

空港土木施設設計要領 (舗装設計編) の改訂について

国土交通省国土技術政策総合研究所
空港研究部 空港施設研究室長
坪川 将丈

本日の内容

- ・空港土木施設設計要領（舗装設計編）の改訂について

- ①タックコート

- ②アスファルト舗装の成形目地材

- ③コンクリート舗装への樹脂充填

- ④アスファルトバインダの劣化評価方法

- ⑤基層アスファルト混合物の耐水性評価方法

（赤字はR2.4から先行的に実施している内容）

- ・地震時の点検・復旧について

空港土木施設設計要領(舗装設計編)

2019年3月まで

- ・新設時の設計等 ⇒ 空港舗装**設計**要領
- ・補修時の調査、評価、設計等 ⇒ 空港舗装**補修**要領



2019年4月から

- ・空港土木施設設計要領(**舗装設計編**)



- ・【設計要領】 = 本編・付録
国土交通省航空局サイトに掲載(「航空局 技術情報」で検索)
- ・【設計要領**及び設計例**】 = 本編・付録・**設計例**
(一財)港湾空港総合技術センターが書籍を発刊

最近10年の主な改訂内容

- 平成20年7月 空港舗装構造設計要領 → **空港舗装設計要領を制定**
・理論的設計法を導入
- 平成23年4月 空港舗装補修要領(案) → **空港舗装補修要領を制定**
・わだち掘れ量計測位置, FWD評価方法を改訂
・層間剥離の検出法として熱赤外線調査を追加
・夜間工事のタックコートとしてPKM-Tを原則
・表層の一層最小施工厚を改訂(骨材最大粒径の2.0倍→2.5倍)
・再生アスコン採用時に水浸WT試験での確認を追加
・グルーピング養生期間を短縮(2か月→改質Asの場合1ヶ月)
・コンクリート薄層付着オーバーレイ工法を追加
- 平成25年4月 破損状況に応じて表層に改質アスファルトを標準
平成28年4月 エプロン打ち換えにおけるコンクリート舗装の新旧版接続の緩和
破損状況に応じて基層に改質アスファルトを標準
- 平成29年4月 路面性状調査の改訂(わだち掘れ, 平坦性)
- 平成30年4月 タックコートの養生時間短縮に有効な方法を記載
- 平成31年4月 2つの要領を統合 → **空港土木施設設計要領(舗装設計編)を制定**
グルーピング養生期間を短縮(改質Asの場合1か月→7日)
基層の一層最小施工厚を改訂(最大骨材粒径の1.5倍→2.0倍)

① タックコート

【課題】

アスファルト舗装の切削打換え工事において、基層表面に散布するタックコート(アスファルト乳剤)の養生が不十分となり、付着不良の場合がある。

剥離箇所は付着していないため突発的破損につながるほか、剥離箇所に水が入るとブリストリング(表面が膨れる)に発展する可能性もある。

【対応】

平成30年4月に「**タックコートの養生時間を短縮するためには、改質アスファルト乳剤PKM-Tと分解促進剤を同時散布する方法が有効である**」と改訂した。

この際にWGにおいて「規格化されれば標準としてもよいのでは」との意見があったが、令和元年度に日本アスファルト乳剤協会が「PKM-T-Q」の名称で規格化したことから、空港アスファルト舗装の工事においてPKM-T-Qを標準とする。

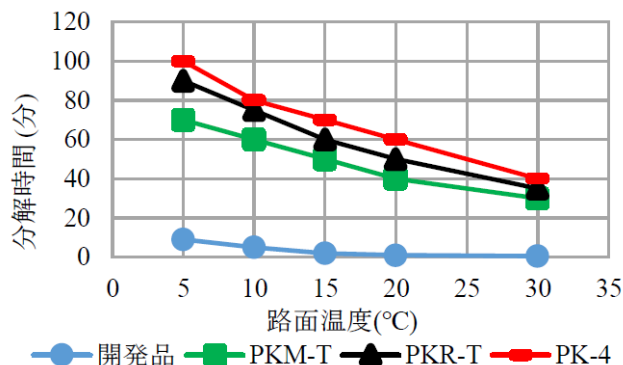


図-2 路面温度と分解時間の関係

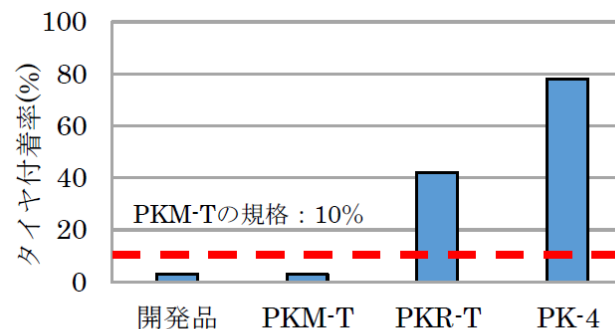


図-4 タイヤ付着率試験結果

開発品

=PKM-T+分解促進剤

=PKM-T-Q(2020年に日本アスファルト乳剤協会にて規格化)

