。

■当初の研究目標とその達成度

(1) 実験による性能評価

a) 要素レベル

当初計画に従い、FAの置換率や置換方法を変更した複数のコンクリート供試体を作製し、フレッシュ性状、強度発現性、各種耐久性に関する試験を実施した。その結果、連続鉄筋コンクリート舗装に適した配合を選定することができた。また、実機製造試験においては各プラントの標準配合を基に配合選定試験を行い、既存の施工機械での施工性を満足する配合を確立した。これらの取り組みにより、当初の研究開発目標を上回る成果を得ているものと評価する。

b) 部材レベル

a.で選定されたコンクリート配合を用いて、路盤および路床を省略した舗装版供試体を作製し、環境試験装置を用いた耐久性試験およびラベリング試験機によるすり減り試験を実施した。その結果、FAを混和したコンクリート舗装は一般的なコンクリート舗装と比較して長期強度発現性および耐久性が明確に向上することが確認された。さらに、舗装表面におけるすり減り抵抗性の向上も明らかとなり、FAの混和が舗装性能に与える新たな利点として位置付けられる知見を得ることができた。これらは、当初計画に基づいた試験を着実に遂行したことにより得られた成果である。

また、普通コンクリート舗装の疲労抵抗性については、当初計画通りに輪荷重走行試験

と定点疲労試験を実施しており、本研究開発で提案する実験手法により室内実験レベルにおいても普通コンクリート舗装横目地部の耐疲労性を評価可能であることを示している。

c) 構造体レベル

当初計画通りに日本大学工学部(郡山市)のキャンパス内に路盤・路床を再現した高耐久FAコンクリート舗装モデルを構築し、打込み後の膨張収縮挙動（膨張材の効果）やASR、塩分浸透といった耐久性評価と、路盤・路床の拘束下における舗装体のひび割れ挙動について検証した。その結果、膨張材を混和したコンクリート舗装では、従来の舗装配合と比してコンクリートの収縮ひずみが小さく、過度なひび割れの発生リスクを低減し得ることを明らかとした。また、当初計画においては国立研究開発法人土木研究所の定荷重走路における疲労試験を実施する予定であったが、本研究で対象とするコンクリート舗装の耐久性を鑑みると、本研究開発期間内に著しい疲労損傷を与えることが困難であると判断したため試験を実施していない。なお、本件については本格採択1年目終了時点の中間報告会においても説明し、承認頂いたものと認識している。

(2) マルチスケール解析による性能評価

a) 耐久性評価

当初計画通りに、材料-構造応答連成解析システム DuCOM-COM3 を用いて、CRCP の体積変化挙動・応力ならびにひび割れリスクを定量化可能なモデルを構築した。本研究では、新たに膨張材水和物と骨格構造の同化に関するモデルを提案し、試験施工試験体ならびに実路施工 CRCP の体積変化挙動が再現できることを示すとともに、温度環境の厳しさによってひび割れの進展挙動が異なることを定量的に示した。

また、汎用性の高い解析ツールによるひび割れリスク評価についても検討し、各種配合を用いた連続鉄筋コンクリート舗装版内部におけるコンクリートの膨張収縮挙動を精度よく再現し得るモデルを構築した。特に、総エネルギー一定則に基づく解析手法を用いることで、膨張材を併用した配合においても十分な精度で再現し得ることを明らかとし、FA と膨張材の併用によって構造的に問題となるひび割れの発生リスクを低減し得ることを示した。

以上のように、当初の研究開発目標を上回る成果を得ているものと評価する。

b) 耐疲労性評価

当初計画通りに、材料-構造応答連成解析システムによる長期の性能評価に向けて、疲労と膨張ひび割れの複合作用ならびに長期耐久性（塩分浸透）に関する解析を実施した。本解析システムを用いることで、多様な材料条件・環境条件に置かれる連続鉄筋コンクリート舗装のひび割れリスクを算定すると共に、長期の力学性能・耐久性を評価することが可能であることを明らかとし、FA と膨張材を併用することで耐疲労性が大幅に向上することを示した。また、普通コンクリート舗装横目地部の耐疲労性についても検討し、三次元材料非線形 FEM を用いた実規模モデルの定点疲労解析により、実際の舗装版と同様の横ひび割れや縦ひび割れを再現出来ることを確認するなど、当初計画通りに研究開発を遂行している。

