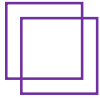


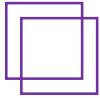
空港舗装の材料等に関する 近年の調査研究

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. アスファルト混合物の劣化評価方法
2. 緊急補修に用いる常温混合物の規格の検討
3. グルーピングの寸法の検討
4. アスファルト混合物の一層最大施工厚
5. 空港舗装に用いるコンクリートの配合の調査



本日の内容

1. アスファルト混合物の劣化評価方法

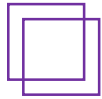
【概要】 改質アスファルトバインダの劣化やアスファルト混合物の水による劣化について、より正確に評価できる方法を導入した。

2. 緊急補修に用いる常温混合物の規格の検討

3. グルーピングの寸法の検討

4. アスファルト混合物の一層最大施工厚

5. 空港舗装に用いるコンクリートの配合の調査



DSR試験と修正ロットマン試験

空港土木施設設計要領(舗装設計編)
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

R3.4改正



解体調査の位置づけ

定期点検

↓ 路面性状を評価

↓

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)

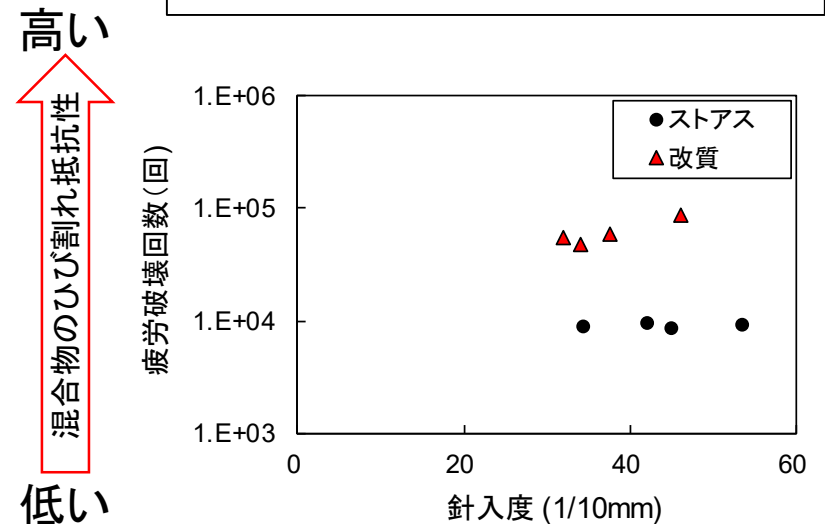
- 従来, アスファルト混合物のひび割れ抵抗性は, アスファルトバインダの針入度と軟化点で評価してきた.
- 近年利用が増えている改質アスファルトに関しては, 針入度と軟化点ではひび割れ抵抗性を誤って評価する可能性がある.

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試験に関する改正

- ・ DSR試験で得られる $G^* \sin \delta$ (粘弾性状を表す指標)を導入した.
 - ・ $G^* \sin \delta$ は, アスファルトの種類によらず, 混合物のひび割れ抵抗性との相関が確認されている.
- **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**

【設計要領の改正内容】

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, **アスファルトの粘弾性状を表す指標である $G^* \sin \delta$ は大きくなる傾向がある.** 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

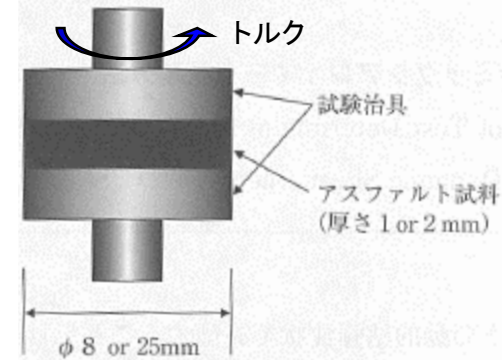
物性値	ひび割れとの関係
針入度(1/10mm)	35~50でひび割れ発生 25以下でひび割れ増大
軟化点(°C)	54でひび割れ発生 60~63でひび割れ増大



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

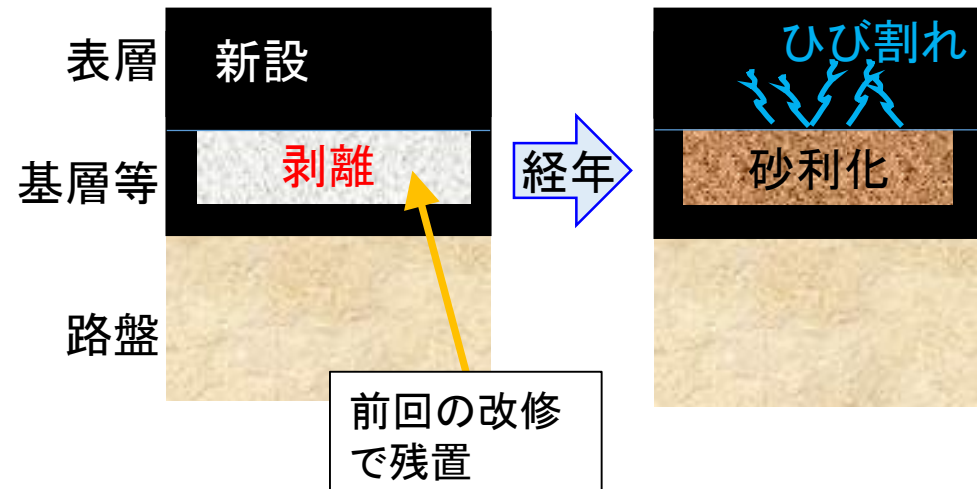
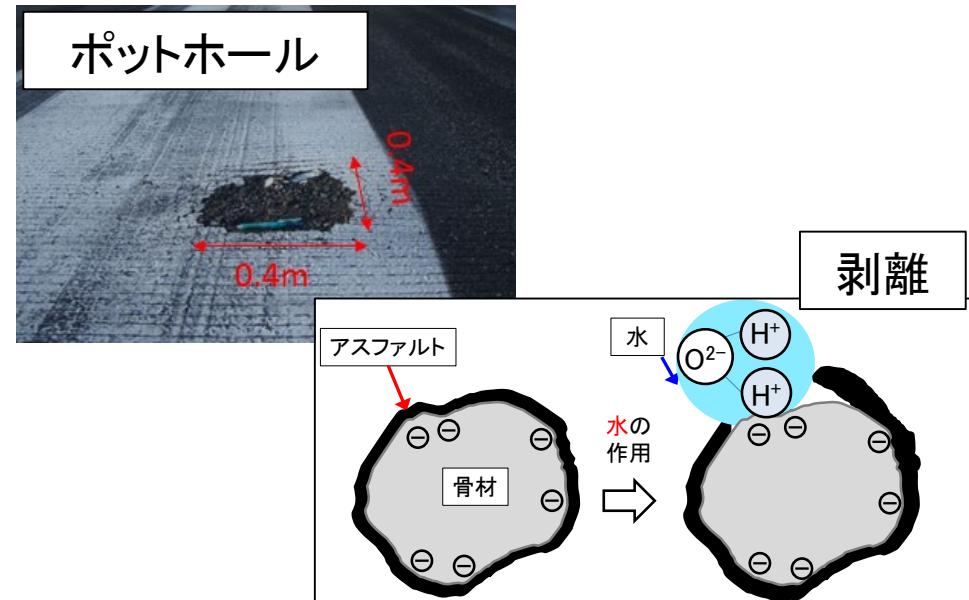
DSR試験イメージ

