

橋面アスファルト舗装の疲労抵抗性に関する基礎的研究

田中 暁¹・前島 拓²・齋藤 賢人³・岩城 一郎⁴

¹学生会員 日本大学大学院工学研究科博士前期課程（〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原 1）

E-mail: ceak23006@g.nihon-u.ac.jp

²正会員 日本大学専任講師 工学部土木工学科（〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原 1）

E-mail: maeshima.takuya@nihon-u.ac.jp(Corresponding Author)

³正会員 ニチレキ株式会社 技術研究所（〒329-0412 栃木県下野市柴 272）

⁴フェロー 日本大学教授 工学部土木工学科（〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原 1）

本研究は、コンクリート床版上における橋面アスファルト舗装の疲労抵抗性について実験的に検討したものである。硬質砂岩砕砂とコンクリート用粗骨材を混合することで床版上面の砂利化を模擬し、模擬損傷の有無・試験温度・バインダの種類・水浸条件をパラメータとして、ホイールトラッキング試験装置よりも高荷重かつ高速で疲労試験が可能な鉄輪式小型輪荷重走行試験装置を用いた疲労試験を実施した。その結果、バインダの種類および模擬損傷の有無による橋面アスファルト舗装の疲労抵抗性を評価可能であり、床版上層部に著しい劣化が生じた場合は、バインダの種類にかかわらず疲労抵抗性が急激に低下することを明らかとした。

Key Words: Bridge deck asphalt pavement, Fatigue resistance, Top-down cracks, Segmentation of bridge deck

1. はじめに

わが国における道路橋は高度経済成長期に一斉整備されたものが多く、供用 50 年を経過するものも少なくない。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するには、道路橋を構成する各部材ごとの性能評価に留まらず、部材間の相互依存性を含めた劣化メカニズムを検証することが重要である。

道路橋鉄筋コンクリート床版(以下、RC床版)の損傷のうち、床版コンクリート上層部が土砂のように多孔質化する“砂利化”は、床版の耐疲労性を著しく低下させることが知られているものの、橋面アスファルト舗装下で生じるために検知することは容易でない¹⁾。実床版においては、アスファルト舗装上を車両が通行した際に床版上に滞留した水が舗装下で加圧されることによって砂利化が促進され、これに伴い橋面アスファルト舗装においても損傷が著しく進行するものと考えられるが、これらの相互依存性については研究した例が極めて少なく未解明な点が多い。著者ら²⁾は、床版コンクリートの脆弱化

による支持力の低下が橋面アスファルト舗装の疲労抵抗性に及ぼす影響を解明するため、水浸ホイールトラッキング試験(以下、水浸 WT 試験)装置を用いた疲労試験により、実道路橋で見られる劣化状態を再現する試験方法を考案し、床版コンクリートの劣化進行に伴い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にしてきた。しかし、水浸 WT 試験の制約条件下での疲労試験であったため、異なるバインダを使用した際の疲労抵抗性や、ポットホール機構解明については十分な検討が成されておらず、より高荷重かつ高速での疲労試験が可能な試験装置を用いた追加検証が必要である。

以上の背景より本研究では、橋面アスファルト舗装が疲労破壊に至るまでの機構解明を目的として、橋面アスファルト舗装の疲労抵抗性に及ぼす各種要因を定量的に評価し得る試験手法について検討した。既往の研究³⁾で実施した実験条件をベースとし、水浸 WT 試験装置よりも高荷重かつ高速で輪荷重を載荷可能な鉄輪式小型輪荷重走行試験装置を用いて、模擬損傷の有無、試験温度、バインダの種類、水浸条件をパラメータとして疲労試験

を行った。

2. 試験温度・水浸条件に関する検討(予備試験)

