

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 5 日現在

機関番号：32665

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K14806

研究課題名（和文）床版の劣化を考慮した橋面アスファルト舗装の疲労損傷機構に関する研究

研究課題名（英文）Study on Fatigue Damage Mechanism of Bridge Surface Asphalt Pavement Considering Deterioration of Concrete Deck

研究代表者

前島 拓 (MAESHIMA, Takuya)

日本大学・工学部・講師

研究者番号：20845630

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）：本研究は、研究事例が極めて少ないといえるコンクリート床版とアスファルト舗装の相互依存性について実験的に検討するものである。

砂利化を模擬したコンクリート版上にアスファルト混合物を敷設した供試体を作製し、水浸ホイールトラックング試験を実施した結果、床版の支持力低下によってアスファルト舗装の疲労抵抗性が低下すること、砂利化が生じた床版においてはアスファルト混合物のバインダ種や試験温度に係わらず床版の支持力低下によって橋面舗装が早期破壊に至ることを明らかとした。さらに、試験後における損傷状況から、舗装版上面に亀甲状のひび割れが確認され、本試験方法によりポットホールを再現し得る可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、国内外を問わず研究例の少ない床版の劣化とアスファルト舗装の相互依存性について実験的に検討したものであり、当該研究分野における基礎的な知見を得られた点で学術的価値は高いと考えられる。また、実際の道路橋で見られるアスファルト舗装から土砂が噴出するといった現象を再現し得る試験方法を提案するとともに、道路橋床版の劣化がアスファルト舗装の早期破壊に影響を及ぼすことを明らかにするなど、これまでにない新たな着眼点から道路橋の長寿命化に寄与する知見を与えている。また、本研究で提案した試験方法は土工部におけるアスファルト舗装の疲労抵抗性を評価可能であり、今後の研究発展に大いに期待できると考える。

研究成果の概要（英文）：This study aims to experimentally investigate the mutual dependence between concrete deck and asphalt pavement, which can be considered to have a very small number of case studies. Test specimens were created by laying asphalt concrete on concrete decks that simulated aggregates disintegration, and water immersion wheel tracking tests were conducted. The results revealed that the fatigue resistance of the asphalt pavement decreases due to the reduction in the support strength of the concrete decks, and regardless of the binder type or test temperature of the asphalt concrete, the bridge pavement is subject to early failure due to the reduction in the support strength of the concrete decks when aggregates disintegration on the concrete decks. Furthermore, based on the damage status after the test, tortoise shell shaped cracks were observed on the surface of the pavement slab, indicating the potential for reproducing potholes using this test method.

研究分野：舗装工学

キーワード：橋面アスファルト舗装 コンクリート床版 疲労抵抗性 砂利化

1. 研究開始当初の背景

近年、道路橋の疲労損傷が深刻な問題となっており、その劣化/損傷機構の解明は工学的な重要課題であるといえる。道路橋を構成する部材の内、鉄筋コンクリート床版(以下、RC床版)では、砂利化といわれる床版上層部が土砂のように多孔質化する劣化事例が多く報告されている。床版コンクリートの砂利化は、床版上面に敷設されるアスファルト舗装が損傷することで雨水や融雪水が床版上に浸入し、そこに交通荷重が作用することで発生すると考えられている。この砂利化現象により、床版上層部が脆弱化するに伴い、床版上にある防水層やアスファルト混合物の劣化/損傷を促進させることは容易に想像できる。このように、道路橋を構成する床版・防水・舗装については、部材同士に相互依存性があることは明白であり、3層構造であることを考慮したうえで損傷メカニズムの解明や性能評価をすることが望まれる。しかし、既往の研究では、道路橋を構成する床版・防水・舗装の各層での検討は進められてきているものの、これらの相互依存性について研究した例は極めて少ない。今後、国内にストックされた膨大な道路橋を効率的に維持管理していくには、各部材での性能評価に加え、部材間の相互依存性を定量的に評価することが重要である。

昨今、高速道路橋における床版の架け替えや、床版コンクリートの高耐久化が早急に進められている。しかし、その機能を十分に発揮させるには、道路橋を構成する3層を三位一体として考えたうえで各部材の損傷メカニズムを究明し、これに立脚した維持管理手法を確立する必要がある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、RC床版上層部の劣化がアスファルト舗装の耐疲労性に及ぼす影響について実験的に検討し、当該研究分野における基礎的なデータ・ノウハウを蓄積することにある。