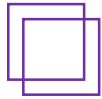


出典: 舗装調査・試験法便覧
(一部加筆)

修正ロットマン試験(導入背景)

- 滑走路等で、局所突発的な破損が発生することがある。
- 破損の一因は、舗装内に水が浸透し、アスファルト混合物の剥離や砂利化が生じたことである。
- 補修の要否を判断するための解体調査では、剥離が生じた層を判別することが重要である。
- 従来の評価法では、判別が難しい場合があるので、より鋭敏な方法として修正ロットマン試験(圧裂試験)を提案した。





修正ロットマン試験に関する改正

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

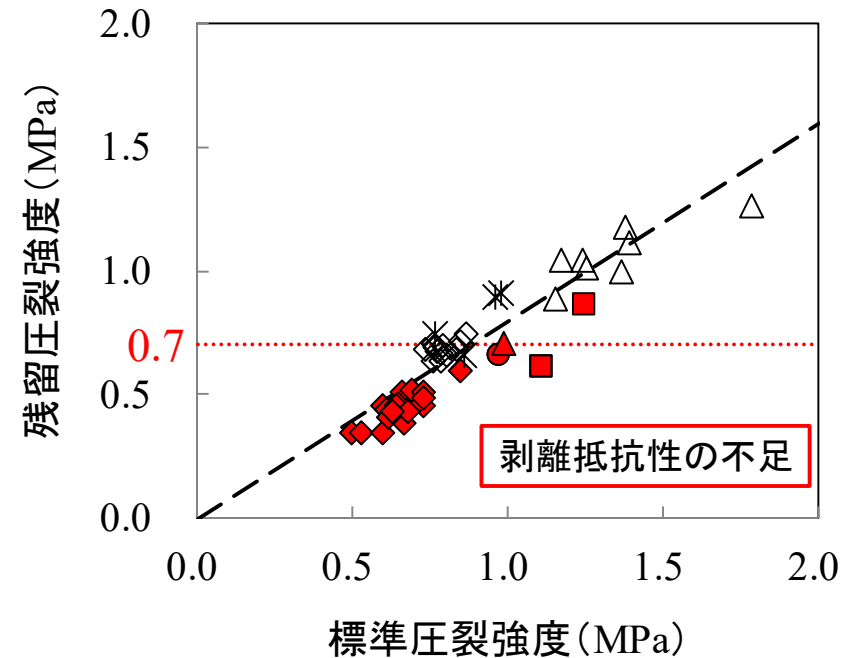
【設計要領の改正内容】

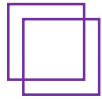
第3章 アスファルト舗装の補修
Ⅲ-3.3.2 解体調査に基づく評価

(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方法があり⁸⁵⁾、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

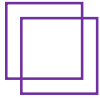
マーシャル安定度補正係数(設計要領)

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. アスファルト混合物の劣化評価方法
2. 緊急補修に用いる常温混合物の規格の検討
【概要】 常温アスファルト混合物の規格を提示し、滑走路でも常温混合物を使いやすくする。
3. グルーピングの寸法の検討
4. アスファルト混合物の一層最大施工厚
5. 空港舗装に用いるコンクリート配合の調査

検討背景

- 緊急補修による施設の閉鎖時間を短くするため、常温混合物で応急復旧し、運用終了後に加熱混合物で本復旧を行う。
- 滑走路では、常温混合物の使用に不安があるため、加熱混合物で本復旧を行う場合が多い。
→ 夜間まで耐えられる常温混合物の規格を検討中。
- 常温混合物の変状として、「航空機荷重による変形」と「下面との接着不良」が確認されているため、変形抵抗性と接着性に関する試験を検討中。