(1) 供試体概要および実験条件

a) 供試体概要

図-1に供試体概要を示す。本研究では、長さ400mm、幅150mm、厚さ50mmのコンクリート版を作製し、既往の研究²⁾を参考に、コンクリート版上に厚さ30mmのアスファルト混合物版(以下、舗装版)を敷設した供試体を作製した。表-1にコンクリートの配合を示す。水セメント比を50%とし、コンクリート版上層部における模擬損傷の有無をパラメータとした。ここで、本実験では実道路橋における床版コンクリート上層部の著しい劣化を想定し、コンクリート版中央部350×100mmの範囲に模擬損傷部を設けた。模擬損傷の深さは実床版におけるコンクリートの砂利化が上側鉄筋付近まで進展することを考慮して25mmとした。また、模擬損傷部は前述の模擬損傷範囲内に埋設することを勘案し、最大粒径150 μ mの硬質砂岩砕砂(以下、FS)および最大粒径13mmのコンクリート用粗骨材(以下、G)を混合したもの埋設し、不陸が生じないように金属製のヘラを用いて均した。なお、実床版で見られる砂利化では、コンクリート中のセメントペーストが粉砕され水と混じって泥水となり、さらに細粒分が流出して粗骨材だけが残り知られている³⁾が、本研究では、細粒分の噴出まで再現することを目的にFSとGを3:2の割合で混合した。さらに、砂利化が生じた床版では雨水などが床版上に浸入しており、床版と橋面アスファルト舗装の付着が著しく低下しているものと推察されるため、本研究では、コンクリート版と舗装版の界面に防水材および接着剤は塗布していない。

表-2にアスファルト混合物の配合を示す。本実験においては密粒度アスファルト混合物(13)を使用し、バインダにはトレートアスファルト60-80(以下、St)およびポリマー改質アスファルトII型(以下、II型)を用いた。

b) 実験概要

写真-1に鉄輪式小型輪荷重走行試験装置、表-3に本研究における試験条件、表-4に予備試験時における供試体パラメータを示す。本実験では、床版と橋面アスファルト舗装の界面に水が浸入した条件を再現するため、常時舗装版の下面から5mm上まで水浸させた状態で試験を実施した(表-3)。本研究で使用した鉄輪式小型輪荷重走行試験装置は、WT試験装置と比較して高荷重(1200N)かつ高速(50回/min)での疲労試験が可能であり(表-3)、本実験における試験槽内温度はアスファルト混合物の変形が比較的生じやすい夏季の路面温度を想定した60 $^{\circ}$ C環境のほかに、既往の研究²⁾を参考に、40 $^{\circ}$ Cでの試験を実施

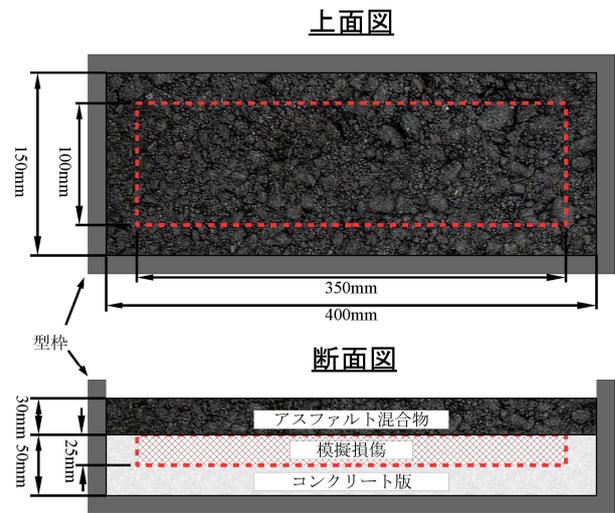


図-1 供試体概要

表-1 コンクリートの配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				混和剤 (C×%)	
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	AE減水剤	AE剤
20	9.5	5.6	50.0	47.0	175	350	830	968	0.5	0.005