当該分野における既往の研究では、コンクリート床版とアスファルト舗装それぞれの疲労抵抗性を検討した例がほとんどであり、これらの相互依存性を評価する手法が確立されていないのが現状である。

そのため、本研究では①相互依存性を検討し得る試験方法を確立するため、模擬損傷としてコンクリート版上層部に空隙部および土砂を埋設したコンクリート版上にアスファルト混合物を敷設した供試体を作製し、ホイールトラッキング試験装置(写真-1)を用いた疲労試験(以下、WT試験)を行うことで、橋面舗装の疲労抵抗性が評価可能な実験条件を選定した。次に②実際の橋梁で見られる土砂の噴出現象を再現可能な試験方法を開発するとともに、模擬損傷の大きさや水の有無、アスファルト混合物の種類をパラメータとした試験を行い、各種要因がアスファルト混合物の疲労抵抗性に及ぼす影響を実験的に検討した。また、③WT試験よりも高負荷の試験が可能なハンブルグWT試験装置(以下、HWT試験装置で写真-2)を用いた試験を行い、ポットホールの再現が可能な試験条件の選定についても併せて検討した。

3. 研究の方法

(1)疲労抵抗性が評価可能な試験方法の選定¹⁾

本研究では、まず、アスファルト混合物の厚さ(30mm、



写真-1 WT試験装置

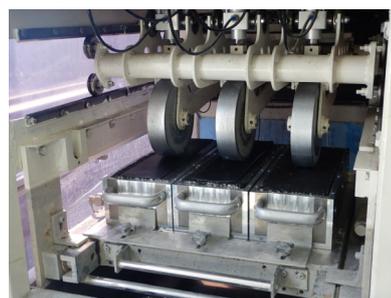


写真-2 HWT試験装置

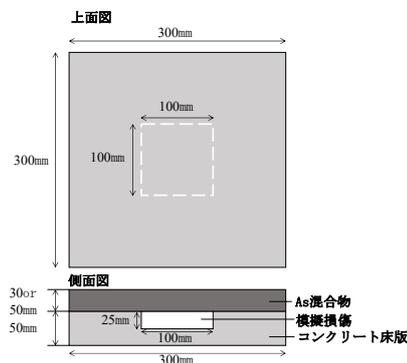
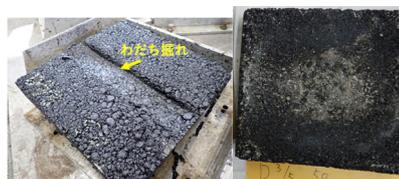


図-1 供試体概要(予備試験)



図-2 舗装版の反り上がり



(a) 舗装版上面 (b) 舗装版下面
図-3 舗装版上下面の損傷状況

50mm)および環境温度(40℃、50℃)をパラメータとした橋面舗装供試体(図-1)に対してWT試験を実施し、橋面舗装の疲労抵抗性を評価可能な試験方法を選定した。その結果、いずれの供試体においても舗装版端部に反り上がり(図-2)が生じ、これに伴いアスファルト混合物下面でひび割れの再現には至らなかった(図-3)。

(2)WT試験による橋面舗装の疲労抵抗性評価¹⁾

(1)の試験で用いた供試体ではコンクリート版の劣化が舗装版の破壊に及ぼす影響を評価することが難しく、特に舗装版を疲労破壊させるためにはアスファルト混合物の流動性および舗装版端部の反り上がりの抑制が必要であることが明らかとなった。また、輪走行直下の模擬損傷において変状が認められなかったことから、模擬損傷の寸法および種類をパラメータとした試験を実施する必要があると判断された。そこで、環境温度を40℃、舗装版の厚さを30mmとし、新たに開発した舗装版端部の浮上り防止治具(図-4)を装着した上で模擬損傷の種類および寸法をパラメータとした試験を実施することで橋面舗装の疲労抵抗性について実験的に検討した。

