

舗装の表面処理工法による延命効果 ～アスファルト混合物の室内試験を用いた検証～

渡邊一弘・藪 雅行

1. はじめに

わが国の舗装ストックは道路延長ベースで100万kmを超え、膨大なストック量となっている。舗装は供用直後から車両の通行や雨水、紫外線などの影響によってひび割れ等が発生し、健全性の低下や劣化が進行する構造物である。土木研究所では、舗装の実大供試体を用いた繰返し载荷試験を通じ、舗装の疲労がどのように蓄積していくかについて解明を試みており、いくつかの知見が得られている^{1),2)}。その一つに雨水の存在が疲労に与える影響の大きさがある。アスファルト混合物の損傷要因の一つに、水の介在でアスファルトと骨材間の結合が分離するはく離現象があるが、繰返し载荷試験では、非载荷時では目視で確認できない程度の路面の微細なひび割れへの雨水の浸入により、舗装の破損が急激に進行していくことが明らかになった。現在、舗装の維持修繕は切削オーバーレイが中心であり、面的に路面を保護する表面処理工法はほとんど適用されていない。しかし、前述の知見より、予防保全を目的とした微細なひび割れの封かん効果の点から再度着目する必要性が高いと考えられる。そこで、土木研究所では（株）東亜道路工業と共同研究を実施し、表面処理工法の適用による舗装の延命効果について室内試験により検証を行った。本稿は、その結果を報告するものである。

2. 検証方法

2.1 試験方法

路面で雨水が接する舗装の層（表層）には、一般的にアスファルト混合物が用いられている。このアスファルト混合物層に関する疲労試験として代表的なものに、「アスファルト混合物の曲げ疲労試験方法」³⁾による試験（図-1参照）（以下「疲労試験」という。）がある。この試験は、通常長さ400×幅40×厚さ40mmの大きさのアスファルト

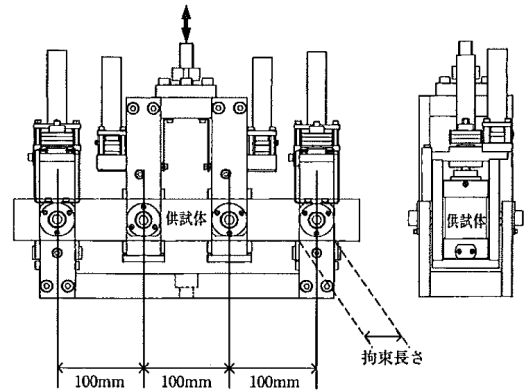


図-1 アスファルト混合物の曲げ疲労試験

ト混合物供試体に、4点支持による繰返し曲げひずみを加えた場合に疲労破壊に至るまでの回数を測定するものである。雨水の影響度を調べる上でこの疲労試験を応用することとした。具体的には、供試体に対して水の供給の有無の条件をかえて疲労試験を行うことにより、雨水の存在がアスファルト混合物に対する疲労抵抗性に与える影響を明らかにすることとした。

2.2 供試体の作製方法

供試体は、通常の密粒度アスファルト混合物とし、「ホイールトラッキング試験方法」³⁾に準じて長さ400×幅300×厚さ50mmで作製し、その供試体をダイヤモンドカッターで長さ400×幅40×厚さ40mmの供試体サイズを切り出した。バインダーはストレートアスファルト（針入度60/80）であり、混合物の骨材配合比は表-1に示すとおりである。なお、ホイールトラッキング供試体を切り出すことから、切り出し後の各供試体の締固め特性に差異が生じていることが考えられたが、そのばらつきは小さいことを確認している。

表-1 使用混合物の配合

| 材料名 | 6号砕石 | 7号砕石 | 粗目砂 | 細目砂 | 砕砂 | 石粉 | バ添加量ダ |
|-------|------|------|------|------|------|-----|-------|
| 配合(%) | 35.0 | 24.0 | 11.0 | 12.0 | 12.0 | 6.0 | 5.6 |

