

# 港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE

OF

THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

**No.1315**      December 2015

既設アスファルト混合物のはく離抵抗性評価方法の検討

河村 直哉  
森川 嘉之  
伊豆 太  
坪川 将丈

国立研究開発法人 港湾空港技術研究所

National Research and Development Agency,  
Port and Airport Research Institute, Japan

## 目 次

要 旨 .....	3
1. まえがき .....	4
1.1 研究の背景と目的 .....	4
1.2 既設混合物のはく離抵抗性評価方法について .....	4
1.3 ASTM促進法によるはく離抵抗性評価の課題 .....	5
1.4 検討概要 .....	5
2. はく離抵抗性評価に用いる指標の検討 .....	5
2.1 試験材料 .....	5
2.2 混合物のはく離促進方法 .....	6
2.3 力学試験方法 .....	6
2.4 試験結果 .....	7
2.5 試験結果まとめ .....	11
3. はく離抵抗性評価方法のはく離層判別への適用性検討で用いるコアの作製 .....	11
3.1 作製方法の概要 .....	11
3.2 模擬舗装版の作製 .....	11
3.3 水や走行荷重を作用させたコアの作製 .....	12
4. はく離抵抗性評価方法のはく離層判別への適用性検討 .....	14
4.1 はく離抵抗性評価方法 .....	14
4.2 はく離抵抗性評価によるはく離コアの判定率の算定方法 .....	14
4.3 評価結果および判定率の算定結果 .....	15
5. まとめ .....	16
6. おわりに .....	17
参考文献 .....	17

# Evaluation Method of Stripping Resistance of Moisture Damaged Asphalt Mixture

**Naoya KAWAMURA\***  
**Yoshiyuki MORIKAWA\*\***  
**Futoshi IZU\*\*\***  
**Yukitomo TSUBOKAWA\*\***

## Synopsis

This study is to propose a method for evaluation of stripping resistance of stripped asphalt mixture. Two kinds of experiment on the method were performed in this paper. In the first experiment, the change of mechanical properties of asphalt mixtures in the process of moisture damage was evaluated to determine the mechanical index for evaluation of the stripping resistance. In the second experiment, moisture damaged mixture and no moisture damaged mixture were evaluated by ASTM D4867/D4868M-04 to clarify whether the difference of deterioration trend between moisture damaged mixture and no moisture damaged mixture can be observed by the test method. Two main conclusions were shown in the following.

- 1) It was shown that indirect tensile strength at temperature of 25°C was the suitable index for evaluating the change of mechanical property in the process of moisture damage.
- 2) The difference of deterioration trend between moisture damaged mixture and no moisture damaged mixture could be identified by ASTM D4867/4868M-04.

**Key Words:** Airport asphalt pavement, Cut-overlay, Stripping, Moisture damage, Indirect tensile strength, ASTM D4867/D4868M-04

---

\* Researcher, Pavement Group, Structural Engineering Field  
\*\* Head, Pavement Group, Structural Engineering Field  
\*\*\* Head of Airport Facilities Division, Airport Department, National Institute for Land and Infrastructure Management, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism  
\*\*\*\* Head of Yokohama Research and Engineering Office for Port and Airport, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism  
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan  
Phone : +81-46-844-5641 Fax : +81-46-844-0255 e-mail:kawamura-n@pari.go.jp

# 既設アスファルト混合物のはく離抵抗性評価方法の検討

河村 直哉\*・森川 嘉之\*\*・伊豆 太\*\*\*・坪川 将丈\*\*\*\*

## 要 旨

本研究は、はく離が生じた既設アスファルト混合物層の切削判断に資する、アスファルト混合物のはく離抵抗性評価方法を確立することを目的とした。本論では、ASTM D4867/D4868M-04のはく離促進方法（ASTM促進法）に基づくはく離抵抗性評価方法を検討した。まず、はく離抵抗性の評価に用いる力学量を選定するために、はく離に伴う力学性状の変化の評価に適した力学量を検討した。次に、ASTM促進法とその一部の条件を変更した方法に基づくはく離抵抗性評価方法が、はく離の生じたアスファルト混合物（はく離混合物）の判別に適用できるかを検討した。本研究で得られた主な知見は以下の通りである。

- 1) 試験温度25°Cで求めた圧裂強度が、はく離に伴う力学性状の変化の評価に適した力学量であることを示した。
- 2) ASTM促進法のはく離促進条件（温水養生温度60°C・温水養生日数1日）で得られる残留圧裂強度比は、はく離混合物と健全な混合物の違いを判別できる可能性があることを示した。
- 3) 各種はく離促進条件におけるはく離混合物の判定精度を試算した結果、判定精度が総合的に高い条件は、ASTM促進法のはく離促進条件（温水養生温度60°C・温水養生日数1日）であることを示した。

キーワード：空港アスファルト舗装，切削オーバーレイ，はく離，圧裂強度，ASTM D4867/D4868M-04

---

\* 構造研究領域空港舗装研究チーム研究官

\*\* 構造研究領域空港舗装研究チームチームリーダー

\*\*\* 国土技術政策総合研究所空港研究部空港施設研究室室長

\*\*\*\* 国土交通省関東地方整備局横浜港湾空港技術調査事務所長

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 港湾空港技術研究所

電話：046-844-5641 Fax：046-844-0255 e-mail:kawamura-n@pari.go.jp

# 1. まえがき

## 1.1 研究の背景と目的

アスファルト舗装の切削オーバーレイ工事後、早期に舗装表面にポットホールやわだち掘れ等の変状が発生することがある<sup>1)2)</sup>。このような箇所を開削するとアスファルト混合物（以下、混合物という）のアスファルトが骨材から剥がれ（以下、はく離という）、混合物が砂利化（写真-1）していることがある。この原因は、舗装切削時に存置した既設層に雨水等が浸透し、はく離が発生・進行したことで考えられている。昨今、滑走路等空港基本施設の舗装において、砂利化に起因すると考えられる損傷が発生しており、航空機の走行安全性確保の観点から砂利化を抑制することが強く求められている。

砂利化の抑制方策には、①舗装内に水が浸入することを防ぐ、②舗装の切削工事の際に、はく離が生じた既設層を切削する、③オーバーレイ工事における新設層にはく離の生じにくい材料を用いること等が挙げられる。このうち、本研究では②の方策に着目した。

②の方策は、はく離が生じた既設層を切削することで、当該層を存置した場合にはく離層が経年で強度低下し（図-1）、砂利化に至ることを未然に防止するものである。現在、空港舗装における切削層の判断は、主に事前の解



写真-1 アスファルト混合物の砂利化

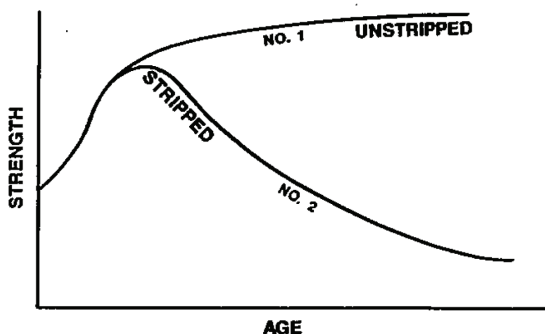


図-1 供用年数に伴うある混合物層の強度低下概念図<sup>3)</sup>

体調査で採取したコアで行われ、各層のマーシャル安定度等による健全度評価によって行われている（表-1）。しかし、今なお砂利化の発生事例があることから、現行の健全度評価によってはく離が生じた層を判別できているとは必ずしも言えない状況である。

近年では、はく離が生じた層を採取コアで判別する方法として、既設混合物のはく離抵抗性の評価方法が検討されており<sup>2)5)6)7)8)</sup>、空港舗装についても導入することが有効であると考えられる。そこで本研究は、空港の既設舗装を対象とした、はく離抵抗性評価方法を確立することを目的とした。

## 1.2 既設混合物のはく離抵抗性評価方法について

はく離抵抗性評価によるはく離した混合物層の判別は、現時点のコアの力学量に対する、水によるはく離促進後のコアの力学量の比によって行おうとするものである。既往研究におけるはく離抵抗性評価フローの例を図-2に示す。力学量には圧裂強度が用いられており、評価指標には、コアの現状の圧裂強度（以下、標準圧裂強度という）に対する、水によるはく離促進後の圧裂強度（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）が用いられている。既往の研究では、はく離の促進方法が種々検討されているが、評価指標に残留圧裂

表-1 空港舗装の既設表基層混合物に関するマーシャル安定度（試験温度 60℃）による健全度評価法<sup>4)</sup>

マーシャル安定度	評価
8.8kN以上	A
4.9kN以上8.8kN未満	B
3.45kN以上4.9kN未満	C
3.45kN	D

A: 表・基層として引き続き使用しても問題ない。  
 B: 切削が望ましいが、存置する場合は表基層として扱うことができる。  
 C: 切削が望ましいが、存置する場合はアスファルト安定処理上層路盤として扱うことができる。  
 D: 切削が望ましいが、存置する場合は粒状路盤として扱うことができる。