(3) 現場実装

当初計画通りに、東北地方整備局管内の直轄国道において提案する高耐久コンクリート舗装を実装した。実機試験練りによる配合選定および現場までの運搬時間を考慮したフレッシュ性状の確認、本施工と温度環境の近い条件での施工性および強度発現性の確認を実施するなど、入念にリスクマネジメントを施した結果、外気温 38℃という極めて厳しい条件下においても既存の機械施工で滞りなく施工可能であることを明らかにした。また、外気温 38℃という厳しい環境において FA を細骨材に置換した粉体量の大きい連続鉄筋コンクリート舗装を施工したものの、現在まで構造上問題となるひび割れは発生しておらず、膨張材の混和によって過度なひび割れの拡幅を抑制し得ることが確認された。

以上の結果より、本研究開発は当初計画通りに現場への実装を完遂しており、本研究で得られた成果を基に東北地方整備局と協議の上で手引きとして取りまとめている。

⑦中間・FS評価で指摘を受けた事項への対応状況

(1) FS評価での指摘への対応について

指摘：走行試験にあたっては従来工法との比較検討も考慮すべきである。

対応状況：本研究は、フライアッシュや膨張材といった混和材を用いた高耐久連続鉄筋コンクリート舗装の開発と実装について検討したものである。一方、FS採択時において普通コンクリート舗装目地部の疲労機構解明についても追加での検証を求められたため、輪荷重走行試験装置などを用いた普通コンクリート舗装横目地部の疲労試験およびFEM解析による検討を追加した経緯がある。そのため、普通コンクリート舗装横目地部の疲労機構に関する実験と解析についてはフライアッシュコンクリートを対象としておらず、従来工法との比較は行っていないが、これについては本格採択1年目の報告時にもその趣旨を説明し、お認めいただいたものと認識している。

指摘：フライアッシュの舗装コンクリートへの適用性を、セメントや他の混和材料の適用と比較して定量的に示すことが必要である。

対応状況：当時ご指摘いただいた意見を参考として、フライアッシュや膨張材の有無をパラメータとした解析により、従来の舗装コンクリートと各種混和材を用いた場合の塩分浸透抵抗性やひび割れリスクの評価を実施している。その結果として、フライアッシュを用いることで塩分浸透抵抗性をはじめとする各種耐久性が向上すること、さらに膨張材を併用することでコンクリート版に生じる過大なひび割れの発生リスクを著しく低下させ、これに伴い長期にわたる疲労抵抗性も向上することを明らかとしている。

(2) 本格採択1年目終了時の中間評価での指摘への対応について

指摘：膨張材の過小評価とともに、解析において圧縮ひずみの減少量の過小評価もあると考える。解析においてもひずみ変化が、実測と解析で収縮傾向がクロスする現象がみられるので、その評価が望まれる。

対応状況：1年目のFEM解析ではコンクリート版内のひずみが実測値と整合しない箇所が見られたものの、これを解決するために解析モデルを見直すとともに拘束膨張試験と細孔

径分布のデータを取得し、解析に反映させている。その結果、指摘を受けた際の解析結果よりも実測値の再現性を向上することができている。その結果から後述する2年目終了時の審査では「解析結果と実測値が良く一致している」と評価されている。

指摘：フライアッシュだけではなく高炉スラグ微粉末や膨張材などの混和材の舗装適用にまで研究の成果を応用できるため、フライアッシュの優位性を明確にしてこれらを考慮したまとめとしていただきたい。

