

令和 4 年 6 月 14 日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04548

研究課題名(和文) 道路橋舗装の切削残存層を有効利用した床版及び床版防水の長寿命化技術の開発

研究課題名(英文) Development of life extension method for slab and slab-waterproofing system using remained layer of bridge deck pavements

研究代表者

高橋 修 (TAKAHASHI, Osamu)

長岡技術科学大学・工学研究科・教授

研究者番号：60236263

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：道路橋の橋面舗装を取り換える工事では、床版防水層も撤去され、床版表面にかなりのダメージを与える。本研究では、アスファルト舗装を10～20 mm残存させ、その残存層を浸透型の高濃度改質アスファルト乳剤で補修・補強することにより、不透水性のアスファルト中間層として再利用する工法を考案し、その有効性を確認した。

アスファルト舗装を薄層で残存させることにより、舗装の撤去作業を効率化できるとともに、コンクリート床版および床版防水層への負荷を大幅に軽減できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的成果としては、橋面アスファルト舗装の残存薄層を比較的簡便な補修工事で不透水性のアスファルト中間層として再利用できる工法を開発したことである。そして、再生した中間層の性能を加圧透水試験と曲げ試験によって定量的に評価した。

また、上記の成果による社会的な意義としては、この工法により橋面舗装の取替えが効率化し、床版防水層の再施工が不要となって、修繕工事に要する時間と費用が縮減できる。さらに、コンクリート床版へのダメージも軽減されることから、社会インフラの長寿命化にも寄与する。

研究成果の概要(英文)：In the construction to replace the bridge deck pavement, the waterproof layer on the slab is also removed and the surface of the concrete slab is affected considerable damage. The present study developed a construction method in which the asphalt pavement layer is cut out remaining a thickness of 10 to 20 mm and the remaining layer is repaired and reinforced with a penetrable high concentration modified asphalt emulsion to reuse it as an impermeable asphalt intermediate layer.

By leaving the asphalt pavement in a thin layer, the pavement removal work can be made more efficient, and damage to the concrete slabs and the waterproof layer can be significantly reduced.

研究分野：工学

キーワード：橋面舗装 切削残存層 アスファルト乳剤 アスファルト中間層 不透水性

### 1. 研究開始当初の背景

コンクリート床版の補修・補強と、これに関連して床版防水の性能向上が図られている現状において、橋面アスファルト舗装については、長寿命化に向けた改良は特に行われていない。それぞれで期待されている寿命は、コンクリート床版は50年以上、床版防水は20年～30年、アスファルト舗装は15年～20年で、かなりの違いがある。そのため、橋面アスファルト舗装の修繕(打換え)工事は、床版防水およびコンクリート床版が健全な状態で実施されることが多い。

既設道路橋における橋面舗装の打換え工事は、次の要領で実施されている。路面切削機で橋面のアスコン層を削り取り、残存したアスコンを小型バックホウやハンドブレードで除去する(写真-1参照)。その後、ロードスワーパーや手作業で入念に清掃して、コンクリート床版の表面を完全に露出させる。場合によってはショットブラストやグラインダーで床版表面を研磨する。これらの作業を行った後、床版防水とアスファルト舗装を新規に施工する。

通常は、バックホウによる残存アスコン層の撤去を効率的に行うために、路面切削機による削り取りを多めに施工する。床版表面は平滑でないことから、床版表面の一部も削り取られることが多い。また、バックホウでも床版表面にダメージを与えることになるため、コンクリート床版の鉄筋かぶり不足したり、鉄筋が露出したりする場合も報告されている。そして、必然的に床版防水も完全に撤去されることになる。つまり、床版と床版防水を保護するためのアスコン層が、逆にこれらにダメージを与える一つの要因にもなっている。



図-1 工法のイメージ

### 2. 研究の目的

本研究では、橋面舗装の打換え工事において、既設の床版防水とコンクリート床版にダメージを与えることなく、路面切削で残存させた薄層の旧アスコンをそのまま有効利用して、不透水性を強化した中間層を構築する工法について検討した。本工法のイメージを図-1に示す。本研究の目的は、切削残存層にアスファルト乳剤を浸透させて、不透水性を改善する工法の有効性を評価するとともに、具体的な仕様(有効な材料および施工仕様)について知見を得ることである。

