

既設基層混合物のはく離抵抗性の の評価方法に関する研究

本松 資朗¹・神谷 恵三²・松本 大二郎³・山田 優⁴

¹正会員 日本道路公団試験研究所 舗装研究室主任（〒194-8508 東京都町田市忠生 1-4-1）

²正会員 日本道路公団試験研究所 舗装研究室長（〒194-8508 東京都町田市忠生 1-4-1）

³正会員 日本道路公団試験研究所 舗装研究室（〒194-8508 東京都町田市忠生 1-4-1）

⁴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丁目3-138）

高機能舗装では、基層混合物のはく離に起因した局所的な流動わだち掘れなどの破損が散見されるようになり、表層を切削オーバーレイし高機能舗装化する際、既設基層混合物のはく離抵抗性を的確に評価することが重要になっている。しかし、現在のところ確立された評価方法が無く早期開発が望まれる。そこで、高機能舗装混合物下の基層のはく離現象が基層上面から生じることに着目し、現地切り取り供試体を用いて、現場同様に基層上面から水を浸透させてはく離を促進させ、はく離抵抗性を評価する方法を検討した。

Key Word : porous asphalt pavement , binder course mixture , partial plastic flow , stripping resistance , evaluation method

1. はじめに

高機能（排水性）舗装では、これまでの舗装の概念を変え、舗装体内の連続した空隙により、雨水を貯留・排水させるため、写真-1 に示すとおり、雨天時の水はねやスモーク現象が軽減され、視認性やすべり抵抗が向上する。また、タイヤ騒音が低減することから、この舗装は低騒音舗装と称されることもあり、近年、施工実績が著しく増加しており、



写真-1 雨天時の高機能舗装(手前)と従来舗装(奥)

日本道路公団（以下「JH」という。）が管理する高速道路でも、平成 15 年度末には約4割強が高機能舗装化された。

しかし、雑誌「舗装」¹⁾でも紹介されたとおり、舗装ストックの増大に伴い、様々な破損が顕在化しつつある。また、高速道路でも基層混合物のはく離に起因した高機能舗装の局所的な流動わだち掘れ（以下「局部流動」という。）などの破損の発生が散見されるようになったことが報告²⁾されており、既設基層混合物のはく離抵抗性の重要さが改めて認識された。このような中、既設密粒度舗装等の表層を切削オーバーレイし、高機能舗装化する場合、既設基層混合物のはく離抵抗性を的確に評価する手法がなく、早期に開発されることが望まれる。