① タックコート

【改訂案】

第3章 アスファルト舗装の補修

Ⅲ-4 アスファルト舗装の補修

Ⅲ-4.6 材料設計

(7)アスファルト混合物層間を付着させるために散布するタックコートについては、アスファルト混合物との付着性が高く、作業車両のタイヤへの付着抑制効果がある~~り~~、養生が短時間で完了する改質速分解型アスファルト乳剤PKM-T-Q(日本アスファルト乳剤協会規格JEAAS-20112020)を使用することを標準とする。~~また、タックコートの養生時間を短縮するためには、改質アスファルト乳剤PKM-Tと分解促進剤を同時散布する方法が有効である~~^{87), 88)}。

第2章 アスファルト舗装の新設

Ⅱ-4 表層の耐久性能の照査

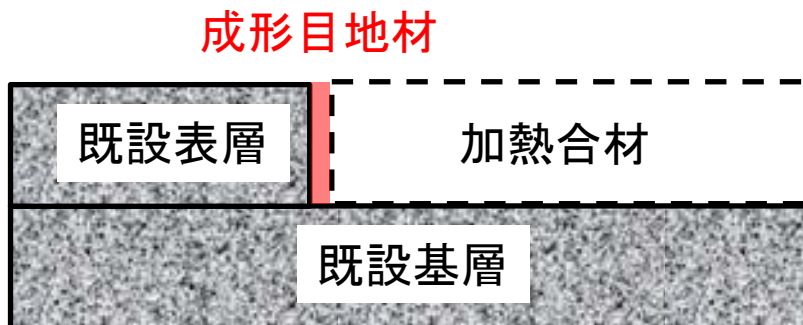
Ⅱ-4.6 アスファルト混合物に関する細目

(6)~~夜間の施工においては、アスファルト混合物との付着性が高く、作業車両のタイヤへの付着抑制効果がある改質アスファルト乳剤PKM-T(日本アスファルト乳剤協会規格JEAAS-2011)を使用することを標準とする。昼間の施工においてもPKM-Tを使用することが望ましい。~~アスファルト混合物層間を付着させるために散布するタックコートについては、アスファルト混合物との付着性が高く、作業車両のタイヤへの付着抑制効果があり、養生が短時間で完了する速分解型アスファルト乳剤PKM-T-Q(日本アスファルト乳剤協会規格JEAAS-2020)を使用することを標準とする^{87), 88)}。

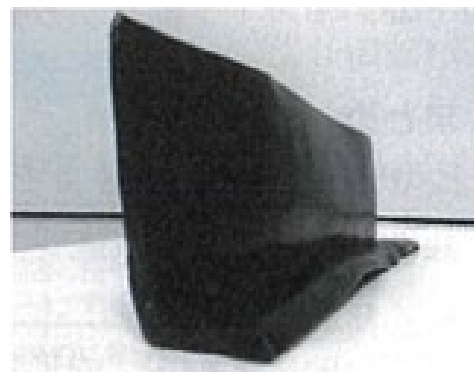
② アスファルト舗装の成形目地材

【課題】 アスファルト舗装の施工目地が開く

【対応】 舗設におけるコールドジョイント部に成形目地材を使用することにより、敷きならした加熱合材の熱により成形目地材が溶け、施工目地の付着の改善が期待できるため、事例として記載する。



断面図



使用実績の一例

空港名	時期	使用延長
釧路空港 滑走路	2019年10月	90m
函館空港 構内道路	2019年8月	10m
仙台空港 滑走路・誘導路	2018年12月～2019年2月	1345m
成田国際空港 A滑走路	2019年1月～3月	380m
中部国際空港 エプロン	2019年3月	560m