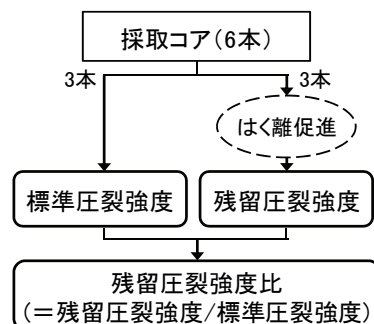


図-2 既往の研究で検討されたはく離抵抗性評価方法

強度比を用いることは共通している。

本研究では、過去に検討された方法の中から現場への適用性を考慮して、試験装置の初期設備投資費用が少なく比較的簡便な方法である ASTM D4867/D4868M-04<sup>9)</sup>のはく離促進法 (ASTM 促進法、図-3) を用いたはく離抵抗性評価方法を検討することとした。

### 1.3 ASTM促進法によるはく離抵抗性評価の課題

本方法に関する課題は2つ挙げられる。

1 つは、はく離抵抗性評価に用いる力学量として、圧裂強度が適しているとは必ずしも言えないことである。Lottman ら<sup>10)</sup>の検討以来、圧裂試験が現場のはく離発生機構に近いという推定のもとに、力学量には圧裂強度が用いられている。力学量にはその他にもマーシャル安定度等があるが、これらは、はく離に伴う力学性状の変化を把握する力学量として比較検討されていない。

もう1つは、力学量の比によってはく離層を判別できるかが必ずしも明確にされていないことである。現地調査によると、はく離が生じた混合物 (はく離混合物という) は、はく離が生じていない混合物 (健全な混合物という) とは異なり、経年による強度低下が大きい (図-1)。この傾向と同様に、はく離混合物の力学量の比が、健全な混合物のそれよりも小さくなる傾向にあるならば、はく離混合物を判別できると考えられる。

以上をまとめると、課題は、はく離抵抗性評価に適した力学量と、力学量の比によるはく離層判別の有効性が明らかでないことである。

### 1.4 検討概要

以上の課題を踏まえて、本論では、空港の既設舗装を対象としたASTM促進法によるはく離抵抗性評価方法を確立することを目的として、以下の検討を行った。

- 1) はく離抵抗性評価に用いる力学量を選定するために、水で強制的にはく離を生じさせた試験体を用いて、はく離に伴うマーシャル安定度、圧裂強度およびレジリエントモデュラスの変化を評価し、はく離に伴う力学性状の変化の把握に適した力学量を検討した。
- 2) 1) で選定した力学量を用いて、はく離混合物と健全な混合物の力学量の比を求め、力学量の比を指標とするはく離抵抗性評価方法のはく離層判別への適用性を検討した。また、力学量の比を求める際に、両混合物の劣化の傾向の違いを明確に見出すために有効なはく離促進条件を検討した。なお、2) で用いるはく離混合物は現地に近い状態のはく離混合物であることが、はく離層判別への適用性を検討するために望ましいと考え、はく離は水と荷重で生じさせた。上記検討をまとめた本論文の構成を以下に示す。2章では、はく離抵抗性評価に用いる力学量を検討した結果を述べる。3章では、水と荷重ではく離を生じさせたコアの作製方法を述べる。4章では、3章で作製したコアを用いて、はく離抵抗性評価方法のはく離層判別への適用性を検討した結果を述べる。5章に結論をまとめた。

## 2. はく離抵抗性評価に用いる力学量の検討

はく離抵抗性評価に用いる力学量を選定するために、はく離に伴う混合物のマーシャル安定度、圧裂強度およびレジリエントモデュラスの変化を評価し、はく離に伴う力学性状の変化の把握に適した力学量を検討した。

### 2.1 試験材料

本検討に用いた混合物は、空港アスファルト舗装の基層に用いられる粗粒度アスファルト混合物であり、粗骨材およびアスファルトバインダーが異なる3種類である (表-2)。混合物Aは、はく離抵抗性の低い粗骨材を配合

表-2 本検討に用いたアスファルト混合物の種類

本論での表記	アスファルト混合物の種類	粗骨材の種類	アスファルトバインダーの種類
混合物A	粗粒度アスファルト混合物	粗骨材A	ストレートアスファルト60/80
混合物B		粗骨材B	ストレートアスファルト60/80
混合物A-M		粗骨材A	ポリマー改質アスファルトII型

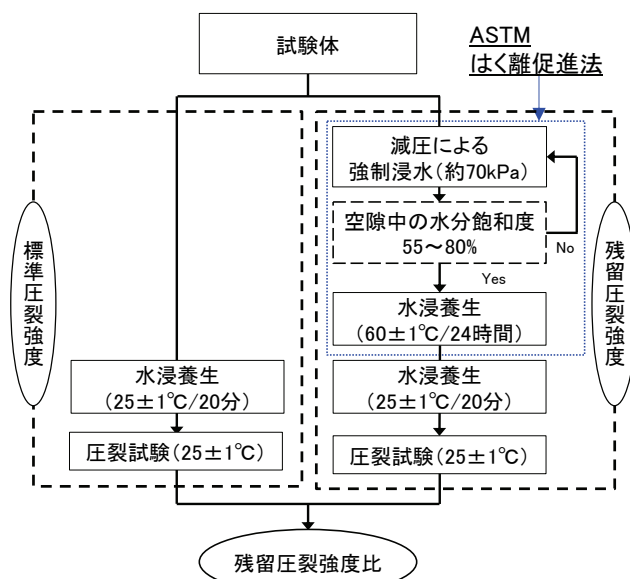


図-3 ASTM はく離促進法によるはく離抵抗性評価フロー

して、はく離抵抗性の低い混合物とすることを意図した。混合物Bおよび混合物A-Mは、混合物Aの粗骨材やアスファルトバインダーをそれぞれ、はく離抵抗性の高い粗骨材やアスファルトバインダーに置換した混合物であり、混合物Aと比較してはく離抵抗性を高めた混合物である。表-3に、使用した骨材の材質と物理性状を示す。粗骨材には、はく離抵抗性の異なる2種類の碎石（硬質砂岩および角閃岩）を用いた。表-4に、粗骨材のはく離抵抗性を示す。粗骨材のはく離抵抗性は、舗装調査・試験法便覧<sup>11)</sup>に示される粗骨材の剥離抵抗性試験の方法に基づき、ストレートアスファルト60/80を用いた場合の剥離面積率で評価した。剥離面積率が大きいほど、粗骨材のはく離抵抗性が低いことを表す。各混合物の細骨材およびフィラーには同一材料を使用した。

3種類の混合物の骨材粒度は、空港土木工事共通仕様書<sup>12)</sup>に示される基層用粒度の中央粒度とし、ほぼ同一の粒度分布に調整した(図-4)。試験体は、突き固め回数75回で作製したマーシャル供試体(直径101.6mm、厚さ63.5mm)である。表-5に、各混合物のアスファルト量と目標空隙率を示す。空隙率はアスファルト混合物の力学量に影響するため、試験体の空隙率は、目標空隙率に対して±0.5%の範囲となるようにした。

## 2.2 混合物のはく離促進方法

本検討では、はく離促進方法にASTM促進法を用いた。具体的な手順を以下に示す。まず、70kPaの減圧環境下

表-3 使用骨材の材質と物理性状

		材質	見掛密度 (g/cm <sup>3</sup> )	吸水率 (%)
粗骨材A	5号碎石	硬質砂岩	2.710	0.65
	6号碎石		2.701	0.78
	7号碎石		2.693	0.78
粗骨材B	5号碎石	角閃岩	2.776	0.61
	6号碎石		2.765	0.85
	7号碎石		2.774	1.18
細骨材	砕砂	硬質砂岩	2.743	-
	細目砂	洗砂	2.743	-
フィラー	石粉	石灰岩	2.709	-

表-4 粗骨材のはく離抵抗性

	剥離面積率 (粗骨材の剥離抵抗性試験)
粗骨材A	51%
粗骨材B	19%

で試験体を室温の水に浸し、空隙中に水を浸透させた。この際、水分飽和度(空隙に対する空隙中の水の体積比)の目標値を55%以上とした。実際には約45~70%であり、目標値を下回る場合があった。水分飽和度を確認後、試験体を60°Cの温水中に所定時間浸すことではく離を発生促進させた。温水の浸漬時間(以下、温水養生日数という)を変えることではく離促進の程度を変えた。本検討では温水養生日数を1日と7日とした。この日数は、予備検討の結果に基づき設定したものであり、混合物の割裂面に、1日と7日の違いで骨材の露出面積に明確に差異が生じたことを目視で確認した結果に基づく。

