

アスファルト混合物のはく離抵抗性の評価と改善に関する研究

鎌田 修¹・山田 優²

¹ 学生会員 工修 大阪市立大学大学院工学研究科 (〒558-8585 大阪市住吉区杉本3-3-138)

E-mail:kamata@me.civil.eng.osaka-cu.ac.jp

² 正会員 工博 大阪市立大学大学院工学研究科教授 (〒558-8585 大阪市住吉区杉本3-3-138)

E-mail:yamada@urban.eng.osaka-cu.ac.jp

近年、アスファルト舗装では、はく離が原因とみられる破壊の割合が大きくなっている。舗装の長寿命化をさらに進めるためには、アスファルト混合物の長期供用下におけるはく離現象のメカニズムや改善策を検討する必要がある。そこで、本研究では、水浸ホイールトラッキング試験を用いてアスファルト混合物のはく離によって破壊するまでの時間ではく離抵抗性を評価する方法を検討し、その結果から橋面舗装におけるポットホールの発生機構、アスファルト混合物の骨材、舗装構造がはく離抵抗性に及ぼす要因と改善策を検討した。さらに、プラスチック粒を混入して耐流動性が高まった混合物のはく離抵抗性を調べた。

Key Words : *stripping, asphalt pavement, immersed wheel tracking test, aggregates, recycled polyethylene pellet*

1. はじめに

アスファルト混合物のはく離は、アスファルト混合物中の骨材の表面からアスファルトがはがれる現象¹⁾で、水の存在下で輪荷重の繰り返し作用を受けると促進されやすい。はく離したアスファルトは乳化して移動する。その結果、骨材が裸になると、混合物の支持力は著しく低下する。このような混合物の破壊形態はストリップングと呼ばれ、昔から知られている²⁾。

各地で採れる骨材に関しては、はく離を起こしやすい骨材はある程度調査されている^{3), 4), 5)}。アスファルト混合物のはく離対策としては、フィラーへの消石灰の混合やはく離防止剤の添加等がある^{6), 7), 8)}。これらの対策により、アスファルト混合物のはく離が短時間には発生しない技術が確立され、早期にはく離により舗装が破壊するような事態は回避できる。

また一方、流動によるわだち掘れ、繰り返し輪荷重載荷による疲労破壊等についても対策技術が開発され、舗装の寿命は長くなったと言える。その結果、舗装の破壊形態はポットホール、ひび割れ等のはく離が起因していると考えられるものの割合が増加し

てきている⁹⁾。

舗装のさらなる長寿命化を考えた場合、これまでのはく離に対して問題がないとされていた材料および混合物、耐流動性を高めた混合物に対してもはく離抵抗性をさらに改善する技術の開発が必要であり、また、これらを検査する試験方法も確立する必要がある。

そこで、本研究では、アスファルト混合物のはく離抵抗性の評価方法とアスファルト混合物のはく離抵抗性改善策について以下のことを検討した。

- ① 長期供用するアスファルト混合物のはく離抵抗性を評価するための水浸ホイールトラッキング試験の方法
- ② ポットホールの発生報告の多い橋面舗装におけるポットホールの発生機構
- ③ 使用骨材と舗装構造がはく離抵抗性に及ぼす要因と改善策
- ④ 耐流動性を高めたプラスチック粒混入アスファルト混合物のはく離抵抗性

2.水浸ホイールトラッキング試験によるアスファルト混合物のはく離抵抗性の評価方法の検討

表-1 はく離率測定結果

単位：%

測定者	A	B	C	D	E	断面平均	供試体平均
研究歴(年)	6	1	3	3	6		
A-60/80	断面①	35	40	51	41	51	44
	断面②	31	10	40	30	38	37
B-60/80	断面①	57	30	64	42	37	46
	断面②	51	12	64	41	42	44
A-改質	断面①	11	5	10	15	7	10
	断面②	17	8	13	15	9	11

(1) 従来の方法による評価実験

アスファルト混合物のはく離抵抗性の評価方法としては水浸ホイールトラッキング試験があり、通常採用されている試験方法として、図-1 に示す日本道路協会発行「舗装試験法便覧別冊」に記載の方法がある。まず、この方法により評価する実験を行った。

a) 実験に用いた混合物

はく離を発生しにくい硬質砂岩砕石である粗骨材（以下、粗骨材 A、静的はく離試験のはく離率 6%）を使用し、バインダーにストレートアスファルト 60/80（以下、60/80AS）を使用した密粒度アスファルト混合物（以下、A-60/80）、同じ粗骨材で、バインダーに改質Ⅱ型アスファルト（以下、改質 AS）を使用した密粒度アスファルト混合物（以下 A-改質）、および、比較検討のためにはく離を発生しやすい石英岩砕石である粗骨材（以下、粗骨材 B、静的はく離試験のはく離率 36%）を使用し、バインダーに 60/80AS を使用した密粒度アスファルト混合物（以下、B-60/80）、以上 3 種類とした。なお、配合は質量比ですべて同じ、バインダー量は 5.5% とした。

b) はく離抵抗性の評価方法と評価実験結果

載荷走行試験を舗装試験法便覧別冊¹⁰⁾ に準じた方法で行った。ただし、走行試験後のはく離率測定では、試験輪走行方向に対して直角方向のみに 2 分割し、両側 2 断面のはく離率を目視で測定した。

はく離率の測定者は舗装工学の研究を行っていて、アスファルト混合物に関してある程度の知識がある者 5 人（著者含む）とした。著者以外の 4 人はどの

材料を使っているかは一切知らされず、1 つの供試体に対して 2 つの断面を測定したが、順不同で陳列したためにどの 2 つの断面が同じ混合物の供試体からのものであるかも知らされなかった。

実験の結果を表-1 に示す。研究歴の短い測定者 B については同じ供試体の断面であってもはく離率に 30% 程度の差が出た。これは測定者の経験、知識の不足が作用していると考えられるが、他の測定者においても 10% 程度の差は生じた。