### 3. 研究の方法

#### 3.1 研究のフロー

研究は、図-2に示すフローで行った。まず切削残存層の実態を調査するため、現場見学を実施して実橋からサンプルを入手した。その後、現場の切削残存層を模した供試体を作製し、アスファルト乳剤を塗布、浸透させて透水試験による不透水性の評価を行った。透水試験は、標準気圧での透水試験と交通荷重等の過酷な条件を考慮した加圧透水試験を実施した。そして、乳剤浸透によって不透水中間層が構築できることを確認したうえで、アスコン層の一部となり得るための力学的補強効果について検討した。

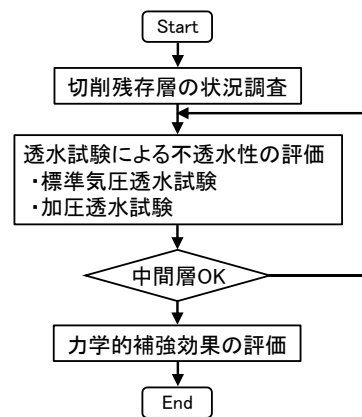


図-2 研究のフロー



写真-1 バックホウによる切削残存層の撤去

表-1 使用したアスファルト乳剤

性能項目	乳剤 A	乳剤 B
エングレー度 (25℃)	10	6
蒸発残留分 (%)	67	67
針入度 (25℃) (1/10mm)	68	88
軟化点 (℃)	52.5	62
タフネス (25℃) (N・m)	7.7	11
テナシティ (25℃) (N・m)	4.1	6.1

### 3.2 切削残存層の状態

切削後の残存層における劣化・損傷の程度を確認するため、供用 30 年の高架橋から切削残存層を採取した。切削残存層の損傷には、目視できるものとできないものがあることから、損傷程度を空隙率によって定量化することにした。採取した切削残存層の空隙率を Rice 法<sup>1)</sup>で実測したところ 6.5%であった。また、アスファルトの抽出・回収を行って骨材粒度とアスファルト量を確認した。本研究では、これらの結果に基づいて、密粒度アスファルト混合物(13)の切削残存層を再現用の供試体として作製した。

### 3.3 使用アスファルト乳剤

切削残存層に浸透させるアスファルト乳剤には、一般的にプライムコートやタックコートに使用されているものよりも性能が高い高濃度改質アスファルト乳剤を使用した。乳剤塗布の効果を比較するため 2 種類のものを用意した。乳剤を A, B と識別し、それらの性状を表-1 に示す。粘性の程度を表す指標であるエングラ一度に、2 倍程度の差がある。この差が、切削残存層への浸透性に影響を与えるか、不透水性の改善に寄与するのかが等を比較し、他の物性値についても併せて比較検討した。乳剤 A は分解剤を塗布後、速やかに抜気する特長を有している。

## 4. 研究成果

### 4.1 透水試験による不透水性の評価

切削残存層の不透水性は、2 種類の透水試験によって評価した。一つは供試体表面に円筒状の容器をセットし、上方から標準気圧で水を浸透させる透水試験である。もう一つは、アスファルト舗装内部の水分が、交通荷重等で押し込められる過酷な状況を想定した加圧透水試験である。両試験ともアスファルト舗装では、標準的に行われている試験法である。

#### (1) 標準気圧透水試験

標準気圧での透水試験は、主に排水性舗装で運用されている技術指針<sup>2)</sup>を参考にして実施した。試験の状況を写真-2 に示す。試験条件としては、標準気圧下での不透水性について評価することになる。

供試体は、WT 試験用供試体の型枠を用いて、切削残存層を想定した厚さ 20 mm のものを作製した。損傷度合の目安とした空隙率は、6.5~8.0 %まで 0.5 %刻みで変化させ、損傷程度による効果も比較した。乳剤の塗布量は、それぞれのメーカー推奨の標準塗布量 (A は 1.2 l/m<sup>2</sup>, B は 1.1 l/m<sup>2</sup>) とした。

不透水の判断基準は、供試体からの漏水の有無で判断した。すべての空隙率において、乳剤を塗布しない供試体は透水し、乳剤を塗布した供試体は不透水となった。また、乳剤の種類による差異は認められなかった。これらの結果から、切削残存層に乳剤を塗布することで、標準気圧下では不透水にできることを確認した。

#### (2) 加圧透水試験

標準気圧での透水試験よりも実橋のアスコン層に近い条件下での不透水性を確認するため、加圧透水試験による評価を行った。加圧透水試験は、図-3 に示すとおり、上方から圧力を加えて水を浸透させ、下面から流出した水量と経過時間から透水係数を求める試験法である。