② アスファルト舗装の成形目地材

【改訂案】

第2章 アスファルト舗装の新設

Ⅱ-4 表層の耐久性能の照査

Ⅱ-4.6 アスファルト混合物に関する細目

(10)施工目地は経年により開きやすく、舗装体内へ水分が浸入することから、施工目地の密着性を高めるため、舗設時に成形目地材を使用すると良い。

第3章 アスファルト舗装の補修

Ⅲ-4 アスファルト舗装の補修

Ⅲ-4.6 材料設計

(13)施工目地は経年により開きやすく、舗装体内へ水分が浸入することから、施工目地の密着性を高めるため、舗設時に成形目地材を使用すると良い。

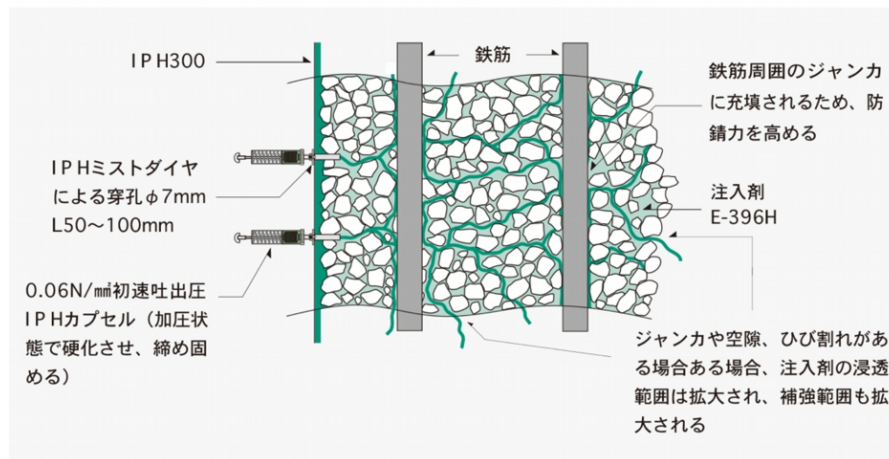
③ コンクリート舗装への樹脂充填

【課題】 コンクリート舗装が老朽化し、微細なクラック・荒れ等が目立つ

【対応】 微細なクラック等にコンクリート舗装表面から樹脂を注入充填することで、延命化が期待できるため、事例として記載する。



県営名古屋空港のPC舗装での
施工状況



一般社団法人IPH工法協会サイトより

③ コンクリート舗装への樹脂充填

【改訂案】

第5章 コンクリート舗装の補修

V-4 コンクリート舗装の補修

V-4.3 構造上問題のない場合の補修

(3)構造上問題のない場合の補修工法は、コンクリート版表面のモルタル分の摩耗や、タイヤのけりによる骨材の剥離、飛散等の路面性状の悪化進行を防止し、改良するためのものである。悪化の予防措置や応急措置としての意味を持つことから、強度を回復したり、強度増加を図る工法とは分けて考える。コンクリート版表面の浮き・剥離に対応するため、コンクリート版表面近傍に樹脂を充填した事例がある⁸⁹⁾。

89)若山裕泰, 波岡雅昭:名古屋空港におけるプレキャスト舗装版の補修対策と追跡調査の結果について, 第20回空港技術報告会, 2019.

④ アスファルトバインダの劣化評価方法

【課題】 針入度と軟化点ではアスファルトバインダの劣化が判断しにくく、現行の針入度と軟化点の目安値はストレートアスファルトを対象としていることから、改質アスファルトに対しても適用できる評価方法と目安値が必要である。

【対応】 ストレートアスファルトと改質アスファルトを同列で評価できるDSR試験による評価指標と目安値を用いることとする。

【改定案】

第3章 アスファルト舗装の補修

Ⅲ-3 アスファルト舗装の評価

Ⅲ-3.3 構造の評価

Ⅲ-3.3.2 解体調査に基づく評価

表Ⅲ-2.5 解体調査による試験項目と試験仕様

試験項目	試験法	試験場所	実施の目安
⋮			⋮
⋮			⋮
アスファルトの針入度試験	※A041	室内	A
アスファルトの軟化点試験	※A042		A
アスファルトのDSR試験	※A062		A
⋮			⋮
⋮			⋮
⋮			⋮

表Ⅲ-3.3 解体調査において健全であると考える目安値の例

試験項目	測定項目	目安値
⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮
アスファルトの針入度試験	針入度 (25°C 1/10mm)	表Ⅲ-3.4参照※
アスファルトの軟化点試験	軟化点温度(°C)	表Ⅲ-3.4参照※
アスファルトのDSR試験	$G^* \sin \delta$ (25°C kPa)	表Ⅲ-3.4参照 ⁷³⁾
⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮

社)日本アスファルト協会 アスファルト, 第33巻, 第164号, p.78, 1990.