本研究は、このような状況を踏まえ、既設基層混合物のはく離抵抗性の評価方法に関して検討したものである。

2. 高機能舗装の破損状況と課題

これまでの舗装は、路面で排水し舗装体内に水を入れないことを前提としており、例えば、表層には水密性に富む密粒度混合物、基層には粗粒度混合物

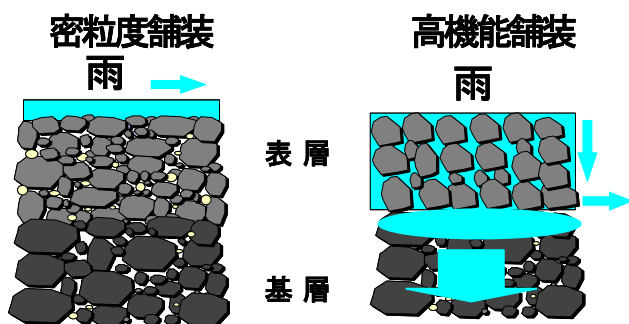


図-1 排水機構の違いとはく離進行イメージ

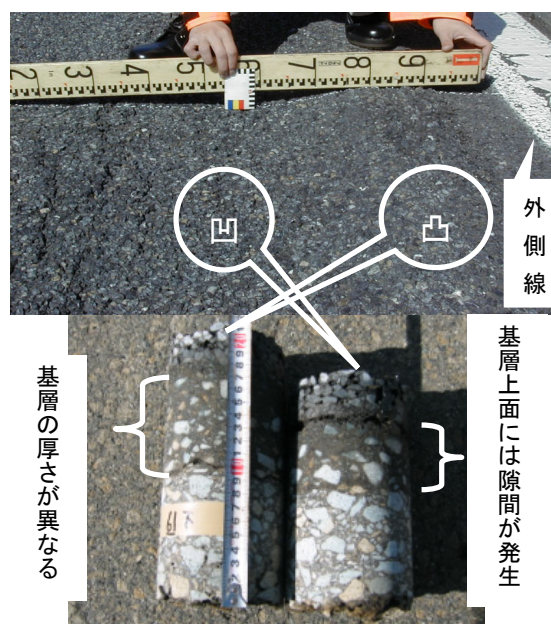


写真-2 基層のはく離に伴う側方流動

が用いられている。一方、高機能舗装は、前述のとおり、路面に降った雨水等を混合物中に有する連続した空隙に貯留し側方へ排水させるものである。

したがって、表層が密粒度混合物の場合は、図-1の左図に示すとおり、基層は直接水に曝されなかったが、高機能舗装では図-1の右図に示すように直接水に曝される。また、基層が粗粒度混合物などで水が浸透しやすく、はく離抵抗性が低い場合、基層表面部の混合物にはく離が生じ、それが次第に下層部へと進行することになる。

写真-2 は、切削オーバーレイにより高機能舗装化を図った現場において、施工後半年が経過した梅雨時に、外側軌道部分（outer wheel path：以下「OWP」という。）の沈下と縦断方向クラックの発生および外側線部分の盛り上がり現象（以下「側方流動」という。）が発生したものである。

同写真下の左側のコアは、盛り上がっている部分で採取したコアであり、右側のコアは、OWPの沈下した部分で採取したコアである。採取コアの上層路盤に位置するアスファルト安定処理層（以下「アスペース」という。）と表層の高機能舗装混合物層

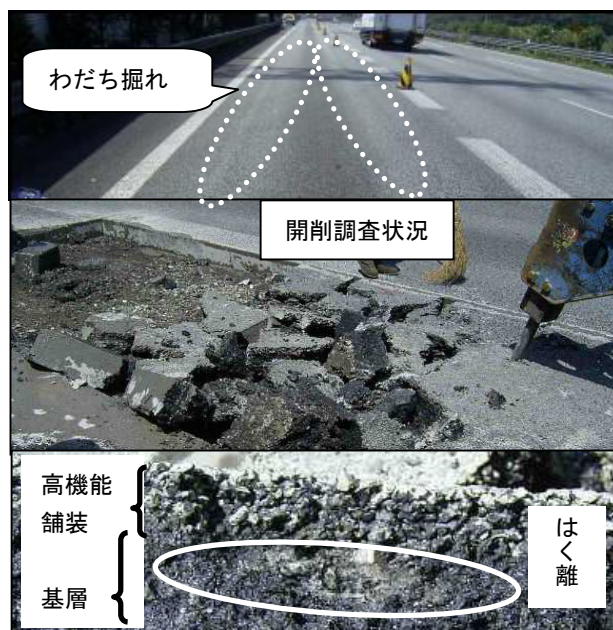


写真-3 基層混合物の上面付近のはく離

の厚さは、いずれもほぼ同じであるが、基層部分の厚さが極端に異なっている。また、右側のコアには、表層と基層の境界部分（基層上面）に隙間も発生しており、基層混合物のはく離に伴い骨材同士の接着力が低下したため基層が側方流動し、表層の高機能舗装混合物が基層混合物の変形に追従できず、クラックが生じたことがうかがえる。

写真-3 は、高機能舗装に大型車のダブルタイヤによるわだち掘れや局部流動が生じたために開削した箇所の断面写真である。高機能舗装直下の基層混合物の上面付近のはく離を起こしている。

