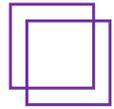


# 空港舗装の材料評価方法等の高度化 に関する近年の取組み

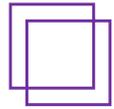
国土技術政策総合研究所 空港研究部  
主任研究官 河村直哉



## 本日の内容

---

1. アスファルト舗装材料の劣化評価方法
2. オイルリーク時の油の油種推定方法
3. グルーピングの養生期間・寸法
4. 緊急補修に用いる常温混合物の規格
5. 振動ローラを用いた空洞調査方法



# はじめに

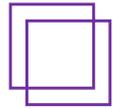
---

## 空港施設研究室の所掌

- ・ 空港舗装に関する技術支援
- ・ 空港舗装の調査、設計、施工、維持管理に関する研究
- ・ 空港土木施設設計要領(舗装設計編)の原案作成

## 近年の研究テーマ

- ・ 空港舗装の設計法の研究
- ・ **空港舗装の新しい評価方法(路面、構造、材料)の研究**
- ・ 地震災害時の空港舗装の点検・復旧の研究



# 本日の内容

---

## 1. アスファルト舗装材料の劣化評価方法

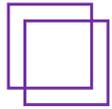
【概要】 アスファルトバインダやアスファルト混合物に関する既存の劣化評価方法では、適切な評価ができない場合があるため、新しい方法を導入した

## 2. オイルリーク時の油の油種推定方法

## 3. グルーピングの養生期間・寸法

## 4. 緊急補修に用いる常温混合物の規格

## 5. 振動ローラを用いた空洞調査方法



# DSR試験と修正ロットマン試験

設計要領

表III-2.5 解体調査による試験項目

試験項目
アスファルト混合物の断面測定
アスファルトの抽出試験
アスファルトの回収試験
アスファルト混合物のマーシャル安定度試験
アスファルト混合物の密度試験
アスファルト混合物の最大密度試験
アスファルト混合物の水分量測定
アスファルトの DSR 試験
アスファルトの組成分析試験
アスファルト混合物の修正ロットマン試験
アスファルト混合物のレジリエントモデュラス試験
アスファルト混合物の曲げ疲労試験

令和3年  
4月改訂



アスファルト舗装の補修  
までの調査フロー

定期点検

↓ 路面状態を評価

↓

非破壊調査

↓ 構造上問題がある可能性

↓ のある箇所を抽出

↓

解体調査

↓ 構造上問題の有無を評価

↓

補修

※DSR試験

= 動的せん断 粘弾性試験

# DSR試験(導入背景)

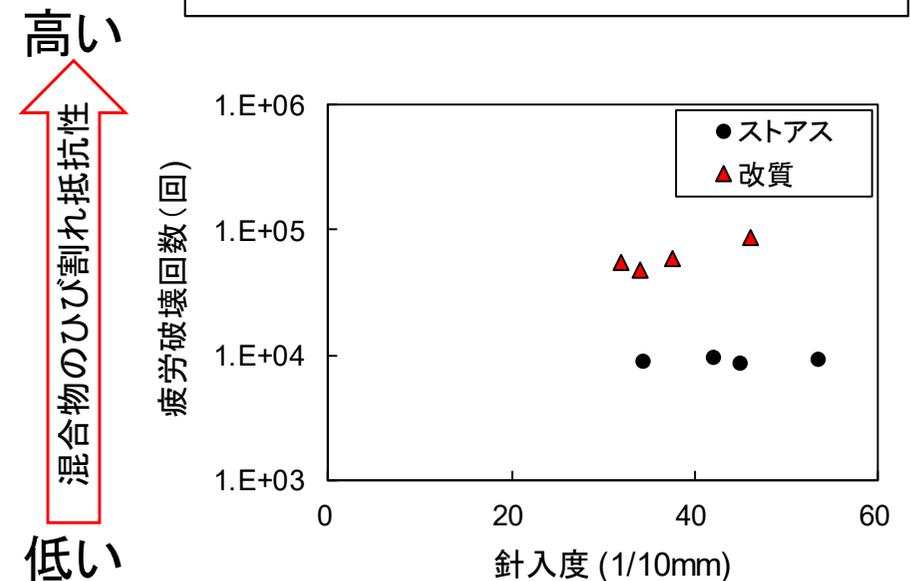
- 従来、アスファルトの劣化は針入度と軟化点で評価
- 近年利用が増えている改質アスファルトに関しては、**針入度と軟化点では劣化度を誤って評価する可能性**

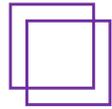
針入度が同程度でも改質アスファルトの方がひび割れ抵抗性が高い

## 針入度・軟化点とひび割れの関係

物性値	ひび割れとの関係
針入度(1/10mm)	35~50でひび割れ発生 25以下でひび割れ増大
軟化点(°C)	54でひび割れ発生 60~63でひび割れ増大

## 針入度とアスファルト混合物のひび割れ抵抗性の関係





# DSR試験に関する改定

- ・ DSR試験で得られる $G^* \sin \delta$ （アスファルトの粘弾性状を表す指標）を導入
  - ・  $G^* \sin \delta$  は、アスファルトの種類によらず、アスファルト混合物のひび割れ抵抗性と相関関係があるといわれている
- **ストレートアスファルトと改質アスファルトを同列に評価可**

## 【設計要領の改定内容】

### 第3章 アスファルト舗装の補修

#### Ⅲ-3.3.2 解体調査に基づく評価

(2) 一般的なアスファルト舗装の評価を以下に示す。

- (i) アスファルトが劣化すると、針入度は小さくなり、軟化点が高くなる**傾向がある**。り、**DSR試験で得られる $G^* \sin \delta$ は大きくなる**。一般的なひび割れとアスファルトの関係を表Ⅲ-3.4に示す。

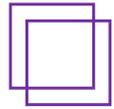
表Ⅲ-3.4 ひび割れとアスファルトの関係

物性値	ひび割れとの関係
針入度(1/10mm)	35～50でひび割れ発生 25以下でひび割れ増大
軟化点(°C)	54でひび割れ発生 60～63でひび割れ増大



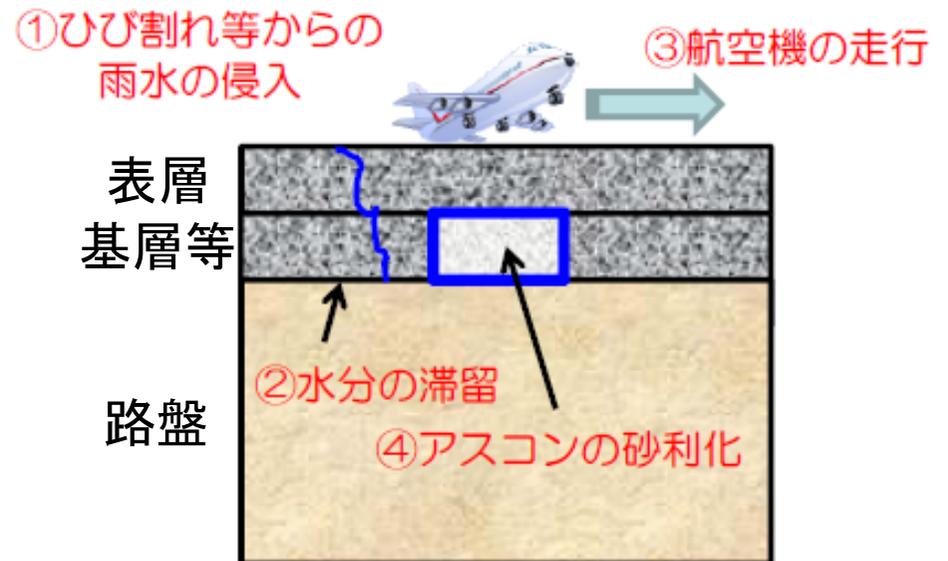
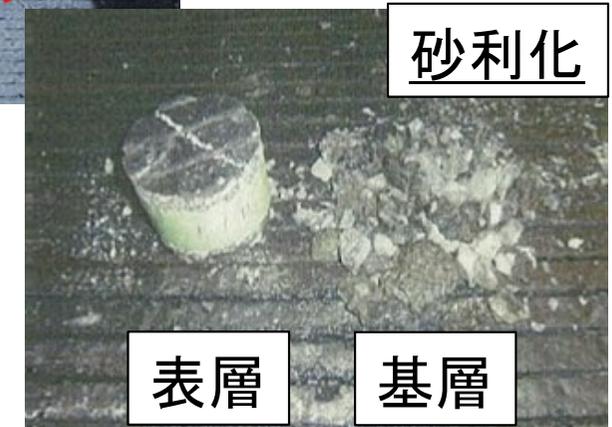
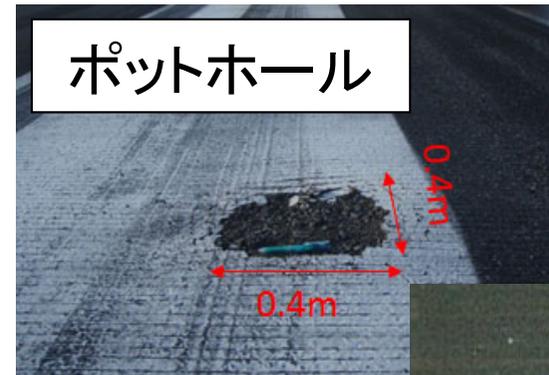
表Ⅲ-3.4 ひび割れとアスファルトの関係