④ アスファルトバインダの劣化評価方法

【改定案】

第3章 アスファルト舗装の補修

Ⅲ-3 アスファルト舗装の評価

Ⅲ-3.3 構造の評価

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

⑤ 基層アスファルト混合物の耐水性評価方法

【要望】 既設アスファルト混合物に対する剥離抵抗性評価について検討し、適用可能な手法があれば、設計要領に反映する。

【対応】 水による破損が多い基層について、修正ロットマン試験による剥離抵抗性評価を要領に追加する。

【改定案】

第3章 アスファルト舗装の補修

Ⅲ-3 アスファルト舗装の評価

Ⅲ-3.3 構造の評価

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。

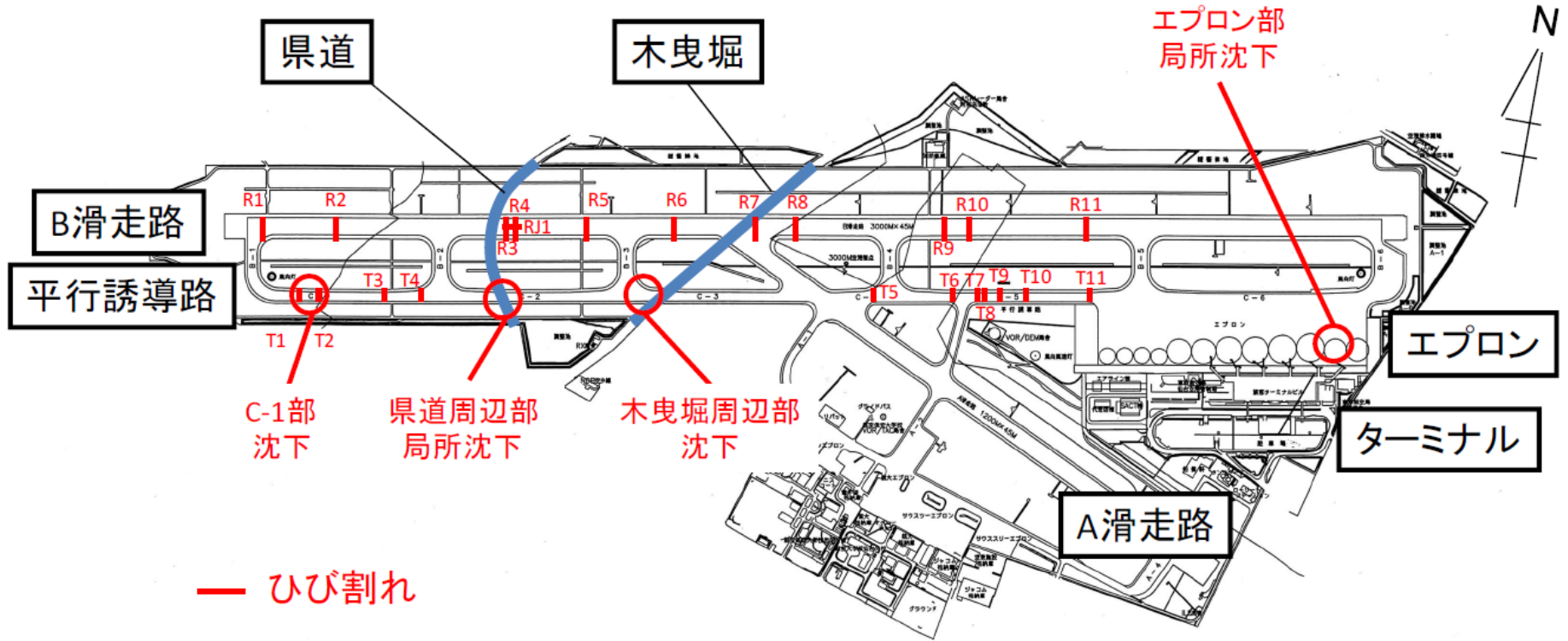
(viii) 粗粒度アスファルト混合物の剥離抵抗性に関する詳細な評価方法としては、修正ロットマン試験により得られる標準圧裂強度と残留圧裂強度に関する閾値が提案されており、参考とするとよい方法があり⁸⁵⁾、残留圧裂強度が0.7MPa未満となる場合は、当該アスファルト混合物の剥離抵抗性が低いと考えられる。