このような高機能舗装の破損を未然に防止するには、高機能舗装化する際に既設基層混合物のはく離抵抗性を的確に評価し、その結果に応じた対策を講じなければならない。

3. 既往のはく離抵抗性評価試験

アスファルト混合物のはく離現象は、アスファルト混合物が水に接することにより、アスファルト被膜と骨材の間に徐々に水が浸透し、骨材の表面からアスファルトがはがれる現象をいう³⁾。

既往の代表的なはく離抵抗性の評価方法としては、次の試験があげられる。

- ① 静的なはく離試験⁴⁾
- ② 水浸マーシャル安定度試験⁵⁾
- ③ 水浸ホイールトラッキング試験⁶⁾
- ④ 修正ロットマン試験^{7), 8), 9)}
- ⑤ Accelerated Moisture Susceptibility Testing of Hot Mix Asphalt (HMA) Mixes¹⁰⁾

静的なはく離試験は、骨材とアスファルトとのはく離抵抗性を調べるものであり、既設アスファルト混

合物としてのはく離抵抗性を調べるものではない。
また、水浸ホイールトラッキング試験は、供試体を実路から切り出し採取することが困難であり、実用面から適用が難しい。

東ら¹¹⁾は、マーシャル安定度により強度を求める試験では、はく離抵抗性の評価は困難であり、圧裂強度で評価する修正ロットマン試験が有効であるとし、圧裂強度比と標準圧裂強度の暫定的な評価基準を提案している。修正ロットマン試験は、現地切り取り供試体を水浸させた状態で真空ポンプによる強制浸水を行ったうえで水浸（60℃24hr+25℃1hr）し、はく離を促進させ、圧裂試験を行うものである。しかし、現場では、写真-3に見られるとおり、基層上面から水が浸入してはく離が生じており、基層上面が緻密な混合物や基層上面に防水工を設けたような場合には、適切な評価が行えないことが考えられる。

また、M.Buchanan らの研究¹⁰⁾では、AASHTO T283 に示す修正ロットマン試験は、24 時間水浸など試験に長時間を要することや、コアの強制浸水率の許容範囲が広く、試験値の変動が大きいなどの課題を有することから、加湿応力試験機(MIST)を試作し、加圧と減圧の繰返しにより、供試体の内部空隙に実際の交通荷重がかかった場合と同様の水圧変化を与え、垂直圧を 242～482kPa の間で振り、500～1000 サイクルの加減圧を繰り返している。その結果、混合物の耐水性を評価するには、30～35mm 厚の供試体で、60℃、5000～9999 回のサイクル数が適当なことが分かったと報告しており、加圧と減

圧を繰返すことにより、混合物中での水の動きがはく離を促進させると考えられる。

4. 本研究の目的

本研究は、既設密粒度舗装等の表層を、切削オーバーレイにより高機能舗装化する際の、既設基層混合物のはく離抵抗性の評価試験方法の開発と、評価基準に関して検討したものである。

5. 既往のはく離抵抗性評価試験の適用に関する検討

既往のはく離抵抗性評価試験の既設基層混合物への適用を検討するにあたって、実際に高速道路で基層がはく離を起こし損傷が発生した個所に使用された産地の骨材で基層混合物を再現するとともに、JH 試験研究所（以下「JHRI」という。）で使用している骨材でも同配合の混合物を作製した。

表-1 に使用材料、表-2 に基層混合物の配合、表-3 に実施した既往のはく離抵抗性評価試験を示す。試験結果を表-4 に示すが、静的はく離試験のはく離率と残留安定度では、はく離抵抗性の評価結果が逆転していた。また、水浸ホイールトラッキング試験のはく離率では、両混合物はほぼ同様のはく離抵抗性と考えられ、前項で述べたように、静的はく離試験と水浸マーシャル安定度試験では、はく離抵抗性の評価は困難であるという結果となった。

