

令和 5 年 9 月 28 日現在

機関番号：53301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02226

研究課題名（和文）100年間コンクリート舗装を使うための戦略的な技術体系の構築

研究課題名（英文）Development of Strategic Design and Maintenance Technology for 100 Year Serviceable Concrete Pavements

研究代表者

西澤 辰男（Nishizawa, Tatsuo）

石川工業高等専門学校・環境都市工学科・客員研究員

研究者番号：00143876

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 10,800,000円

研究成果の概要（和文）：コンクリート舗装を100年間に渡って効率よく使うための2つの戦略を構想した。1つは直しやすいコンクリート舗装として目地ありコンクリート舗装(JPCP)、他方は50年以上の構造的寿命を持った連続鉄筋コンクリート舗装(CRCP)である。特にJPCPについては、円形走行路における13年にわたる走行試験の結果から、目地および路盤の劣化が課題として浮かび上がった。その対策として新しい目地構造の構想を見出した。CRCPについては横ひび割れ部からの水の浸入によって鉄筋が腐食し、水平ひび割れが観測された。これがCRCPの長期耐久性に大きく影響することが判明した。今後この対策が検討課題であることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

交通運輸を支える舗装施設においては、アスファルト舗装に比べ、コンクリート舗装の構造的寿命は長い。それでも、100年の時間軸で考えれば50年以上の構造的寿命、構造診断、延命補修技術などを含めた戦略的な技術体系が必要となる。

本研究では、パフォーマンスモデルに基づいて、50年以上の耐久構造物の創出、非破壊構造診断法および予防的補修技術の開発、さらにはこれらの要素技術を戦略的に組み合わせたコンクリート舗装技術の体系化を目指す。現存するコンクリート舗装の延命、今後増加してくる打換えによる更新にもこの技術体系を役立て、持続可能な社会基盤の構築に貢献する。

研究成果の概要（英文）：In this study, two strategic technologies for using concrete pavement over 100 years were investigated. The first one is jointed plain concrete pavement (JPCP) and the other is continuously reinforced concrete pavement (CRCP). Based on the long term observation on test JPCP under the large number of wheel load applications, it was founded that it degraded due to joint and base course degradation, both of which were triggered with corrosion of dowels. The counter measures of those issues were examined by using non-corrodable dowel bar and non-erodable base course. As for CRCP, field survey on existing CRCP revealed that horizontal cracks from corroded rebar caused severe cracks. Increasing the amount of rebar is considered a good measure to prevent the water infiltration from the transverse cracks. The benefit of the measure should be investigated in the future.

研究分野：舗装工学

キーワード：コンクリート舗装 長期耐久性観測 FWD試験 逆解析 耐腐食ダウエル 連続鉄筋コンクリート舗装 水平ひび割れ

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

コンクリート舗装は、路床・路盤の上にコンクリート版を敷いた舗装である。温度や湿度によるコンクリート版の体積変化を吸収するために目地を設けたコンクリート舗装 (Jointed Concrete Pavement: JCP) が一般的である。JCP の目地には、荷重伝達を確保するために鉄筋 (ダウエルバー) を入れている。戦後の当初、道路はコンクリート舗装が大半であったが、1970 年以降施工費が安価なアスファルト舗装に取って代われ、現在ではコンクリート舗装のシェアは国道の 5% 足らずに過ぎない。しかしながら、近年の原油精製技術の進歩、原油価格の高騰や世界情勢の不安定化で、アスファルト材料の供給自体に不安が生じている。さらに社会基盤施設の長寿命化、防災や環境対策などの要求もあって、特に重交通道路や都市間道路においてコンクリート舗装の復権のきざしがある。

そこで、道路協会舗装委員会、セメント協会研究所、土木学会舗装委員会は連携してコンクリート舗装の技術的な課題を調査し、その有効な活用方法を検討してきた。そこで浮かび上がってきたのは、長寿命なコンクリート舗装を耐久財として位置づけ、100 年間程度使い続けるための戦略に欠けているという問題であった。このような戦略が成り立てばライフサイクルコストも大幅に減らすことができる。このために、現在の設計寿命の 2 倍以上の 50 年という構造的耐久性を持ったコンクリート舗装の実現が不可欠である。さらに、その実現のためには、そもそもコンクリート舗装の劣化過程は具体的にどのようなものなのかを明らかにしなければならない。その上で、そのような劣化過程を定量的に表現する長期的パフォーマンス予測システム開発し、長期的なパフォーマンスのシミュレーションを実施することによって、100 年間使い続けるコンクリート舗装の新たな技術の創出が可能となる。