地震時の点検・復旧について

2000年以降の地震による空港舗装等の被害

地震名	空港名	空港舗装等の被害内容	運航状況
平成12年 (2000年) 鳥取県西部地震	米子空港	滑走路・誘導路に多数のひび割れ 過走帯・着陸帯で液状化発生	ひび割れを補修し 5日後国内線再開
平成13年 (2001年) 芸予地震	松山空港	着陸帯で液状化発生 (空港舗装は被害なし)	支障なし
平成19年 (2007年) 能登地震	能登空港	滑走路・誘導路に多数のひび割れ	ひび割れを補修し 翌日国内線再開
平成23年 (2011年) 東北地方 太平洋沖地震	仙台空港	滑走路・誘導路・エプロンに 多数のひび割れ 誘導路・エプロンの液状化による沈下	4日後に救難活動用ヘリ再開 5日後に緊急物資輸送固定翼機再開 33日後に国内線再開
平成28年 (2016年) 熊本地震	熊本空港	滑走路・エプロンに軽微なひび割れ	4/14前震後: 平常運航 4/16本震後: 3日後に国内線再開 (ターミナル被害に起因)

仙台空港(平成23年東北地方太平洋沖地震)



— ひび割れ

滑走路
誘導路

エプロン

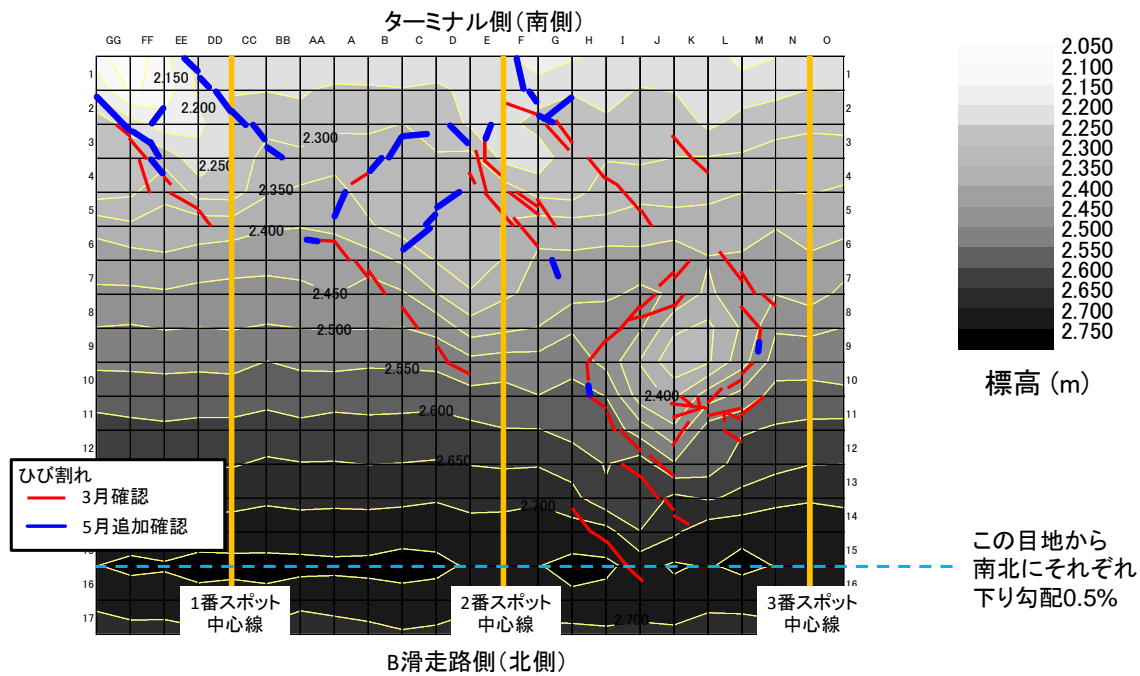
12本のひび割れ(局所沈下なし)