6. 加圧はく離促進試験の開発に関する研究

(1) 加圧はく離促進試験機の概要

現地のはく離現象は、基層上面から生じていることから、現地切り取り供試体を用いて、現場同様に基層面から水を浸透させはく離を促進し、はく離抵抗性を評価することとし、図-2 に示す加圧透水試験機を用いた。この試験機は、土の 3 軸圧縮試験同様に供試体側面をゴムスリーブを介して水の側圧（側

表-1 使用材料

骨材	損傷現場	5号・6号・7号	東京都あきる野市産（硬質砂岩）
		スクリーニングス	東京都青梅市産（硬質砂岩）
		粗目砂	神奈川県相模川水系
		細目砂	千葉県君津市産
	JHRI	5号・6号・7号	東京都青梅市産（硬質砂岩）
		スクリーニングス	東京都青梅市産（硬質砂岩）
		粗目砂	神奈川県相模原水系
		細目砂	千葉県君津市日渡根産
アスファルト		ストレートアスファルト 60/80	
石粉		東京都西多摩郡産	

表-2 基層混合物の配合

項	目	損傷現場	JHRI
合成粒度 (%)	26.5 (mm)	100.0	100.0
	19.0	96.6	96.6
	13.2	80.8	80.1
	4.75	55.0	54.3
	2.36	41.5	41.5
	0.60	25.4	24.5
	0.30	18.2	17.2
	0.15	8.2	8.2
	0.075	4.9	4.8
アスファルト量 (%)		5.1	5.2
空隙率 (%)		4.1	4.3

表-3 既往のはく離抵抗性評価試験方法

試験名	試験方法	備考
静的はく離試験	JHS201	
標準・水浸マーシャル安定度試験	JHS202	60℃で 48 時間水浸
水浸ホイールトラッキング試験	舗装試験法便覧 別冊 3-1-2T	

表-4 既往の方式によるはく離抵抗性評価試験の結果

使用骨材	静的はく離試験のはく離率 (%)	標準・水浸マーシャル安定度試験の残留安定度 (%)	水浸ホイールトラッキング試験のはく離率 (%)
損傷現場	4.0	96.5	22.9
JHRI	1.2	93.9	19.4

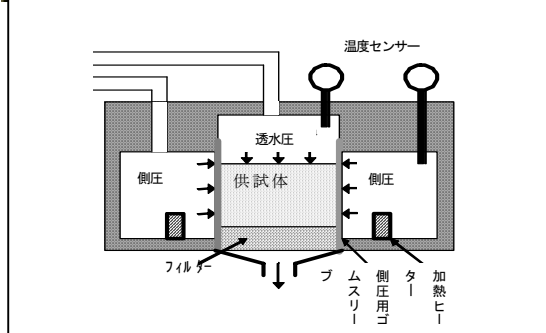
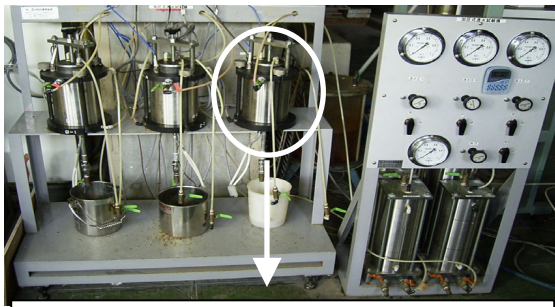


図-2 加圧はく離促進試験機

表-5 検討した試験条件

はく離促進条件				はく離状態の評価試験条件		
透水圧	側圧	水温	時間	試験方法	養生方法と時間	試験温度
100 kPa	透水圧の1.5倍	60℃	1時間	マーシャル安定度試験 (JHS202)	試験温度で30分水浸養生	60℃
150 kPa			2時間			25℃
200 kPa			4時間	圧裂試験 (舗装試験法便覧)	試験温度で1時間水浸養生	25℃, 5℃

表-6 残留安定度・強度比が75%に低下した時間

評価項目	透水圧 (kPa)	75%に低下した時間		
		60℃	25℃	5℃
残留安定度	100	約4時間	約4時間	—
	150	約3時間	約2時間	—
	200	約3時間	約2時間	—
残留圧裂強度比	100	—	4時間以上	4時間以上
	150	—	4時間以上	約2時間
	200	—	約3時間	約3時間