2. 研究の目的

本研究では、コンクリート舗装のライフステージを定量的に表現する長期的パフォーマンス予測システム開発し、そのモデルによる長期的なパフォーマンスのシミュレーションに基づいて、50 年以上の耐久的構造の創出、非破壊構造診断法および予防的補修技術の開発、さらにはこれらの要素技術を戦略的に組み合わせたコンクリート舗装技術の体系化を目的とする。このためには、コンクリート舗装の長期的なパフォーマンスの把握が最も重要な課題である。

これまでの経験から想定される JCP の劣化過程は以下のものであると考えられている。まず、横目地のダウエルバーが腐食や破断して荷重伝達機能が減少し、大きなたわみにより路盤の塑性変形が進行する。さらに水が加わると空洞がコンクリート版の下に形成され、段差が生じてコンクリート版の応力が増加する。空洞が拡大して応力が増加すると疲労が加速、最終的には疲労ひび割れが発生する。このような劣化過程がどのような時間軸で推移していくかを試験舗装における観測結果や、シミュレーションによって明らかにしていく。その結果に基づいて、コンクリート舗装の構造的な寿命を延ばすための構造設計や維持管理の戦略を探っていく。

3. 研究の方法

交通荷重の繰返しによるコンクリート舗装の長期的な構造的変化を調べるために、図 1 に示すような土木研究所の円形走行荷重載荷試験路に、図 2 に示すコンクリート舗装を施工し、13 年にわたって 49kN 換算輪数 (Equivalent Standard Wheel Load: ESWL) にして 500 万輪以上の交通を作用させてその挙動を観測してきた。力学的変化を見るために、ESWL10 万輪走行毎に重錘落下たわみ測定装置 (Falling Weight Deflectometer: FWD) によりコンクリート版中央および目地縁部のたわみを計測し、たわみの変化を観測した。

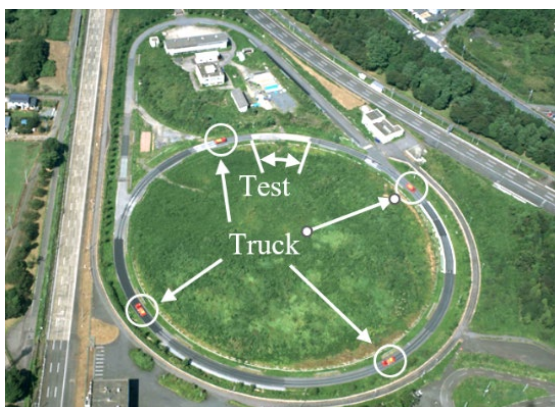


図 1 円形走行荷重載荷試験路

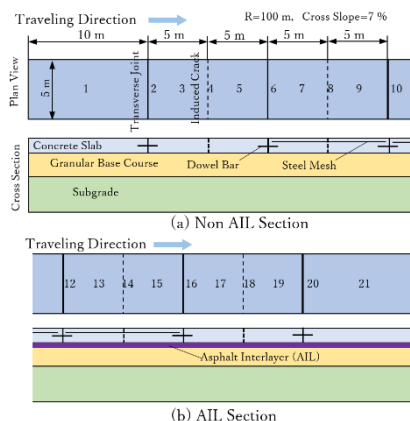


図 2 試験舗装の構造

FWD によるたわみからコンクリート舗装の各層の弾性係数や、横目地の荷重伝達装置の有効性および路盤支持状態を推定するための逆解析法を開発した。この逆解析法は、コンクリート舗装の劣化状態を図3のように仮定し、FWDの動的荷重によるコンクリート舗装の変形を図4に示す3次元有限要素法(3 Dimensional Finite Element Method: 3DFEM)によってモデル化してシミュレートした。その結果とFWDによって計測されたたわみ形状を比較することによって、舗装の劣化状況を推定するものである。そのスキームを図5に示す。この逆解析法によってFWD たわみからどのような劣化状態にあるかを推定することが可能である。