2.3 疲労試験条件

舗装調査・試験法便覧では、疲労試験の条件は対象の構造物の条件や試験の目的に応じて設定することとされている。本試験は、一般的な条件下で雨水の存在の有無が疲労抵抗性に与える長期的な影響を把握することを目的としているため、供試体に加えるひずみに対しては、舗装調査・試験法便覧で試験条件の設定例として提示されている条件より小さいひずみを与えることとした。本試験の試験条件は表-2のとおりである。

2.4 供試体への水の供給方法

通常の疲労試験は供試体が乾燥している状態で行うが、本検証はアスファルト混合物の疲労抵抗性への水の有無の影響を調べるのが目的であるため、供試体に水を供給させる必要がある。前節で述べたとおり、40×40×400mmの供試体であり、この供試体に対して4点支持による繰り返し曲げひずみを加える試験条件であることを考えると、水の供給方法としては、①供試体上部中央に型枠を設置して滞水させる方法（以下「部分滞水法」という。）、②载荷装置の各治具間に供試体に連続的に水滴を垂らす方法（以下「点滴法」という。）、③供試体及び载荷装置を水槽中に設置して水中で試験を行う方法（以下「全水浸法」という。）が考えられた（図-2参照）。

これらの手法のうちどの手法が適切であるか検討及び予備試験を行ったところ、各方法について、以下の課題が明らかとなった。

<部分滞水法>

- ・疲労試験で供試体が繰り返しひずむことから水を滞水させる供試体上の型枠の大きさが確保できず、滞水箇所以外でひび割れが発生する場合もあり、水の供給の有無の評価には適切でない
- ・疲労試験であり供試体の微小なひずみに対して型枠固定の影響がありうる

表-2 試験条件

| 項目 | 試験条件 |
|-------|----------|
| 载荷方法 | 両端固定2点载荷 |
| 供試体寸法 | 4×4×40cm |
| スパン | 30cm |
| 試験方法 | ひずみ制御 |
| 試験温度 | 20℃ |
| 载荷周波数 | 5Hz |
| 载荷波形 | サイン波 |
| ひずみ | 200μ |

<点滴法>

- ・散水した水は供試体側面をつたって下に落ちるため、供用条件下では空気・雨水に暴露されない側面部での防水処理が必要
- ・常時供給する水温の影響の考慮が必要

<全水浸法>

- ・点滴法と同様の理由で供試体側面部での防水処理が必要であり、しかも水面下での防水効果の確保となり、防水処理が困難
- ・水槽内の水が大量であり、恒温試験機内での気化熱等により水温が不安定になる
- ・予備試験の結果、不安定な水温等の理由により初期応力が安定しない

実道における供用条件を想定すると、部分滞水法は水たまり条件下、全水浸法は非現実的な水中舗装という条件下に対し、点滴法は降雨条件下に近いと考えたため、点滴法を採用することとし、点滴法で課題とした点に関しては、以下のとおり対応した。