対応状況：指摘を受け、フライアッシュの混和によるコンクリートの長期強度発現性、塩分浸透抵抗性、ASRの抑制効果が向上することを明確にするなどその優位性を示した。一方、フライアッシュよりも汎用性の高い高炉スラグ微粉末を用いた場合の各種耐久性や膨張材を単体で使用情况の収縮補償とこれに伴うひび割れの抑制効果についても定量的に示すなど、各種混和材の舗装材料としての適用性を明示している。

(3)本格採択1年目終了時の中間評価での指摘への対応について

指摘：データ同化解析と実験結果がよく一致している。この成果を『高耐久コンクリート舗装の手引き』を作成する際にどのように応用するのかを示してほしい。

対応状況：本研究で作成した解析モデルにより、温湿度データを入力することでCRCPのひび割れリスク評価が可能となった。高耐久コンクリート舗装の手引きにおいては、本解析モデルを用いて国内における代表地点10か所程度で施工時期(春夏秋冬)をパラメータとした温度応力解析を行い、施工時期によるひび割れリスクを可視化している。これにより、特別な知識や経験がなくても施工時期ごとのひび割れリスクを可視化することが可能となり、膨張材の使用有無など舗装コンクリートの配合に関する判断を支援する手段として活用できる。

指摘：鉄筋コンクリート舗装であるため長期の塩分浸透性の更なる低減が望ましい。

対応状況：最終年度の研究において、本研究で用いた舗装コンクリート配合は、施工時期や地域にかかわらず路面に発生するひび割れが鉄筋位置まで進展しないことを明らかにし、従来のCRCPよりも大幅に塩分浸透抵抗性が向上することを明らかにしている。

指摘：題目にある「データ同化をベースとした」の箇所について、どのような一般化された技術が示されるのか明確になるとよい。

対応状況：「データ同化をベースとした」技術とは、ひずみや温湿度といった実際の観測データを解析モデルに組み込むことで、従来の一方向的な予測モデルよりも現実性と柔軟性を備えた評価手法を指している。道路橋コンクリート床版をはじめとする数多くのコンクリート構造物において用いられている手法であり、舗装においても十分に展開可能な一般技術となり得ると考える。

⑧研究成果

本研究は、高度な実験と解析を駆使したデータ同化により、FAの特性を生かした性能評価に基づく高耐久コンクリート舗装を開発し、東北地方をはじめとするこの種の舗装を真に必要なとする現場に実装したものである。主な研究成果を以下に示す。

- 1) FAを置換したコンクリート舗装は、一般的なコンクリート舗装と比して塩分環境下での耐久性が明らかに向上すること、若材齢の強度発現性を阻害することなく長期の強度増進効果が見込まれること、またこれらに伴い舗装表面におけるすり減り抵抗性が向上することを明らかとした。
- 2) 実機試験練りによる配合選定および現場までの運搬時間を考慮したフレッシュ性状の確認、本施工と温度環境の近い条件での施工性および強度発現性の確認を実施するなど、入念にリスクマネジメントを施したうえで秋田県内の直轄国道において実装した。その結果、外気温38℃という極めて厳しい条件下においても既存の機械施工で滞りなく施工可能であること、構造上問題となるひび割れの発生がないことを示した。
- 3) 連続鉄筋コンクリート舗装のひび割れリスクについて、汎用性の高い解析ツールにより評価した結果、各種配合を用いた連続鉄筋コンクリート舗装版内部におけるコンクリートの膨張収縮挙動を精度よく再現し得ることを示した。特に、総エネルギー一定則に基づく解析手法を用いることで、膨張材を併用した配合においても十分な精度で再現し得ることを明らかとし、秋田県内の直轄国道で実装した連続鉄筋コンクリート舗装においてもコンクリート版内の膨張収縮挙動を適切に再現可能な解析モデルを構築した。
- 4) 材料-構造応答連成解析システムDuCOM-COM3を用いて、CRCPの体積変化挙動・応力ならびにひび割れリスクを定量化し、膨張材を用いることで引張応力に基づいて算定されたひび割れリスクが低減することが示された。また、長期の性能評価に向けて、疲労と膨張ひび割れの複合作用ならびに長期耐久性（塩分浸透）に関する解析を実施した結果、FAと膨張材を併用することで、長期の力学性能・耐久性が向上することを明らかとした。
- 5) 輪荷重走行試験装置を改造した上で普通コンクリート舗装横目地部の疲労試験を実施した結果、提案手法により実路で見られる横目地部の損傷状態を再現可能であることが示唆され、本試験方法によりコンクリート舗装横目地部の劣化進展過程を評価可能であることが示された。また、三次元材料非線形FEMを用いた実規模モデルの定点疲労解析により、実際の舗装版と同様の横ひび割れや縦ひび割れを再現出来ることを確認した。
- 6) これらの試験結果を踏まえ、本研究で得られた知見を『高耐久コンクリート舗装の手引き』としてとりまとめた。