11本のひび割れ

県道-平行誘導路交差部の局所沈下

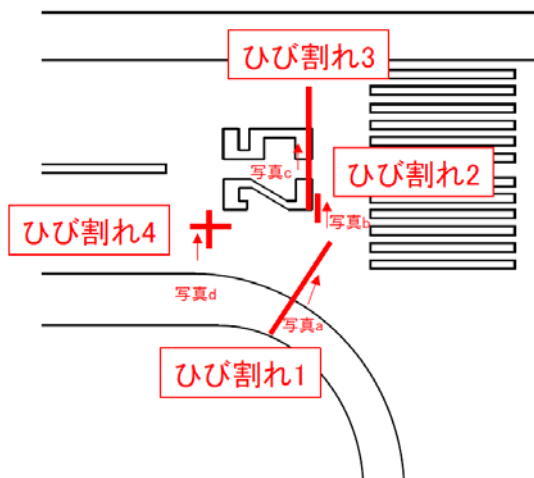
1番～3番スポットの局所沈下とひび割れ

仙台空港(平成23年東北地方太平洋沖地震)



熊本空港(平成28年熊本地震)

	時間帯	定期便 臨時便	救援機 その他	備考
4/14木	7:30-21:30	76	26	【21:26前震】
	21:30-翌7:30	0	38	
4/15金	7:30-21:30	82	80	平常運航
	21:30-翌7:30	1	37	【25:25本震】
4/16土	7:30-21:30	0	198	ターミナル 被害による 定期便運休
	21:30-翌7:30	0	7	
4/17日	7:30-翌7:30	1	124	
4/18月	7:30-翌7:30	0	123	
4/19火	7:30-翌7:30	35	149	
4/20水	7:30-翌7:30	51	134	



地震時の点検・復旧について

背景

- 地震直後に被災地の空港が緊急物資輸送等の拠点として機能するためには、地震後の空港舗装の点検・復旧を速やかに実施し、迅速に供用再開する必要がある。
- 空港管理者の多くは、地震時の舗装被害（液状化による沈下等）に不慣れなため、臨機応変な点検・復旧方法の判断ができないおそれがある（特に応急復旧）。

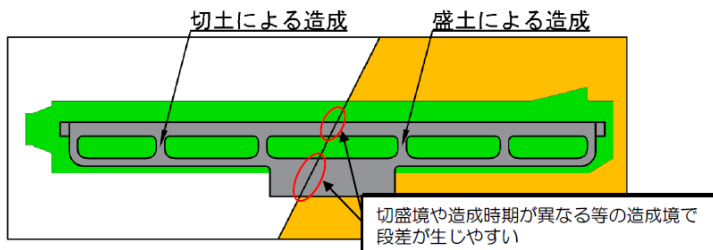
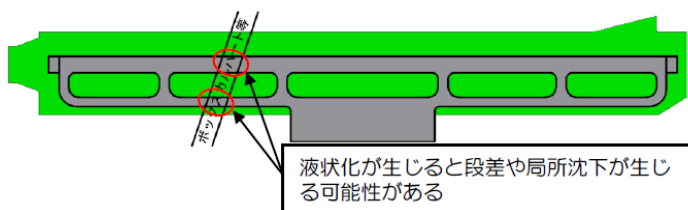
点検・復旧マニュアルの検討

- 過去の地震による被害のレビュー、国総研での調査研究結果を基に、空港舗装を対象とした点検・復旧マニュアルを作成中。
- 空港管理者が「臨機応変な点検・復旧」を行えるよう、できるだけ簡素にまとめた

目視点検

過去の地震による舗装被害等のレビューを行い、マニュアル記載内容を検討。

- 【段差のない(2cm以下)ひび割れ】は運航に影響しない(時間がある時に記録)。
- 【段差のあるひび割れ】【舗装面の変形(沈下)】を発見することに注力。
- これらが発生しやすい場所をマニュアルに記載。
 - ボックスカルバート等の地下構造物上部
 - 切土・盛土境界 など
- 点検のポイントをマニュアルに記載。
 - 舗装変形は路面標識を参考に
 - 舗装横の芝地(着陸帯/誘導路帯)の方が液状化痕を容易に視認
 - 長いロッドを持参(沈下量計測用←過去の反省点) など