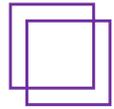
物性値	ひび割れとの関係
$G^* \sin \delta$ (kPa)	2,700でひび割れ発生 4,600以上でひび割れ増大



## 修正ロットマン試験(導入背景)

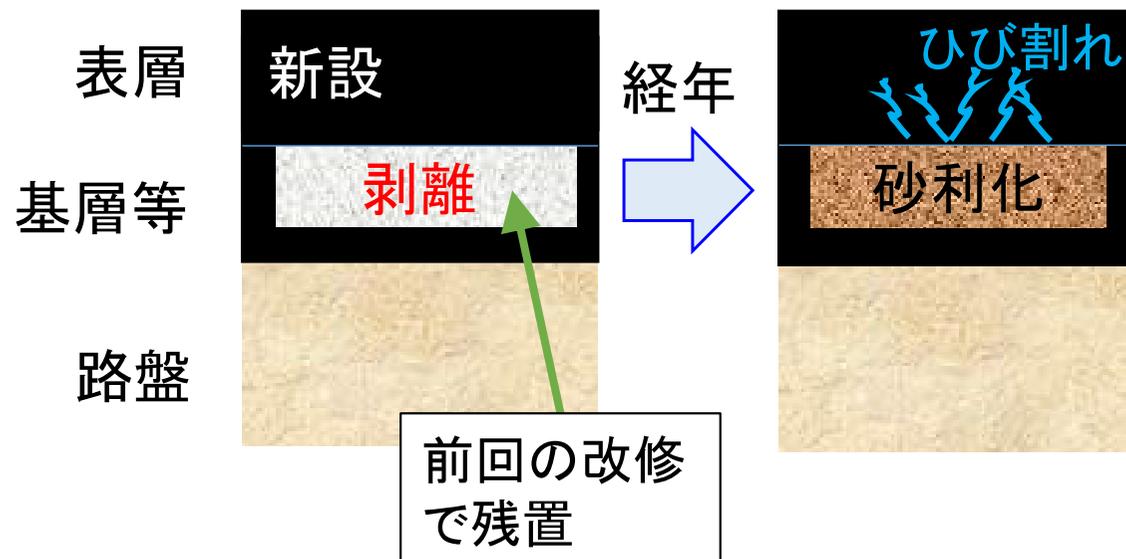
- 滑走路等の舗装表面において、ポットホール等、局部的かつ突発的な破損が発生することがある
- 突発破損は、滑走路閉鎖→緊急補修→遅延に繋がる
- 破損の要因として、基層等に水が浸透・滞留し、剥離(アスファルトと骨材が分離する現象)や、砂利化(剥離が進行した状態)が生じたことが挙げられる
- 剥離が生じた層(将来砂利化しそうな層)を適切に判別し取り除くために、修正ロットマン試験を導入

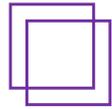




## 修正ロットマン試験(導入背景)

- ・ 前回の補修・改修時に、剥離層を見落とし残置している可能性  
→ 解体調査で剥離層を適切に判別し、その層の深さまで切削し、打ち換えることが重要
- ・ マーシャル安定度試験(従来の評価法)では、判別が難しい場合がある
- ・ より鋭敏な方法として、修正ロットマン試験(圧裂試験の一種)を提案





# 修正ロットマン試験に関する改訂

剥離が生じたアスファルト混合物（剥離抵抗性が低下したものは、概ね残留圧裂強度が0.7MPa未満の傾向

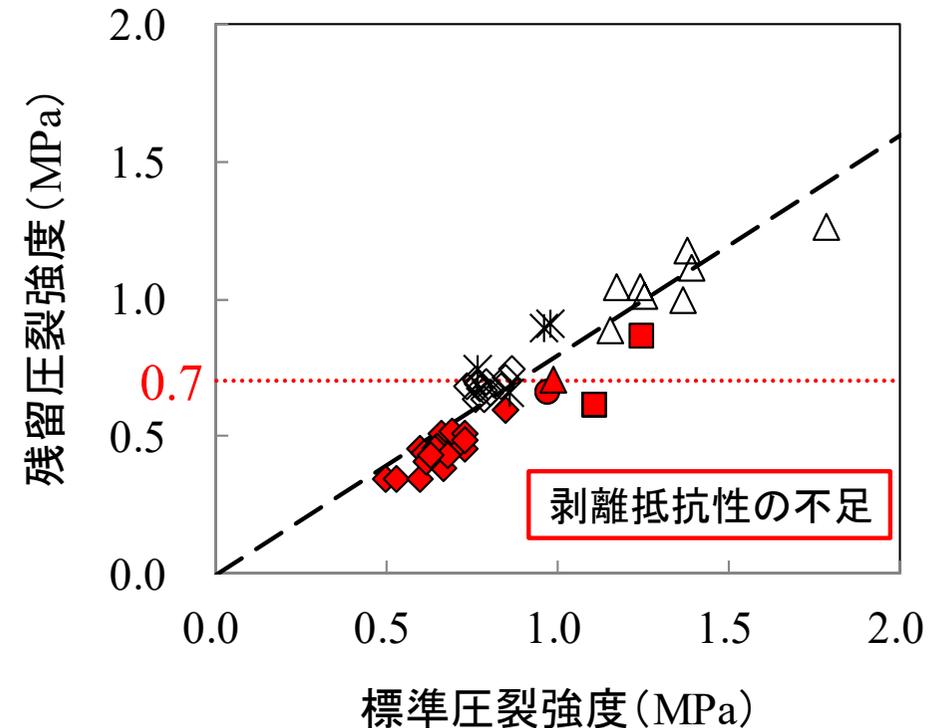
## 【設計要領の改定内容】

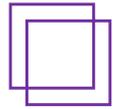
第3章 アスファルト舗装の補修  
Ⅲ-3.3.2 解体調査に基づく評価

(2) 一般的なアスファルト舗装の評価を以下に示す。

(viii) 粗粒度アスファルト混合物の剥離抵抗性に関する詳細な評価方法としては、修正ロットマン試験により得られる標準圧裂強度と残留圧裂強度に関する閾値が提案されており、参考とするとよい。方法があり<sup>85)</sup>、残留圧裂強度が0.7MPa未満となる場合は、当該アスファルト混合物の剥離抵抗性が低いと考えられる。