本研究は、高耐久FAコンクリート舗装の開発のみならず、既に実道にまで実装を完了しており、さらに連続鉄筋コンクリート舗装のひび割れ性状を含めた耐久性・耐疲労性に関する新たな評価手法を提案している。これらの成果は、効率的なマネジメントサイクルの構築が強く望まれている道路舗装分野において極めて先導的な知見を与えているものと考えられ、コンクリート舗装の耐久性向上や、コスト縮減を目指すだけでなく、産業副産物や枯渇資源の有効利用といった環境負荷低減型舗装を目指す点でも先導性があり、独創性の高い研究手法により得られた成果は国内外を問わず大きなインパクトを有している。

⑨研究成果の発表状況

A.査読付き論文

- 1) H.E. Joo, T. Nagata, Y. Takahashi, Cracking Risk Evaluation on Continuous Reinforced Concrete Pavement with Supplementary Cementitious Materials and Expansive Additive, Journal of JCI, 46(1), pp.565-570. 2024
- 2) 相内豪太, 菅野日南, 前島拓, 岩城一郎, “フライアッシュと膨張材を併用した高耐久連続鉄筋コンクリート舗装の開発と実装”, 土木学会論文集, Vol.81, No.1, 24-00155, 2025.11.

B.著書

なし

C.国際会議

- 1) Tomoki Nagata, Hyo Eun Joo, Yuya Takahashi: Investigation of the Influence of Asphalt Layer Bonding on the Strain and Stress Behavior of Continuously Reinforced Concrete Pavement, The 3rd ZHITU Symposium on Advances in Civil Engineering, Tokyo, 20-22 August, pp.78-80, 2023
- 2) Tomoki Nagata, Hyo Eun Joo, Yuya Takahashi: Numerical Simulation of Early Age Strain Behavior of Lab-scale Specimens and Full-scale Continuously Reinforced Concrete Pavement with Expansive Additives, The 3rd International Conference on Green Construction and Engineering Education, Bali, 8-10 August, 2023
- 3) Hyo Eun Joo, Tomoki Nagata, Yuya Takahashi: Numerical Investigation on Cracking Risk of Continuous Reinforced Concrete Pavements, The 3rd International Conference on Green Construction and Engineering Education, Bali, 8-10 August, 2023
- 4) Zongyao He, Takuya Maeshima, and Ichiro Iwaki, “Analytical Study on Durability of Continuous Reinforced Concrete Pavement Mixing Various Admixtures”, 13th International Conference on Concrete Pavement, 2024, pp.906-914.

D.学会の大会等での口頭発表

- 1) Tomoki Nagata, Hyo Eun Joo, Yuya Takahashi, : Performance Evaluations of Continuous Reinforced Concrete Pavement with Fly Ash and Expansive Additives, 次世代構造技術者の Work in Progress 2024, 第70回構造工学シンポジウム, 2024 (ポスターセッション)
- 2) 菅野日南, 前島拓, 岩城一郎, 白井悠, 阿合延明“凍結防止剤散布下におけるフライアッシュを混和したコンクリート舗装の各種耐久性評価”, 令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会, V-442, 2021.9.
- 3) 何宗耀, 菅野日南, 前島拓, 岩城一郎, 各種混和材を用いた連続鉄筋コンクリート舗装のひび割れリスクに関する解析的検討, 第27回舗装工学講演会, PL2022-13,

2022.8.