詳細点検

液状化した仙台空港や、空洞を有する試験舗装におけるFWD調査データから、液状化に起因する舗装下の空洞検出方法を検討した。

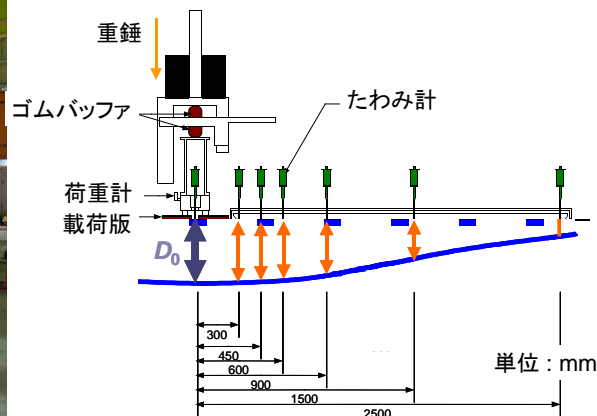
FWDの概要

- 舗装の支持力を非破壊で調査する機器。
- 国内では30台程度稼働中。大手舗装会社、調査会社等が保有。
- 衝撃荷重を舗装表面に与え、舗装表面のたわみ量(弾性鉛直変位)を計測する。
- 1点あたり1~2分(点での調査)。
- 平常時の規準値あり(D0たわみ)。

内部に重錘を搭載

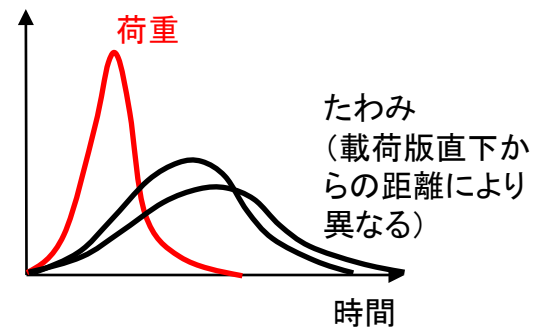


当所所有のFWD



FWDの機構

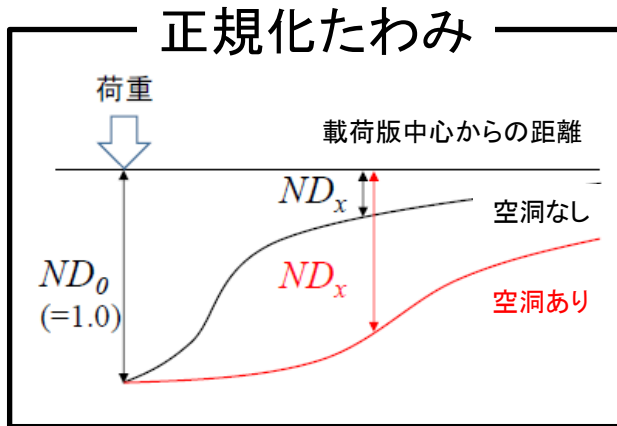
荷重・たわみ



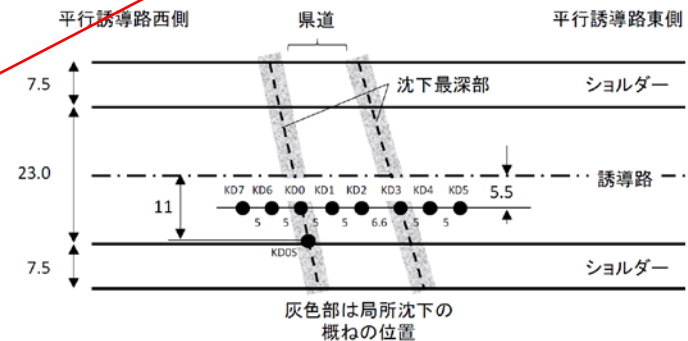
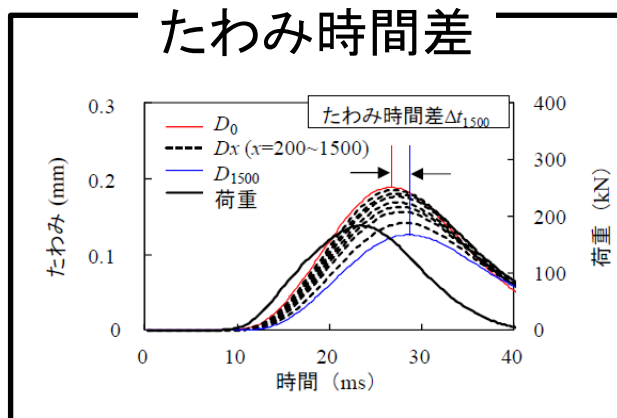
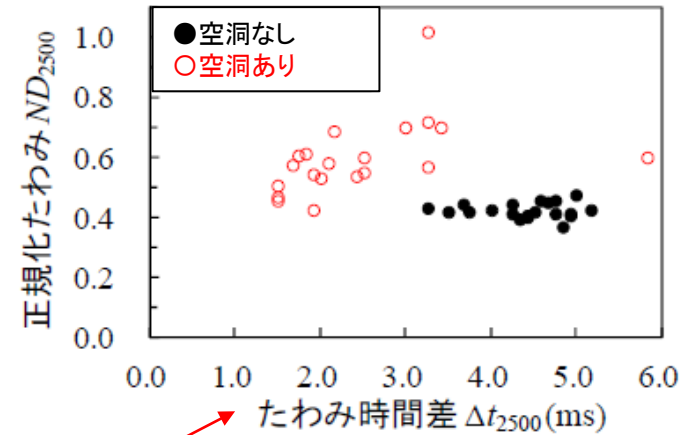
FWDの荷重・たわみの時刻歴データの例