また、供試体ごとのはく離率を比較すると、改質アスファルトを使用した A-改質に対しては、はく離率が低いというのが全員の一致した結果であった。しかし、使用した粗骨材が異なる A-60/80 と B-60/80 では測定者 A, C, D が B-60/80 のほうがはく離率は大きくなるとしたが、測定者 B, E は逆であった。測定者 B を除いた場合、B-60/80 では同一断面においてもはく離率が観測者によって 37% から 64% までの 27% の差が生じた。A-60/80 でも、35% から 51% までの 16% の差が生じた。

さらに、A-改質では、はく離率の測定結果の平均値が 11% で、はく離している部分が供試体の厚さの 50mm に対して平均がわずかに 5~6mm ということであり、はく離している部分を特定することが困難であった。高粘度アスファルトを用いた排水性混合物ではさらに小さくなり、それらはく離抵抗性の高い混合物間での比較評価は、この従来の方法では不可能となる。

以上のとおり、従来の方法による水浸ホイールトラッキング試験では、目視によるはく離率の測定による評価であるため、評価結果に個人差が生じやすい。また、はく離抵抗性の高い混合物を開発するための比較評価ができない。そこで、これらの問題点を解決できるような新たな評価方法を検討した。

(2) 破壊時間の定義

供試体上に試験輪を走行させ、供試体上面の沈下量の最大値を自動記録すると図-2 のような沈下-時間曲線が描かれる。図のとおり、最初は時間と

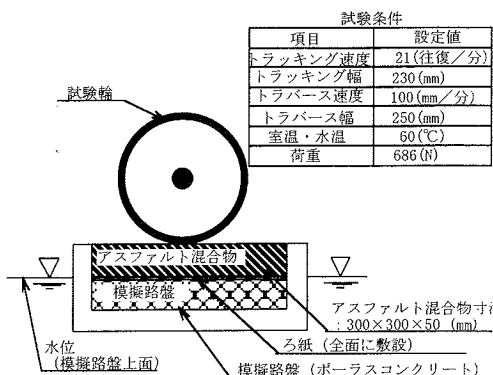


図-1 水浸ホイールトラッキング試験の概要
(舗装試験法便覧別冊記載の従来の方法)

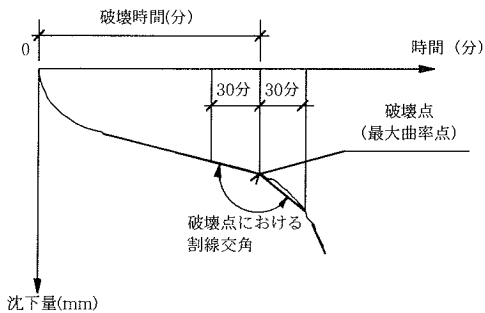


図-2 破壊時間の定義

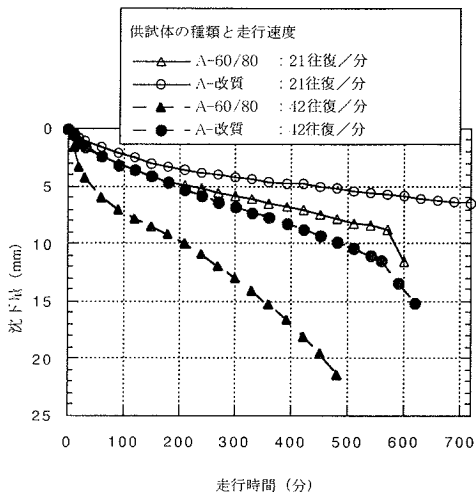


図-3 沈下量と走行時間関係
(走行速度変化)

もに沈下速度は減少するが、ある時点から急激に沈下量が増加するようになる。このときの沈下量-時間曲線の曲率が最大となる点を破壊点とし、それまでの走行時間を破壊時間とした。

破壊時間を測定したのと同じ混合物に対して、再び水浸ホイールトラッキング試験を行い、破壊時間の約 75%の時間で実験を中止して、供試体を割って断面を観察したところ、下側が 85%程度はく離していた。予想破壊時間の直前に試験輪走行を止めて、供試体を割って断面を観察したところ、ほぼ全面にはく離が進行していた。つまり、破壊時間ははく離が供試体のほぼ上面に達した時間を表していると考えられる。

なお、最大曲率点は、図-2に示すとおり、前後 30 分の曲線の割線が交する角度が最小となる点とした。

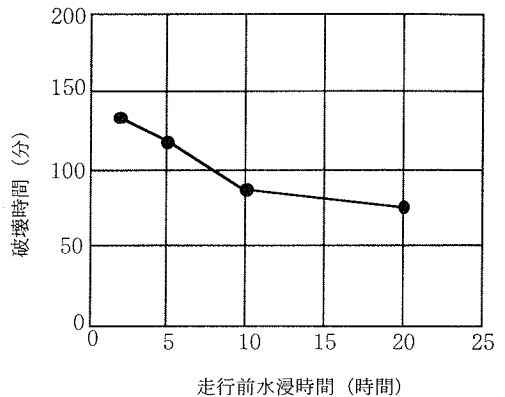


図-4 破壊時間と走行前浸漬時間の関係

表-2 供試体厚さと破壊時間の関係

供試体種類	破壊時間(分)	
	供試体厚40mm	供試体厚50mm
A-60/80 (密粒度混合物)	110	220
A-改質 (密粒度混合物)	160	560
A-高粘度 (排水性混合物)	1210	3000以上

(3) 従来の方と試験条件の変更点

a) 走行速度

従来の方では走行速度は 21 (往復/分) であったが、この条件で走行させた場合、図-3 に示すとおり、A-60/80 では明確な破壊時間を示したが、A-改質では 12 時間車輪を走行させても明確な破壊時間を示さなかった。すなわち高はく離抵抗性の混合物に対しては、この程度の時間では試験が終わらず、比較評価ができない。次に、走行速度を 2 倍の 42 (往復/分) として試験を行ったところ、A-改質も 6 時間程度で破壊時間を示した。これらの結果より、走行速度が高いほど、短時間で評価が可能になるといえるが、試験機の性能から、この速度が限界である。そこで走行速度は 42 (往復/分) とした。

b) 走行試験前の供試体浸漬時間

従来の方では、60℃の気乾状態で 12 時間養生し、次いで 60℃に調整された温水の注水を行って水位を模擬路盤上端に調整し、この水槽の中で 1 時間浸漬するとしている。しかし、この浸漬時間を長くするほど混合物のはく離は進行しやすいと考えられる。そこで、試験輪走行前の浸漬時間を変えて試験を行った。その結果を図-4 に示す。