## 2.3 力学試験方法

はく離促進前後の試験体に対して以下に示す力学試験を行った。試験条件も併せて示す。

### (1) マーシャル安定度試験および圧裂試験

写真-2に、マーシャル安定度試験および圧裂試験時の状況を示す。両者の主な違いは載荷治具であり、マーシャル安定度試験では円形の治具を使用し、圧裂試験では平板の治具を使用する。載荷速度はいずれも50mm/minとした。載荷時の混合物の温度(以下、試験温度という)は25°Cおよび60°Cとした。25°Cおよび60°Cは、それぞれ、

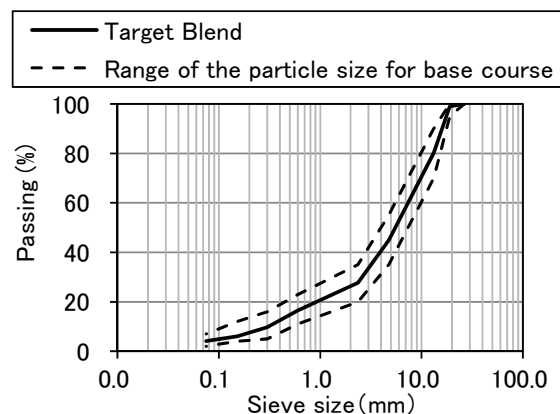


図-4 アスファルト混合物の骨材粒度、縦軸：通過質量百分率、横軸：ふるい目の大きさ、実線：骨材粒度、点線：基層用粒度範囲

表-5 各混合物のアスファルト量と目標空隙率

	アスファルト量 (%)	目標空隙率 (%)
混合物A	4.8	4.3
混合物B	4.8	4.2
混合物A-M	4.8	4.2

ASTM D4867/D4868M-04および舗装調査・試験法便覧で規定されるマーシャル安定度試験の方法に基づき設定した。各条件の強度は、3個の試験体の平均値とした。

(2) レジリエントモデュラス試験

レジリエントモデュラス試験は、舗装調査・試験法便覧に準拠して実施した。本試験では、圧裂試験と同様の平板の治具を使用した。表-6に試験条件を示す。試験温度は25℃とした。載荷荷重は、各供試体の圧裂強度の約10%に設定した。レジリエントモデュラスは、3個の試験体の平均値とした。

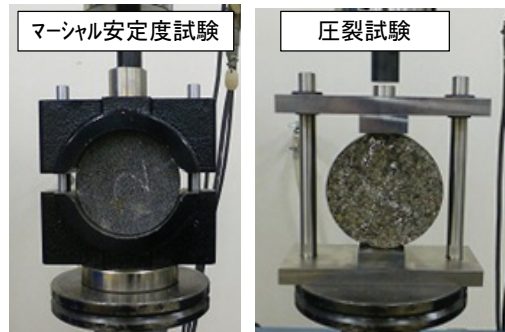


写真-2 マーシャル安定度試験と圧裂試験の状況

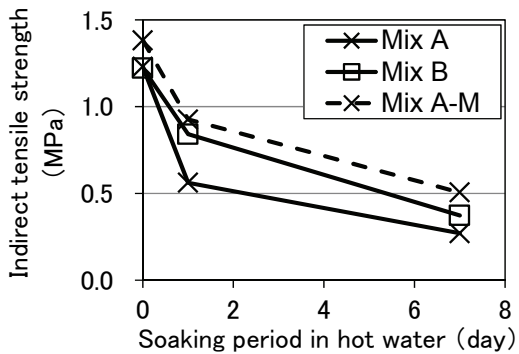
2.4 試験結果

(1) はく離に伴う圧裂強度の変化

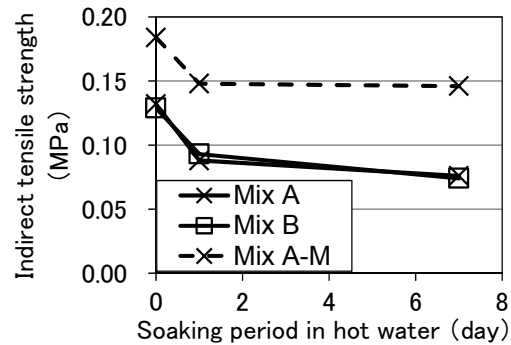
図-5に、はく離に伴う圧裂強度の変化を試験温度ごとに示す。圧裂強度(試験温度25℃)は、いずれの混合物でも温水養生日数が増えると小さくなった。圧裂強度(試験温度60℃)でも同様の傾向であった。図-6には、図-5の縦軸を温水養生日数0日の圧裂強度で無次元化した値(残留圧裂強度比)を示す。残留圧裂強度比(試験温度25℃)は、温水養生日数1日では、混合物Aが最も小さ

表-6 レジリエントモデュラス試験の試験条件

試験温度(°C)	25
荷重波形	ハーバーサイン波
載荷周波数(Hz)	1
載荷・休止時間(s)	載荷:0.1, 休止:0.9
載荷荷重(N)	圧裂強度の10%
予備載荷(回)	195

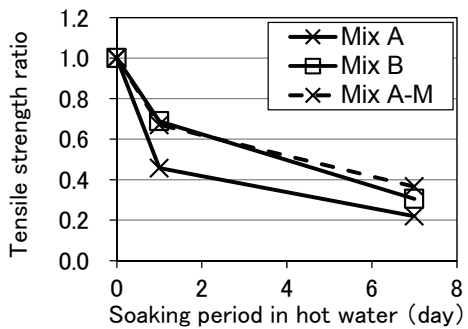


a) Test temperature of 25°C (試験温度 25°C)

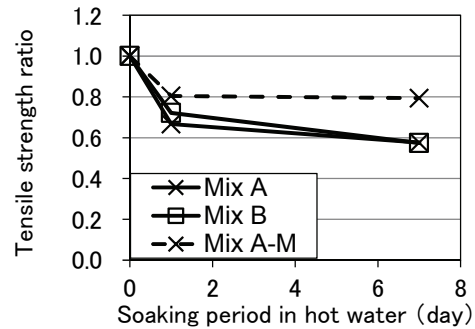


b) Test temperature of 60°C (試験温度 60°C)

図-5 はく離に伴う圧裂強度の変化, 縦軸: 圧裂強度, 横軸: 温水養生日数, 実線・×: 混合物A, 実線・□: 混合物B, 破線・×: 混合物A-M



a) Test temperature of 25°C (試験温度 25°C)



b) Test temperature of 60°C (試験温度 60°C)

図-6 はく離に伴う残留圧裂強度比の変化, 縦軸: 残留圧裂強度比, 横軸: 温水養生日数, 実線・×: 混合物A, 実線・□: 混合物B, 破線・×: 混合物A-M



く、混合物 B と混合物 A-M は同等であった。また、温水養生日数 7 日では、混合物 A、混合物 B、混合物 A-M の順に小さかった。残留圧裂強度比（試験温度 60℃）は、温水養生日数 1 日では、混合物 A、混合物 B、混合物 A-M の順に小さかった。また、温水養生日数 7 日では、混合物 A と混合物 B は同等であり、混合物 A-M はそれらよりも大きかった。

写真-3 および写真-4 には、試験温度 25℃ と 60℃ の圧裂試験後の混合物 A 試験体（温水養生日数 0 日、1 日および 7 日）の割裂面を示す。試験温度 25℃ では、温水養生日数 0 日の試験体の割裂面で骨材の割れが確認され、温水養生日数 1 日および 7 日のそれでは、はく離が確認された。一方、試験温度 60℃ では、いずれの養生日数においても骨材の割れおよびはく離は確認されなかった。

試験温度 60℃ でははく離が確認されなかった理由は、温度 60℃ ではアスファルトが軟化し、アスファルト自体の強度が、はく離が生じた骨材-アスファルト界面の付着強度よりも小さくなったためであると考えられる。一方、試験温度 25℃ では、はく離が生じたアスファルトと骨材の界面で破壊が生じており、この破壊形態の場合には、アスファルトと骨材の付着強度が圧裂強度に強く影響し