各地空港での修正ロットマン試験結果





## コア厚さによる強度補正

修正ロットマン試験の場合、マーシャル安定度のような厚さに応じた補正は必要ない

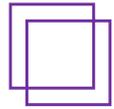
### マーシャル安定度補正係数(設計要領)

表Ⅲ-3.5 マーシャル安定度補正係数

供試体の厚さ (mm)	30.0	40.0	50.0	63.5	70.0	75.0
補正係数	4.76	3.17	1.98	1.00	0.79	0.74

### 修正ロットマン試験で求める圧裂強度

30mm以上の厚さでは、厚さによる強度の違いは確認されていない



# 本日の内容

---

## 1. アスファルト舗装材料の劣化評価方法

## 2. オイルリーク時の油の油種推定方法

【概要】 オイルリークの原因が、施工機械であるか否かを判定するための方法を提案した

## 3. グルーピングの養生期間・寸法

## 4. 緊急補修に用いる常温混合物の規格

## 5. 振動ローラを用いた空洞調査方法

## 検討背景

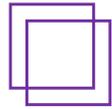
- ある空港で、アスファルト舗装の表基層を切削オーバーレイして半年後に、ひび割れと、異臭を放つ液体の染出しが発生
- 特定の場所に集中していたことから、**舗装施工機械から油が漏れ、それが影響した可能性**
- ・オイルリークの出処を特定するために、油種の推定方法が必要  
→ **GC/MS(ガスクロマトグラフ質量分析装置)による方法を提案**

不具合箇所の路面状況(3m × 2m)



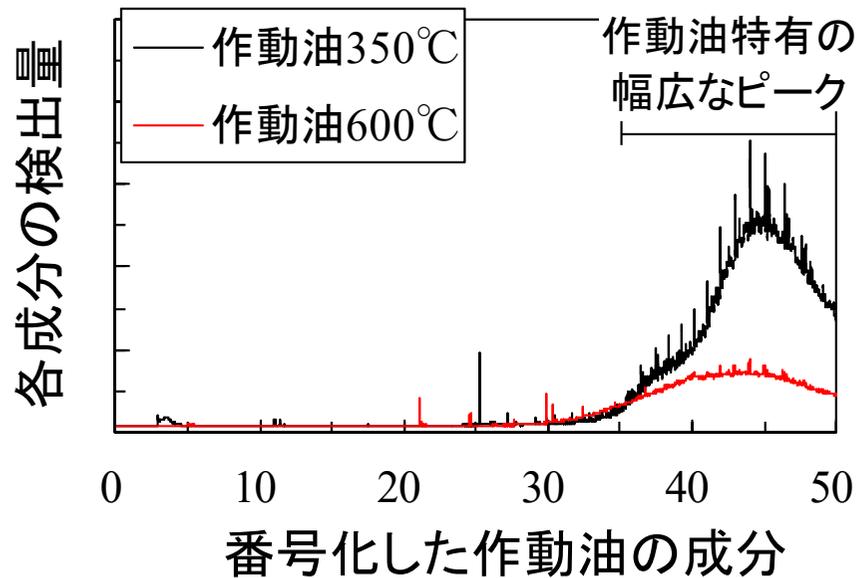
拡大写真(液体の染出し)





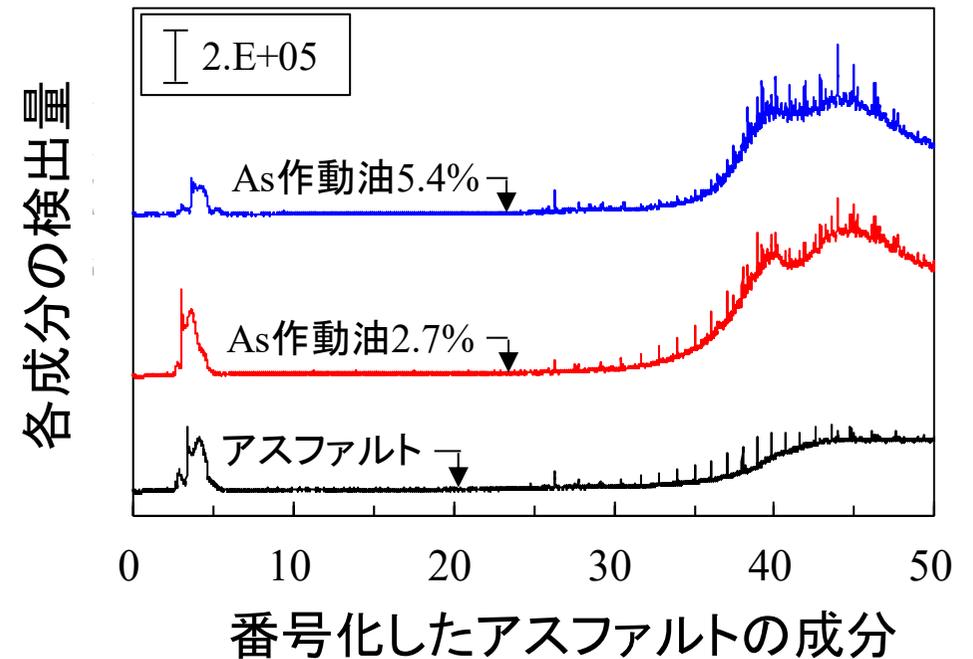
# GC/MSによる作動油の分析

作動油単体

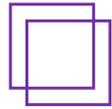


番号が大きい所で幅広なピーク

作動油を含むアスファルト

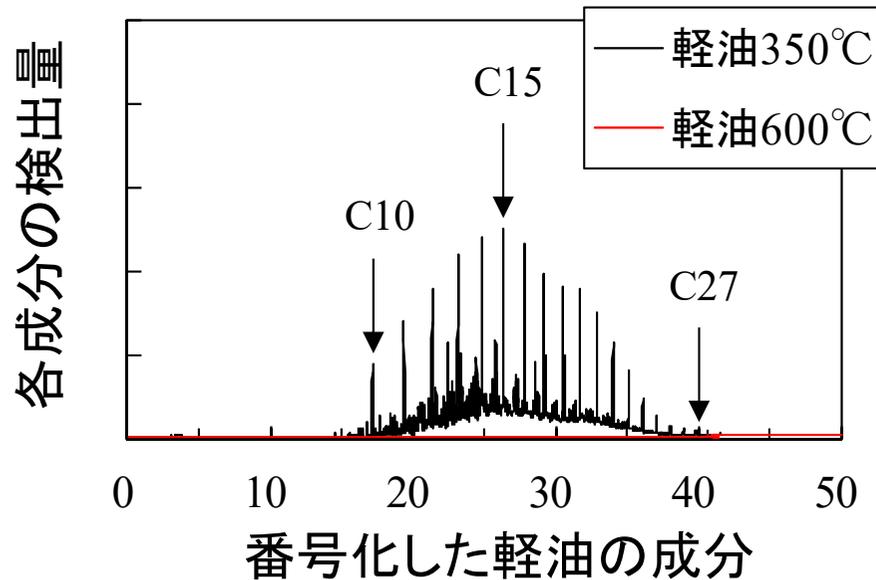


作動油単体と同様の傾向  
(番号が大きい所で**作動油に類似した幅広なピーク**)