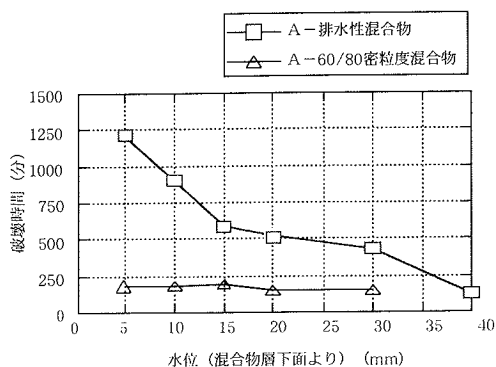


図-5 水位の変化と破壊時間の関係

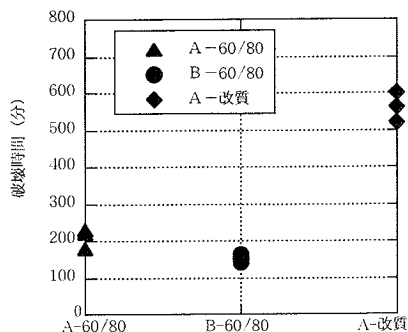


図-6 各混合物供試体の破壊時間測定結果

表-3 破壊時間によりはく離抵抗性を評価する水浸ホイールトラッキング試験における走行試験条件 (従来の方法からの変更)

項目	単位	設定値
走行試験前の浸漬時間	時間	15
走行速度	往復/分	42
試験輪荷重	N	686
試験温度	℃	60
走行距離	mm	230
トラバース速度	mm/分	100
トラバース幅	mm	250
供試体面寸法	mm	300×300

□ 従来の方法からの変更点

10 時間までは浸漬時間を長くすることにより、破壊時間が長くなった。しかし、10 時間を越えると、破壊時間はほとんど変化しなかった。そこで、本研究では、24 時間サイクルの試験の実施をしやすいするため、浸漬時間は 15 時間とした。

c) 供試体厚さ

供試体厚さを従来の方法の 50mm から 40mm に変化した場合の影響を調べた。表-2 に、密粒度混合物と排水性混合物の結果を示す。排水性混合物は最大粒径 13mm で、粗骨材に硬質砂岩 (静的はく離試験、はく離率 6%) を使用し、バインダーに高粘度アスファルトを使用した (A-排水性混合物)。

密粒度混合物では、40mm に変えることにより全体的に破壊時間は短くなったが、供試体の種類による差が小さくなった。排水性混合物では、厚さが 50mm になると破壊時間が 50 時間を越えても破壊に至らなかった。

すなわち、供試体の厚さを 40mm とした場合、密粒度混合物では混合物の種類により破壊時間に明確な

差がなくなつてはく離抵抗性の比較評価が難しくなるが、排水性混合物では明確な破壊時間を得るために 40mm で行ったほうがよいといえる。以下、密粒度混合物の供試体厚さは 50mm、排水性混合物では 40mm を標準とした。

d) 水位の変化が破壊時間に及ぼす影響

水位の変化による破壊時間の変化を図-5 に示す。

密粒度混合物では、水位を変化させても破壊時間に大きな変化がなかったが、排水性混合物では、水位が変化することによって破壊時間に大きな差が生じた。

これは密粒度混合物の場合は側面からの水の進入がないためにはく離は下面の境界 (ろ紙を敷いた部分) から、上方に進行していく。このために水位が変化しても破壊時間に変化がなかったと考えられる。

一方、排水性混合物では混合物内部に水が浸入するため、水位が高いほどはく離が促進されて破壊時間が短くなったと考えられる。

以上より、水位を密粒度混合物では上層のアスファルト混合物下面より 5mm、排水性混合物では 20mm の場合と 40mm の場合の 2 通りとした。

(4) 破壊時間で評価する場合の試験方法

以上の変更点を含めた水浸ホイールトラッキング試験の走行試験条件を表-3 に示す。

前出の A-60/80、B-60/80、A-改質の破壊時間を図-6 に示す。各混合物に対して 3 つの供試体を作製し、3 回の試験を行った。この結果から、破壊時間で混合物のはく離抵抗性を求めることにより、測定者が変わることによる測定値のばらつきをなくするとともに、同一供試体の測定誤差を少なくして各混合物のはく離抵抗性を比較検討できた。

3 橋面舗装におけるポットホールの発生機構の検討

(1) 実験概要

橋面舗装では、アスファルト混合物層は通常、一般部の舗装の場合に比べて剛な支持層上にあり、過大な変形によるひびわれ破損は少ない。しかし、支持層となる床版の透水性は低く、舗装体内に水が浸入すると滞留しやすい。水の存在は層間ならびに混合物自体のはく離を促進し、舗装の局部的破損、すなわちポットホールの原因になると考えられる。

鋼床版の増加、コンクリート床版の水密化と防水層の設置は舗装体内での滞水の可能性を高めており、それがポットホールの原因になりやすいのであれば、適切な排水構造、はく離現象を起こしにくい舗装材料・構造の開発などの防止対策が必要である。

そこで、舗装体内への水の侵入と混合物のはく離現象、そしてそれがポットホールの発生につながるメカニズムを図-7 に示す水浸ホイールトラッキング試験機を用いた模型実験により検討した。

走行試験を表-3 に示した条件で行った。上層は密粒度混合物 (A-60/80)、下層はコンクリートとし、下層と型枠底版の中央部に直径 6.5mm の孔を開けて境界への水の浸入を可能にした。なお、上層の混合物の厚さを 50mm と 40mm、試験温度を 60℃ と 50℃ とした。