常温混合物
による応急復旧

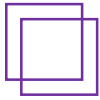


加熱混合物
による本復旧



施工直後に、航空機荷重による
塑性変形が生じた応急復旧箇所



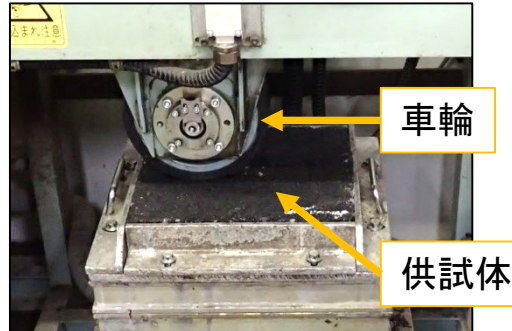


候補試験

① 塑性変形抵抗性に関する試験

- ・ 首都高速道路株式会社の性能評価試験
- ・ 雨天時の施工を想定して供試体を作製

ホイールトラッキング (WT) 試験



供試体作製

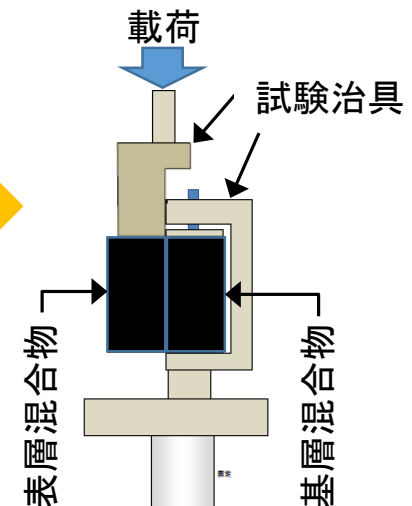


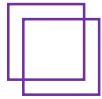
型枠に水を満たし、
散水しながら敷き均し

② 接着性に関する試験

- ・ コンクリート床版防水層と舗装間のせん断試験方法 (舗装調査・試験法便覧)

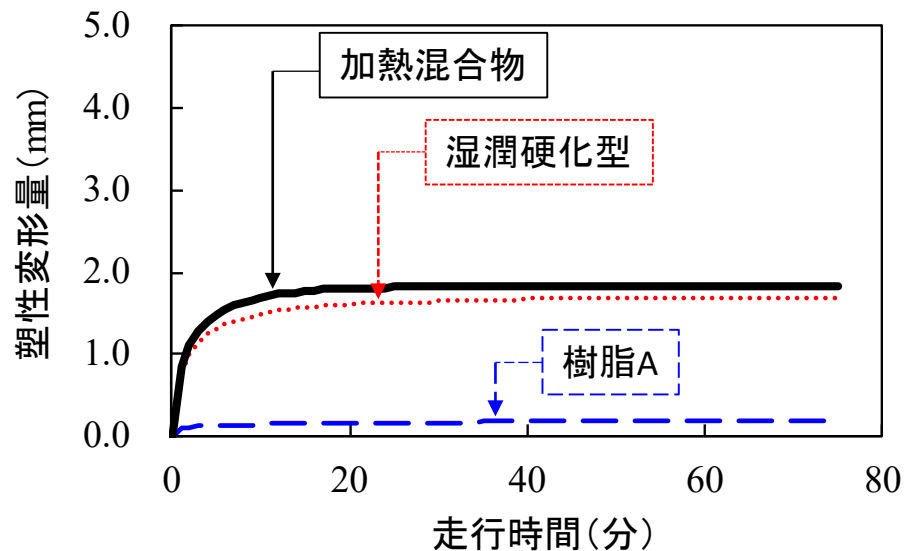
せん断試験



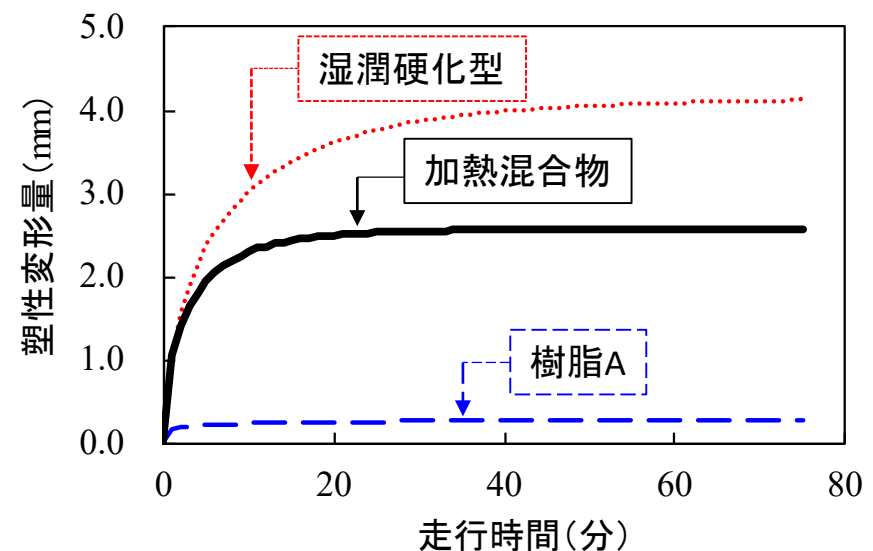


塑性変形抵抗性に関する試験結果一例

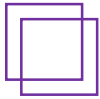
接地圧0.7MPa(自動車)