表-2 アスファルト混合物の配合

使用材料	6号砕石	7号砕石	粗目砂	細目砂	石粉	アスファルト
配合割合 (%)	34.0	21.5	30.5	8.0	6.0	5.6

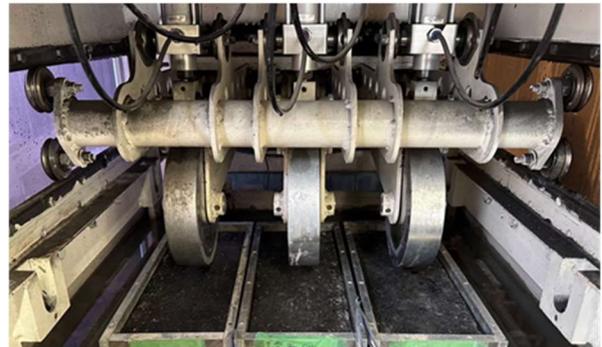


写真-1 鉄輪式小型輪荷重走行試験装置

表-3 試験条件

	予備試験	本試験
載荷荷重	1200N	1200N
走行距離	280mm	280mm
走行速度	50回/min	50回/min
試験槽内温度	40 $^{\circ}$ C, 60 $^{\circ}$ C	60 $^{\circ}$ C
水浸条件	舗装版下面から5mm上まで水浸	舗装版上面から5mm下まで水浸
試験終了条件	15000回走行 or 変位量12mm	10000回走行 or 変位量10mm

した。計測項目は変位量と走行回数、目視による損傷状態の観察であり、試験は変位量が12mmあるいは走行回数が15000回に達するまで実施した。

(2) 実験結果および考察

図-2に予備試験での鉄輪式小型輪荷重走行試験結果を

示す。なお、図中の凡例は、試験時の槽内温度(°C)-バインダの種類-模擬損傷の有無で表記している。図より、模擬損傷なし供試体(以下、H)において試験温度が 40°C の供試体では 15000 回走行させた場合でもバインダをパラメータとしたことによる大きな差異は確認されなかったが、バインダが St である供試体のうち、試験温度が高い 60-St-H では変位の急増が確認された。模擬損傷部を設けた供試体(以下、D)では、試験温度にかかわらず走行回数 500-1000 回時点で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ていたものと考えられる。加えて、D ではいずれの供試体でも同程度の走行回数で変位量 12mm となり、模擬損傷を設けた供試体では温度およびバインダの種類による明確な差異は認められなかった。写真-2 に試験終了時の舗装版上面の損傷状況を示す。図中の赤線は目視で観察したひび割れを示している。なお、60-St-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、H ではいずれの舗装版でも走行範囲の端部で数本ひび割れが確認される程度であったが、D ではひび割れの発生が顕著であり、特に 60-St-D についてはひび割れが亀甲状に生じる傾向を示し、本実験によって室内試験でポットホールを再現し得る可能性が示唆された。以上を踏まえ、後述する本試験においては試験時の槽内温度を 60°C に設定した。

3. 本試験

(1) 実験概要

表-5 に本試験時における供試体パラメータを示す。予備試験より試験槽内温度が 60°C でも疲労試験が可能であることが示されており、水浸条件をより厳しくすることで塑性変形抵抗性に優れるバインダを使用した供試体との比較が可能になると考え、本試験ではバインダの種類を St, II 型, ポリマー改質アスファルト III 型-W(以下、III 型 W)の 3 条件とし、鉄輪式小型輪荷重走行試験は水浸条件を舗装版上面から 5mm 下までに変更し、変位量が 10mm あるいは走行回数が 10000 回に達するまで実施した(表-3)。なお、供試体の寸法は予備試験時と同様である(図-1)。

(2) 実験結果および考察

図-3 に本試験での鉄輪式小型輪荷重走行試験結果を示す。なお、図中の凡例は、バインダの種類-模擬損傷の有無で表記している。図より、H では走行回数 100 回時点まではバインダの種類によらず同様の変位で推移したが、その後は St, II 型, III 型 W の順に変位が増加し、St では 900 回、II 型では 4900 回、III 型 W では 8900 回で変

表-4 供試体パラメータ(予備試験)

ID	槽内温度(°C)	バインダの種類	模擬損傷	模擬損傷寸法(mm)
40-St-D	40	ストレートアスファルト	有	350×100×25
40-St-H	40	ストレートアスファルト	無	-
40-II型-D	40	ポリマー改質アスファルトII型	有	350×100×25
40-II型-H	40	ポリマー改質アスファルトII型	無	-
60-St-D	60	ストレートアスファルト	有	350×100×25
60-St-H	60	ストレートアスファルト	無	-