圧＞透水圧)で拘束するものであり、従来の試験機のように供試体とモールドの隙間をアスファルトシールする必要がないことから、加圧透水試験後の供試体を取り出し強度試験が行える特長を有する。なお、水浸マーシャル安定度試験や水浸ホイールトラック試験と同様に、透水圧と側圧の水温を60℃に保持できるように改造した。

(2) はく離状態の評価試験条件の検討

表-1 に示した JHRI で使用している骨材を用い、基層混合物のマーシャル供試体を作製し、表-5 に示す試験条件で評価試験の検討を行った。

はく離促進を行わない標準のマーシャル安定度



写真-4 マーシャル安定度試験後の供試体破断面



写真-5 圧裂試験 (5℃) 後の供試体破断面



写真-6 圧裂試験 (25℃) 後の供試体破断面

に対する加圧はく離促進試験後のマーシャル安定度の比 (以下「残留安定度」という。) や、はく離促進を行わない標準の圧裂強度に対する加圧はく離促進試験後の圧裂強度 (以下「残留圧裂強度」という。) の比 (以下「残留圧裂強度比」という。) が75%に低下するまでに要した時間を表-6 に示す。

マーシャル安定度試験では、いずれの条件でも残留安定度が75%に低下したが、試験後の供試体に変形するため、写真-4 に示すとおり、供試体破断面からはく離状況は観察できなかった。

表-7 透水圧と側圧の検討条件

試験条件	固定	透水圧変動	側圧変動	両圧変動
透水圧	250kPa	変動 100kPa, 250 kPa を 5 分 毎	一定 150kPa	変動 100kPa, 250 kPa を 5 分 毎
側 圧	300kPa	一定 375kPa	変動 225kPa, 400 kPa を 5 分 毎	変動 150kPa, 400kPa を 5 分毎

表-8 加圧はく離促進試験条件

項 目	設 定 値	備 考
透水圧	100, 250kPa	各 5 分で 1 サイクル
側圧	375kPa	最大透水圧の 1.5 倍
水温	60℃	透水・側圧水
試験時間	4 時間	10 分 × 24 サイクル