- 4) 菅野日南, 相内豪太, 何宗耀, 前島拓, 岩城一郎“フライアッシュを混和した舗装コンクリートのフレッシュ性状および耐久性評価”, 第 27 回舗装工学講演会, 2022.8.
- 5) 菅野日南, 相内豪太, 何宗耀, 前島拓, 岩城一郎, “フライアッシュを混和したコンクリート舗装の諸物性に関する基礎的検討”, 令和 4 年度土木学会全国大会第 77 回年次学術講演会, V-85, 2022.9.
- 6) 紅林虎太郎, 白鳥卓実, 菅野日南, 何宗耀, 前島拓, 岩城一郎, 各種混和材を併用した連続鉄筋コンクリート舗装の膨張収縮挙動に関する実験的検討, 令和 4 年度土木学会東北支部技術研究発表会, V-10. 2023.3
- 7) 何宗耀, 相内豪太, 前島拓, 岩城一郎, 各種混和材を用いた連続鉄筋コンクリート舗装のひび割れ解析に関する検討, 第 28 回舗装工学講演会講演集, PL2023-035, 2023.8
- 8) 何宗耀, 相内豪太, 前島拓, 岩城一郎, 各種混和材を用いた連続鉄筋コンクリート舗装のひび割れリスクに関する解析的検討, 令和 5 年度土木学会全国大会第 78 回年次学術講演会, V-188. 2023.9.
- 9) 前島拓, 何宗耀, 相内豪太, 岩城一郎, 吉田雅義, 村岡克明, 藤谷雅嘉, フライアッシュと膨張材を併用した連続鉄筋コンクリート舗装の各種耐久性評価, 第 35 回日本道路会議, 3078, 2023.
- 10) 真島寧生, 何宗耀, 相内豪太, 前島拓, 岩城一郎, 藤井洋志, フライアッシュと膨張材を併用した連続鉄筋コンクリート舗装の現場実装, 令和 5 年度土木学会東北支部技術研究発表会, V-21. 2024.3
- 11) 相内豪太, 前島拓, 岩城一郎, 真島寧生, “フライアッシュと膨張材を用いた連続鉄筋コンクリート舗装の実装”, セメント技術大会, 2024.5

E.その他(受賞歴など)

- 1) 前島拓, 何宗耀, 相内豪太, 岩城一郎, 吉田雅義, 藤谷雅嘉, 村岡克明: 第 35 回日本道路会議で優秀賞を受賞, 2023.
- 2) 真島寧生: フライアッシュと膨張材を併用した連続鉄筋コンクリート舗装の現場実装, 令和 5 年度土木学会東北支部技術研究発表会にて研究奨励賞を受賞

⑩研究成果の社会への情報発信

- 1) 日経コンストラクション: 2023 年 10 月号, pp12-17.
- 2) 日経クロステック: 地産地消で高耐久コンクリート舗装
<https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/mag/ncr/18/00031/101200059/>
- 3) コンクリートテクノ: 2025 年 7 月号登載決定

⑪研究の今後の課題・展望等

本研究により、FAと膨張材を併用した新たな高耐久連続鉄筋コンクリート舗装の実装に関して、材料特性や耐久性評価にとどまらず、実機試験練りによる配合選定、現場までの運搬時間を考慮したフレッシュ性状の確認、さらには実施工と同等の温度条件下での施工性および強度発現性の検証を行うことで、施工前のリスクマネジメントの重要性を具体的に示すことができた。これらの成果は、実用化を見据えたコンクリート舗装設計・施工における極めて有益な知見であると考えられる。また、施工時における各種条件（環境条件、施工時期、舗装構成）を入力することで、FAや高炉セメントB種と膨張材を組み合わせた配合におけるひび割れリスクを事前に評価可能とする解析モデルを構築し、特にマルチスケール解析により、長期的な構造性能を定量的に予測する基盤的手法を確立した。これにより、ひび割れを抑制可能な配合設計と、合理的な構造設計の実現が期待される。