ていると考えられる。後述のマーシャル安定度試験後の試験体では、いずれの試験条件においても明確なはく離は確認されなかった。

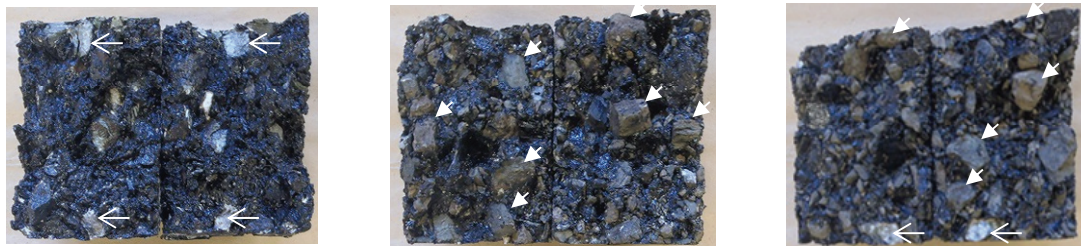
(2) はく離に伴うマーシャル安定度の変化

図-7 に、はく離に伴うマーシャル安定度の変化を試験温度ごとに示す。圧裂試験の結果と同様に、いずれの混合物、試験温度についても、マーシャル安定度は養生日数が増えると小さくなった。図-8 には、図-7 の縦軸を温水養生日数 0 日のマーシャル安定度で無次元化した値（残留マーシャル安定度比）を示す。残留マーシャル安定度比（試験温度 25℃）は、混合物 A が最も小さく、混合物 B と混合物 A-M は同程度であった。残留マーシャル安定度比（試験温度 60℃）も、同様の傾向であった。

(3) はく離に伴うレジリエントモデュラスの変化

図-9 に、試験温度 25℃ におけるレジリエントモデュラス試験の結果として、瞬間復元レジリエントモデュラス（以下、 $E_{RI}$  という）および全復元レジリエントモデュラス（以下、 $E_{RT}$  という）を示す。 $E_{RI}$  は、いずれの混合物でも温水養生日数の増加に伴い小さくなった。一方、 $E_{RT}$  は、混合物 A-M および混合物 B では温水養生日数の増加に伴い小さくなったが、混合物 A ではほとんど変化が

← 骨材の割れ      ← はく離



a) 温水養生 0 日                      b) 温水養生 1 日                      c) 温水養生 7 日

写真-3 混合物 A に対する試験温度 25℃ の圧裂試験後の割裂面



a) 温水養生 0 日                      b) 温水養生 1 日                      c) 温水養生 7 日

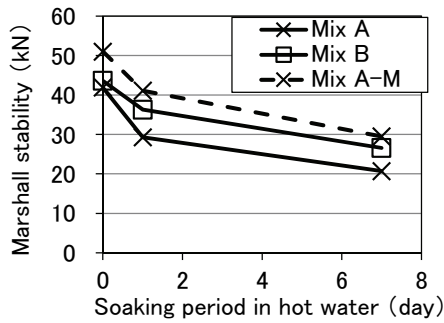
写真-4 混合物 A に対する試験温度 60℃ の圧裂試験後の割裂面

なかった。図-10には、図-9の縦軸を温水養生日数0日のレジリエントモデュラスで無次元化した値（以下、 $E_{RT}$ 比または $E_{RT}$ 比という）を示す。 $E_{RT}$ 比は、温水養生日数1日では混合物Bと混合物A-Mは同等であり、混合物Aはそれらより大きかった。また、温水養生日数7日では、混合物A-Mが最も小さく、混合物Aと混合物Bは同等であった。 $E_{RT}$ 比は、温水養生日数1日では、混合物B、混

合物A-M、混合物Aの順に小さく、温水養生日数7日では、混合物A-M、混合物B、混合物Aの順に小さかった。なお、混合物Aのみ $E_{RT}$ の変化が殆どなかった要因は、不明である。

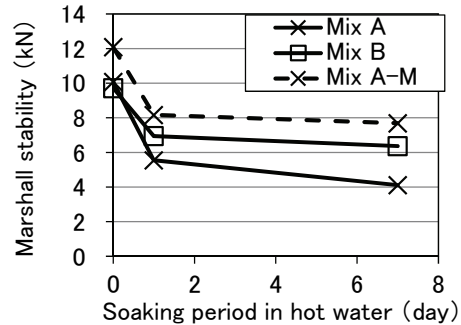
(3) はく離に伴う圧裂強度、マーシャル安定度およびレジリエントモデュラスの変化の比較

はく離に伴う各力学量の変化を比較評価するために、



a) Test temperature of 25°C

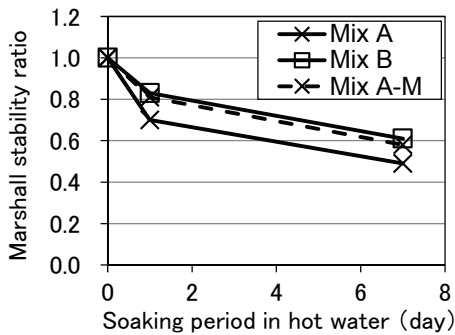
a) 載荷試験時の混合物の温度 25°C



b) Test temperature of 60°C

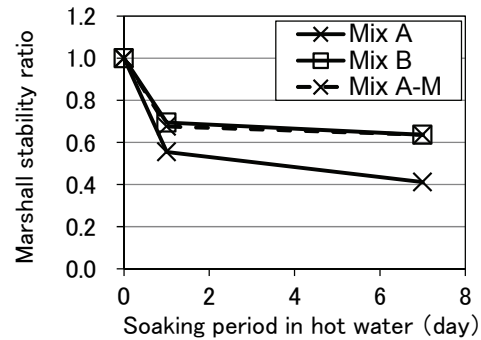
b) 載荷試験時の混合物の温度 60°C

図-7 はく離に伴うマーシャル安定度の変化，縦軸：マーシャル安定度，横軸：温水養生日数，実線・×：混合物A，実線・□：混合物B，破線・×：混合物A-M



a) Test temperature of 25°C

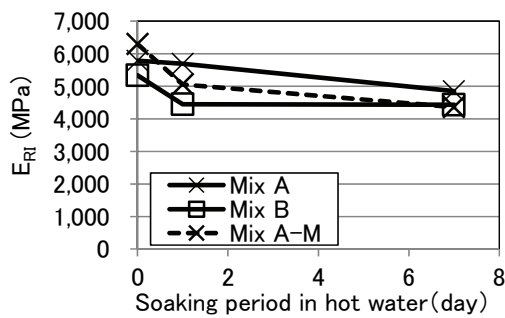
a) 載荷試験時の混合物の温度 25°C



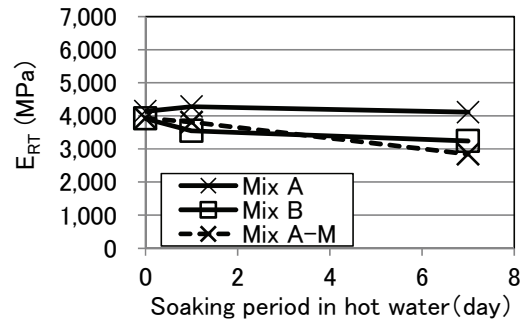
b) Test temperature of 60°C

b) 載荷試験時の混合物の温度 60°C

図-8 はく離に伴うマーシャル安定度の変化，縦軸：残留マーシャル安定度比，横軸：温水養生日数，実線・×：混合物A，実線・□：混合物B，破線・×：混合物A-M



a)  $E_{RI}$



b)  $E_{RT}$

図-9 はく離に伴うレジリエントモデュラスの変化，縦軸： $E_{RI}$ ，もしくは， $E_{RT}$ ，横軸：温水養生日数，実線・×：混合物A，実線・□：混合物B，破線・×：混合物A-M

表-7に、残留圧裂強度比、残留マーシャル安定度比およびレジリエントモデュラス比を並べて示す。まず、残留圧裂強度比（試験温度 25℃と 60℃）と残留マーシャル安

定度比（試験温度 25℃と 60℃）を比較すると、温水養生日数1日では、いずれの混合物も残留圧裂強度比（試験温度 25℃）、残留マーシャル安定度比（試験温度 60℃）、

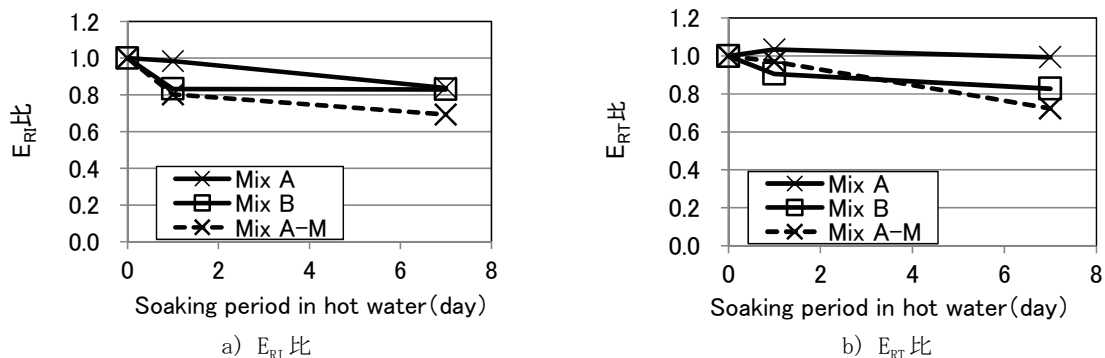


図-10 はく離に伴うレジリエントモデュラスの変化，縦軸： $E_{RI}$ 比，もしくは， $E_{RT}$ 比  
横軸：温水養生日数，実線・×：混合物A，実線・□：混合物B，破線・×：混合物A-M