具体的な試験方法は、舗装調査・試験法便覧「B017T アスファルト混合物の加圧透水試験方法」<sup>3)</sup>に準拠して実施し、乳剤の有無による不透水性の向上効果について比較を行った。供試体の空隙率(損傷の度合い)は、標準気圧での透水試験と同様に 6.5~8.0%とした。供試体の作製手順は、SGC 試験機によって直径 150 mm の円柱状アスコンを締め固め、コアカッターを用いて、直径 100 mm、高さ 50 mm になるように成形した。その後、供試体表面に乳剤を塗布した。

各供試体の表面に乳剤を 1 回塗布した場合の試験結果を図-4 に示す。これは、圧力 50

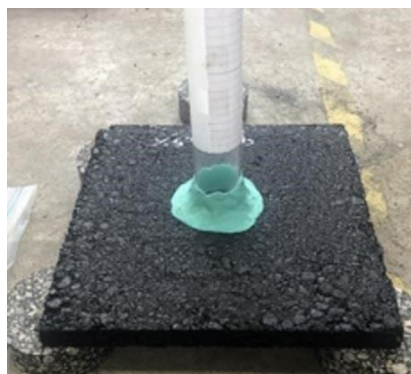


写真-2 標準気圧透水試験の状況

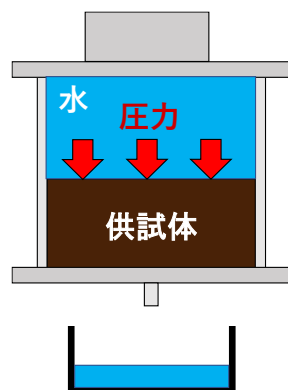


図-3 加圧透水試験のイメージ

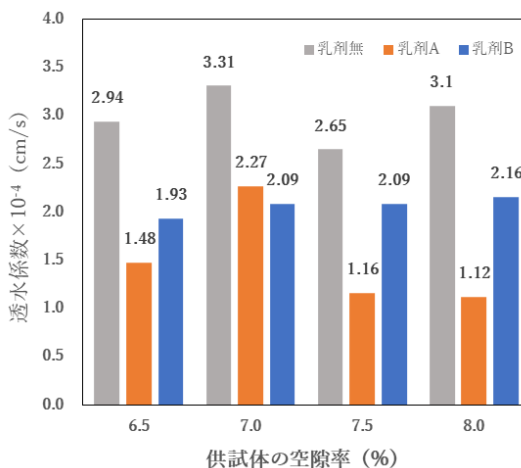


図-4 塗布 1 回における加圧透水試験の結果

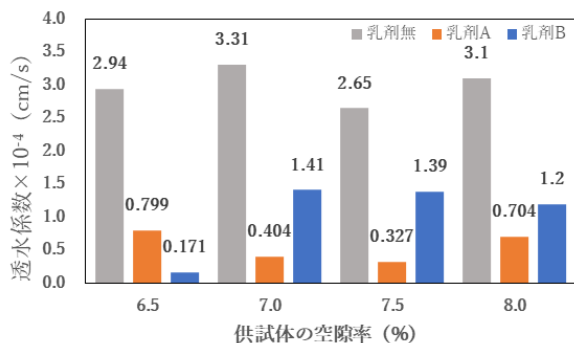


図-5 塗布2回における加圧透水試験の結果

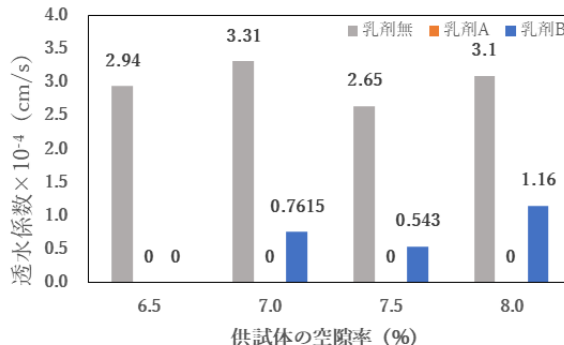


図-6 塗布3回における加圧透水試験の結果

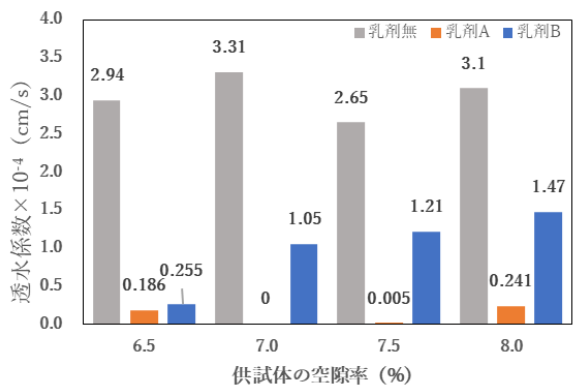


図-7 圧力 150kPa における加圧透水試験の結果

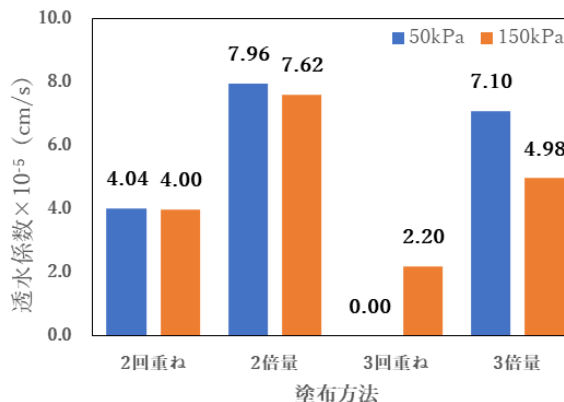


図-8 塗布方法の違いによる加圧透水試験の結果

kPa, 加圧時間 6 時間の条件での結果である。乳剤を塗布することで透水係数が低下しており、不透水性が向上している状況が確認される。また、乳剤の違いによる明確な差異は認められず、A, B どちらの乳剤を用いても不透水性は向上している。ただし、空隙率が大きい場合は、乳剤 A を施工したほうが不透水性は高くなっている傾向にある。