また、境界の条件は次の 2 通りとした。

- ① 全面にろ紙を敷設
- ② 中央部に 60mm のろ紙を敷設し、他の部分には乳剤を塗布

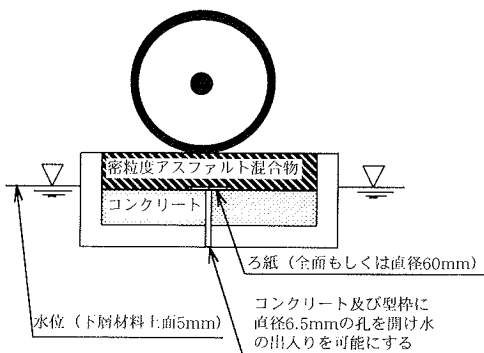


図-7 水浸ホイールトラッキング試験機を用いた橋面舗装模擬実験

(2) 目視によるポットホール発生の確認

試験温度が 50℃ と 60℃、供試体厚さが 40mm と 50mm、境界条件の違うそれぞれの供試体について、破壊時間直後に 2 分割して、はく離の状況を観察したところ、破壊時間では上層のアスファルト混合物のはく離が上面まで達している、実験では骨材を飛散させるまでにはならないが、現場では車輪によって骨材が飛ばされてポットホールに至る状態になることが確認された。

また、境界が全面ろ紙の場合は、写真-1 のように上面まで達したはく離がほぼ全面に見られたのに対し、中央に 60mm のろ紙を敷設し、他部分に乳剤を塗布した混合物は、写真-2 のように中央部のみはく離が見られた。

この結果から、上層のアスファルト混合物とコンクリートとの境界での局部的な滞水により、はく離がアスファルト混合物の上面に進行し、ポットホールが発生すると考えられる。

(3) 試験温度と混合物厚さの破壊時間への影響

図-8 に示すとおり、全面にろ紙を敷設した場合のほうが、中央のみにろ紙を敷設した混合物よりも破壊時間が短くなった。これは、全面にろ紙を敷設した混合物は底面のすべてから水が供給され、はく離が促進されるためである。また、混合物の厚さを変えても、試験温度 60℃ での実験では大きな変化はなかった。

また、図-9 から、全面にろ紙を敷設したほうが、中央のみにろ紙の場合よりも破壊時間が短いことが分かる。ただし、試験温度が 50℃ になると、混合物の厚さが 50mm から 40mm に変化した場合、破壊時間の減少が見られた。これは 50℃ のほうがアスファルト混合物の流動変形が小さいために、すでは



写真-1 試験温度 50℃、全面ろ紙敷設の場合の破壊時間での混合物断面



写真-2 試験温度 50℃、中央に 60mm のろ紙敷設、他部分乳剤塗布の場合での破壊時間での混合物断面

4. はく離抵抗性に及ぼす要因と改善策の検討

(1) 検討要因

アスファルト混合物のはく離抵抗性は、以下の要因が影響すると考えられる。

- ① 使用アスファルトの種類
- ② はく離防止剤の添加
- ③ 使用骨材の種類
- ④ 舗装の構造

① については、各種改質アスファルトの技術開発が盛んに行われている。②についても、消石灰の混入や、最近ではアミン系界面活性剤や有機リン酸化合物といったはく離防止剤、はく離抵抗性のあるアスファルトの開発が行われている。

しかし、使用骨材がアスファルト混合物のはく離抵抗性に及ぼす影響についての研究は不十分である。各プラント周辺で採れる骨材の中で、はく離をおこしやすい骨材は確認されているが、その要因については、表面電位が関係しているとは考えられているが、実際には確認されていない。

また、舗装の構造がアスファルト混合物のはく離抵抗性に及ぼす影響についても、まだ十分に研究されていない。

そこで、使用骨材と舗装の構造がはく離抵抗性に及ぼす影響を調べて、改善策を検討した。

(2) 使用骨材がはく離抵抗性に及ぼす影響

アスファルト混合物のはく離抵抗性は使用する骨材によって大きく異なる。特に骨材表面の帯電状況に影響されると考えられている。

一般に骨材表面はマイナスに帯電している。これはシリカの分子構造によって定まる表面電位に影響されており、シリカ分が多いほどはく離は起こりやすいと考えられている¹¹⁾。そこで、実際に骨材の表面電位の測定を行った。また、表面電位を低下させた場合の骨材のはく離抵抗性への影響も調べた。

a) 骨材の表面電位の測定

骨材の表面電位の測定は、次の2通りとした。

- ① 骨材を 0.6~0.3 (mm) に破碎し、電気泳動法により、ゼータ電位を測定した。
- ② 7 号碎石を 110℃で 24 時間炉乾燥させた後、ミキサーで 30 秒間、110℃で加熱混合し、鉄製カップに骨材を移動させ、非接触型の表面電位計により、表面電位を測定した。

骨材は前出の粗骨材 A (静的はく離試験、はく離率 6%) と粗骨材 B (静的はく離試験、はく離率 36%) を使用した。

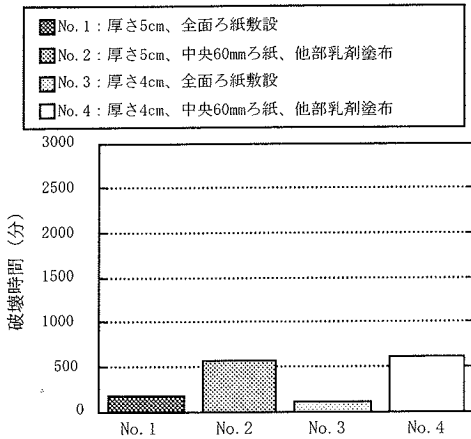


図-8 60°Cにおける試験での破壊時間

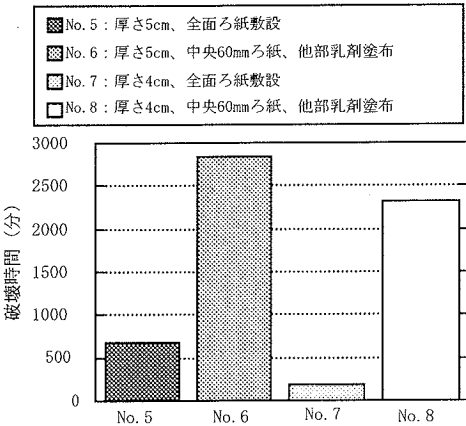


図-9 50°Cにおける試験での破壊時間

はく離が起きて脆弱になっている部分に混合物が流入することが少なく、はく離を起こしている部分と健全な部分が試験温度 60°Cの場合に比べて明確に分かれており、混合物の厚さが増した分だけ、破壊時間も長くなったと考えられる。