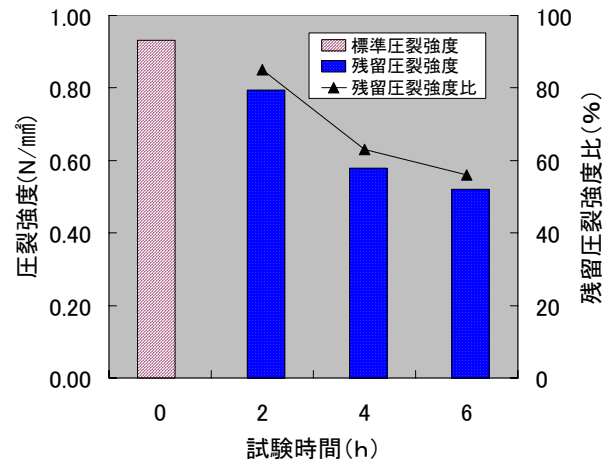


図-4 加圧はく離促進時間の検討結果

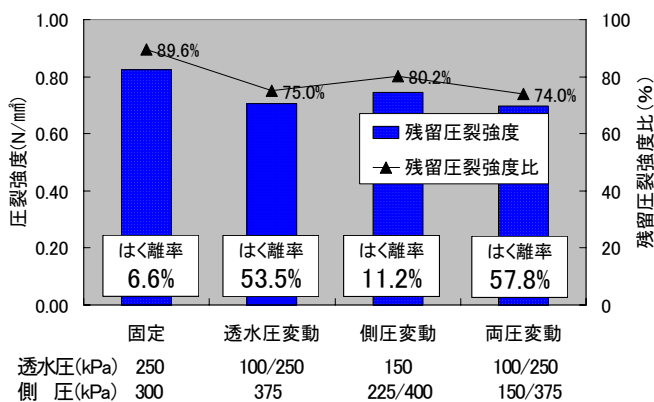


図-3 透水圧と側圧の検討結果

一方、圧裂試験では、試験温度が 5℃の場合、透水圧が大きいほど残留圧裂強度比が 75%に低下した時間が短い傾向を示すことが確認できたが、写真-5 に示すとおり、試験後の供試体破断面には粗骨材の割れが発生し、はく離状況を観察できなかった。しかし、25℃の圧裂試験では、写真-6 に示すとおり、試験後の供試体破断面に粗骨材の割れは発生しておらず、評価試験条件としては、修正ロットマン試験同様、25℃の圧裂試験が望ましいことが分かった。

(3) 加圧はく離促進試験条件の検討

現地のはく離現象は、輪荷重の载荷と除荷の繰り返し作用に伴う表層と基層の界面の揉まれと、それに伴う水の動き（水圧の変化）と考えられること。また、M.Buchanan らの既往の研究¹⁰⁾においても加減圧を繰り返していることから、加圧はく離促進試験の透水圧と側圧を表-7 に示す条件で変化させて、最もはく離促進効果がある条件の検討を行った。その結果を図-3 に示す。

なお、現地の基層の設計厚さは 6 cm であり、採取コアの上下面を切断・整形することを考慮し、供試

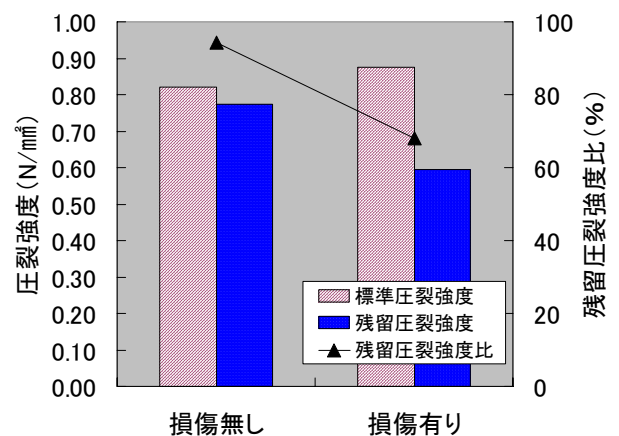


図-5 現地採取試料による試験条件の確認試験結果

体厚さを 4 cm とした。したがって、表-1 に示した JHRI で使用している骨材を用い、基層混合物のマーシャル供試体を作製し、4 cm 厚さに上下面を切断した。加圧はく離促進時間は 2, 4, 6 時間と変化させた。また、はく離状態の評価を、25℃の圧裂試験による残留圧裂強度と残留圧裂強度比および圧裂試験後の供試体断面のはく離状況観察で行った。

その結果、次の事項が確認でき、表-8 に示すとおり、加圧はく離促進試験条件を決定した。

- ① 透水圧を変動させ、側圧は一定にした条件（図-3 の透水圧変動）では、供試体のはく離の進行が大きくなり、残留圧裂強度の低下も大きくなった。
- ② 透水圧は一定にし、側圧を変動させた条件（図-3 の側圧変動）では、①の透水圧を変動させた条件に比べ、はく離促進効果が小さかった。また、側圧を 400kPa より大きくすると、供試体を包むゴムスリーブが損傷し側圧水の漏水が生じ、試験ができなかった。
- ③ 透水圧と側圧を変動させた条件（図-3 の両圧変動）では、①の透水圧のみを変動させた条件