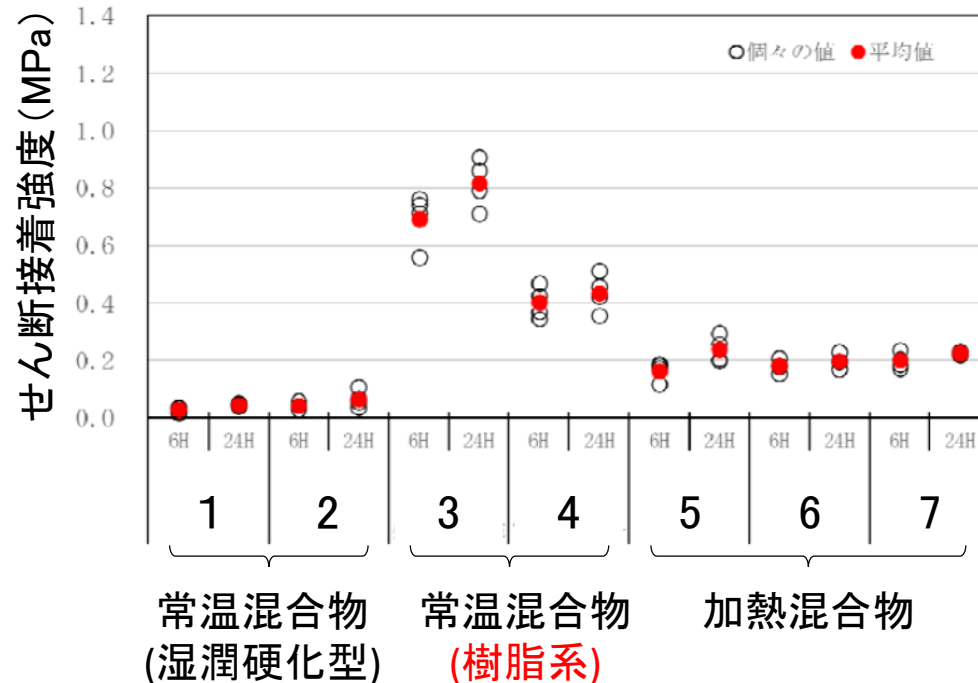
接地圧1.4MPa(航空機)



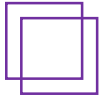
- ・ 樹脂系の常温混合物は、加熱混合物より塑性変形量が小さく、塑性変形抵抗性が高い。
- ・ 航空機接地圧条件では、雨天で施工し硬化過程にある常温混合物の変形量が大きくなる可能性がある。



接着性に関する試験結果一例

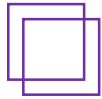


- ・ 樹脂系の常温混合物は、加熱混合物よりせん断接着強度が高く、接着性も高い。
- ・ 検討している試験では、樹脂系の常温混合物が有望材料となる。
- ・ なお、既に空港で使われている常温混合物が全てクリアできるわけではないので、試験方法は参考として示す予定である。

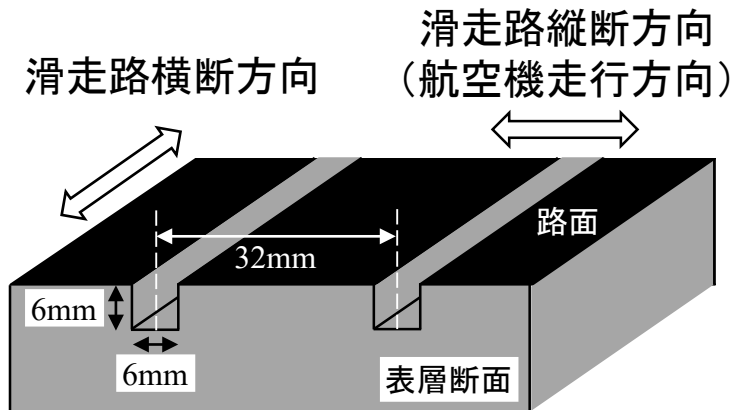


本日の内容

1. アスファルト混合物の劣化評価方法
2. 緊急補修に用いる常温混合物の規格の検討
3. グルーピングの寸法の検討
【概要】 寸法を見直して、滑走路のすべり摩擦係数を高くする
4. アスファルト混合物の一層最大施工厚
5. 空港舗装に用いるコンクリート配合の調査



検討の背景



健全な
グルービング



溝が潰れた
グルービング



検討中のグルービングパターン例

- ・ 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。
- ・ グルービ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)



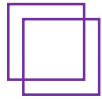
①幅6mm, 高さ6mm, 間隔32mm
(現規定)



②幅12mm, 高さ6mm, 間隔38mm



③幅18mm, 高さ6mm, 間隔44mm



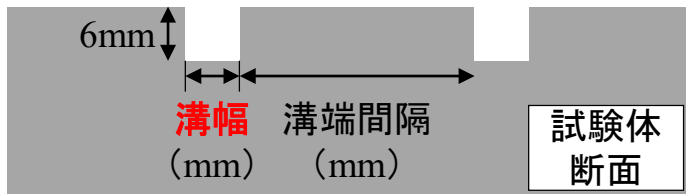
グルーピングの寸法を変えることの効果

- 各種寸法のグルーピングを屋外試験場にて施工し、ダンプ車両による走行試験を実施した。
- 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った。
(タイヤがグルーピング溝に食い込みやすくなるためと推定)