<供試体側面の防水処理>

- ・市販のシリコン系防水剤を使用

<供給する水温の影響>

- ・水道水からの供給であり、水温が安定する春期及び秋期に試験実施

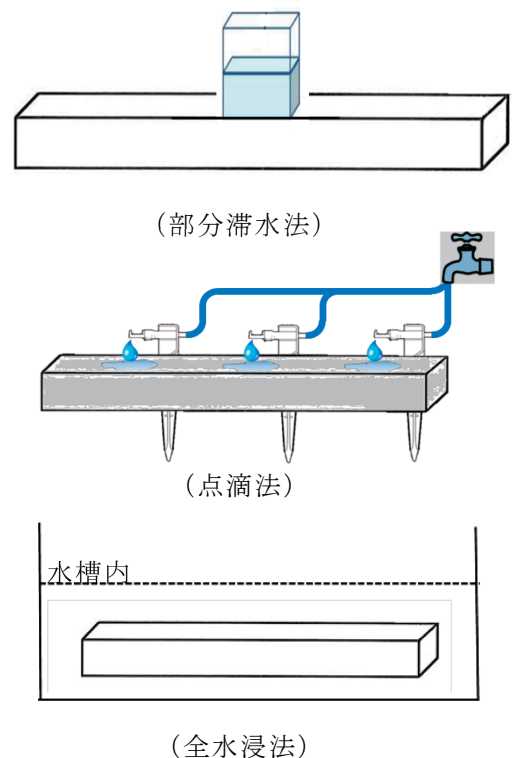


図-2 供試体への水の供給方法

- ・給水ホースを恒温槽内で水温を安定化するのに十分な延長を確保して給水（水滴により落下させる程度の量であり、供試体に接する時点の水温は約20℃であることを確認）

なお、給水は、常時供試体が湿潤している状況となるよう、3点からの水滴落下間隔とし、給水量は計1.2L/hとした。

3. 水の有無が疲労抵抗性に与える影響

前章で選定した方法により、供試体に水を与える条件下と水を与えない通常の条件下で疲労試験方法による実験を実施した。それぞれの条件で供試体数は5本とした。その結果を図-3に示す。舗装調査・試験法便覧による破壊回数の評価は、破壊回数を対数スケールの軸として変曲点をはさんだ接線の交点で評価される（図-4参照）。図-3より供試体への水の有無が破壊回数に与える影響は明らかであるが、供試体によって初期応力に差があること、図-3に示す評価方法により破壊回数を求めることが困難な供試体もあり、別の評価方法が必要であると考えた。そこで、縦軸の応力を各試験で概ね安定する（以下、「応力値」とい

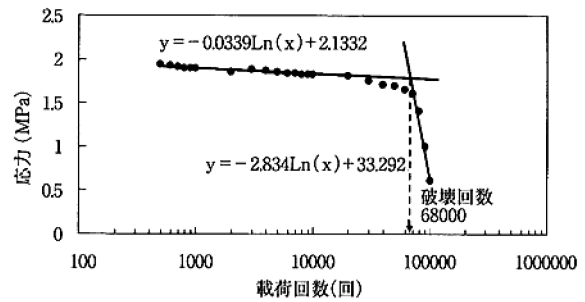


図-4 舗装調査・試験法便覧による評価方法（例）

表-3 破壊回数及び応力値30%における载荷回数

| 試験条件 | 水の有無 | 供試体 No | 締固め度 (%) | 破壊回数と標準偏差σ | | 応力値30%における载荷回数 | |
|------|------|--------|----------|------------|---------------------|----------------|----------------------|
| | | | | 破壊回数 (回) | 平均 (回) | 载荷回数 (回) | 平均 (回) |
| a | 無 | 1 | 99 | 70,000 | 60400 (σ=20,900) | 106,000 | 124400 (σ=15,500) |
| | | 2 | 99 | 61,000 | | 152,000 | |
| | | 3 | 101 | 26,000 | | 128,000 | |
| | | 4 | 101 | 90,000 | | 118,000 | |
| | | 5 | 101 | 55,000 | | 118,000 | |
| d | 有 | 1 | 99 | 30,000 | 36800 (σ=10,200) | 70,000 | 58800 (σ=9,600) |
| | | 2 | 99 | 39,000 | | 59,000 | |
| | | 3 | 100 | 55,000 | | 69,000 | |
| | | 4 | 100 | 25,000 | | 48,000 | |
| | | 5 | 101 | 35,000 | | 48,000 | |

う)10,000回载荷時の応力を100%としてこの値に対する相対値で評価すること、及び横軸の破壊回数を線形スケールの軸とすることとした。その結果を図-5に示す。図-5より、供試体へ給水することにより、水がない場合に比べ早期に急激に応力を失う傾向があることが分かる。この図による評価を行う場合、破壊回数の評価については、応力を相対評価したことから新たな方法が必要となる。ここでは、一定で与えられ続けるひずみに対して破壊がそれ以上進行しないことを示す応力レベルを終局状態と考え、その状態の直前である応力値30%における载荷回数という指標で疲労抵抗性を評価することを考えた。標準の評価方法である破壊回数及び応力値30%における载荷回数の結果を表-3に示す。通常の破壊回数での評価に比べ载荷回数のばらつきも小さく、より適正に評価しているものと考えられる。