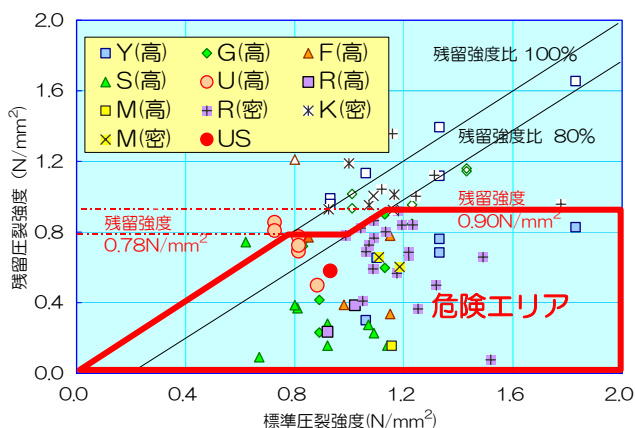


図-6 評価基準値の検討結果

とはく離促進効果に大きな違いがみられなかった。

- ④ 加圧はく離促進試験時間を2, 4, 6時間と変化させたが、図-4に示すとおり、4時間と6時間とでは残留圧裂強度に明確な違いがないことから、加圧はく離促進試験の時間は4時間で十分であった。

(4) 現地採取試料による試験条件の確認

加圧はく離促進試験条件を確認するために、高機能舗装化後に大型車のダブルタイヤによるわだち掘れや局部流動が生じた現場（損傷有り）の車線中央部の切取り供試体と、高機能舗装化後にどこも損傷が生じていない現場（損傷無し）の車線中央部の切取り供試体を用い、表-8に示した条件で加圧はく離促進試験を実施した。試験の結果は図-5に示すとおりで、損傷無しは、残留圧裂強度比が95%と高い値を示している。一方、損傷有りは、残留圧裂強度比が68%と低い値であった。

従って、高機能舗装化する際に、現場切取り供試体を用いて表-8に示す条件で、既設基層混合物のはく離抵抗性を評価することが可能と判断した。

7. 評価基準値に関する検討

既設基層混合物のはく離抵抗性を評価するにあたって、標準圧裂強度、残留圧裂強度、残留圧裂強度比の基準値を確立させる必要がある。そこで、高機能舗装化後に局部流動などの損傷が生じた現場（図-6の凡例：（高））と密粒度舗装の現場（図-6の凡例：（密））で、何れも目視では損傷の見られない個所の現場切取り供試体を用い、加圧はく離促進試験を実施した。その結果を図-6に示す。図中にプロットした塗り潰しマークは、圧裂試験後の供試体破断面にはく離が見られたもので、白抜きマークはく離が見られなかったものである。供試体破断面のはく離の有無および、標準圧裂強度と残留圧

裂強度の関係から、危険エリアを示した。残留圧裂強度が0.78N/mm²以下であれば、残留圧裂強度比が100%であっても、供試体破断面にはく離が見られる。しかし、残留圧裂強度が0.90N/mm²から0.78N/mm²の間は、残留圧裂強度比が80%を超える部分のデータがなく、80%以下では供試体破断面にはく離が見られることから、この危険エリアの境界域を暫定的な評価基準値とした。なお、今後さらにデータ数を増やせば、この方法でより信頼性の高い基準値を確立できると考える。

8. まとめ

- ① 土の3軸圧縮試験同様に供試体側面を、ゴムスリーブを介して水の側圧で拘束する加圧透水試験機を用い、透水圧と側圧の水温を60℃に保持し、透水圧を自動変動できるように改造し、加圧はく離促進試験機とした。
- ② マーシャル安定度試験では、試験後の供試体に変形するため、供試体破断面からはく離状況は観察できなかったが、圧裂試験では、透水圧が大きくなるほどはく離が促進する。
- ③ 圧裂試験温度が5℃の場合、粗骨材の割れが発生するため、25℃の圧裂試験が望ましい。
- ④ 加圧はく離促進試験条件として、透水圧を5分毎に100kPaと250kPaに変動させ、側圧を最大透水圧の1.5倍の375kPa、促進時間を4時間とすることで効果的な評価試験ができる。
- ⑤ 高機能舗装化後にどこにも損傷が生じていない現場の切取り供試体と損傷が生じた現場の切取り供試体を用い、加圧はく離促進試験条件の確認を行った結果、残留圧裂強度と残留圧裂強度比に明確な違いが現れ、本試験条件で既設基層混合物のはく離抵抗性を評価することが可能と判断できる。
- ⑥ 既設基層混合物のはく離抵抗性評価基準として、供試体破断面のはく離の有無および、標準圧裂強度と残留圧裂強度の関係から、図-6に示すとおり危険エリアを示し、その境界域を暫定的な評価基準値とした。