詳細点検

- FWDデータの分析により考案した、舗装下の空洞を検出可能な簡便な指標を記載。
⇒空洞に起因する支持力低下範囲＝復旧必要範囲を特定
- あらゆる舗装厚・FWD荷重曲線を想定した閾値設定は困難であり、周囲との相対比較による評価。



図の左上ほど空洞の可能性が高い



仙台空港における測定事例

アスファルト舗装の応急復旧

過去の地震後の応急復旧のレビュー・情報収集を基に、マニュアル記載内容を検討。

- 段差のあるひび割れ アスファルト混合物による摺り付け
- 舗装面の変形(沈下) アスコン層撤去→アスファルト混合物による打替え
- 【臨機応変な応急復旧】の留意点
 - 滑走路全幅(例えば60m)のうち、航空機が走行する中央帯20mを優先。
 - 段差のないひび割れは、時間があれば注入剤を注入(止水のため)。



擦り付け事例(2007年能登空港滑走路)

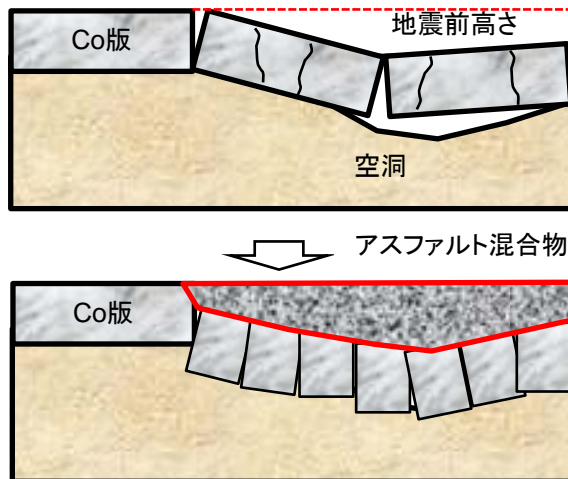


打替え事例(2011年仙台空港誘導路)

コンクリート舗装の応急復旧

- 段差のあるひび割れ コンクリート、アスファルト混合物による摺り付け
- 舗装面の変形(沈下) コンクリート版撤去→コンクリートによる打替え
- 【臨機応変な応急復旧】の留意点
 - コンクリートによる応急復旧では、
 - ✓ 鉄網(構造鉄筋ではなく、ひび割れ幅拡大防止)・ダウエルバー(版接続部の変形抑制)省略。
 - ✓ 早強コンクリート推奨(早期硬化のため)。
 - ✓ 打設後の微細な収縮クラックを許容(配合検討が時間的に困難のため)。
 - ✓ 入手しやすい20mm骨材で可(通常は40mm骨材を使用)。
 - 航空機が走行する箇所(停止しない箇所)は、コンクリート版を撤去のうえ、同厚のアスファルト混合物で打替えも可。
 - 航空機が走行しない箇所は、コンクリート版をブロック状に切断して落とし込み、アスファルト混合物(最低5cm)によるオーバーレイも可。

「航空機が走行しない箇所」の復旧事例(2011年仙台空港)



おわりに

設計要領改訂のきっかけは

- 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
- があります。

何かお困りの点・良い情報がありましたら、
随時ご提供頂けると幸いです。

当研究室の研究成果・講演資料等は、全て研究室サイトで
公開していますので、「空港施設研究室」で検索してください。