4. 表面処理工法の適用法の検討

表面処理工法の適用が疲労抵抗性に与える影響の把握に向け、2種類

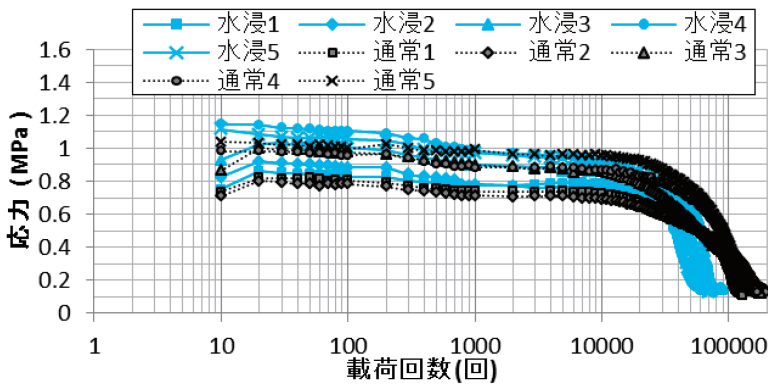


図-3 疲労試験結果

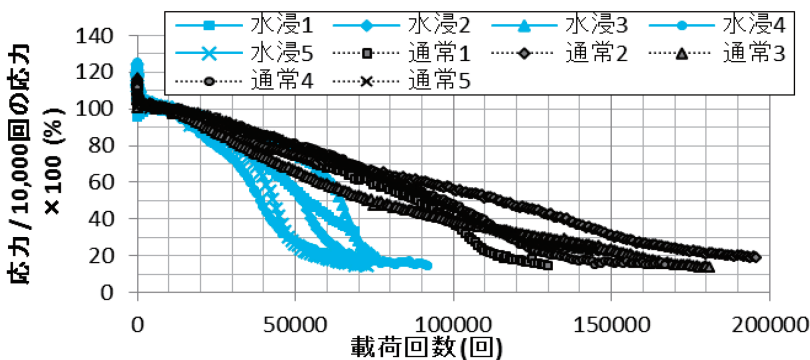


図-5 疲労試験結果(载荷回数線形軸評価、応力相対評価)

の表面保護材を疲労試験中に供試体に塗布することとした。適用した表面保護材は、表面保護材Aが高性能タックコートとして使用しているもの、表面保護材Bが表面保護用改質アスファルト乳剤であり、通常の使用量を参考に、塗布量は0.40L/m³とした。

本試験では、微細なひび割れ発生後に表面処理工法による雨水封かんの延命効果を把握することとしており、図-5から水を供給する条件下で応力が急激に低下し始める傾向を示す30,000回載荷時に表面処理工法を適用することとした。具体的には、30,000回載荷時に試験を一度中断して供試体を取り出し、水滴が落下する供試体表面に刷毛にて塗布し、養生後に再度水滴が落下する条件で試験を再開した。

表面保護材A、B共に5本の供試体に対して、点滴法により供試体に水を与える条件下で疲労試験を行った。その結果を表-4に示す。なお、同表では表面保護材を施工しなかった前節の結果と比較できるように合わせてとりまとめている。前節で疲労抵抗性の新たな評価指標として設定した応力値30%における載荷回数の評価では、水を与える条件下では58,800回に対し、水を同様に与えつつ30,000回載荷時点で表面保護材を塗布したものについては101,000回、95,600回となり、水を与えない条件下での124,400回には届かないものの、載荷回数が大きく増加していることが分かる。1.にて、目視で確認できない程度の路面の微細なひび割れへの雨水の浸入により、舗装の破損が急激に進行していくことが明らかになっていると述べたが、本供試体でも30,000回載荷時で一度供試体を取り出した際には同様にひび割れは目視で確認されなかった。一方で、30,000回載荷時は水を与える条件下では急激に応力が落ち始める(図-5参照)時点であり、既に微細なひび割れが入っており、それに対して塗布した表面処理材が浸透し、雨水のさらなる浸透防止をしたことにより、延命効果が発揮されたとも考えられる。