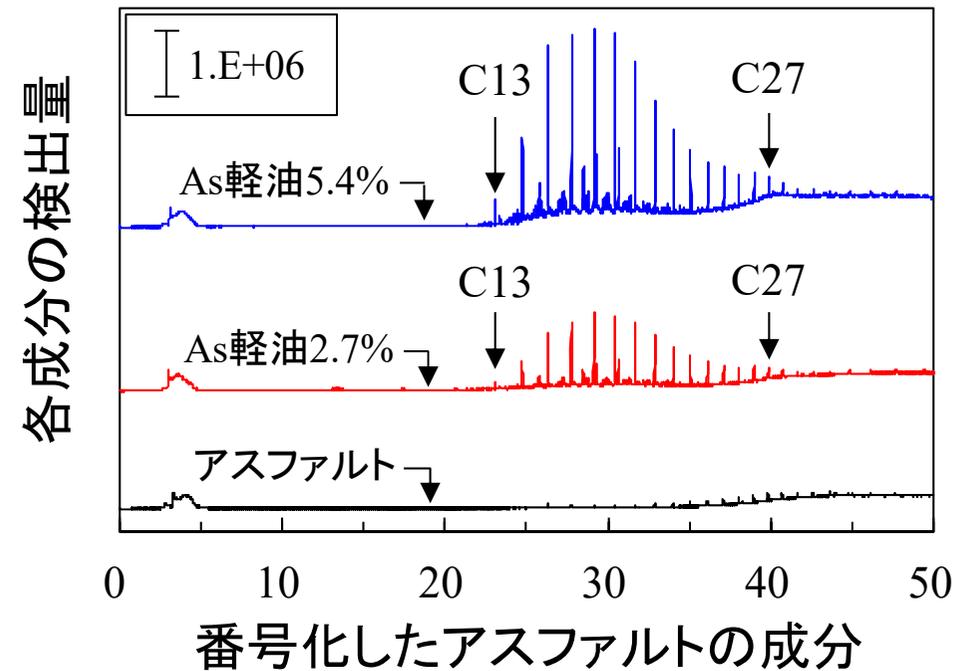
# GC/MSによる軽油の分析

軽油単体

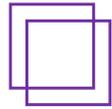


シャープなピークが等間隔で連続  
(炭素数10~27の炭化水素)

軽油を含むアスファルト



- ・ **軽油単体の結果と同様**
- ・ ただし、ピークの数が単体よりも少ない  
(分析前に、揮発成分が消失)

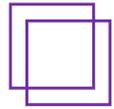


## GC/MSによる燃料油の推定可能性

油種	n-アルカンの炭素数n
ガソリン	5~12
灯油	6~17
軽油	7~26
A重油	9~27
C重油	9~34

Pyro-GC/MSでの分析
×
○
○ (軽油と重油は、識別剤 の有無で判断)
○

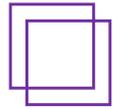
ガソリン以外は区別できるため、オイルリークにより舗装に付着した油が、施工機械なのか航空機由来なのかを推定できると考えている



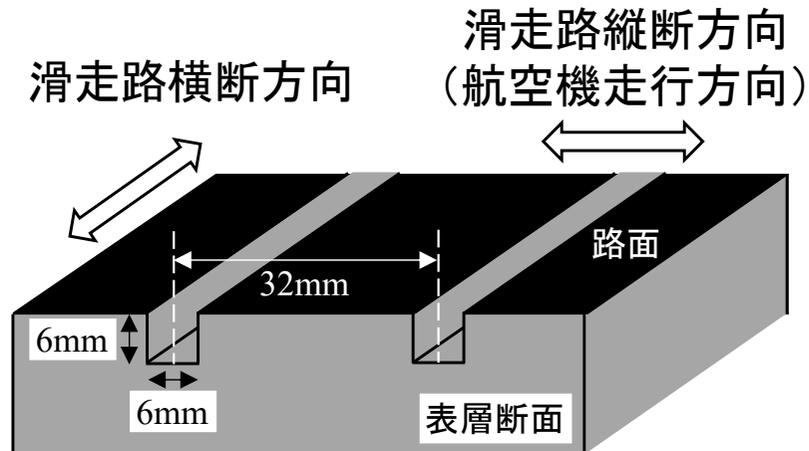
## 本日の内容

---

1. アスファルト舗装材料の劣化評価方法
2. オイルリーク時の油の油種推定方法
3. グルーピングの養生期間・寸法  
【養生期間の概要】 改質アスファルトの養生期間を短くした
4. 緊急補修に用いる常温混合物の規格
5. 振動ローラを用いた空洞調査方法



# グルーピングの養生期間の改訂

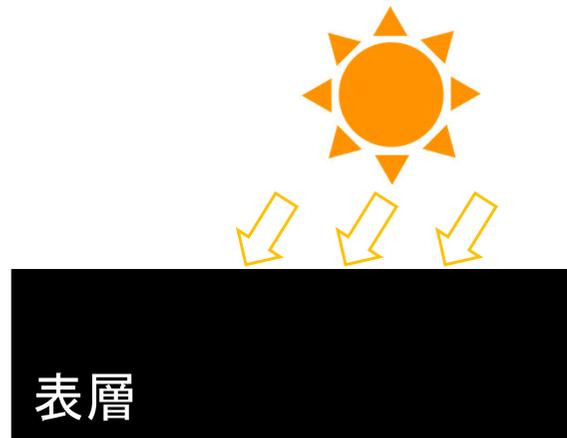


- ・ 役割は、排水性とすべり摩擦の確保
- ・ グルーピング工は、表層を舗設してから、所定の養生期間経過後に行われる
- ・ 養生期間は、表層にストレートアスファルトを用いた場合2ヵ月以上、改質アスファルトを用いた場合7日以上とする  
(平成31年4月に、改質アスファルトは1ヵ月から7日に短縮)