以上より、ポットホールを水浸ホイールトラッキング試験で再現するには試験温度は 60°Cより 50°Cのほうが適している可能性はある。しかし、すべての実験において 50°Cで試験を行うことは時間、試験機の耐久性を考慮に入れると極めて困難である。舗装の滞水による、はく離現象がポットホールの要因となる場合は、試験温度 60°Cでも十分にアスファルト混合物のはく離抵抗性を判断することは可能である。

図-10 にゼータ電位の測定結果を示す。はく離を起ししやすい粗骨材 B のほうが、粗骨材 A よりもゼータ電位が大きくなった。しかし、測定値のばらつきは大きく、粗骨材 B は測定を 11 回行って、測定値が収束しなかった。これは、骨材の表面性状にばらつきが大きいためと考えられる。また、使用した試料はクラッシャーで破碎したために、球形にはなっておらず、電気泳動の際に形状からくる抵抗が影響した可能性も考えられる。

図-11 に表面電位計による測定結果を示す。粗骨材 B のほうが、粗骨材 A よりも表面電位が大きくなった。この場合、同一骨材で 3 回測定したが、測定による大きな差は生じなかった。ただし、後日測定を行ったところ全く異なる測定値を示した。これは、この表面電位計が外気中で測定するために、測定した室内の条件に大きく影響されるためと考えられる。

以上のように、測定精度のばらつきは大きく、また再現性に問題があるものの、はく離をおこしやすい骨材のほうが、はく離をおこしにくい骨材よりも表面電位が大きくなる傾向がみられた。

b) 骨材の表面電位の低下によるはく離抵抗性の向上

骨材の表面電位を低下させるために、ある程度の耐熱性を有する帯電防止剤を塗布した。粗骨材 A に塗布し、110℃の炉乾燥内に放置し、室内に取り出して 90 秒後の表面電位を測定した結果が図-12 である。帯電防止剤を塗布した骨材は、ほとんど帯電していないことが分かる。

この帯電防止剤を塗布した骨材と塗布しない骨材、それぞれについて静的はく離試験を行った。使用骨材は粗骨材 A と粗骨材 B である。また、試験前によく洗浄した場合と、洗浄せずにそのままの場合の 2 通りの条件でも試験を行った。

試験後の骨材の状態を写真-3 から写真-6 に結果の写真を示す。粗骨材 A で、通常の試験前に骨材の洗浄を行った場合ははく離率は 6%、洗浄をしなかった場合は 23%であったが、帯電防止剤を塗布すると、どちらも全くはく離は見られなかった。

粗骨材 B についても、試験前洗浄を行った場合が 36%、行わなかった場合は 62%であったが、帯電防止剤を塗布すると全くはく離は起こらなかった。

このことより、骨材の表面電位を低下させることが、はく離を起ししやすい骨材のはく離抵抗性を高めるとともに、はく離を起しにくい骨材についても、さらにはく離抵抗性を高める手段となる可能性があるといえる。

(3) 舗装構造がはく離抵抗性に及ぼす影響

同一のアスファルト混合物であっても、使用される

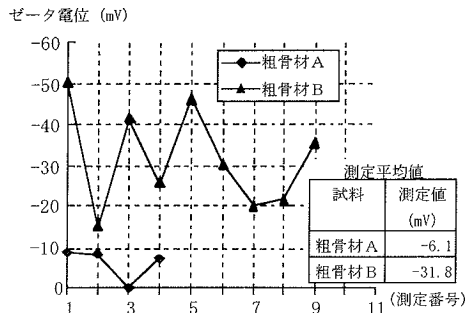


図-10 ゼータ電位測定結果

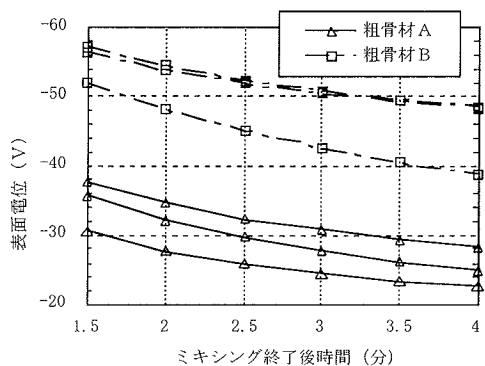


図-11 表面電位測定結果

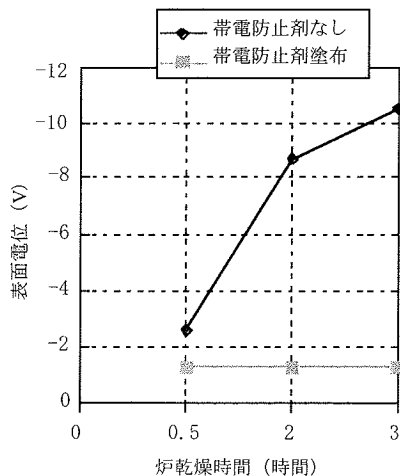


図-12 耐電防止剤塗布による表面電位への影響

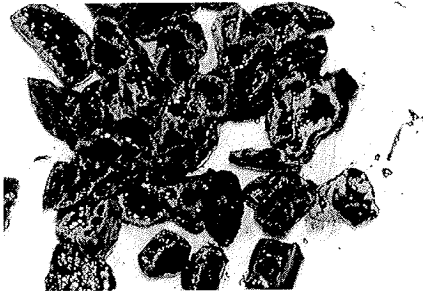


写真-3 粗骨材 A 無処理 (洗浄なし)