表-7 はく離に伴う各種材料の力学量の変化

a) 混合物 A

混合物の種類	評価項目	試験温度 (°C)	温水養生時間(日)		
			0	1	7
混合物 A	残留マーシャル安定度比	25	1.00	0.70	0.49
		60	1.00	0.55	0.41
	残留圧裂強度比	25	1.00	0.46	0.22
		60	1.00	0.67	0.58
	瞬間復元レジリエントモデュラス比	25	1.00	0.98	0.84
全復元レジリエントモデュラス比	25	1.00	1.03	0.99	

b) 混合物 B

混合物の種類	評価項目	試験温度 (°C)	温水養生時間(日)		
			0	1	7
混合物 B	残留マーシャル安定度比	25	1.00	0.83	0.61
		60	1.00	0.71	0.65
	残留圧裂強度比	25	1.00	0.69	0.31
		60	1.00	0.72	0.57
	瞬間復元レジリエントモデュラス比	25	1.00	0.83	0.83
全復元レジリエントモデュラス比	25	1.00	0.91	0.83	

c) 混合物 A-M

混合物の種類	評価項目	試験温度 (°C)	温水養生時間(日)		
			0	1	7
混合物 A-M	残留マーシャル安定度比	25	1.00	0.81	0.58
		60	1.00	0.68	0.64
	残留圧裂強度比	25	1.00	0.67	0.37
		60	1.00	0.80	0.79
	瞬間復元レジリエントモデュラス比	25	1.00	0.80	0.69
全復元レジリエントモデュラス比	25	1.00	0.97	0.72	

残留圧裂強度比（試験温度 60℃）、残留マーシャル安定度比（試験温度 25℃）の順に小さかった。また、温水養生日数 7 日では、残留圧裂強度比（試験温度 25℃）は、残留マーシャル安定度比（試験温度 60℃）、残留マーシャル安定度比（試験温度 25℃）および残留圧裂強度比（試験温度 60℃）よりも小さく、温水養生日数を 7 日にすることで、残留圧裂強度比（試験温度 25℃）が顕著に小さくなった。

$E_{RI}$  および  $E_{RT}$  は、残留圧裂強度やマーシャル安定度と比較すると、はく離に伴う変化が小さかった。

## 2.5 試験結果まとめ

はく離に伴う力学量の変化の評価は、現在空港の既設舗装の健全度評価（表-1）に用いられているマーシャル安定度（試験温度 60℃）でも可能であることが確認できた。ただし、はく離に伴う力学量の変化が最も大きかったのは、圧裂強度（試験温度 25℃）であり、特に温水養生日数を長くするほど強度の変化が大きかった。

本検討結果によると、圧裂強度（試験温度 25℃）は、混合物のはく離に伴う力学量の変化を最も鋭敏に評価でき、圧裂強度（試験温度 25℃）がはく離抵抗性評価の指標に最も適していると考えられる。

## 3. はく離抵抗性評価方法のはく離層判別への適用性検討で用いるコアの作製

### 3.1 コアの作製方法の概要

図-11にコアの作製フローを示す。まず、基層を模擬した舗装版を作製した（写真-5）。次に、現地のはく離発生状況を可能な限り再現するために、ホイールトラッキング試験機（写真-6、WT試験機という）を用いて水と走行

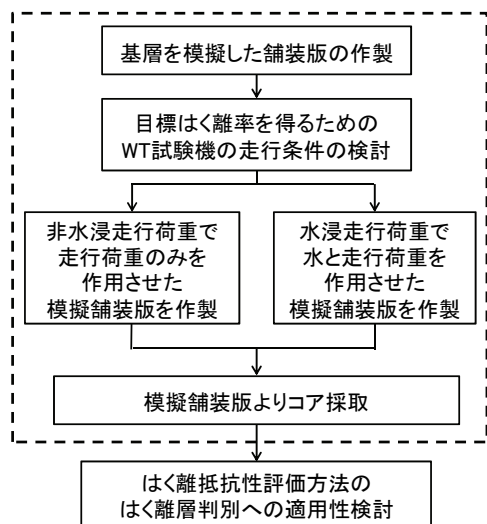


図-11 コアの作製フロー

荷重を模擬舗装版に作用させ、所定のはく離率までのはく離を進行させた模擬舗装版を作製した。なお、はく離の発生進行は、水のみ作用、もしくは、水と荷重の複合作用によるものが主と考えられるが、航空機車輪走行箇所におけるはく離層の判別が重要であるため、適用性の検討実験で用いるはく離混合物のはく離は、水と荷重で生じさせた。また、比較対象として、車輪走行箇所の舗装で、かつ、水による影響を受けていない舗装を想定し、走行荷重のみを作用させた模擬舗装版も作製した。これ以降、水と走行荷重を作用させた模擬舗装版より採取したコアは、はく離コアといい、走行荷重のみを作用させた模擬舗装版より採取したコアは、健全コアという。

## 3.2 模擬舗装版の作製

### (1) 模擬舗装版の材料

模擬舗装版の作製に用いた混合物は 2 種類であり、その違いは粗骨材である（表-8）。混合物の骨材粒度、アスファルト量および空隙率は、2 章で用いた混合物のそれらとほぼ同じである。図-12 に混合物の骨材粒度を示し、

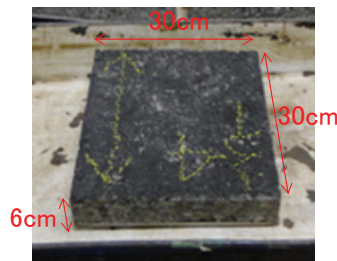


写真-5 模擬舗装版

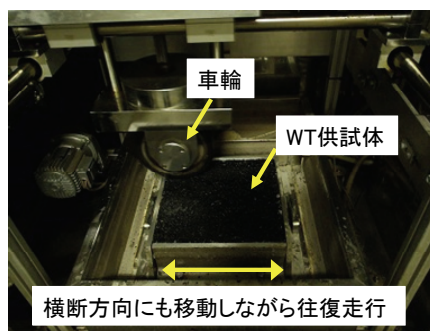


写真-6 WT 試験機

表-8 本検討に用いたアスファルト混合物の種類

本論での表記	アスファルト混合物の種類	粗骨材の種類	アスファルトバインダーの種類
混合物C	粗粒度アスファルト混合物	粗骨材C	ストレートアスファルト60/80
混合物D		粗骨材D	ストレートアスファルト60/80

表-9 には各混合物のアスファルト量と目標とした空隙率を示す。表-10 に粗骨材および細骨材の材質と物理性状を示す。表-11 には粗骨材のはく離抵抗性を示す。

(2) 混合物Cと混合物Dのはく離抵抗性

混合物Cと混合物Dのはく離抵抗性を把握するために、水浸WT試験を実施した。供試体（長さ30cm、幅30cm、高さ5cm）の作製方法および試験方法は、舗装調査・試験法便覧に準拠した。試験時の水位は、供試体の下端とした（空港舗装は一般に、試験法便覧記載の「ポラスアスファルト舗装以外」に該当するため）。表-12に試験結果を示す。剥離率とは、試験後の混合物の割裂面の断面積

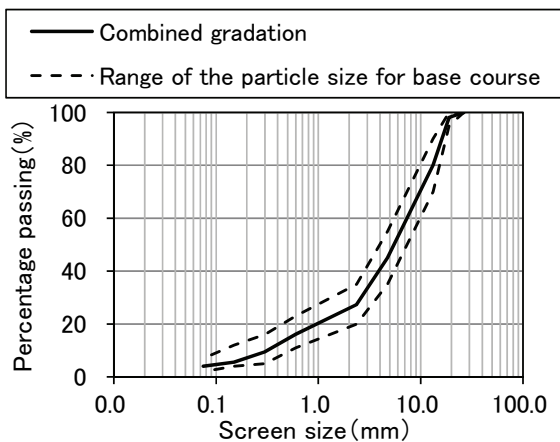


図-12 アスファルト混合物の骨材粒度，縦軸：通過質量百分率，横軸：ふるい目の大きさ，実線：骨材粒度，破線：基層用粒度範囲

表-9 各混合物のアスファルト量と目標空隙率

	アスファルト量 (%)	目標空隙率 (%)
混合物C	4.8	4.0
混合物D	4.9	4.5

表-10 使用骨材の材質と物理性状

		材質	見掛密度 (g/cm <sup>3</sup> )	吸水率 (%)
粗骨材C	5号碎石	硬質砂岩	2.694	0.35
	6号碎石		2.688	0.56
	7号碎石		2.692	0.66
粗骨材D	5号碎石	角閃岩	2.783	0.79
	6号碎石		2.772	0.95
	7号碎石		2.789	1.06
細骨材	砕砂	硬質砂岩	2.735	1.12
	細目砂	洗砂	2.743	3.04
フィラー	石粉	石灰岩	2.708	-