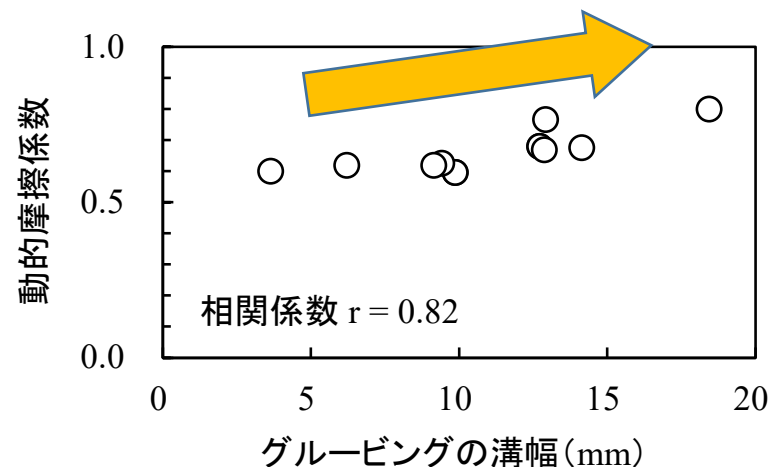
屋外走行試験

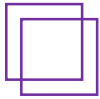


グルーピング形状の呼称



溝幅と摩擦係数の関係

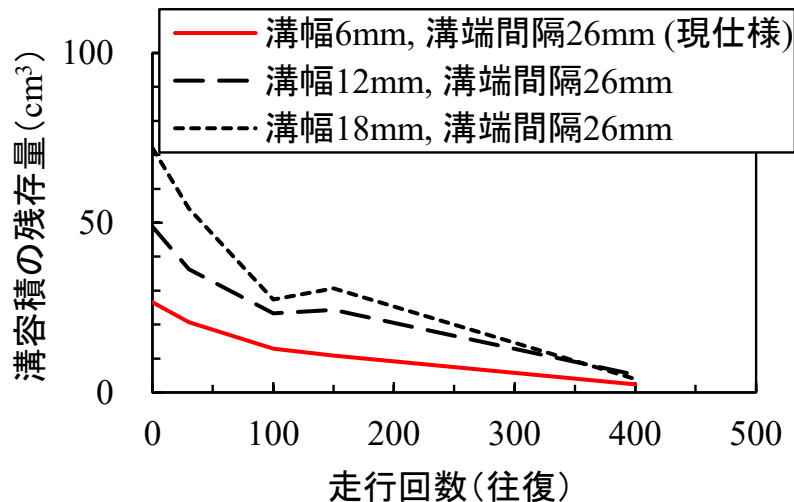




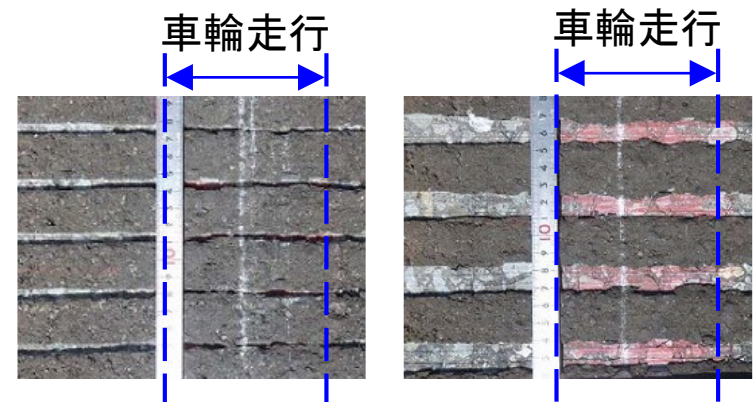
グルービングの寸法を変えることの効果

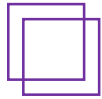
- 溝幅を広くすると、溝の潰れは大きくなるが、初期値が大きいいため、溝容積の残存量も大きい状態を維持された。
→ 溝幅を広くしても排水性に影響しない。

溝幅と溝容積残存量の関係



溝幅6mmと18mmの変形状況 (溝は、白っぽいor赤い箇所)

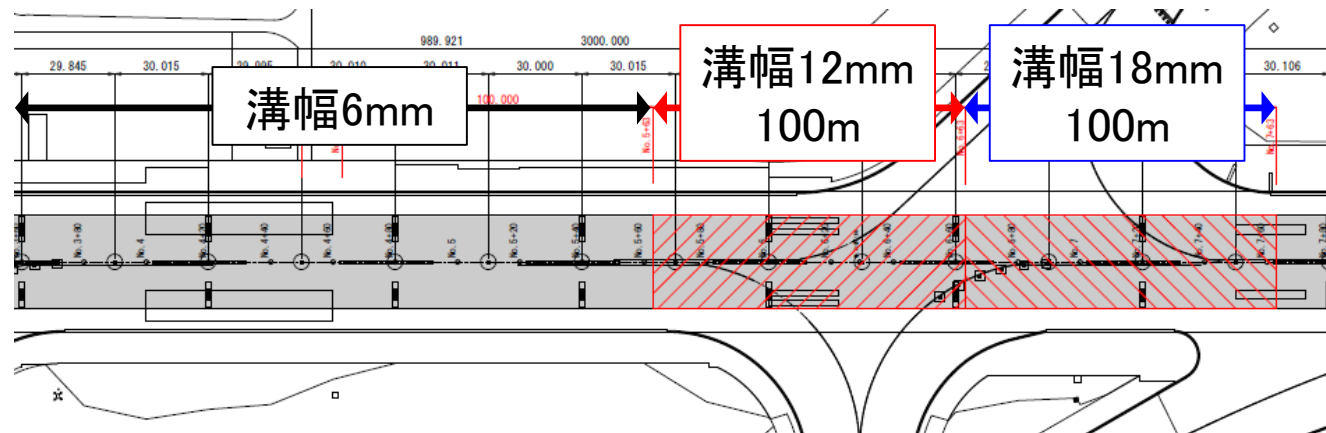




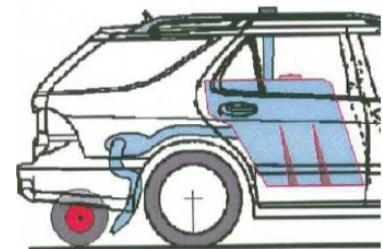
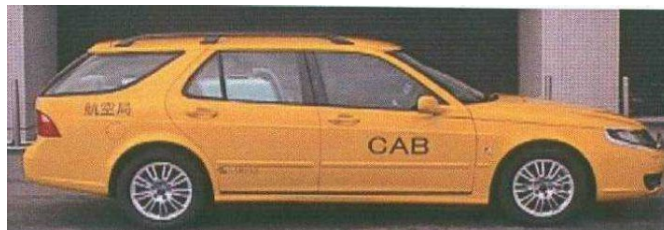
空港舗装での実証試験

- ・ R4dに那覇空港A滑走路において、舗装の打換えが行われた際に、一部区間で溝幅12mmと18mmのグレーピングを施工した。
- ・ 施工完了後は、2カ月に1回、SFTによるすべり摩擦係数調査を実施している。

滑走路の
平面図



SFT
(Surface Friction Tester,
連続摩擦測定装置)