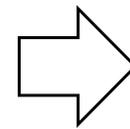
## グルーピングの養生期間

表層舗設直後は混合物のオイル分が多く、その状態でグルーピングを施工すると、荷重により変形しやすい

養生期間中に、  
オイル分が減少し、  
混合物が硬化



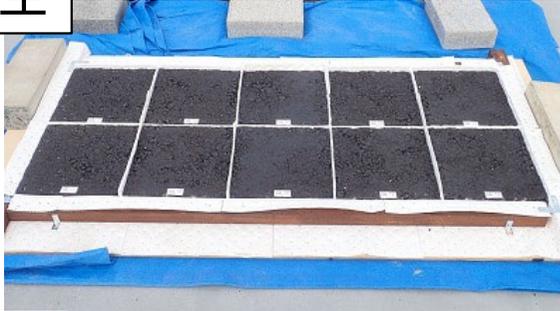
グルーピングは変形しにくくなる



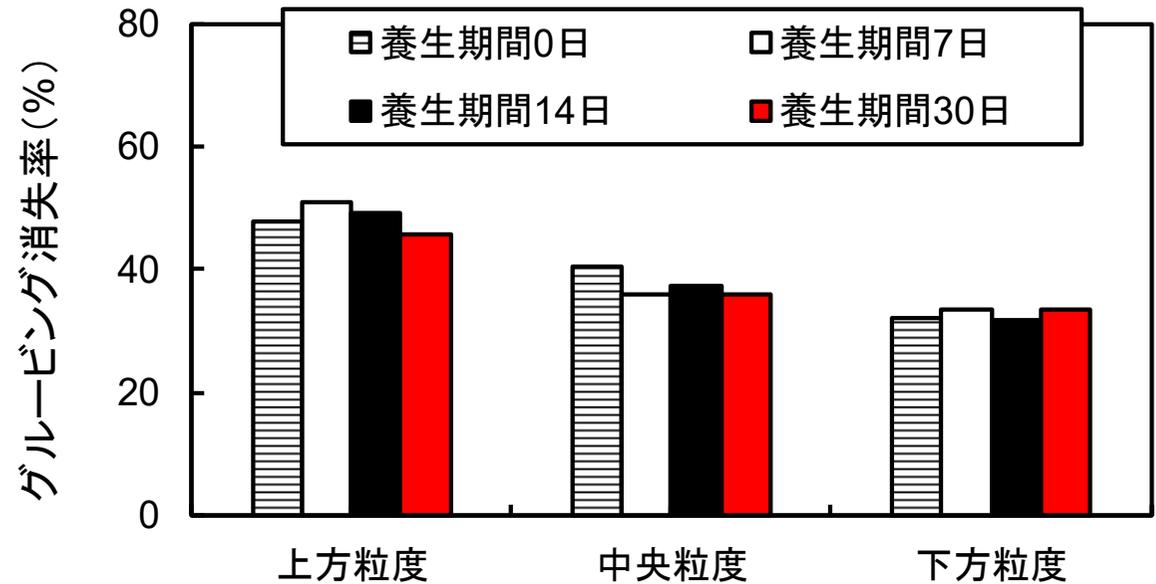
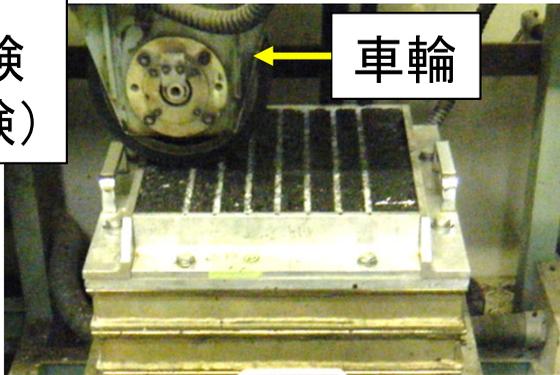
- ・ 養生期間は、昔はアスファルトの種類によらず2ヶ月以上
  - ・ 後に現地調査にて、**改質アスファルトに関しては、2ヶ月と1ヶ月で施工しても、その後の変形状況に差がないことを確認し、2013年に1ヶ月に短縮**
- その後、更に短縮できないか、という要望を受け、短縮を検討

# 養生期間の短縮検討(室内試験)

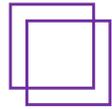
養生



繰返し  
走行試験  
(WT試験)

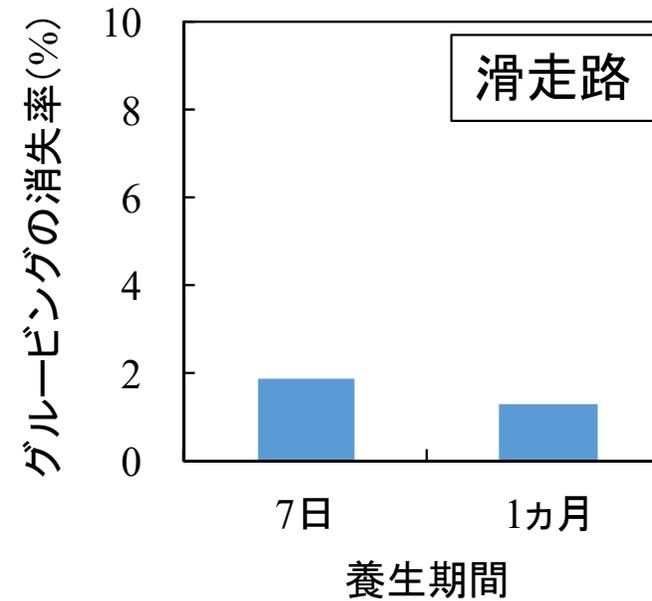
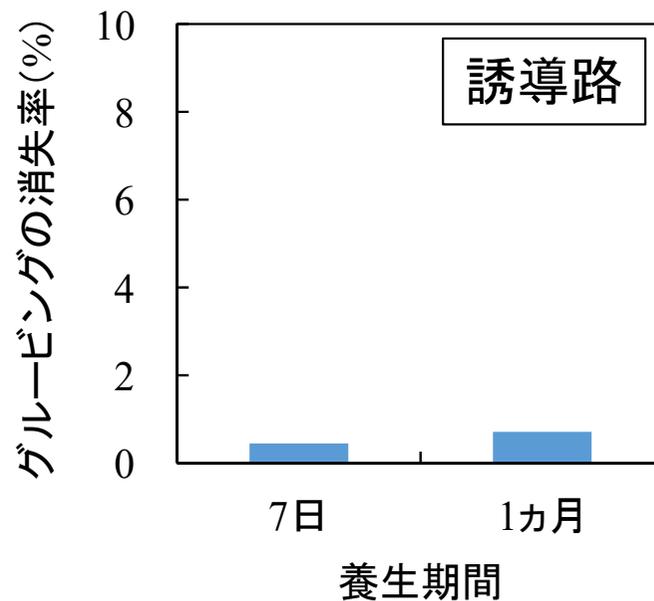


- ・ 走行荷重によるグルーピング溝の潰れの程度は、養生期間の長短に関係なく、殆ど同じ
- ・ 骨材粒度が違ってても同じ傾向



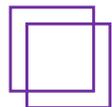
## 養生期間の短縮検討(空港での調査)

ある空港で行われた滑走路と誘導路の舗装改良工事の際に、7日養生と1ヵ月養生でグルーピングを試験的に施工し、グルーピングの変形状況を調査

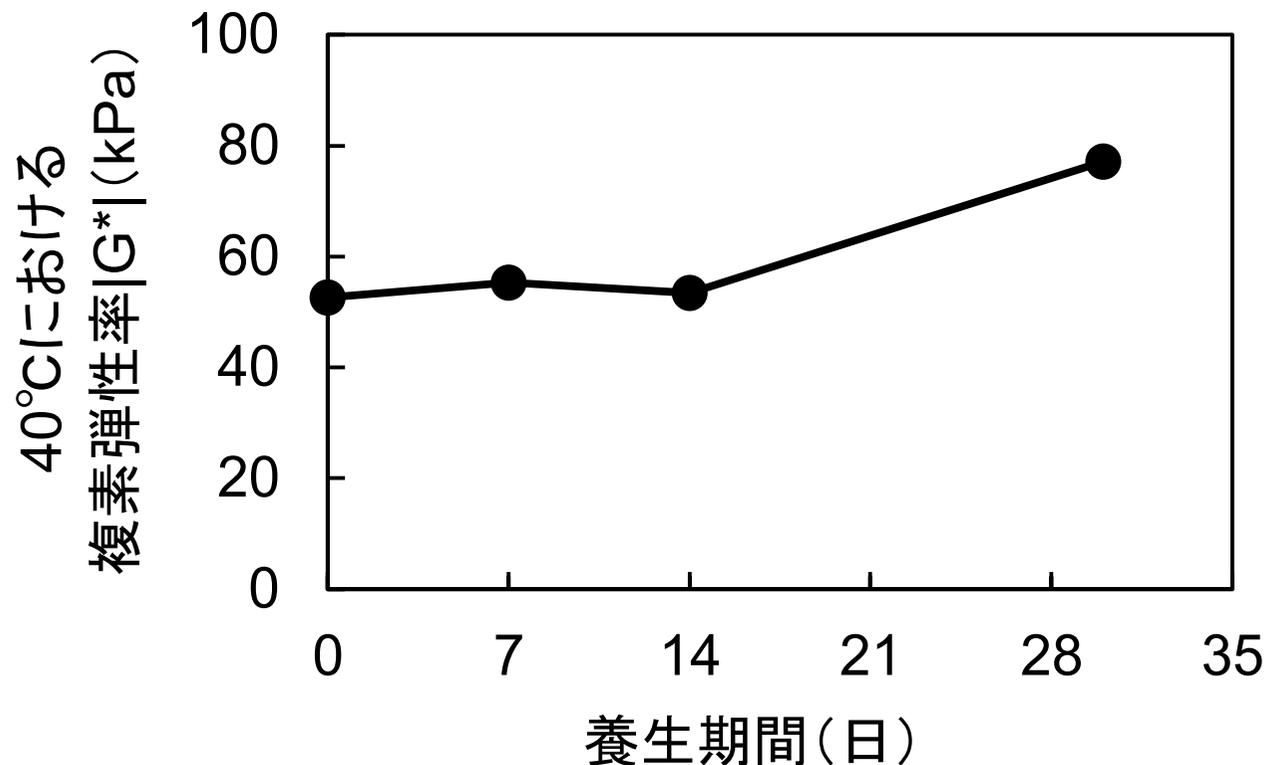


養生期間による変形状況の差は確認されなかった

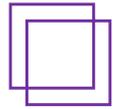
→ 室内試験と空港での調査結果を踏まえ、養生期間の7日に短縮



## 【参考】養生期間中の改質アスファルトの硬さの変化



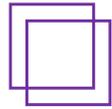
- ・ 養生期間14～30日に改質アスファルトの硬さは増している
- ・ 改質アスファルト混合物は、もともと塑性変形しにくい材料で、**養生による硬化の影響は相対的に小さい**と考えられる