写真-4 粗骨材 A 帯電防止剤塗布



写真-5 粗骨材 B 無処理 (洗浄なし)

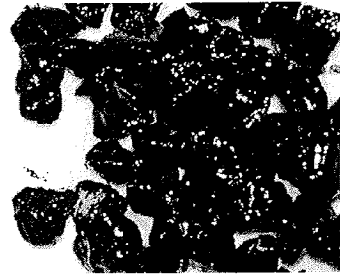


写真-6 粗骨材 B 帯電防止剤塗布

舗装の構造によりはく離抵抗性が変化する可能性がある。そこで、密粒度混合物と排水性混合物について、水浸ホイールトラック試験において下層の材料を変化させて上層のアスファルト混合物のはく離抵抗性の変化を調べるとともに、それら 2 層の境界の条件を変化させての試験も行った。

a) 密粒度混合物の場合

図-8 の実験で、上層を密粒度混合物 A-60/80 とし、下層材料中央に 6.5mm の孔をあけ、境界中央に直径 60mm の円形のろ紙を敷設し、境界に滞水する条件で試験を行った。乳剤塗布量は $0.45 (\ell/m^2)$ とした。

結果を図-13 に示す。境界に乳剤を塗布しない場合は、下層がアスファルト混合物 (A-60/80) が最も破壊時間が長くなった。しかし、乳剤を塗布しても下層が A-60/80 の場合は破壊時間が大きく変化することはなかった。これは、下層がアスファルト混合物の場合は、乳剤を塗布しなくても境界には水が浸入しにくく、また、乳剤の塗布に関わらず輪荷重による下層の変形は起きるために、乳剤の塗布が破壊時間に影響を与えなかったと考えられる。

下層がコンクリートと鋼の場合は、境界に乳剤を塗布しない場合、破壊時間が短かったが、乳剤を塗布することにより、破壊時間が長くなった。特に下層がコンクリートの場合に、この傾向が著しい。つ

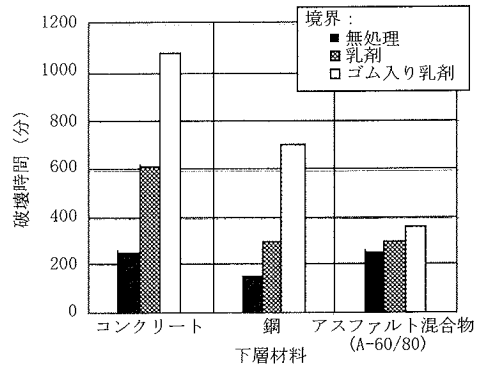


図-13 下層材料、境界の変化による破壊時間への影響 (密粒度混合物)

まり、コンクリートと鋼が下層の場合、乳剤を塗布することにより境界への水の浸入が防げ、上層と下層の接着が向上するために乳剤塗布の効果が大きいと考えられる。また、局所的な乳剤塗布の欠損は、ポットホールのような局所的な破壊の原因の一因となることも考えられる。

b) 排水性混合物の場合

排水性混合物の下層材料と境界の変化による破壊

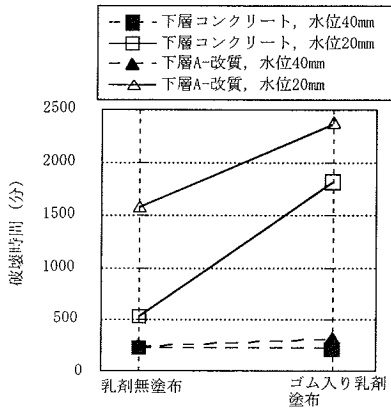


図-14 下層材料, 境界の変化による破壊時間への影響 (排水性混合物)

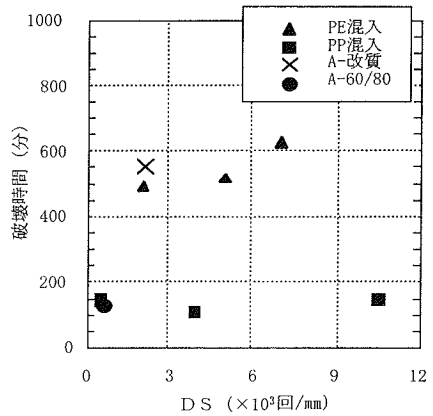


図-15 プラスチック粒混入密粒度混合物の破壊時間とDSの関係

時間への影響を図-14に示す。水位が境界より40mmの場合(排水性混合物上面まで水に浸漬), 下層材料, 境界の条件に関係なく, 破壊時間がほぼ一定となった。これは, 水位が高いために水が境界よりも上方の排水性混合物内部あるいは上面から進行するためと考えられる。

水位が境界から20mmで, 乳剤を塗布しない場合, 下層にアスファルト混合物(A-改質)を使用したほうが, コンクリートを使用するよりも破壊時間が長くなった。しかし, 下層がアスファルト混合物でもコンクリートでも, 乳剤を塗布することにより破壊時間が大きく変化した。排水性混合物は混合物内部, 境界に水が浸入しやすい構造のために, 乳剤を塗布することにより境界の防水, 接着に効果が現れ, 破壊時間が大きくなったと考えられる。

5. プラスチック粒混入アスファルト混合物のはく離抵抗性についての検討

(1) 密粒度混合物へのプラスチック粒の混入がはく離抵抗性に及ぼす影響

混入したプラスチックは, 混入により密粒度混合物の耐流動性を高める低密度ポリエチレンペレット(PE-1), ポリプロピレンペレット(PP)である。これらは市販のペレットであり, 5~2.5mmの均一な粒径である。これらを密粒度混合物の7号砕石と同体積量で置換した。