9. おわりに

高機能舗装のストック増大に伴い、様々な破損が顕在化しつつあり、特に、高機能舗装混合物の直下に位置する基層混合物のはく離に伴う破損を未然に防止するには、既設基層混合物のはく離抵抗性を的確に評価することが重要であり、本研究で開発した評価方法が適用できればと考えている。今後、基準値確立に向け、データ数を増やし更なる検討を進めたい。

なお、既設基層混合物のはく離抵抗性が低かった場合、既設基層混合物をはく離抵抗性の高い混合物に置き換えなければならない。この場合、表層のみの打換工事ではなく、表層＋基層の打換工事が必要となり、コストが増大する。今後は、排水性と防水性を兼ね備えたハイブリッド舗装¹²⁾の適用やタックコートの防水性を高めた基層表面防水工の開発が望まれる。

参考文献

- 1) 口絵：排水性舗装の破損形態，舗装，Vol.37，No.3，2002.3.
- 2) 川村和将，高橋茂樹，菅野勝一：JHにおける高機能舗装化に伴う下層部の耐水対策，舗装，Vol.37，No.3，pp.16-21，2002.3.
- 3) 土木学会：舗装工学，pp.287，1995.
- 4) 日本道路公団：アスファルト被膜のはく離試験方法，日本道路公団試験法，pp.30-34，2001.
- 5) 日本道路公団：アスファルト混合物のマーシャル安定度試験方法，日本道路公団試験法，pp.35-42，2001.
- 6) 日本道路協会：簡易式水浸ホイールトラッキング試験方法，舗装試験法便覧別冊，pp. 135-138，1996.
- 7) AASHTO T283：NCHRP Report192：Predicting Moisture-Induced Damage to Asphaltic Concrete and NCHRP Report246：Predicting Moisture-Induced Damage to Asphaltic Concrete-Field Evaluation，1982.
- 8) AASHTO T283：NCHRP Report274：Use of Antistripping Additives in Asphaltic Mixtures-Laboratory Phase and NCHRP Report373：Use of Antistripping Additives in Asphaltic Mixtures-Field Evaluation，1995.
- 9) ASTM D4867/D4867M：Standard Test Method for Effect of Moisture on Asphalt Concrete Paving Mixtures，1999.
- 10) M.Shane Buchanan et al：Accelerated Moisture Susceptibility Testing of Hot Mix Asphalt Mixes，83rd TRB Annual meeting Compendium of papers CD-ROM，Washington D.C.，2004.
- 11) 東滋夫，篠塚政則，坂本健次，金井利浩：アスファルト混合物のはく離抵抗性評価方法に関する研究，道路建設，No.672，pp32-38，2004.1.
- 12) 本松資朗，神谷恵三，高原健吾，松本大二郎：ハイブリッド舗装混合物の配合設計に関する研究，土木学会舗装工学論文集，Vol.8，pp.125-136，2003.12.

EVALUATION OF STRIPPING RESISTANCE FOR EXISTING BINDER COURSE MIXTURE

Shiro MOTOMATSU, Keizo KAMIYA, Daijirou MATSUMOTO
and Masaru YAMADA

Recently distress types of porous asphalt pavement including partial plastic flow and others have been observed in the Japanese expressways, resulting from stripping of aggregates of its underlying binder course mixture. As a first countermeasure against the problems, evaluation method of durability for existing binder course mixture for every rehabilitation project is to be developed. This paper presents development process of the evaluation method of stripping resistance which is applied to existing binder course mixture.