## 本日の内容

---

1. アスファルト舗装材料の劣化評価方法
2. オイルリーク時の油の油種推定方法
3. グルーピングの養生期間・寸法  
【寸法の概要】 寸法を見直して、滑走路のすべり摩擦を高くしたい
4. 緊急補修に用いる常温混合物の規格
5. 振動ローラを用いた空洞調査方法



# グルーピングの寸法(検討背景)

- ・ すべり摩擦は、グルーピング溝の潰れや積雪等の要因によって低下
- ・ すべり摩擦の改善を期待できる技術を開発してほしい、との要望あり
- ・ グルーピングの寸法を変更することで、すべり摩擦を高くできないか検討中  
(技術的に簡単で、コストがかからないと考えられる)

健全な  
グルーピング



溝が潰れた  
グルーピング



検討中のグルーピングパターン例



①幅6mm、高さ6mm、間隔32mm  
(現規定)



②幅12mm、高さ6mm、間隔38mm



③幅18mm、高さ6mm、間隔44mm

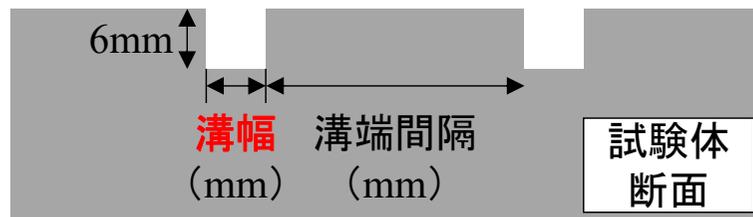
# グルーピングの寸法を変えることの効果

- 各種寸法のグルーピングを施工し、屋外走行試験を実施
- グルーピングの溝幅を広くすると、動的摩擦係数が大きくなる  
(タイヤゴムがグルーピング溝に食い込みやすくなるためと推定)

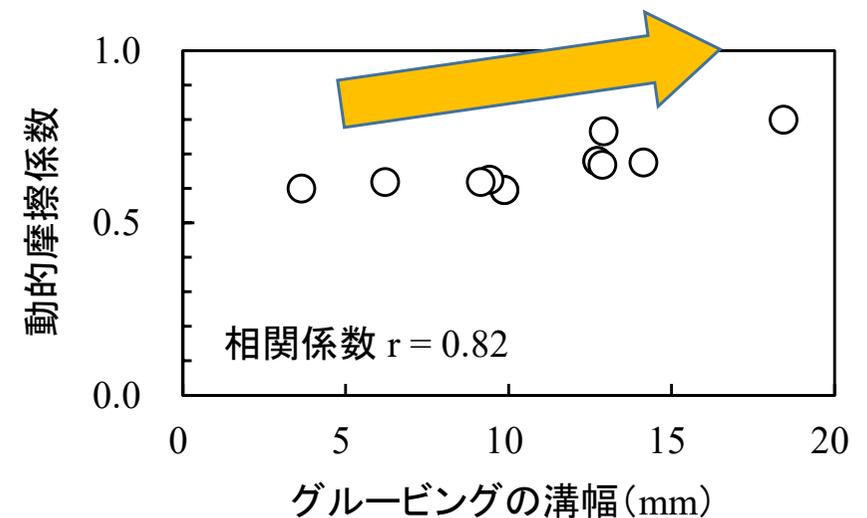
## 屋外走行試験

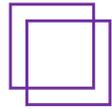


## グルーピング形状の呼称



## 溝幅と摩擦係数の関係

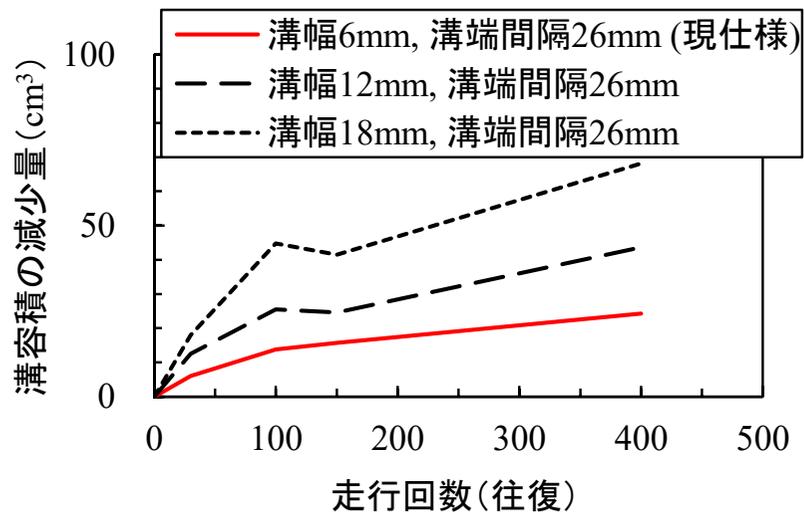




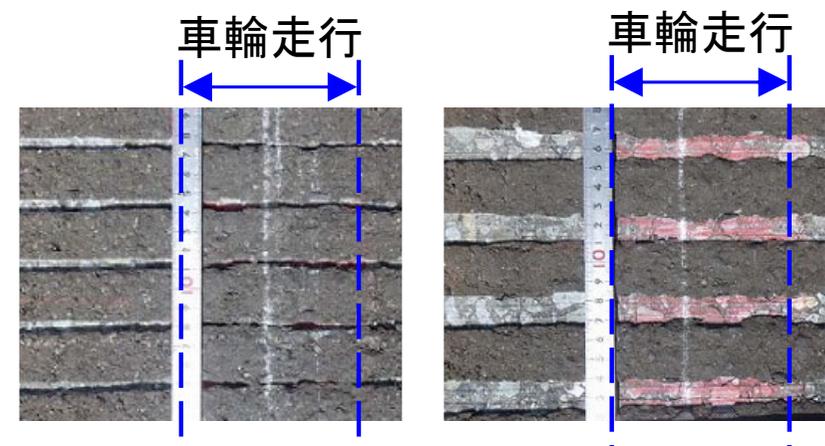
# グルーピングの寸法を変えることの効果

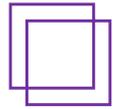
- 溝幅を広くすると、溝の潰れは大きくなるが、初期値が大きいいため、溝容積の残存量も大きい状態を維持  
→ 溝幅を広くすることに伴う排水性への悪影響はない
- ゴム付着への影響も含め、実空港で検証できないか調整中

溝幅と溝容積減少量の関係



溝幅6mmと18mmの変形状況  
(溝は、白っぽいor赤い箇所)





## 本日の内容

---

1. アスファルト舗装材料の劣化評価方法
2. オイルリーク時の油の油種推定方法
3. グルービングの養生期間・寸法
4. 緊急補修に用いる常温混合物の規格  
【概要】 緊急補修に用いる常温混合物の規格を定め、補修後の不具合を防ぎたい
5. 振動ローラを用いた空洞調査方法