PE-1の混入量を10%, 16%と変化させて, 混入前に予備加熱をした場合としなかった場合に分け, またPPの混合時間を30秒と150秒に分け, 動的安定

度(DS)を変化させた場合, それに伴う水浸ホイールトラッキング試験より求められる破壊時間の変化を図-15示す。

改質アスファルトを使用した場合, 動的安定度(DS)が高まることにより, 水浸ホイールトラッキング試験の破壊時間も大きくなった。これは, 使用した改質アスファルトが, その粘度を上げることに伴って骨材の流動を防ぐために, 骨材との接着力も向上し, はく離抵抗性も高まったためと考えられる。

一方, プラスチックを混入した混合物はPE-1を混入した場合には, DSが大きくなるとともに破壊時間も長くなった。しかし, PPを混入した混合物はDSが大きくなっても, 破壊時間は変化しなかった。これは, 150℃で加熱混合して溶解した際のPE-1の粘着性によって, 骨材とアスファルトの接着を高めたことによると考えられる。しかし, PPは溶解しても粘着性をもたないために, 骨材間の空隙を埋めて骨材の流動変形は防がうが, 骨材とアスファルトの接着には効果がないためと考えられる。

また, PE-1はその粘着性のために, 転圧の際, 混合物が転圧ローラに付着し, 混合物の表面が粗くなる特徴も見られた。これが表面からはく離によるポットホール発生要因となる可能性もあるため, この現象を防ぐ方法が必要である。

(2) 排水性混合物への廃プラスチック粒混入の検討

上記のとおり, ポリエチレンをアスファルト混合物に混入すると, 表面が粗くなるが, 耐流動性とはく離抵抗性が向上する。そこで, 排水性混合物にポリエチレン廃棄物を破碎したもの(PE-2)とペットボトルラベルの再生ペレット(PE-3)を混入した。

表-4にこれらのポリエチレンの性状を示す。

これらのプラスチック粒混入効果を確認するために以下の試験を行った。

- ① ホイールトラッキング試験 (耐流動性)
- ② 水浸ホイールトラッキング試験 (はく離抵抗性)
- ③ 耐油残留安定度試験 (耐油性)
- ④ 現場透水試験 (透水性)

以下、試験結果について述べる。

a) ホイールホイールトラッキング試験結果

試験結果を図-16に示す。排水性混合物は高粘度アスファルトを使用しているためにプラスチックを混入しなくてもDSが高く、この試験結果から耐流動性を比較することは、試験の精度を考慮にいとると難しい。しかし、プラスチック粒を混入することにより、DSは上がる傾向にあった。

b) 水浸ホイールトラッキング試験結果

水位は、混合物の下面より20mmとした。

試験結果を図-17に示す。PE-2、PE-3を混入することにより、破壊時間が長くなった。

PE-3では混入量を砕砂(0.6mm~0.075mmの粒径)と置換した6%から砕砂およびスクリーニングス(2.5~0.075mm)と置換した10%へと増やしても、破壊時間は長くならなかった。

c) 耐油残留安定度試験結果

車両からの油漏れにより、混合物中のアスファルトがカットバックされて結合力を失って舗装面にポットホールが発生する場合がある。特に排水性舗装では、その構造から、油を舗装内に浸入させやすい。耐油性も改善する必要がある。

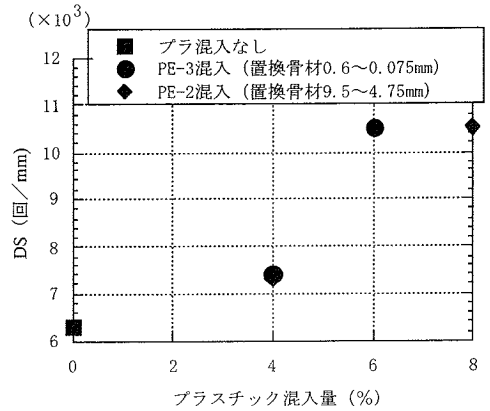


図-16 プラスチック粒混入排水性混合物のホイールトラッキング試験結果

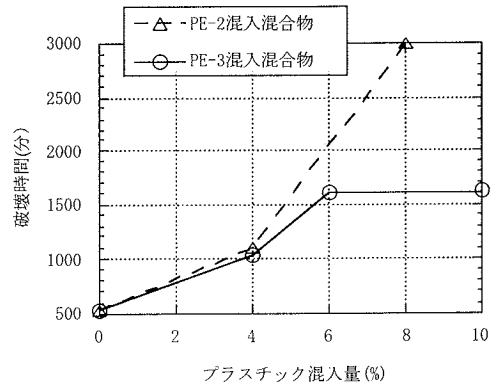


図-17 水浸ホイールトラッキング試験結果

表-4 排水性舗装混入プラスチック粒性状

呼び名称		PE-2	PE-3
品質		廃棄物	ペットボトル・アル再生ペレット
通過 質量 百分 (%)	19.0mm	100.0	—
	13.2	98.7	—
	9.50	14.6	100.0
	4.75	0.8	91.3
	2.36	0.1	43.9
	1.18	—	10.8
	0.6	—	1.4
	0.3	—	0.1
形状		砕石状	粒状
密度 (g/cm ³)		0.900*	0.900*

(*平均値)

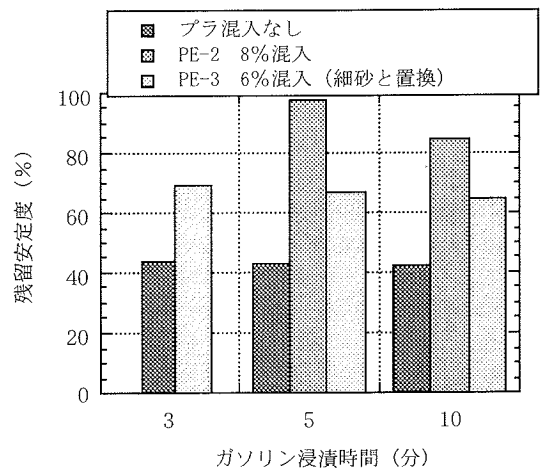


図-18 耐油残留安定度試験結果

6.結論

表-5 混合物の透水量・空隙率・表面性状

混入プラ	プラ混入量 (%)	透水量 (ml/15s)	空隙率 (%)	表面性状 (目視)
混入なし	0	1181.9	21.4	良
PE-2	4	1263.2	20.4	荒
	8	1224.5	20.9	荒
PE-3	4	1196.2	19.8	良
	6	1202.4	20.2	良