に対する，割裂面ではく離が生じた面積の比である。剥離率が高いほどはく離が生じた面積が大きいことを表す。NEXCOや首都高速道路(株)では，各種混合物に対して水浸WT試験を実施し，剥離率5%以下を満足することが規定されている<sup>13)</sup>。この規定に従うと，混合物Cは基準を満足し，混合物Dは基準を満足しないこととなる。

(3) 模擬舗装版の作製

模擬舗装版の作製方法は，舗装調査・試験法便覧のWT供試体の作製方法に準拠した。模擬舗装版の寸法は，長さ30cm，幅30cm，高さ6cmである。

3.3 水や走行荷重を作用させたコアの作製

(1) 水浸走行時間の検討

はく離の初期段階として剥離率10%の模擬舗装版を作製することとし，このために必要な水浸条件下での走行時間を検討した。

a) 水浸走行時の走行条件

表-13 に水浸走行時の走行条件を示す。走行時の水位

表-11 粗骨材のはく離抵抗性

	剥離面積率 (粗骨材の剥離抵抗性試験)
粗骨材C	11%
粗骨材D	24%

表-12 水浸WT試験で求めたアスファルト混合物の剥離率

	剥離率 (水浸WT試験)
混合物C	4.1%
混合物D	14.8%

表-13 水浸走行時の走行条件

項目	単位	試験条件
輪荷重	N	686
走行速度	回/分	42±1
走行距離	mm	230
トラバース速度	mm/分	100
トラバース幅	mm	250
試験温度	°C	60
養生時間	時間	気乾12時間後 水浸1時間
試験時の水位	-	WT供試体上面
載荷走行時間	分	120~240

は模擬舗装版上面に調整した。水位を上面に設定した理由は、現地舗装の状況で最も過酷な条件を想定して、舗装内に水が滞留した状況を再現するためである。写真-6に水浸走行時の状況を示した。図-13に水浸走行時の断面図を示す。

b) 水浸走行時間と剥離率の関係

水浸走行時間 120 分, 180 分, 210 分および 240 分後の剥離率を求めた。各走行時間に対して模擬舗装版を 2 個ずつ用いて水浸走行を行い、平均値を剥離率とした。図-14に、混合物 C で作製した模擬舗装版 C と混合物 D で作製した模擬舗装版 D の剥離率と水浸走行時間の関係を

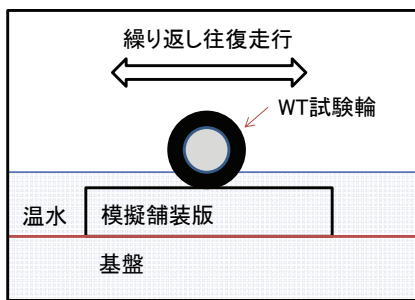
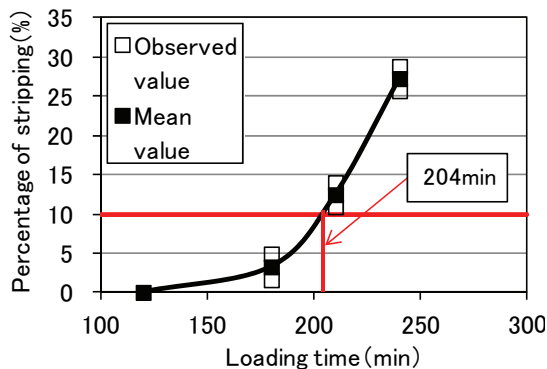
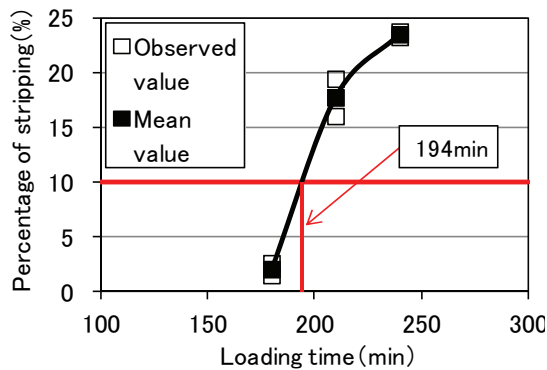


図-13 水浸走行時の断面図



a) Simulated pavement slab C (模擬舗装版 C)



b) Simulated pavement slab D (模擬舗装版 D)

図-14 剥離率と走行時間の関係、縦軸：剥離率、横軸：走行時間、□：実測値、■：平均値

示す。剥離率が 10%となる水浸走行時間は、模擬舗装版 C では 204 分, 模擬舗装版 D では 194 分であった。よって、水浸走行時間は、模擬舗装版 C の場合 204 分, 模擬舗装版 D の場合 194 分とした。

また、非水浸走行による模擬舗装版も作製した。非水浸走行での走行条件は、模擬舗装版を水に浸漬させない条件以外を同じにした。

(2) コアの採取と劣化状態の確認

a) コア採取

水浸走行および非水浸走行後の模擬舗装版からコア(直径100mm)を採取した(写真-7)。表-14に作製したコアの種類を示す。

b) コアの標準圧裂強度と割裂面の剥離率の確認

25℃の水中にコアを20分浸漬させた後、圧裂試験を行い、標準圧裂強度と試験後のコアの割裂面の剥離率を求めた。各試験に用いたコアの数は、試験条件ごとに5個である。圧裂試験の試験条件は、試験温度25℃、载荷速度50mm/minとした。図-15に標準圧裂強度を示し、図-16に割裂面の剥離率を示す。図中のエラーバーは、標準偏差(±1σ)を表す。はく離コアCの標準圧裂強度は、健全コアCのそれよりも小さかった。一方、はく離コアDの標準圧裂強度は、健全コアDのそれと差は殆どなかった。

図-16をみると、はく離コアCとはく離コアDの割裂面の剥離率はそれぞれ5.9%、9.4%であり、ばらつきは比較的大きかった。また、健全コアCでは、割裂面にはく離が確認されなかったものの、健全コアDでは割裂面にはく離が確認された。これは、混合物Dのアスファルトと骨材の接



写真-7 コア採取の写真

表-14 作製したコア

		コアの作製に用いた混合物	
		混合物C (はく離抵抗性高)	混合物D (はく離抵抗性低)
作製方法	荷重と水を作用	はく離コアC	はく離コアD
	荷重のみ作用	健全コアC	健全コアD

着力が乏しく、圧裂試験の間接引張作用でアスファルトが骨材からはく離したためであると推察される。

#### 4. はく離抵抗性評価方法のはく離層判別への適用性検討

ASTM 促進法とその一部の条件を変更した促進法により、3 章で作製したはく離コアと健全コアの残留圧裂強度比を求め、残留圧裂強度比を指標とするはく離抵抗性評価方法のはく離層判別への適用性を検討した。

##### 4.1 はく離抵抗性評価方法

図-17に、ASTM促進法によるはく離抵抗性評価方法を示す。はく離促進手順と圧裂試験の試験条件を以下に示す。

###### (1) はく離促進手順

手順は、2.2 に示したはく離促進手順と同じである。ただし、はく離促進条件として、ASTMはく離促進法の条件（温水養生温度60℃・温水養生日数1日）に加えて、判別に有効なはく離促進条件を検討するために、温水養生温度（以下、養生温度という）や温水養生日数（以下、

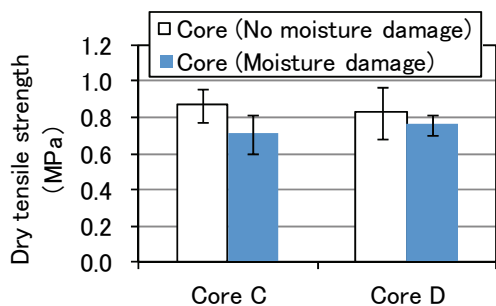


図-15 コアの標準圧裂強度，横軸（左）：コアC，横軸（右）：コアD，白棒：健全コア，青棒：はく離コア，エラーバー：標準偏差（±1σ）

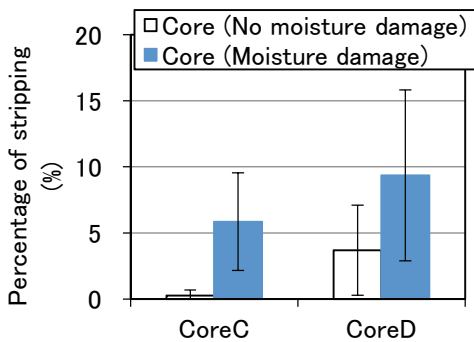


図-16 コアの割裂面における剥離率，横軸（左）：コアC，横軸（右）：コアD，白棒：健全コア，青棒：はく離コア，エラーバー：標準偏差（±1σ）

養生日数という）を変更した条件も設定した。表-15に、設定したはく離促進条件を示す。

###### (2) 圧裂試験の試験条件

圧裂試験時の試験温度（载荷時の混合物温度に相当）は、2章の検討結果に基づき25℃とした。载荷速度は50mm/minとした。各条件の強度は5個のコアの平均値とした。試験に用いたコアの空隙率の平均値は1.7%から3.0%であった。水分飽和度の平均値は約20%から約43%であり、目標の55%を下回った。この要因として、試験体は繰返し走行荷重を受けた混合物で作製されており、繰返し荷重によるこね返し作用で有効空隙が少なくなったため、空隙に水が入りにくかったことが考えられる。