さらに、普通コンクリート舗装の横目地部における疲労破壊機構に着目し、比較的短期間で実損傷を再現可能な新たな室内実験手法を提案するとともに、長期的な耐疲労性を評価可能な解析モデルを構築した。今後、この実験手法に基づく試験データを蓄積し、疲労解析モデルへ反映（データ同化）することで、より精度の高い劣化予測および適切な構造設計・補修設計の確立を目指す。

今後は、現場施工した舗装の長期耐久性を評価するため、追跡調査や各種耐久性試験を継続して実施するとともに、FAを用いたコンクリートのすり減り抵抗性が向上するメカニズムについて詳細な検討を進めるとともに、FAの品質変動を考慮した適切な配合設計手法について検討する予定である。また、これらの検討結果を解析モデルに反映（データ同化）させることで、コンクリート舗装の劣化予測モデルの精度向上を目指すとともに、FAを用いた高耐久コンクリート舗装の本研究で得られた知見を取りまとめた『高耐久コンクリート舗装の手引き』を用いて、積雪寒冷地を中心に高耐久なコンクリート舗装の利用拡大を図る予定である。

⑫研究成果の道路行政への反映

本研究では、FAや高炉セメントを用いることで舗装コンクリート自体の耐久性を向上させるとともに、膨張材の併用によりひび割れリスクを低減する高耐久コンクリート舗装配合を見出した。また、施工条件や配合特性、気象条件等を入力することで、ひび割れ性状や耐疲労性を定量的かつ長期的に評価可能とする解析モデルを構築し、設計段階から耐久性を重視した舗装の維持管理計画の策定が可能であることを示唆している。これにより、舗装健全度の診断精度の向上とともに、補修や更新の時期・方法の最適化が図られ、長寿命化とライフサイクルコストの低減に資する設計・維持管理手法として、道路行政への貢献が期待される。さらに、直轄国道における現場実装に至るまでの適切な導入プロセスを提示した。これは、近年研究開発が進んでいるカーボンニュートラルに資する新たな材料を用いた舗装の実装を図る際の参考になりうるものであり、従来コストや施工経験の不足から導入が進まない新たな舗装材料を標準化する際に、性能実績と合理的な評価手法を提示することの重要性を示している。今後は、これらの研究成果を国土交通省や土木学会、道路協会の各種技術図書や地方自治体の舗装技術マニュアル等へ反映させ、全国的な普及と標準化を図ることで、持続可能な道路インフラの構築に資するものと考えられる。

⑬自己評価

本研究は、FAや高炉セメントおよび膨張材を併用した高耐久連続鉄筋コンクリート舗装の新たな構造技術を開発するにとどまらず、限られた研究期間内で直轄国道への実装を確実に達成し、当初に掲げた研究目標を高い水準で達成した。特に、ひび割れリスクを施工前に定量的に評価可能とする解析モデルの構築、塩分浸透抵抗性やすり減り抵抗性といった耐久性の大幅な向上、さらには実施工に対応したリスクマネジメントの体系化は、設計・施工・維持管理の各段階において実務的かつ即戦力となる成果である。

さらに本研究は、学術面でも高く評価されており、研究期間中に土木学会東北支部研究奨励賞、ならびに国内最大規模の道路関連会議における優秀賞を受賞するなど、その独創性と社会的意義が広く認知されている。加えて、産業副産物の有効利用と舗装の長寿命化を通じた環境負荷低減を実現する舗装技術として、国や地方自治体が進める脱炭素化社会の実現にも合致しており、地方自治体への技術導入支援にも直結する成果を挙げている。

これらの点から、本研究は道路政策の質の抜本的な向上に資する極めて価値の高い取り組みであり、研究費に対する投資効果も極めて大きいと自負している。また、本研究は30代の若手研究者を中心に実験や解析を行ったことから、今後も長きにわたって研究が進捗することが期待され、成果のさらなる社会実装と全国的な展開を通じ、持続可能で強靱な道路インフラの構築に引き続き貢献していく所存である。