# 緊急補修

- ・ 運航情報官による早朝の場面点検等で、ポットホール等の舗装の異常が発見されることがある
  - ・ 加熱混合物による補修では時間を要し、滑走路閉鎖・遅延に繋がるため、常温混合物で応急復旧
  - ・ **モノによっては、施工直後に変形や浮きが発生してしまう**
- 空港用の規格を定め、常温混合物に起因する不具合を抑制したい



ポットホール



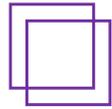
表層の崩壊



常温混合物による応急復旧



常温混合物の流動変形



# 空港舗装に用いる常温混合物

- ・ 道路用の規格を満足していても、空港の荷重条件では、不具合が発生
- ・ 空港用の規格があれば、**空港管理者は、使用を躊躇する滑走路にも使いやすくなるかも**

研究方針は、  
「早朝に応急復旧し、運用終了後に加熱混合物で本復旧すること」  
とし、少なくとも1日を運用に耐えられる常温混合物の規格を検討中

## 常温混合物の品質確認試験

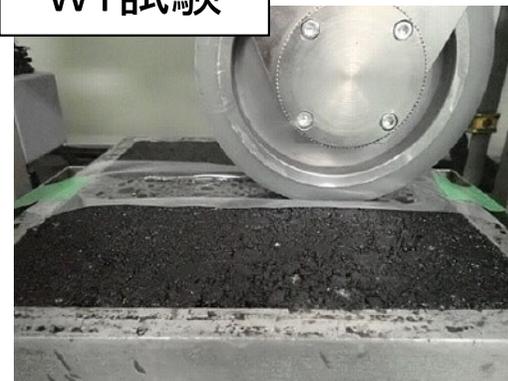
### 道路

- ・ 耐流動性 (WT試験)
- ・ 耐久性 (カンタブロ試験)

### 空港 (イメージ)

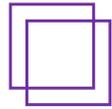
- ・ 耐流動性 (規格値を**道路より高水準に**)
- ・ 耐久性
- ・ **基層面との接着性 (引張試験)**

WT試験



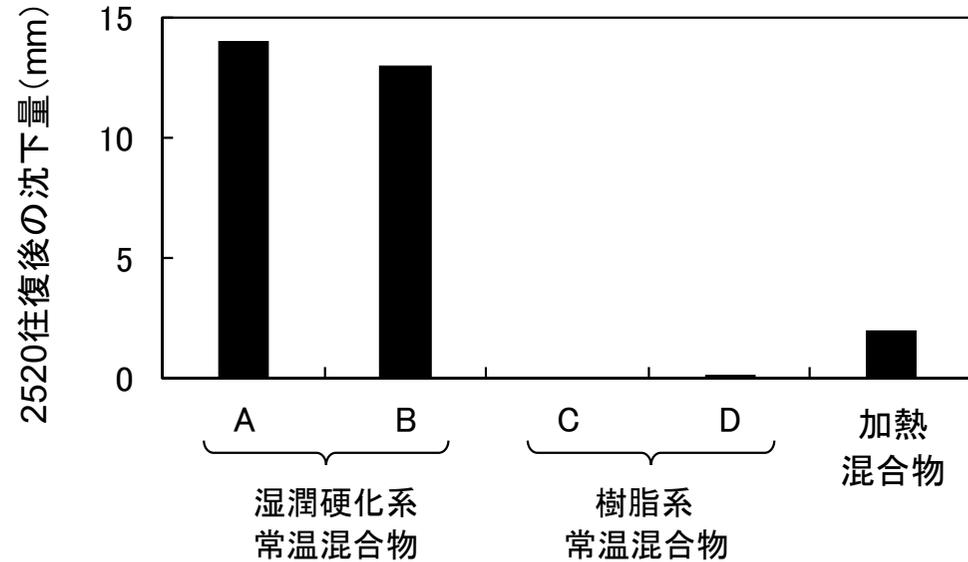
引張試験





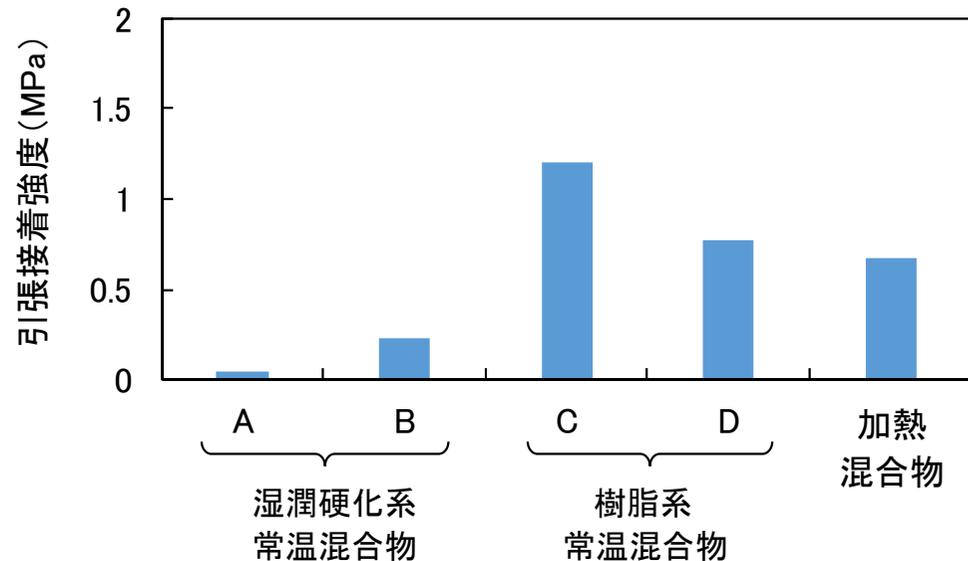
# 空港舗装に用いる常温混合物

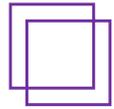
## WT試験(繰返し走行試験)