つぎに、乳剤の塗布回数（塗布量）を増加させて、その影響を比較した。塗布回数を 2 回、3 回と塗り重ねた場合の結果を図-5、図-6 にそれぞれ示す。2 回、3 回と乳剤を塗り重ねていくと、不透水性はより向上していくことがわかる。3 回塗布した供試体に対して、圧力 150 kPa, 加圧時間 24 時間のより厳しい条件でも試験を実施した。その結果を図-7 に示す。この図より、圧力を増加させても透水係数の低下が見られることから、より厳しい条件でも不透水性の向上を見込むことができる。

塗布回数を増やすことにより、不透水性の改善効果が向上したことから、塗布方法による影響についても比較した。ここでの塗布方法とは、回数を重ねて塗布する場合と 1 回の施工に同量の乳剤を塗布する場合の違いである。その結果を図-8 に示す。この結果より、塗布方法は回数を分けて塗り重ねたほうが、1 回に多く塗布するよりも不透水性の向上効果が高いことがわかった。

以上の結果から、切削残存層に乳剤を塗布することで不透水性を向上することが可能で、乳剤 A を使用したほうが向上効果は高かった。塗布方法としては、3 回に重ねて塗布することで、不透水に近い層として再利用できると考えられる。

#### 4.2 力学的補強効果の評価

ひび割れ等の損傷を有している切削残存層に表面から乳剤を塗布することにより、乳剤がひび割れに浸透して、不透水性のみならず、力学的に補強される効果も期待される。本研究では、静的曲げ試験によって力学的補強効果の評価した。

切削残存層は厚さが 20 mm 程度と薄層であることから、新田ら<sup>4)</sup>が提案した小型供試体による曲げ試験を参

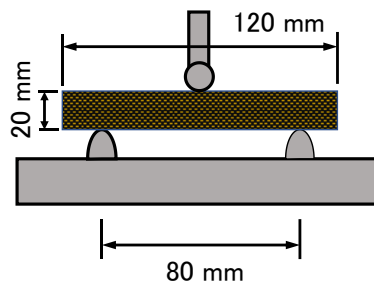


図-9 小型供試体の形状寸法

表-2 曲げ試験の仕様

項目	仕様
供試体寸法	20×20×120 mm
供試体空隙率	6.5, 7.0, 7.5, 8.0 %
乳剤塗布量	A:1.2, B:1.1 ℓ/m <sup>2</sup>
試験温度	-10 °C
載荷速度	0.2 mm/min



考にして試験を実施した。供試体は、WT 試験用供試体の中央部から、幅 20 mm×厚さ 20 mm×長さ 120 mm の供試体を切り出すことで作製した。供試体の空隙率は 6.5～8.0 %，乳剤は標準量を 1 回のみ塗布した。図-9 に小型供試体の形状寸法，表-2 に曲げ試験の条件をそれぞれ示す。また，試験の実施状況を写真-3 に示す。