東京都が行った方法¹²⁾に基づいて、以下の手順で耐油残留安定度試験を行った。

- ① マーシャル供試体を作製する。
- ② ガソリン中に浸漬する (3, 5, 10 分)。
- ③ ガソリン中から取り出した後、24 時間放置する。
- ④ マーシャル安定度を測定し、ガソリンに浸漬前の値を初期値とする残留安定度を測定する。

以上の方法で求めた結果を図-18 に示す。PE-2, PE-3 のどちらを混入しても、残留安定度が大きくなった。これは、ポリエチレンが耐油性のある物質であり、これが溶融して、その粘着性からアスファルトと骨材の接着に関係することにより、混合物の耐油性が向上したものと考えられる。

d) 現場透水試験および表面性状確認

排水性混合物内でプラスチックが溶融することで、排水性混合物に要求される空隙率、透水量が確保できなかつたり、転圧機に混合物が付着して表面の仕上がりが悪くなる懸念がある。

そこで、各混合物の透水量、空隙率を求めるとともに、表面の性状を目視で確認した。その結果を表-5 に示す。

透水量、空隙率には PE-2, PE-3 混入による影響は見られなかった。しかし、PE-2 の混入では、転圧ローラへの付着が見られ、骨材がはがれて大きくくぼんだ箇所とプラスチックが空隙をつぶしてくぼみがない箇所が分布し、表面の空隙が不均一となった。

PE-3 を混入した混合物は、転圧ローラへの付着がなく、表面性状への影響が見られなかった。

以上から、ポリエチレンを排水性混合物に混入すると、はく離抵抗性、耐油性が向上し、透水量、空隙率に影響は与えないが、そのポリエチレンの粒径が大きい場合は、転圧の際にローラへの付着が発生し、表面の性状が悪くなることにより、それがポットホール等の表面からの局所的なはく離の原因となることが考えられる。

本研究で以下のことが分かった。

- 1) 水浸ホイールトラッキング試験の破壊時間でアスファルト混合物のはく離抵抗性を評価することにより、従来の方法のように試験結果に個人差が生じず、誤差も少なくなる。また、従来では試験が困難であった下層混合物の違いや境界の違いの影響についても試験が可能になる。
- 2) 橋面舗装においては、境界の部分的な滞水により、その部分から上方にはく離が進行し、それが上面まで達すると輪荷重、振動等によりアスファルト混合物が局所的にはがれ、ポットホールとなる。
- 3) 表面電位の測定値にばらつきが大きいのが、概ねはく離抵抗性の高い骨材ほど、表面電位が低い。また、骨材の表面電位を下げることにより、骨材のはく離抵抗性が向上する。
- 4) 下層混合物や境界の条件を変えることで、アスファルト混合物のはく離抵抗性に大きな変化が生じる。特に、コンクリート版が下層の場合は、乳剤の塗布効果が大きく、局所的な塗布の欠損はポットホールの発生につながる可能性がある。
- 5) ポリエチレンの混入により、混合物の耐流動性が向上するだけでなく、はく離抵抗性も向上する。
- 6) 排水性混合物にペットボトルラベルから作製されるポリエチレンペレットを混入することにより、排水性混合物の耐油性、はく離抵抗性が向上する。

参考文献

- 1) 土木学会：舗装工学, 1995.
- 2) Road Reserch Laboratory: Bituminous Materials in Road Construction, Her Majesty's Stationery Office, London, 1962.
- 3) 川島義昭, 松田健治：アスファルト混合物のはく離に関する試験, 日本道路公団試験報告書 昭和 50 年度, pp. 176-182, 1976.
- 4) 阪神高速道路公団：平成 10 年度阪神高速道路公団技術業務報告書, 1999.
- 5) 加賀田政秋, 濱崎貴志, 鶴窪廣洋：アスファルト混合物の劣化要因及び高はく離骨材対策, 第 23 回日本道路会議一般論文集 (C), pp. 476-477, 1999.
- 6) 菊川滋, 久保和幸, 達下文一, 羽山高義, 丸山暉彦, 山之口浩：最新・アスファルト技術, 山海堂, 1995.
- 7) Ishai, I. and Craus, J.: Effect of The Filler on

- Aggregate-Bitumen Adhesion Properties in Bituminous Mixtures, Asphalt Paving Technology, Vol. 46, pp. 228-258, 1977.
- 8) 羽入秋吉, 田中正義: 橋面舗装用付着性改善改質アスファルト, アスファルト, Vol. 39, No. 189, pp. 19-24, 1996.
- 9) 阪神高速道路技術管理センター: 道路橋のメンテナンス, 1993.
- 10) 日本道路協会: 舗装試験法便覧別冊, pp. 135-138, 1996.
- 11) 牛尾俊介, 今井博文: はく離防止への対策, アスファルト, Vol. 42, No. 203, pp. 3-8, 2000.
- 12) 峰岸順一, 田中輝栄: 低騒音舗装のポットホールの破損の実態と原因, 舗装, Vol. 37, No. 3, pp. 3-9, 2002.

(2003. 3. 17 受付)

EVALUATION AND IMPROVEMENT FOR ANTI-STRIPPING OF ASPHALT PAVEMENT

Osamu KAMADA and Masaru YAMADA

The ratio of asphalt pavement failures due to stripping is increasing. The examination of property of stripping over a long term and the method of improving it are needed to develop the technology of pavement for used over a long term. In this study, immersed wheel tracking test was performed and measured the time of destruction. In this test, mechanism of pot-hole in asphalt pavement on bridge-decks was researched. And a sort of aggregates and structure of pavement were examined to improve the anti-stripping property of asphalt pavement. The property of stripping of mixtures that had high anti-fluidity by mixed with plastic pellets were researched, too.