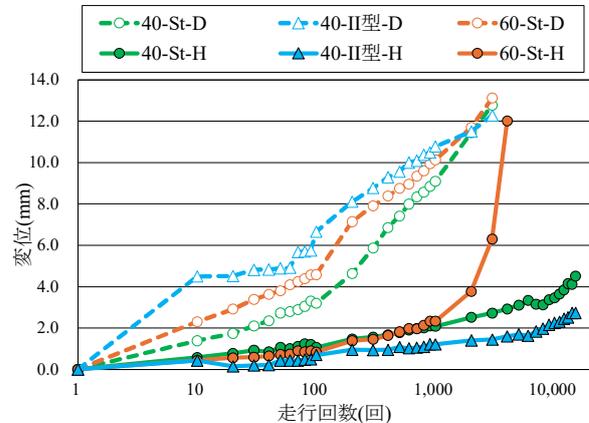


図-2 鉄輪式小型輪荷重走行試験結果(予備試験)

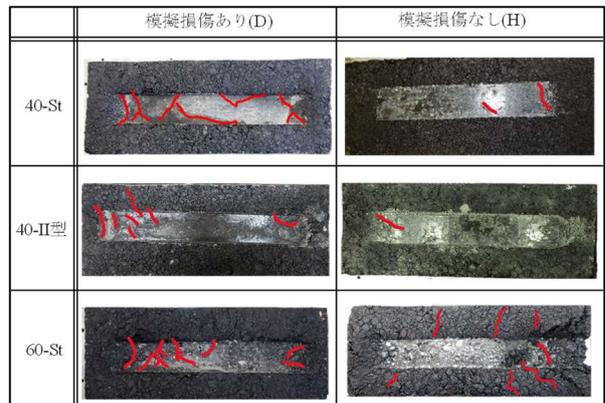


写真-2 舗装版上面の損傷状況(予備試験終了後)

表-5 供試体パラメータ(本試験)

ID	槽内温度(°C)	バインダの種類	模擬損傷	模擬損傷寸法(mm)
St-D	60	ストレートアスファルト	有	350×100×25
St-H	60	ストレートアスファルト	無	-
II型-D	60	ポリマー改質アスファルトII型	有	350×100×25
II型-H	60	ポリマー改質アスファルトII型	無	-
III型W-D	60	ポリマー改質アスファルトIII型-W	有	350×100×25
III型W-H	60	ポリマー改質アスファルトIII型-W	無	-

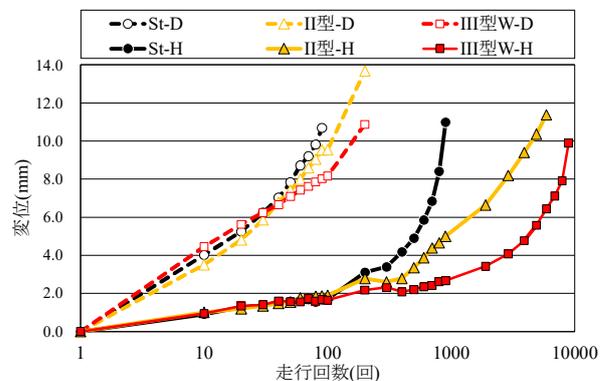


図-3 鉄輪式小型輪荷重走行試験結果(本試験)

位が概ね 10mm に達した。一般に、高速道路などの橋面アスファルト舗装には耐水性およびたわみ追従性が高いポリマー改質アスファルトを用いるが、Stを使用した場合、疲労寿命がおおよそ 10%~20%程度にまで低下する可能性が示された。Dについて、いずれも走行初期から変位の増加は顕著であり、舗装版上面から模擬損傷材料の噴出が確認された。また、変位が 10mm に達するまでの走行回数は H と同様に St, II 型, III 型 W の順であり、床版コンクリート上層部が劣化していた場合においてもポリマー改質アスファルトを用いることで疲労抵抗性が向上するものと考えられる。しかし、各バインダの H と D において変位が 10mm に達した走行回数の比は St で 7.2%, II 型で 8.9%, III 型 W で 12.8%であった。これらの結果から、本実験の範囲内においては、ポリマー改質アスファルトを使用した場合、疲労抵抗性の低下が多少緩やかであることが示されたものの、床版上面に著しい損傷を有する場合にはバインダの種類によらず疲労抵抗性が著しく低下する可能性が示唆された。