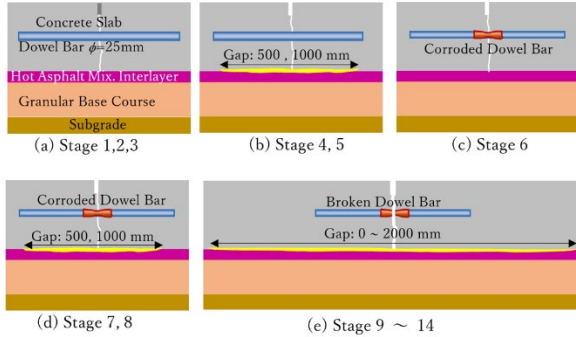


図3 横目地劣化モデル

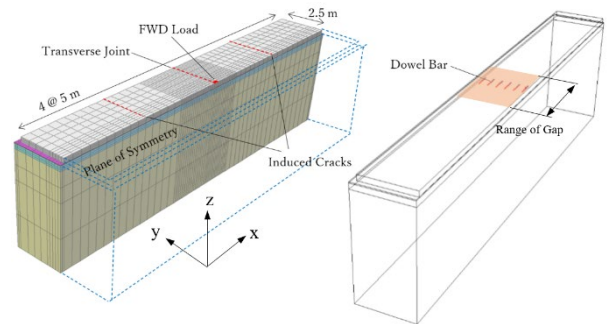


図4 3DFEMモデル

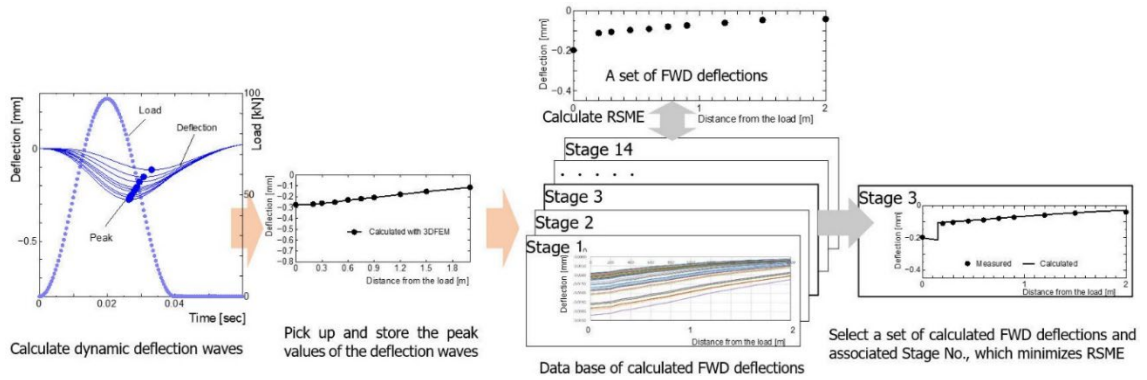


図5 動的逆解析法による劣化状態の判定スキーム

4. 研究成果

荷重履歴に伴う構造的な変化を評価するために、走行試験中定期的にFWD試験を行い、その測定たわみを使ってコンクリート舗装の劣化状況を考慮した動的逆解析を行った。まず、本研究で開発した逆解析法の妥当性を検証するために、逆解析によって推定された構造パラメータと劣化モデルを使って、FWD試験結果と比較したものが図6である。動的たわみ波形やたわみのピーク値が試験結果を良く再現していることが確認された。