##### 4.2 はく離抵抗性評価によるはく離コアの判定率の算定方法

はく離抵抗性評価によるはく離コアの判定精度を検討するために、実験で得られた標準圧裂強度と残留圧裂強度の平均値と不偏標準偏差を用いて、はく離コアと健全コアの残留圧裂強度比をモンテカルロ法により試算し、はく離コアの残留圧裂強度比が健全コアのそれよりも小

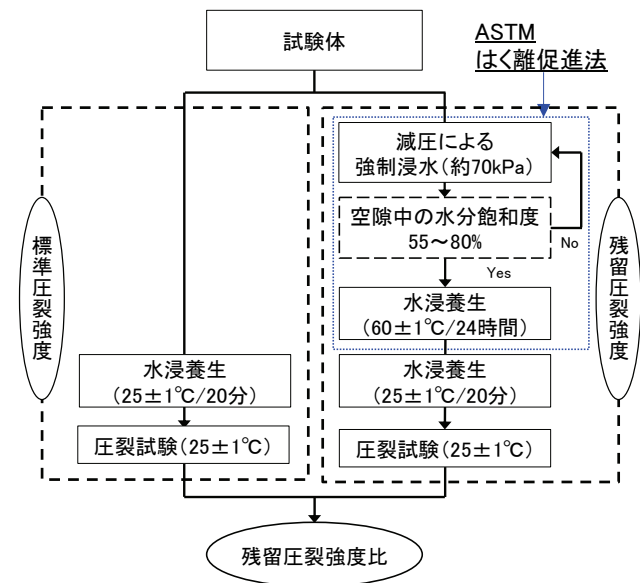


図-17 ASTM 促進法によるはく離抵抗性評価フロー

表-15 はく離促進条件

試験体の種類	養生温度	養生時間
はく離コアC 健全コアC	40℃	1日
		3日
はく離コアD 健全コアD	60℃	1日
		3日
	80℃	1日
		3日

さいと判定される確率（以下、判定率という）を算定した。図-18に判定率の算定フローを示す。

### 4.3 評価結果および判定率の算定結果

(1) ASTM 促進法のはく離促進条件における評価結果

表-16の灰色で着色した行に、ASTM促進法のはく離促進条件（養生温度60℃・養生日数1日）で求めた残留圧裂強度比を示す。はく離コアCの残留圧裂強度比は、健全コアCのそれよりも0.12小さかった。また、はく離コアDの残留圧裂強度比は、健全コアDのそれよりも0.39小さかった。以上より、ASTM促進法のはく離促進条件で求めたはく離コアの残留圧裂強度比は、健全コアのそれよりも小さくなることが確認されたため、ASTM促進法のはく離促進条件ではく離コアを判別できる可能性がある。

(2) 各はく離促進条件における評価結果

表-16に、設定したはく離促進条件に対する残留圧裂強度比の一覧を示す。コアCでは養生温度60℃・養生日数3日以外の条件、コアDでは養生温度80℃・養生日数3日以外の条件で、強度比の差は負となった。特に、コアCでは、養生温度80℃で強度比の差が大きく、コアDでは、養生温度60℃で強度比の差が大きかった。

以下では、養生温度や養生日数と強度比の差の関係、および、2つの促進条件で強度比の差が正となった原因をそれぞれ考察する。

a) 養生温度と強度比の差の関係

表-16をみると、コアCおよびコアDともに養生温度の増減で強度比の差の変化に一定の傾向は認められなかった。

b) 養生日数と強度比の差の関係

表-16をみると、養生日数が短い方が強度比の差は大きい傾向が、コアCでは40～80℃で確認され、コアDでは40と80℃で確認された。この結果に基づく養生時間は1日の方が望ましいと考えられる。

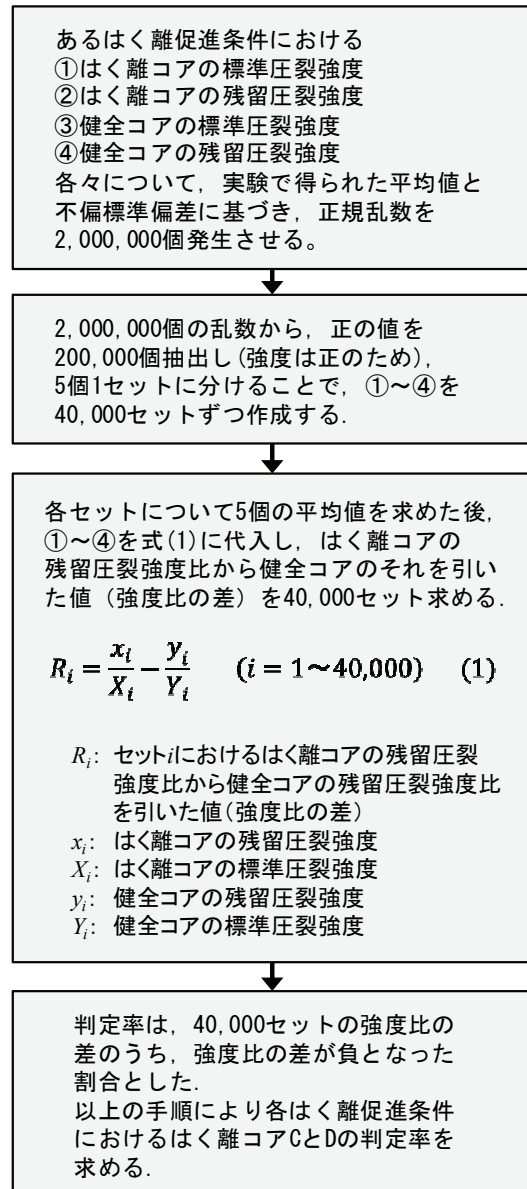
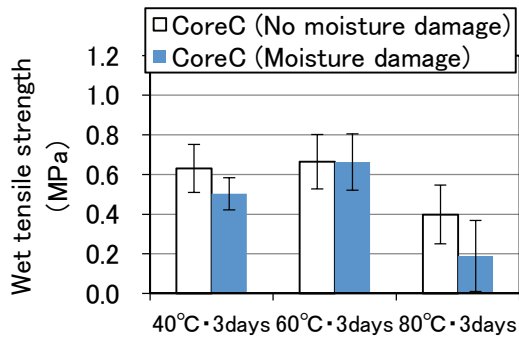


図-18 判定率の算定フロー

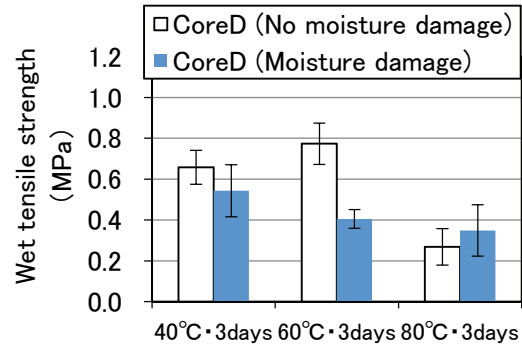
表-16 各はく離促進条件におけるはく離コアと健全コアの残留圧裂強度比

試験条件		コアC			コアD		
養生温度	養生日数	はく離コアの残留圧裂強度比 (①)	健全なコアの残留圧裂強度比 (②)	強度比の差 (①-②)	はく離コアの残留圧裂強度比 (③)	健全なコアの残留圧裂強度比 (④)	強度比の差 (③-④)
40℃	1日	0.81	0.88	-0.07	0.70	0.95	-0.25
60℃	1日	0.95	1.07	-0.12	0.68	1.07	-0.39
80℃	1日	0.55	0.76	-0.20	0.53	0.58	-0.05
40℃	3日	0.71	0.73	-0.02	0.71	0.80	-0.08
60℃	3日	0.94	0.77	0.17	0.53	0.94	-0.40
80℃	3日	0.27	0.46	-0.19	0.46	0.33	0.13





a) Core C (コアC)



b) Core D (コアD)