表-1に実験条件を示す。表より、前述した試験結果を踏まえて模擬損傷の種類および寸法をパラメータとした。模擬損傷の寸法は図-5に示す通り、240×240×25mmと280×280×25mmの2水準とした。損傷寸法280mmの供試体では、模擬損傷範囲による舗装版の破壊性状を評価するため1)損傷なし(H)、2)コンクリート用細骨材および粗骨材を混合した材料(G+S)、細粒分が洗い流されて粗骨材のみが残存した状態を想定した3)コンクリート用粗骨材(G)を埋設した3条件とした。一方、実橋においては床版コンクリート上層部に水が介在する状態で交通荷重が作用するため、コンクリート用細骨材が摩耗されて細粒化する可能性が考えられる。そこで、損傷寸法240mmの供試体については4)最大粒径150 μ mの硬質砂岩砕砂(FS)、および5)GとFSを2:3の割合で混合した材料(G+FS)を加えた計5条件で試験を行った。アスファルト混合物は、一般に橋面舗装の基層に用いられる密粒度アスファルト混合物(13)とした。また、アスファルト混合物の破壊が比較的生じやすいように、バインダにはストレートアスファルト(針入度60~80)を用いた。舗装版はコンクリート版上にローラコンパクタにより締固めて敷設した。荷重条件は荷重荷重686 \pm 10N、荷重速度42往復/minであり、通常の水浸WT試験と同様としたが、本試験では局所的な損傷を評価するため供試体中央から \pm 115mmの範囲で輪荷重を往復走行させた。試験時における環境温度は40℃一定とし、試験方法により走行回数15000回まで実施した。

計測項目は、リニアゲージによる変位量と走行回数、および舗装版上下面に生じたひび割れの観察とした。ひび割れの観察は走行回数約2500回毎に試験を一時中断して舗装版上下面のひび割れ発生状況を目視により観察した。

(3)HWT試験装置を用いた橋面舗装の疲労抵抗性評価

(2)の試験ではバインダにストレートアスファルトを使用していたが、高速道路で使用される改質アスファルトを用いた橋面舗装についてはWT試験では疲労損傷を与えることが難しく、疲労抵抗性に関する検討ができなかった。そのため、WT試験装置よりも高荷重かつ高速で疲労試験が可能なハンブルグホイールトラッキング(HWT)試験装置を用いた疲労試験により、バインダの種類が橋面舗装の早期破壊に及ぼす影響について実験的に検討した。図-6に供試体概要を示す。供試体は、(2)の実験同様に水セメント比50%のコンクリート版(150×400×30mm)上に加熱アスファルト混合物(150×400×30mm)を敷設した。また、模擬損傷のない健全供試体(H)とコンクリート版上面に模擬損傷部(100×350×25mm)を設けた劣化供試体(D)の2条件を作製した。なお、コンクリート版の模擬損傷部には、コンクリート用粗骨材と硬質砂岩砕砂を3:2の割合で埋設して砂利化を模擬した。加熱アスファルト混合物は、橋面舗装に用いられる最大粒径13mmの密粒度アスファルト混合物とし、バインダにストレートアスファルト(針入度60~80で以下、St)と改質II型アスファルト(以下、改II)を用いた2条件とした。

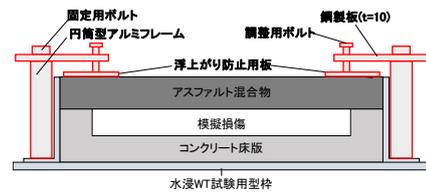


図-4 浮上り防止治具

表-1 実験条件

ID	使用材料	模擬損傷の寸法 (mm)
1	H 損傷なし	なし
2	G コンクリート用粗骨材(最大粒径13mm)	280×280×25
3	G+S Gと細骨材(最大粒径5mm)を2:3で混合	240×240×25
4	FS 最大粒径150 μ mの硬質砂岩砕砂	
5	G+FS G:FSを2:3で混合	

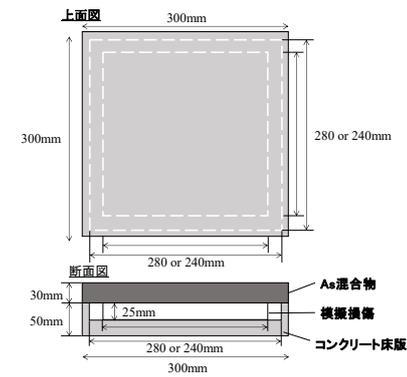


図-5 供試体概要(本試験)

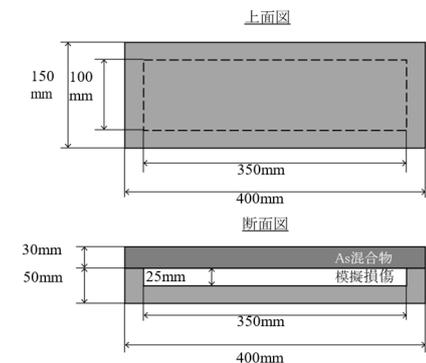


図-6 供試体概要(HWT試験)