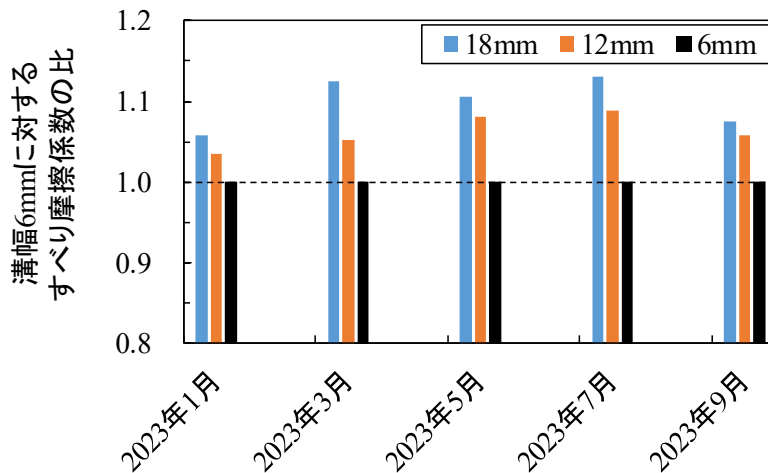




空港舗装での実証試験

- ・ 施工直後に、角かけ等の異状は確認されることはなかった。
- ・ いずれの調査においても、すべり摩擦係数は、溝幅が広いほど大きく、溝幅6mmに対して10%程度大きかった。
- ・ 今後は、溝の潰れとすべり摩擦係数の変化を数年間調査し、効果が持続するか検証予定である。

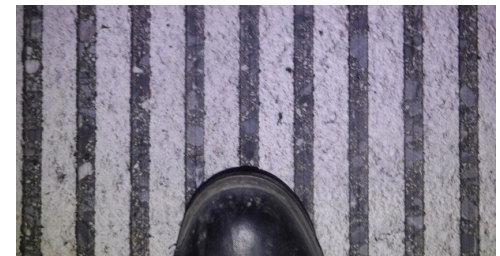
溝幅6mmのすべり摩擦係数に対する
各溝幅のすべり摩擦係数の比



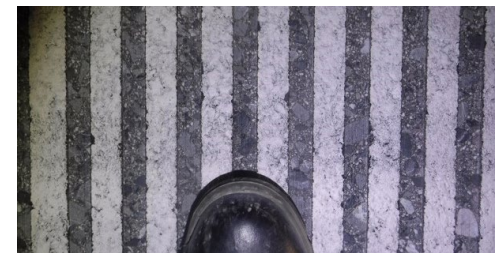
施工直後のグルーピング
(黒色部が溝)



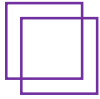
a) 溝幅6mm



b) 溝幅12mm

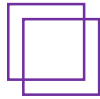


c) 溝幅18mm



本日の内容

1. アスファルト混合物の劣化評価方法
2. 緊急補修に用いる常温混合物の規格の検討
3. グルーピングの寸法の検討
4. アスファルト混合物の一層最大施工厚
【概要】 施工の効率化等を目的として、一層最大施工厚を8cm→10cmとする設計要領の改正を行った
5. 空港舗装に用いるコンクリート配合の調査



アスファルト混合物の一層最大施工厚

東京国際空港の例(合計厚30cm)

【期待される効果】

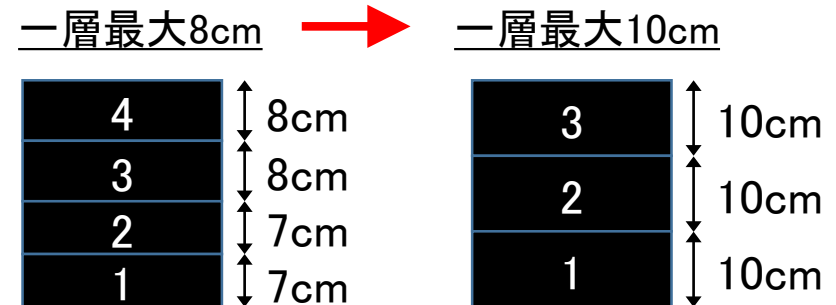
- ・ 施工層数を減らせる場合がある.
- ・ 層間が少なく・深くなり, 層間剥離のリスクが低減する可能性がある.

【課題】

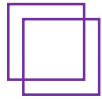
- ・ 締固め度が低くなるおそれ
- ・ 平坦性が確保しにくくなるおそれ

【改正までの経緯】

- ・ 国総研での試験施工結果を踏まえ, 2015年に10cmへの改正を提案
- ・ 実際の空港舗装工事の環境にて試行工事を実施し, その結果を確認し改正



空港	試行工事 実施年	概要(バインダは全て改質Ⅱ型)
成田国際空港	2016年	密粒8cm・密粒10cm・密粒12cm
那覇空港	2020, 2021年	密粒8cm+粗粒9cm
東京国際空港	2022年	密粒8cm・密粒10cm・密粒中温化10cm



アスファルト混合物の一層最大施工厚

【試行工事結果】

- ・ 締固め度及び平坦性 問題なし
- ・ その他
単位面積当たりの合材量が増加するため、
施工速度が低下する。
ローラマークができやすくなるので、タン
デムローラによる仕上げ転圧が望ましい。

【その他, 寄せられた意見】

- ・ **道路舗装の薄い舗設が多い中小の舗装
会社だと対応が難しいかもしれない。**

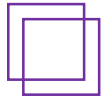


出典:

福呂篤史:アスファルト混合物の一層最大施工厚緩和
にともなう試験施工, 第23回空港技術報告会, 2022.