5. まとめ

雨水の存在がアスファルト混合物に対する疲労抵抗性の違い、及び対策の効果を明らかにすべく、

表-4 試験途中に表面処理工法を適用した場合の試験結果

| 試験条件 | 水の有無 | 表面保護材 | 供試体No | 締固め度(%) | 破壊回数 | | 応力値30%における載荷回数 | |
|------|------|-------|-------|---------|---------|--------|----------------|---------|
| | | | | | 破壊回数(回) | 平均(回) | 載荷回数(回) | 平均(回) |
| a | 無 | 無し | 1 | 99.0 | 70,000 | 60,400 | 106,000 | 124,400 |
| | | | 2 | 98.9 | 61,000 | | 152,000 | |
| | | | 3 | 100.6 | 26,000 | | 128,000 | |
| | | | 4 | 100.5 | 90,000 | | 118,000 | |
| | | | 5 | 101.1 | 55,000 | | 118,000 | |
| d | 有 | 無し | 1 | 99.1 | 30,000 | 36,800 | 70,000 | 58,800 |
| | | | 2 | 99.1 | 39,000 | | 59,000 | |
| | | | 3 | 100.0 | 55,000 | | 69,000 | |
| | | | 4 | 99.9 | 25,000 | | 48,000 | |
| | | | 5 | 100.6 | 35,000 | | 48,000 | |
| e | 有 | A | 1 | 99.1 | 50,000 | 54,400 | 109,000 | 101,000 |
| | | | 2 | 99.1 | 37,000 | | 54,000 | |
| | | | 3 | 99.4 | 50,000 | | 118,000 | |
| | | | 4 | 99.8 | 90,000 | | 149,000 | |
| | | | 5 | 100.3 | 45,000 | | 75,000 | |
| f | 有 | B | 1 | 99.5 | 60,000 | 52,000 | 78,000 | 95,600 |
| | | | 2 | 99.6 | 41,000 | | 90,000 | |
| | | | 3 | 99.4 | 32,000 | | 114,000 | |
| | | | 4 | 99.6 | 47,000 | | 81,000 | |
| | | | 5 | 99.9 | 80,000 | | 115,000 | |

アスファルト混合物に対する疲労試験を行った。その結果、水の存在はアスファルト混合物の疲労抵抗性に大きく影響すること、急激な強度低下が始まる前に表面処理工法を適用することにより、舗装の延命効果が期待できることが明らかとなった。

社会資本整備審議会道路技術小委員会における舗装の点検要領策定に向けた動きなど、舗装のより効率的なマネジメントの実現に向けた取組が活発となっている。本検証結果も踏まえ、引き続きその実現に向け研究を進めて参りたい。

参考文献

- 1) 渡邊一弘、堀内智司、久保和幸：路面への雨水浸入が舗装の構造的健全度の低下に与える影響、土木技術資料、第56巻、第5号、pp.26~29、2014
- 2) 渡邊一弘、久保和幸：地下水位の高さと舗装の疲労蓄積に関する実験的検証、土木学会論文集E1(舗装工学)、Vol.71、No.3(舗装工学論文集第20巻)、pp.I_161~I_168、2015.12
- 3) (社)日本道路協会：舗装調査・試験法便覧[第3分冊]、2007.6

渡邊一弘



土木研究所道路技術研究グループ舗装チーム 主任研究員
Kazuhiro WATANABE

藪 雅行



土木研究所道路技術研究グループ舗装チーム 上席研究員
Masayuki YABU