本試験に用いた HWT 試験装置は重交通下における高耐流動性アスファルト混合物の剥離抵抗性やわだち抵抗性の評価に用いられる試験装置であり、WT 試験装置と比較して高荷重かつ高速での疲労試験が可能である。本検討では、アスファルト混合物下面から 5mm まで水浸した条件で試験槽内温度(40℃、60℃)をパラメータとし、載荷荷重 1200N、走行距離 280mm、載荷速度 50 往復/min で試験を行った。なお、HWT 試験時の計測項目は変位量、走行回数および目視による損傷状態の観察であり、リニアゲージによる車輪の走行範囲内の変位量が 15mm、あるいは走行回数が 15000 回に達するまで試験を実施した。

4. 研究成果

(1) WT 試験による橋面舗装の疲労抵抗性評価¹⁾

図-7 に模擬損傷の種類をパラメータとした WT 試験結果として、変位量と走行回数の関係を示す。なお、本検討は N=3 で実施したが、供試体間のバラツキはほとんど生じなかったため、各供試体の代表値を示す。図より、模擬損傷供試体は、いずれも載荷初期に生じるわだち掘れの影響により変位が急増する傾向であり、特に FS、FS+G では顕著な増加が見られた。その後は、健全供試体では変位が一定に推移する傾向を示したが、模擬損傷供試体はいずれも走行回数に伴い変位が増加する傾向であった。模擬損傷供試体の変位量は、FS が最も大きく、その後は FS+G、S+G、G、H の順であり、模擬損傷に使用した骨材の粒径が小さいほど変位が大きくなる傾向であった。また、S+G では走行回数 10000 回時点で舗装版上面に水の滲出が確認され、FS および FS+G では走行回数 1000 回時点で砂混じりの泥水が噴出した(写真-3)。これは、舗装版上下面を貫通するひび割れが生じ、さらに輪荷重によって水圧が作用したことで 150 μ m 以下の細粒砂がコンクリート版上の水と同時に噴出したものと考えられる。この現象は、実橋においてアスファルト舗装面から土砂が噴出する現象と酷似しており、本試験方法により実橋面舗装の損傷状態を再現可能であることが示された。図-8 に試験終了時における模擬損傷部の状況を示す。図より、G では試験前後で大きな差異はなかったが、その他の供試体ではいずれも模擬損傷材料が走行範囲外に流動している状態であった。特に試験時の変位が大きい FS および FS+G では細粒分の流動が顕著であったことから、泥水化した模擬損傷直上に輪荷重が作用することで模擬損傷が流動し、舗装版の支持力が低下したことにより変位が増加したのと考えられる。図-9 に S+G、FS+G の舗装版に生じたひび割れの密度と走行回数の関係を示す。S+G では載荷初期では下面のひび割れが卓越するものの、走行回数 10000 回時点で上面のひび割れ密度が急増する結果であった。これは、前述した水の滲出が見られた回数と一致しており、模擬損傷直上に輪荷重が作用することで舗装版下面に曲げひび割れが発生し、さらにこのひび割れが上面まで貫通したことでコンクリート版上面に水が滲み出したものと考えられる。なお、FS+G においてはひび割れを観察した走行回数 2500 回時点で舗装版上面のひび割れ密度が高い結果であったが、前述の通り走行回数 1000 回時点で細粒分の噴出が見られたことから、ひび割れ観察時点では既に貫通ひび割れが生じていたものと推察される。図-10 に FS+G の水浸有無をパラメータとした WT 試験の結果として、変位量と走行回数の関係を示す。図より、水浸状態では走行初期段階に変位が急増するのに対して、乾燥状態では走行初期段階における変位が明らかに小さく、その後も一定に推移する結果であった。図-11 に舗装版に生じたひび割れの密度

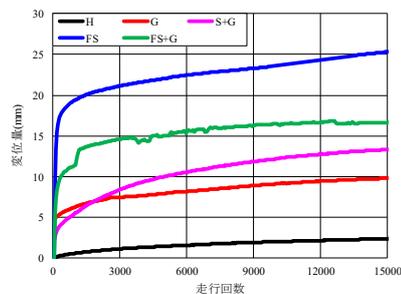


図-7 変位-走行回数



写真-3 試験中における土砂噴出

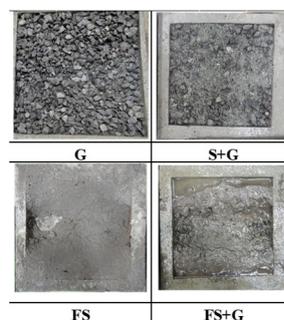


図-8 模擬損傷の状態

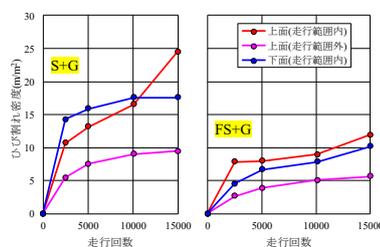


図-9 ひび割れ密度(模擬損傷)