【対応案】

- ・ 現行の一層施工厚8cm以下は「標準」とし, 施工の留意事項を記載した上で,
10cm以下とすることが可能であると記載した。

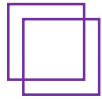


設計要領のR5.4改正内容

第Ⅱ章 アスファルト舗装の新設

Ⅲ-4.6 アスファルト混合物に関する細目

- ・ 大粒径アスファルト混合物を使用する場合を除き、表層及び基層の一層の最大仕上がり厚は8cm を標準とする。表層の仕上がり厚(グルーピング設置のために追加する1cm を含む)がこれを超える場合には基層を設けることができる。また、表層及び基層の施工については、薄い層の施工を避け、一層の仕上がり厚を厚くし、施工層数及び境界面を少なくすることに留意する必要がある。
- ・ ただし、粒状路盤直上の表層又は基層を施工する場合を除き、表層及び基層の一層の最大仕上がり厚を10cm とすることも可能である。この場合、ローラーマークが発生しやすい⁹⁹⁾ため、表層はタンデムローラ等による仕上げ転圧を行うものとし、表層及び基層の施工計画では、混合物量が多く敷均しに時間を要すること、舗装温度が交通開放温度に達するまでの時間が長くなることに留意する必要がある。



【R5.4改正関連】全幅改良に関する記述

【課題】

- ・ 全幅改良を選択しない例がある(これ自体は問題ない).
- ・ 全幅改良が多く実施される理由が記載されていた方がよいとの要望がある.

【対応】

第Ⅲ章アスファルト舗装の補修

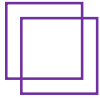
Ⅲ-4.6 材料設計

(13) 日毎の施工の境界や新旧アスファルト混合物層の境界であるアスファルト舗装の施工目地は、経年により開くことがあり、図Ⅱ-4.1のように開いた施工目地から雨水が浸入すると、アスファルト混合物層が劣化し、施工目地周辺において局所突発的な破損が多発する原因となる。

そのため、アスファルト舗装の補修では、施設全幅の補修を実施することで施工目地の開きを少なくするほか、ホットジョイントによる施工や成形目地材¹⁰⁰⁾を用いると良い。



図Ⅱ-4.1 開いた施工目地から雨水が浸入している状況



本日の内容

1. アスファルト混合物の劣化評価方法
2. 緊急補修に用いる常温混合物の規格の検討
3. グルーピングの寸法の検討
4. アスファルト混合物の一層最大施工厚
5. 空港舗装に用いるコンクリート配合の調査
【概要】 配合設計において、水セメント比が低いコンクリートとしないように、空港の配合実績を示す。



調査の背景

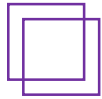
- ・ 空港の無筋コンクリート舗装において、必要以上の曲げ強度となる配合とすることで、水セメント比が小さく、セメント量が多い場合がある。
- ・ 上記が一因と考えられる収縮ひび割れが施工直後に発生した事例もある。
- ・ 空港土木工事共通仕様書では「W/Cは50%以下」と示されているのみであるため、施工者から低い水セメント比が提案された場合の参考となるよう、コンクリートの配合等の実績を整理した。

規定の品質項目

作業性
(スランプ, 空気量) 曲げ強度

配合実績の調査対象

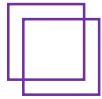
調査空港		工事件数
北海道	新千歳空港	3
北陸	小松空港	1
関東	羽田空港, 成田国際空港	4
近畿	関西国際空港	2
中国	広島空港, 美保飛行場	4
四国	松山空港	4
九州	北九州空港, 福岡空港, 長崎空港, 熊本空港, 宮崎空港	6
沖縄	那覇空港	1
計	14空港	25



コンクリートの材料に関する調査結果

- 粗骨材には、最大寸法40mmの碎石を使用。
(道路で用いられる最大寸法20mmや25mmは、
空港では確認されなかった)
- セメントは3種類。普通ポルトランドセメントが主。
高炉セメントB種を用いた工事は、いずれも西日本の空港。
(製鉄所が偏在し、高炉スラグが安価で調達しやすいから?)
- 混和材料は、AE減水剤を使用。
(添加量は、単位セメント量の1.0wt.%前後)

セメントの種類	工事件数
普通ポルトランドセメント	16
中庸熱ポルトランドセメント	1
高炉セメントB種	8

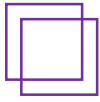


水セメント比, 単位水量, 単位セメント量

	コンクリートの種類	水セメント比 (%)		単位水量 (kg/m ³)		単位セメント量 (kg/m ³)	
		範囲	平均値	範囲	平均値	範囲	平均値
機械 施工	曲げ5.0-2.5-40N	38.0 ~ 43.0	40.5	133 ~ 151	144	310 ~ 398	356
	曲げ5.0-2.5-40BB	36.0 ~ 41.8	39.0	133 ~ 146	142	320 ~ 403	365
人力 施工	曲げ5.0-6.5-40N	35.9 ~ 45.0	40.5	140 ~ 159	149	312 ~ 419	370
	曲げ5.0-6.5-40BB	37.0 ~ 44.0	39.9	143 ~ 155	150	341 ~ 419	376

コンクリートの種類の呼称は, 左から, 【曲げ強度】-【スランプ】-【粗骨材の最大寸法】
 N: 普通ポルトランドセメント, BB: 高炉セメントB種

- ・ 水セメント比は, セメントの種類, スランプによらず, 40%前後.
- ・ スランプ2.5cmのコンクリートの場合, 単位水量140kg/m³前後, 単位セメント量360kg/m³前後(道路のコンクリートより多い傾向).
- ・ スランプ6.5cmのコンクリートの場合, スランプを大きくするために, 2.5cmの配合をベースに単位水量とセメント量を多くする傾向.