- 樹脂系常温混合物は、加熱混合物と同等以上の耐流動性と接着性
- 加熱混合物と同等性能であれば、1日の運用に十分耐えられるのでは？

## 引張試験



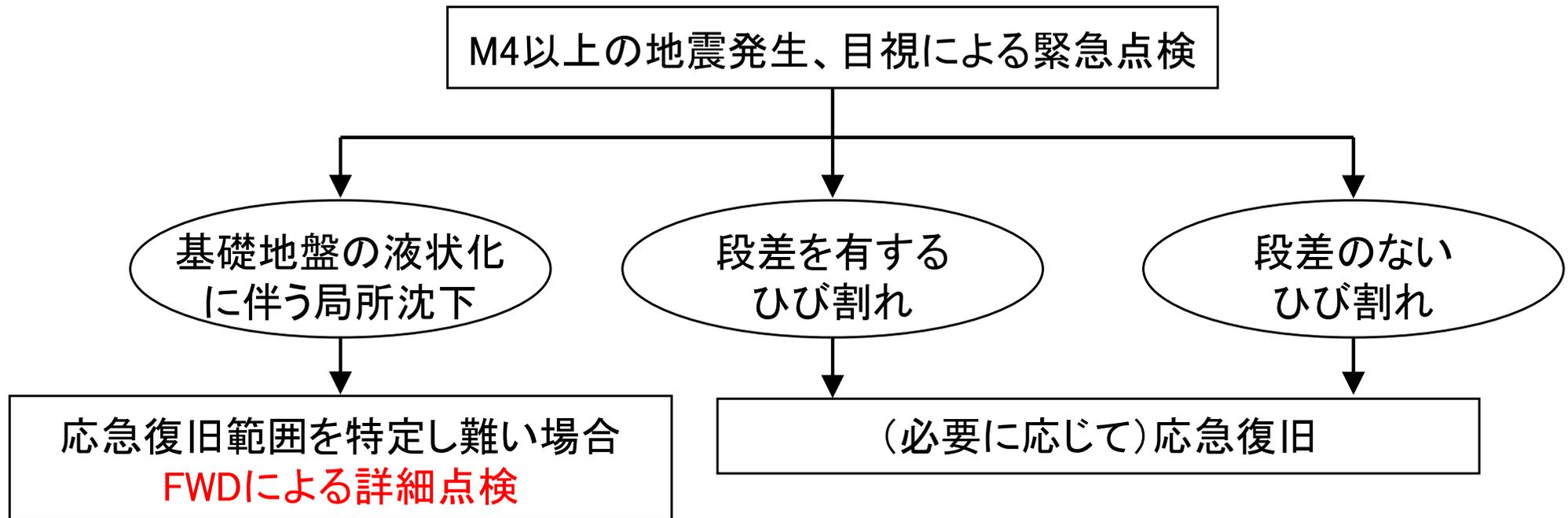


## 本日の内容

---

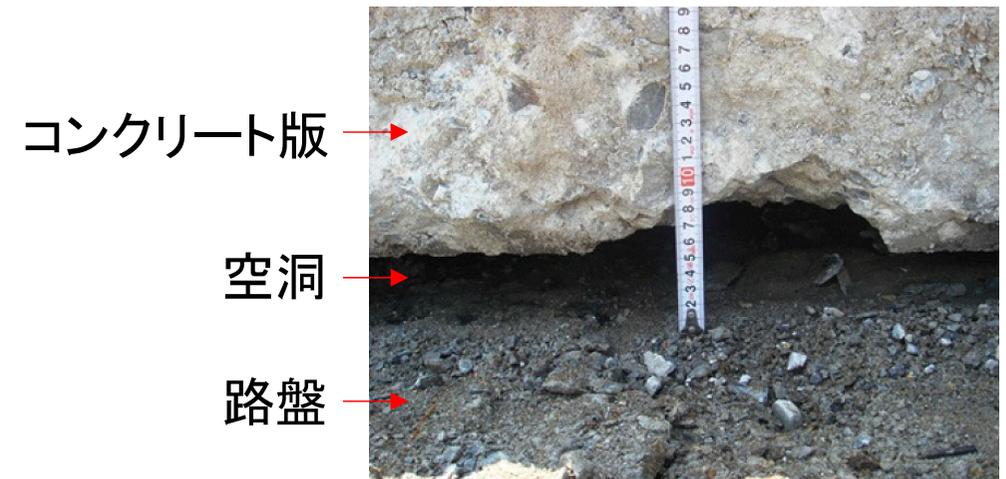
1. アスファルト舗装材料の劣化評価方法
2. オイルリーク時の油の油種推定方法
3. グルーピングの養生期間・寸法
4. 緊急補修に用いる常温混合物の規格
5. 振動ローラを用いた空洞調査方法  
【概要】 地震後の詳細点検において、FWD以外の方法でも、迅速に空洞を検出できるようにしたい

# 振動ローラを用いた空洞調査(検討背景)



## 局所沈下した舗装内の空洞

- 局所沈下周辺は、空洞の発生・支持力低下の可能性
- 迅速な詳細点検のためにFWD以外の選択肢も用意したい



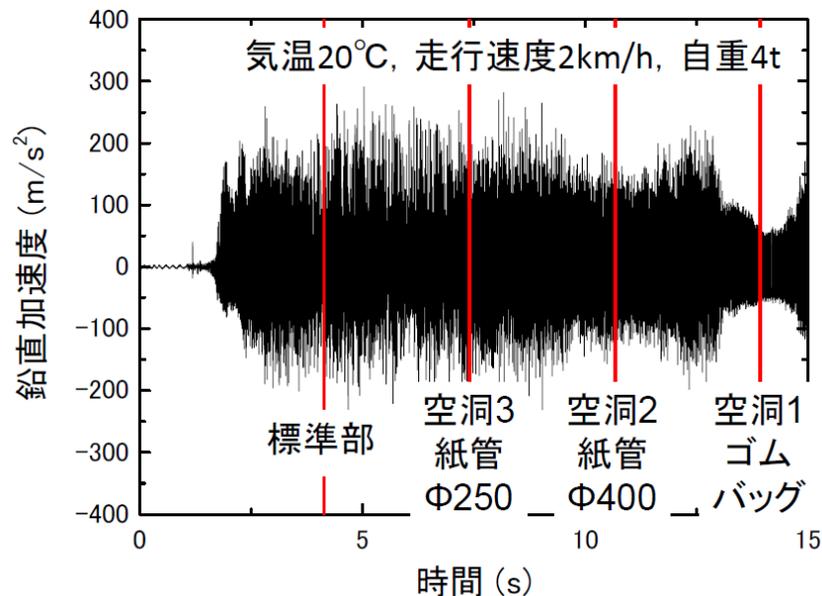
# 振動ローラを用いた空洞調査

- 振動ローラで取得した鉛直加速度データによれば、空洞の有無を判別できそう
- ただし、加速度データの整理や解析には、時間を要してしまう

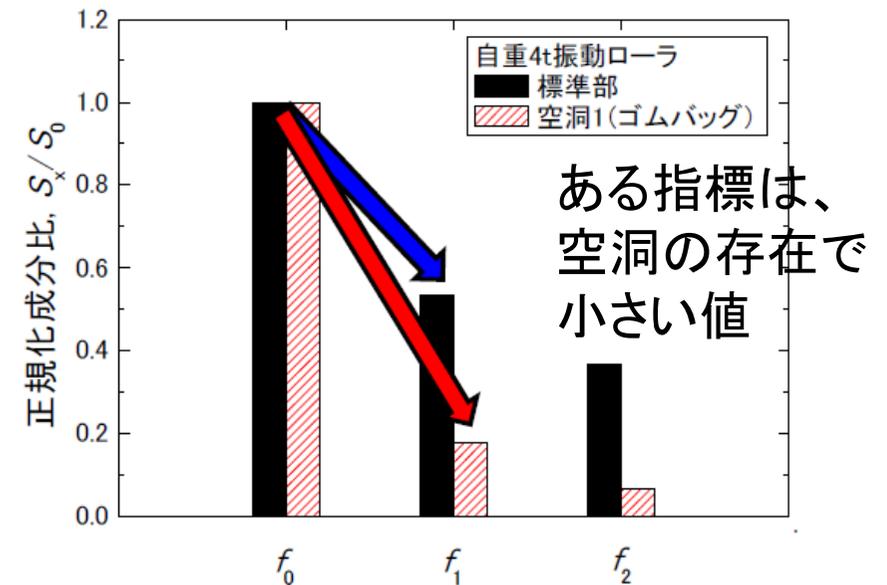
振動ローラに装着した加速度計

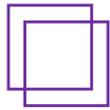


試験舗装での鉛直加速度データ



鉛直加速度データの解析結果





# 振動ローラを用いた空洞調査

- ・ 加速度応答法による締固め管理装置を用いれば、舗装の剛性をリアルタイムで評価可
- ・ 舗装下に空洞があり、支持力が低下した箇所を迅速に検出できるのではないかと？
- ・ 空洞を有するアスファルト試験舗装において、実証試験を実施予定



剛性値  
に変換

運転席のディスプレイ



<https://www.sakainet.co.jp/products/end/ccv.html>

振動ローラによる走行試験



## おわりに

---

設計要領を改訂するきっかけは

- ① 国総研からの提案
  - ② 本省航空局からの課題の提示
  - ③ 民間企業からの情報提供
- などです。

何かお困りのこと・良い情報がありましたら、随時ご提供頂けると幸いです。

(宛先が分からない場合は、「空港施設研究室」で検索し、トップページの「問い合わせ先」に、ご連絡ください)

空港施設研究室の研究成果・講演資料等は、全て研究室サイトで公開していますので、ご興味あれば、ご検索ください。