写真-3 に試験終了時の舗装版上面の損傷状況を示す。H では走行回数が大きく異なるため一概に比較することは難しいが、変位量が 10mm に達した走行回数がほとんど変わらない D において、舗装版上面のひび割れは St, II 型, III 型 W の順で多い傾向を示しており、ポリマー改質アスファルトを用いることでトップダウン型のひび割れに対する抵抗性が向上する可能性が示された。なお、すべての供試体においてボトムアップ型のひび割れは進行していると推察されるが、本実験では舗装版下面のひび割れが観察できておらず、今後の検討課題としたい。

以上より、本試験手法で疲労試験を実施することで、塑性変形抵抗性の異なるバインダを使用した供試体間の疲労抵抗性の比較が可能であり、本実験は橋面アスファルト舗装の疲労抵抗性を評価し得る試験手法を確立する上での一助となり得るものと考えられる。

4. まとめ

本研究により得られた知見を以下に記す。

- 1) 鉄輪式小型輪荷重走行試験を用いた疲労試験により、橋面アスファルト舗装の疲労抵抗性を評価可能であり、橋面アスファルト舗装の疲労損傷過程や、ポットホール発生機構の解明に資する可能性が示された。
- 2) ポリマー改質アスファルトを用いた橋面アスファルト舗装では、わだち掘れに対する抵抗性の向上

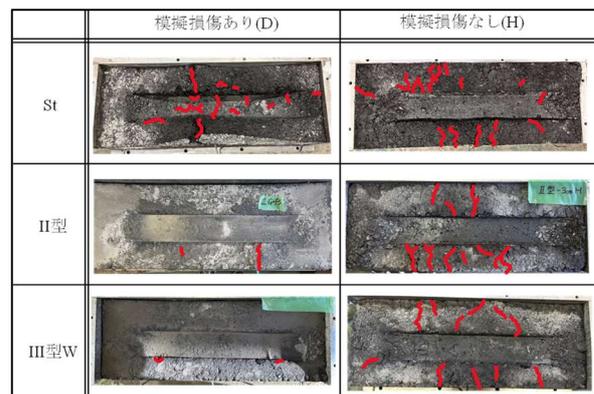


写真-3 舗装版上面の損傷状況(本試験終了後)

に留まらず、トップダウン型のひび割れに対する抵抗性が向上する可能性を示した。

- 3) 床版上層部に著しい損傷がある場合には、バインダの種類にかかわらず橋面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にした。

今後は引き続き本試験手法による疲労試験を行い、舗装版下面のひび割れ観察を通して模擬損傷がボトムアップ型のひび割れに及ぼす影響を評価するとともに、舗装版におけるひび割れを模した試験体に対する実験を行うなど、ポットホールの発生機構について引き続き検討していく予定である。

謝辞：本研究は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)第3期「スマートインフラマネジメントシステムの構築」JPJ012187(研究推進法人:土木研究所) および JSPS 科研費 JP23K13388, 令和5年度昭歴記念財団研究助成事業の助成を受けたものです。また、本実験の遂行にあたっては著者らの所属機関における職員および学生にご協力を賜りました。ここに記して感謝の意を表します。

REFERENCES

- 1) 松本直士, 大島義信, 野田翼, 尾西恭亮, 石田雅博: 電磁波レーダ法を用いた RC 床版の定量的状態判別手法, 構造工学論文集, Vol. 66A, pp. 791- 799, 2020.
- 2) 斎藤優佑, 前島拓, 澤田美那子, 齋藤賢人, 岩城一郎: 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), pp. I_59-I_66, 2021.
- 3) 藤山知加子, 小川健, 子田康弘, 仙頭紀明: 水圧を繰返し与えたコンクリートにおける砂利化検証実験, コンクリート工学年次論文集, Vol. 39, No. 2, pp. 601-606, 2017.