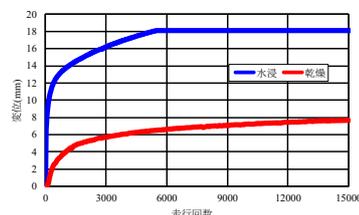


図-10 水浸有無の比較

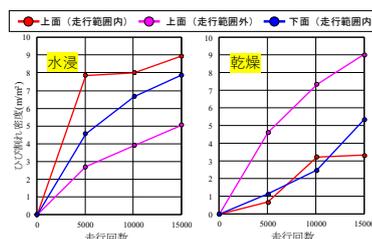


図-11 ひび割れ密度(水浸有無)

と走行回数との関係を示す。水浸条件では、走行回数によって舗装版上下面でひび割れが増加するのに対し、乾燥条件では上面の走行範囲外でひび割れが卓越した。これは、水浸条件では前述の模擬損傷部の流動に伴う支持力の低下により舗装版に曲げひび割れが進展し、このひび割れから細粒分と水が噴出することにより、床版の支持力が著しく低下したものと考えられる。一方、乾燥条件では試験後における模擬損傷部の流動が軽微であったことを確認しており、床版の支持力低下がほとんどなかったことから舗装版上面でわだち掘れのみが進展したものと推察された。

(2)HWT 試験による橋面舗装の疲労抵抗性評価

図-12 に HWT 試験結果として、アスファルト混合物下面から 5mm まで水浸した条件における変位と走行回数の関係を示す。なお、図中の凡例は、バインダの種類-試験槽内温度(°C)-模擬損傷の有無で表記している。図より、健全供試体(H)については試験温度が高い 60°C で変位が大きく、また改質バインダを用いた供試体では塑性変形抵抗性が高いという前述した WT 試験と同様の結果であった。一方、模擬損傷部を設けた劣化供試体(D)では、バインダの種類や試験温度に係わらず载荷初期から変位が急増する傾向を示した。また、いずれの供試体においても 500 回～1000 回走行時に舗装版上面から土砂の噴出が確認されたため、この段階で舗装版に貫通ひび割れが生じたものと考えられる。その後は、St を用いた供試体はいずれも変位の増加が顕著であり、5000～6000 回で 15mm に達した。一方、改 II を用いた劣化供試体では、载荷初期の変位は St と同程度であったが、その後は変位が線形に増加する傾向を示し、St よりも明らかに疲労抵抗性が向上する結果であった。写真-4 に試験終了時における供試体上面の損傷状況を示す。図中の赤線は目視で観察した輪走行範囲内のひび割れを示している。なお、St-60-H の右側端部については、供試体を型枠から取り出す際に破損したものである。写真より、健全供試体はいずれも走行範囲の端部で数本ひび割れが生じる程度であり、バインダの違いによる明確な差異はなかったが、St-60-H では表面にフラッシュ(アスファルトの浸出)が確認され、高温条件下で輪荷重によって圧密されたことで材料分離が生じたものと推察される。一方、劣化供試体はいずれも健全供試体よりもひび割れが顕著であり、特に St を用いた供試体ではひび割れが走行範囲内で広く発生した。また、St-60-D についてはひび割れが亀甲状に生じる傾向であり、本試験によってポットホールを再現し得る可能性が示唆された。

(3)HWT 試験による橋面舗装の疲労抵抗性評価

本研究では、床版の砂利化が橋面舗装の疲労抵抗性に及ぼす影響について検討した。その結果、砂利化部が高含水状態にある条件では細粒分の泥水化により床版の支持力が低下し、そこに輪走行作用が加わることでアスファルト舗装版上下面を貫通するひび割れの発生を促進させ、この貫通ひび割れが生じることでアスファルト舗装の疲労抵抗性が著しく低下することを明らかとした。また、砂利化直上にある橋面舗装は、バインダの種類や試験温度に係わらず床版の支持力低下によって橋面舗装が早期破壊に至ることを明らかとし、橋面舗装の疲労抵抗性には、試験温度よりもバインダの影響が大きく、床版の支持力が低下している状態においても、塑性変形抵抗性の高い改質 II 型を用いることで疲労抵抗性が向上することを示した。今後は、舗装版を表基層で構成するなど、より実環境に即した試験を実施し、橋面舗装に生じるひび割れやポットホールの発生機構について検討する予定である。