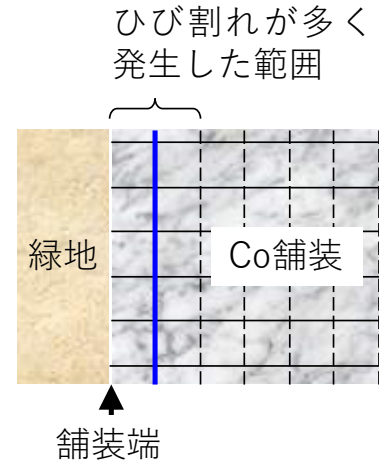


ひび割れ事例

- ・ コンクリートの種類：
曲げ5.0-2.5-40BB
- ・ 水セメント比：36.0%
→ **本調査で最小値**
- ・ 単位セメント量：403kg/m³
→ **本調査で最大値**

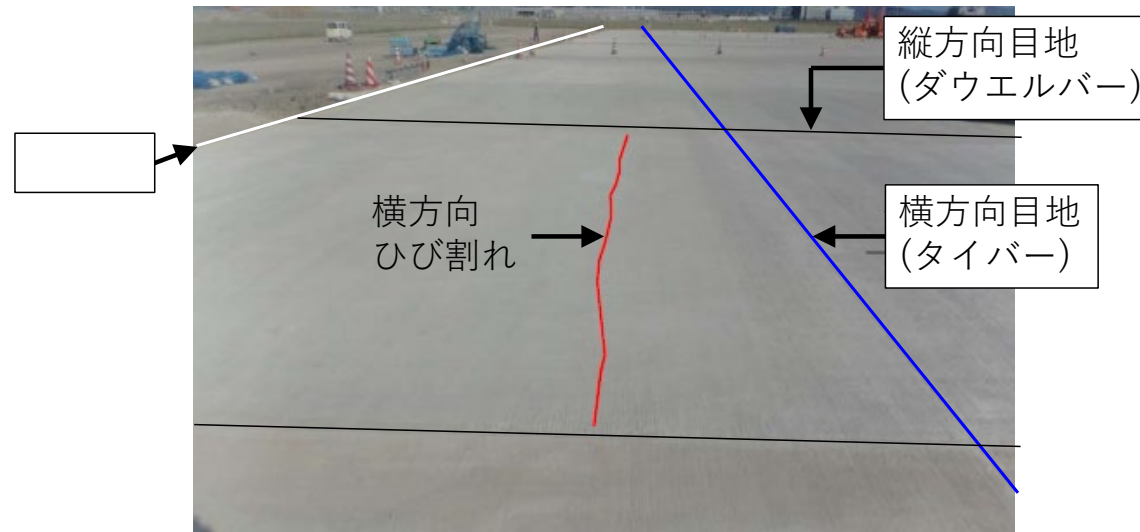
- ・ 高炉セメントを用いたコンクリートは自己収縮量が普通セメントより多い。
- ・ 配合設計では、収縮の観点で水セメント比とセメント量に留意する必要がある。

ひび割れの平面範囲



- : 横方向目地 (タイバー)
- - : 横方向目地 (ダウエルバー)
- : 縦方向目地 (ダウエルバー)

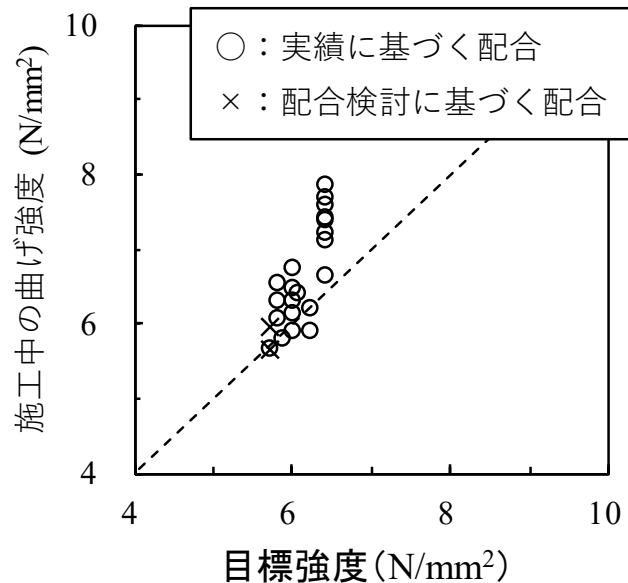
ひび割れ状況



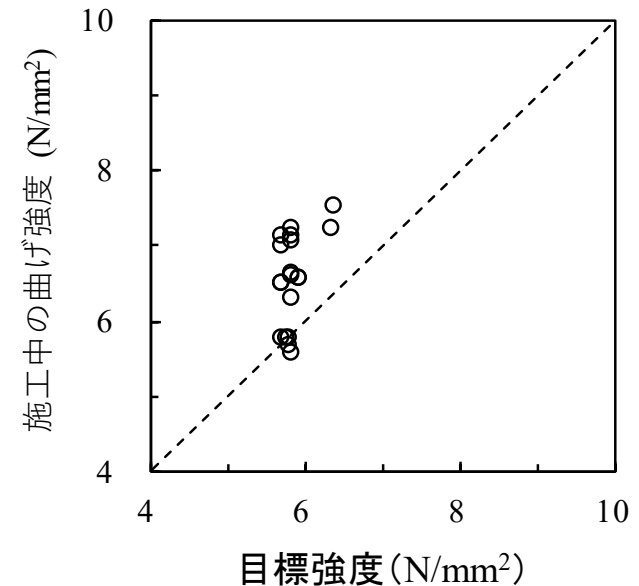


曲げ強度

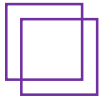
Nの場合(全てのプラント)



BBの場合(全てのプラント)



- ・ 目標強度に対して、施工中の曲げ強度が高い場合がある(試験練り時も同じ傾向)。
- ・ 必要以上の曲げ強度が出る配合となっていれば、水セメント比を上げる、単位セメント量を減らす余地がある。
- ・ 以上の結果を国総研資料にまとめ、R5d末の設計要領の改正において参考資料として記載する予定である。



おわりに

設計要領を改正するきっかけは

- ① 国総研からの提案
 - ② 地方整備局・地方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。