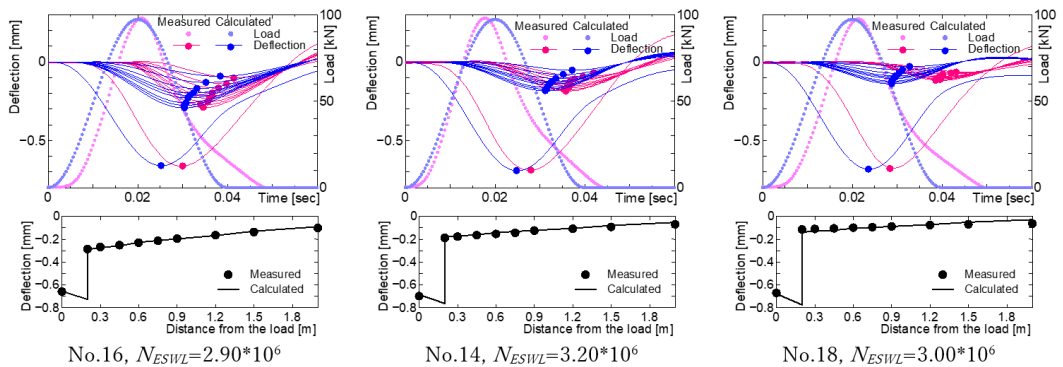
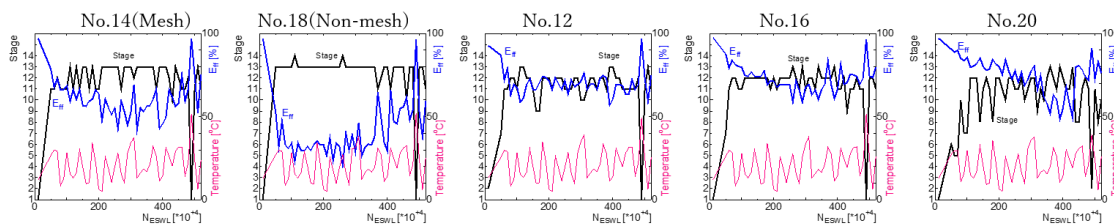
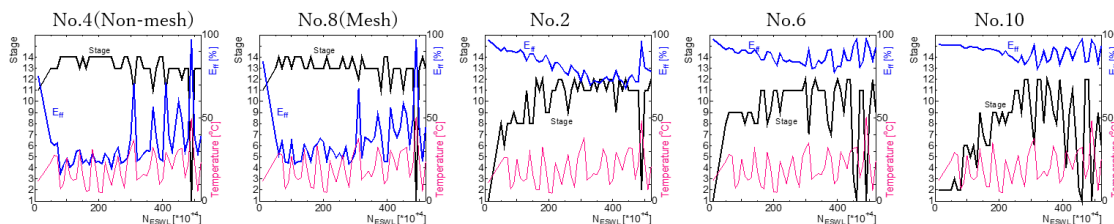


図6 動的逆解析法の妥当性の検証

逆解析結果として試験区間の横目地およびひび割れ部の劣化 Stage と ESWL 数の関係をまとめたものが図 7 である。ESWL520 万輪の時点で、中央部での劣化はほとんど進行していないが、図に示すように、ひび割れ部での劣化の進行は非常に早いと推定された。目地部での劣化の進行は、ひび割れ部に比べて緩慢であるが、300 万輪を超えると目地の荷重伝達は失われ空洞の発生も推定された。これらの結果より、横目地の劣化は予想よりも早く始まることが分かった。



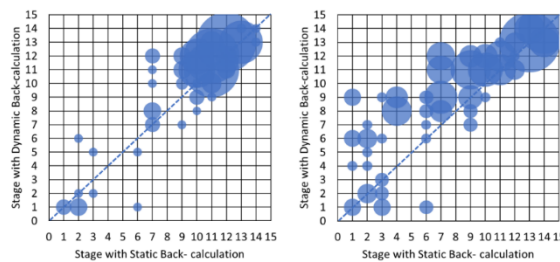
(a) AIL Section (No. 14, 18: Induced Cracks, No.12, 16, 20: Transvers Joints)



(b) Non-AIL Section (No. 4, 8: Induced Cracks, No.2,6,10: Transvers Joints)

図 7 逆解析によって推定された劣化 Stage の変化

静的逆解析による同様の推定を行い、動的逆解析結果と比較した。図 8 は静的逆解析と動的逆解析による劣化 Stage の比較である。目地部においては動的逆解析法による方がやや厳しい判定となったが、劣化が進んだ場合はほぼ同様であった。曲げ応力については、動的逆解析法による方がやや大きな値となった。層弾性係数についてはばらつきが大きく両者に明確な相関は得られなかった。