【参考文献】1) 斎藤優佑, 前島拓ほか: 床版コンクリート上層部の劣化が橋面アスファルト舗装の早期破壊に及ぼす影響, 土木学会論文集 E1(舗装工学), Vol.77, No.2(舗装工学論文集第 26 巻), I_59-I_66, 2021.

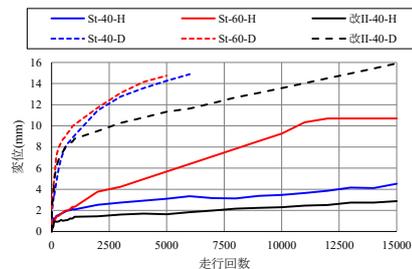


図-12 変位-走行回数(HWT 試験)

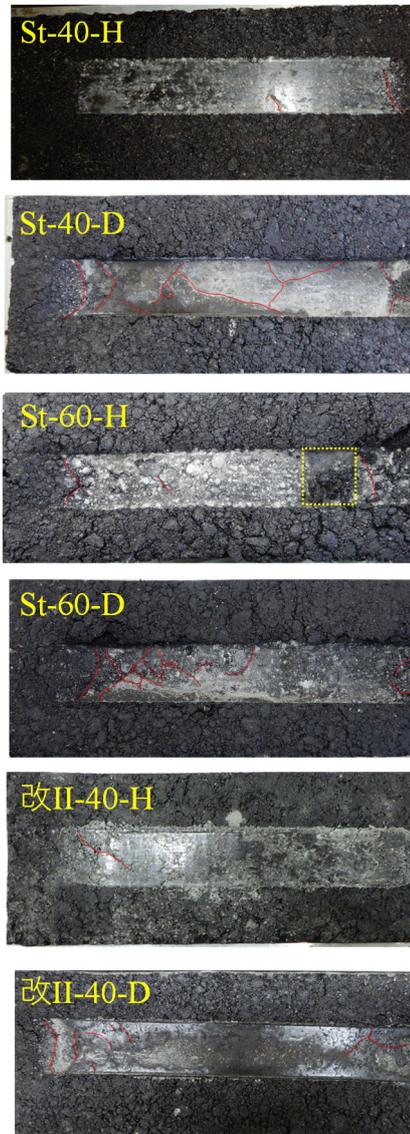


写真-4 HWT 試験後の損傷状況

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1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 SAITO Yusuke, MAESHIMA Takuya, SAWADA Minako, SAITO Kento, IWAKI Ichiro	4. 巻 77
2. 論文標題 EARLY DESTRUCTION OF BRIDGE SURFACE ASPHALT PAVEMENT AFFECTED BY THE DETERIORATION OCCURRING IN BRIDGE DECK UPPER LAYER	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. E1 (Pavement Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_59 ~ I_66
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2208/jscejpe.77.2_I_59	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 0件）

1. 発表者名 齋藤優佑, 前島拓, 齋藤賢人, 丸島孝和, 岩城一郎
2. 発表標題 ホイールトラッキングによる橋面アスファルト舗装の疲労損傷機構に関する基礎的検討
3. 学会等名 令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 齋藤優佑, 前島拓, 岩城一郎, 渡邊昌直, 白井悠, 内藤英樹
2. 発表標題 局所振動試験によるアスファルト舗装の損傷度評価に関する実験的検討
3. 学会等名 第34回日本道路会議
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 齋藤優佑, 前島拓, 岩城一郎, 齋藤賢人, 丸島孝和
2. 発表標題 ホイールトラッキング試験による橋面アスファルト舗装の疲労損傷機構に関する基礎的検討
3. 学会等名 令和2年度土木学会東北支部技術研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 齋藤優佑, 前島拓, 澤田美那子, 齋藤賢人, 岩城一郎
2. 発表標題 床版コンクリート上層部の劣化が橋面アスファルト舗装の早期破壊に及ぼす影響
3. 学会等名 令和2年度土木学会舗装工学講演会
4. 発表年 2021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
---------------------------	-----------------------	----

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