図-19 はく離促進条件40～80℃・3日の残留圧裂強度，

白棒：健全コア，青棒：はく離コア，エラーバー：標準偏差（±1σ）

c) 養生温度60℃・養生日数3日のコアCで強度比の差が正となった原因

原因を考察するために、図-19(a)に、健全コアCとはく離コアCについて、養生温度40～80℃・養生日数3日で得られた残留圧裂強度を示す。養生温度60℃では、健全コアCの残留圧裂強度は、はく離コアCのそれと同程度であった。標準圧裂強度は、はく離コアCの方が小さかったことから(図-15)、はく離コアCの残留圧裂強度比の方が大きくなり、強度比の差が正となった。健全コアCとはく離コアCの残留圧裂強度が同程度となった要因は、養生温度60℃におけるはく離コアの残留圧裂強度が大きい値を示したためであると考えられる。これについては、データの信頼性を再実験により検証することとしたい。

d) 養生温度80℃・養生日数3日のコアDで強度比の差が正となった原因

原因を考察するために、図-19(b)に、健全コアDとはく離コアDについて、養生温度40～80℃・養生日数3日で得られた残留圧裂強度を示す。養生温度80℃における健全コアDの残留圧裂強度は、はく離コアDのそれよりも小さくなっており、これが強度比の差が正となった原因である。養生温度80℃では、健全コアの残留圧裂強度がはく離コアと同程度に小さくなるとともに、両者の残留圧裂強度のばらつきが影響し、健全コアとはく離コアの残留圧裂強度比の大小関係が逆転する可能性があると考えられる。

なお、上記c)の傾向とは逆に、コアDでは、養生温度60℃における健全コアの残留圧裂強度が大きく、これが要因で健全コアの残留圧裂強度比が大きくなり、結果として、強度比の差が大きくなった(-0.40)。これについても、データの信頼性を再実験により検証することとしたい。

(3) 判定率の算定結果

表-17に、各はく離促進条件におけるはく離コアの判定

表-17 各剥離促進条件におけるはく離コアの判定率

温水養生温度	温水養生日数	はく離コアの判定率(%)	
		コアC	コアD
40	1	76	100
60	1	83	100
80	1	95	75
40	3	53	87
60	3	13	100
80	3	89	11

率の算定結果を示す。強度比の差が小さい場合や強度比の差が正となった場合は、判定率が低くなった。本実験結果の範囲では、はく離コアの判定精度がコアC、コアD両者ともに高かったのは、ASTM促進法のはく離促進条件である養生温度60℃・養生日数1日であった。なお、コアCについては、養生温度を80℃に高めることで判定率が向上したため、養生温度を変更することで判定精度が向上する可能性があるがあった。なお、本結果は限られたデータに基づいているため、今後より多くのデータもしくは現地コアによって検証する必要がある。

## 5. まとめ

本研究では、空港の既設舗装を対象とした ASTM 促進法による既設混合物のはく離抵抗性評価方法の確立を目的として2つの検討を行った。まず、はく離に伴う混合物のマーシャル安定度、圧裂強度およびレジリエントモデュラスの変化を評価し、はく離抵抗性評価に用いる力学量を検討した。次に、ASTM 促進法によるはく離抵抗性評価方法のはく離層判別への適用性を検討した。

(1) 圧裂強度(試験温度 25℃)は、圧裂強度(試験温度 60℃)およびマーシャル安定度(試験温度 25℃も

- しくは試験温度 60℃) よりもはく離に伴う混合物の力学量の変化を鋭敏に捉えられることを示した.
- (2) はく離に伴うレジリエントモデュラスの変化は、マーシャル安定度や圧裂強度と比較すると、小さいことを示した.
  - (3) (1), (2)より, 今回検討した力学量の中では, 圧裂強度(試験温度 25℃)が, 混合物のはく離に伴う力学量の変化を最も鋭敏に評価できた. よって, 圧裂強度(試験温度 25℃)がはく離抵抗性評価の指標に最も適していると考えられる.
  - (4) ASTM 促進法のはく離促進条件(温水養生温度 60℃・温水養生日数 1 日)で得られる残留圧裂強度比を用いることで, はく離混合物と健全な混合物の違いを判別できる可能性があることを示した.
  - (5) 実験結果に基づき, はく離コアと健全コアの残留圧裂強度比をモンテカルロ法で試算し, 各はく離促進条件におけるはく離コアの判定率を算定した. その結果, 判定率が総合的に高かったのは, ASTM 促進法のはく離促進条件である温水養生温度 60℃・温水養生日数 1 日であった. また, ASTM 促進法の温水養生温度を変更することで判定精度が向上する場合がある可能性があった. 以上のことは, 今回の限られた実験結果に基づく結果であることに留意する必要がある.

## 5. おわりに

本研究結果を実際の空港舗装のはく離層判定に適用可能な方法にするためには, 今回得られた結果の妥当性を現地コアなどを用いて検証するとともに, 残留圧裂強度比に関する基準値を設定する必要がある. 基準値の設定にあたっては, 現地空港より採取したコアを活用する予定である. この検討に加えて, 既往の研究において, 同一混合物であっても空隙率が異なることで残留圧裂強度比が異なることが報告されているため<sup>6)</sup>, 残留圧裂強度比に関する基準値に対して空隙率を考慮する必要性を検討する必要がある. また, はく離促進時における水分飽和度も残留圧裂強度比に影響することが報告されているため<sup>14)15)</sup>, 試験体の水分飽和度に関する上限下限の規格値も検討する必要があると考える. 上記の検討については, 改めて報告することとしたい.

(2015年5月1日受付)

## 参考文献

1) 元野一生, 村永努, 八谷好高, 梶谷明宏, 加納孝志

- (2004): プリスタリング対策を講じた福岡空港滑走路の大規模補修, 土木学会論文集E, Vol. 63, No. 4, pp518-531
- 2) 本松資朗, 神谷恵三, 松本大二郎, 山田優 (2004): 既設基層混合物のはく離抵抗性の評価方法に関する研究, 土木学会舗装工学論文集, Vol. 9, pp. 73-79
  - 3) Lottman, R. P. (1986): Predicting moisture-induced damage to asphaltic concrete: Ten year field evaluation
  - 4) 国土交通省航空局・国土交通省国土技術政策総合研究所監修, (財) 港湾空港建設技術サービスセンター発行 (2011): 空港舗装補修要領及び設計例
  - 5) Maupin G. W. (1989): Assessment of Stripped Asphalt Pavement, Transportation Research Record, No. 1228, pp. 17-21
  - 6) 東滋夫, 篠塚政則, 坂本健次, 金井利浩 (2002): 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, pp. 32-38
  - 7) Kandhal, P. S. (1994): Field and Laboratory Investigation of Stripping in Asphalt Pavements: State of the Art Report, Transportation Research Record, No. 1454, pp. 36-46
  - 8) 加納陽輔, 秋葉正一, 鎌田孝行, 菅野伸一, 佐藤克己 (2013), 加圧熱水を用いたアスファルト混合物のはく離抵抗性評価試験の開発, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol. 69, No. 3, I\_33-I\_40
  - 9) ASTM D4867/D4867M -04 (2005), Standard test method for effect of moisture on asphalt concrete paving mixtures
  - 10) Lottman, R. P. (1982): Laboratory Test methods for predicting moisture-induced damage to asphalt concrete
  - 11) (社) 日本道路協会 (2007): 舗装調査・試験法便覧, 第3分冊
  - 12) 国土交通省航空局監修, (財) 港湾空港建設技術サービスセンター発行 (2013): 空港土木工事共通仕様書
  - 13) 東日本高速道路株式会社, 中日本高速道路株式会社, 西日本高速道路株式会社 (2013), 設計要領 第一集 舗装編
  - 14) Choubane, B., Page, G. C., Musselman, J. A. (2000): Effects of Water Saturation Level on Resistance of Compacted Hot-Mix Asphalt Samples to Moisture-Induced Damage, Transportation Research Board, No. 1723, pp97-106
  - 15) Liang, R. Y. (2008): Refine AASHTO T283 Resistance

of Compacted Bituminous Mixture to Moisture Induced  
Damage for Superpave, FHWA Final Report, pp1-195,

港湾空港技術研究所資料 No.1315

2015. 12

編集兼発行人 国立研究開発法人 港湾空港技術研究所

発行所 国立研究開発法人 港湾空港技術研究所  
横須賀市長瀬3丁目1番1号  
TEL. 046(844)5040 URL. <http://www.pari.go.jp/>

印刷所 株式会社 シ ー ケ ン

Copyright © (2015) by PARI

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of PARI

この資料は、港湾空港技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は港湾空港技術研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。



古紙配合率70%再生紙を使用しています