(a) AIL Section

(b) Non-AIL Section

図 8 静的逆解析と動的逆解析の比較

円形走行路のコンクリート舗装区間の一部において、横目地の劣化が進んでいると思われる 2 か所の開削調査を行った。まず、事前にコンクリート版にコアをあけて、コア穴からコンクリート版と路盤の界面をカメラで観測した。その後、横目地から両側 1.5m 程度を丁寧に切り取り、目地部をそのまま取り除いて路盤面を観測した。コア穴の観測より、コンクリート版とアスファルト中間層の間にわずかな隙間を観測した。粒状路盤面では、隙間は明確ではなかった。コンクリート版を取り除いた後に路盤面を観察したところ、粒状路盤面では、路肩側において路盤材料の細粒分が流され砂利化が進行していた。また、図 9 に示すように、アスファルト中間層では横目地部に沿って水の流れた後が見られ、この部分に隙間が存在していたことが推測された。



図 9 アスファルト中間層表面の状況



図 10 腐食性ダウエルバーによる補修

以上の結果から、横目地の劣化を抑制することでコンクリート舗装の長寿命化が可能であることが判明した。そこで、開削した部分については、最近開発された超早強コンクリートおよび図 10 に示すような耐腐食性のダウエルバーを使用した補修を行った。引き続き走行載荷試験を実施して、これらの補修部分の耐久性を観測していく予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 西澤辰男, 寺田 剛, 藪 雅行, 小梁川 雅, 竹内 康	4. 巻 79
2. 論文標題 円形走行路載荷試験におけるコンクリート舗装の長期的構造変化の動的逆解析による再評価	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 土木学会論文集	6. 最初と最後の頁 1-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscej.22-00309	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 西澤辰男, 寺田 剛, 藪 雅行, 小梁川 雅, 竹内 康	4. 巻 77
2. 論文標題 円形走行路載荷試験におけるコンクリート舗装の長期的な荷重支持性能のFWDによる評価	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集E1 (舗装工学)	6. 最初と最後の頁 39-52
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejpe.77.1_39	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 竹内 康, 川名 太, 山中 光一, 木幡 行宏, 関根 悦夫	4. 巻 78
2. 論文標題 小型FWDを用いた路床のレジリエントモデュラスの材料定数推定手法の提案	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集E1 (舗装工学)	6. 最初と最後の頁 40-51
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejpe.78.1_40	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 西澤辰男, 小梁川 雅, 竹内 康, 寺田 剛, 藪 雅行	4. 巻 25
2. 論文標題 FWDによる円形走行路載荷試験におけるコンクリート舗装の構造的変化の評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 舗装工学論文集	6. 最初と最後の頁 45-52
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejpe.76.2_1_45	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Tatsuo Nishizawa
2. 発表標題 Development of Strategic Design and Maintenance Technology for 100 Year Serviceable Concrete Pavements in Japan
3. 学会等名 2022 International Conference for Road Engineers (ICRE 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tatsuo Nishizawa
2. 発表標題 Dynamic Back-calculation for Evaluating Structural Degradation of Transverse Joint in Concrete Pavement
3. 学会等名 102th Annual Meeting of Transportation Research Board (TRB) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tatsuo Nishizawa
2. 発表標題 Degradation Process of Cracks and Doweled Joints of Concrete Pavement Observed on a Circular Accelerated Pavement Testing Roadway for 5.2 million of ESWLs
3. 学会等名 14th International Symposium on Concrete Roads (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tatsuo Nishizawa
2. 発表標題 Degradation Process of Cracks and Doweled Joints of Concrete Pavement Observed on a Circular Accelerated Pavement Testing Roadway for 5.2 million of ESWLs
3. 学会等名 101th Annual Meeting of Transportation Research Board (TRB) (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔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
研究分担者	小梁川 雅 (Koyanagawa Masashi) (00175340)	東京農業大学・地域環境科学部・教授 (32658)	
研究分担者	藪 雅行 (Yabu Masayuki) (30391626)	国立研究開発法人土木研究所・土木研究所(つくば中央研究所)・上席研究員 (82114)	
研究分担者	高橋 茂樹 (Takahashi Shigeki) (60796259)	金沢工業大学・工学部・教授 (33302)	
研究分担者	津田 誠 (Tsuda Makoto) (60818566)	石川工業高等専門学校・環境都市工学科・教授 (53301)	
研究分担者	竹内 康 (Takeuchi Yasushi) (90271329)	東京農業大学・地域環境科学部・教授 (32658)	

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