曲げ強度の結果を図-10 に，破壊時ひずみの結果を図-11 に示す。比較として，通常に締固めを行って作製した密粒度アスファルト混合物 (13) (空隙率 3.0%) に対しても同様に試験を実施した。その結果，乳剤を塗布することにより，曲げ強度および破壊時ひずみとも高くなる傾向が確認され，補強効果が得られるものと判断した。なお，乳剤 B のほうが，強度が高い傾向にあるが，これは乳剤の物性の違いによる影響と考えられる。

また，空隙率 (損傷の度合い) にもよるが，乳剤の塗布により，通常密粒度アスファルト混合物とほぼ同等レベルの曲げ強度が得られている。破壊時ひずみは，通常密粒度アスファルト混合物よりも大きくなっている。

#### 4.3 成果としての知見

本研究では，2 種類の高濃度改質アスファルト乳剤を使用し，損傷している切削残存層の不透水性を改善して，中間層として再利用できるか否かを検討するため，不透水性の向上効果，中間層としての力学的補強効果を評価した。その結果，以下の知見が得られた。

- (1) 高濃度改質アスファルト乳剤を塗布することで，切削残存層の不透水性の向上効果がみられ，一般的なタックコート用アスファルト乳剤よりも接着強度が高いことから，不透水の中間層として適用できる。
- (2) 高濃度改質アスファルト乳剤が残存層の連続空隙に浸透することで，曲げ強度および破壊時ひずみは高くなる傾向があり，切削残存層の補強効果を期待することができる。
- (3) 不透水性の結果より，乳剤 A のほうが不透水性の改善効果が高く，分解速度も速いことから，現場での施工を考慮すると乳剤 A のほうが優位である。

#### 参考文献

- 1) AASHTO : Theoretical Maximum Specific Gravity Density of Bituminous Paving Mixtures, T209-99, 2004.
- 2) 社団法人日本道路協会：排水性舗装技術指針 (案)，pp.93-96, 1996.
- 3) 公益社団法人日本道路協会：舗装調査・試験法便覧 [第 3 冊分]，pp.158-168, 2019.
- 4) 新田弘之ら：小型供試体による曲げ試験特性と中温化混合物の評価，土木学会第 67 回年次学術講演会，V-362, 2012.



写真-3 小型供試体曲げ試験の実施状況

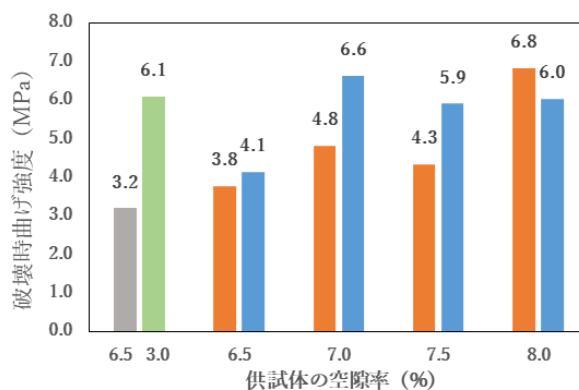


図-10 曲げ強度の結果

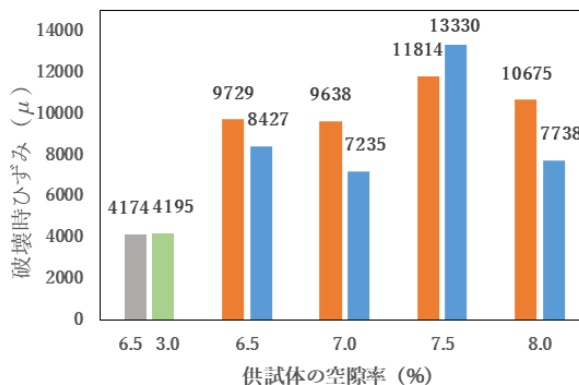


図-11 破壊時ひずみの結果

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 1件）

1. 著者名 橋本 雅行, 大西 絢太, 高橋 修	4. 巻 五,
2. 論文標題 橋面アスファルト舗装切削残存層の不透水性を改善する工法に関する研究	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 第15回北陸道路舗装会議技術報文集	6. 最初と最後の頁 1, 4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 橋本 雅行
2. 発表標題 橋面アスファルト舗装切削残存層の不透水性を改善する工法に関する研究
3. 学会等名 第15回北陸道路舗装会議
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
---------------------------	-----------------------	----

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