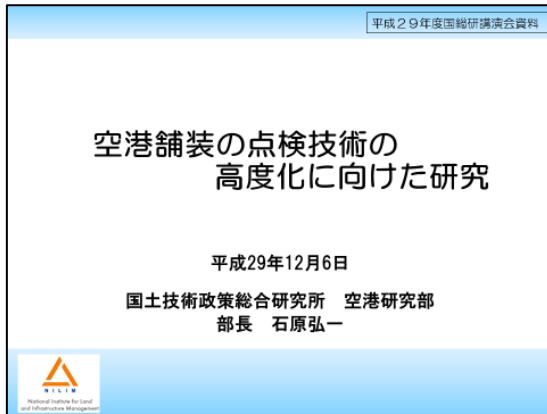
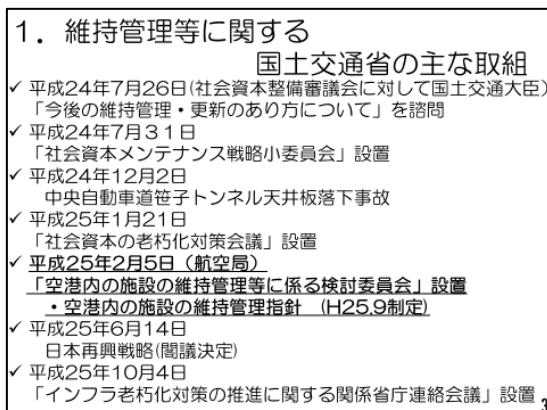
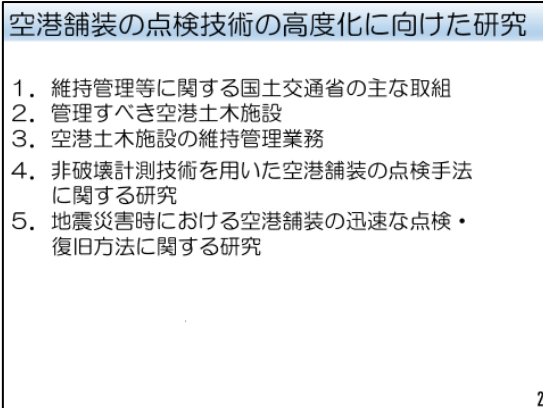


### 3.8 空港舗装の点検技術の高度化に向けた研究

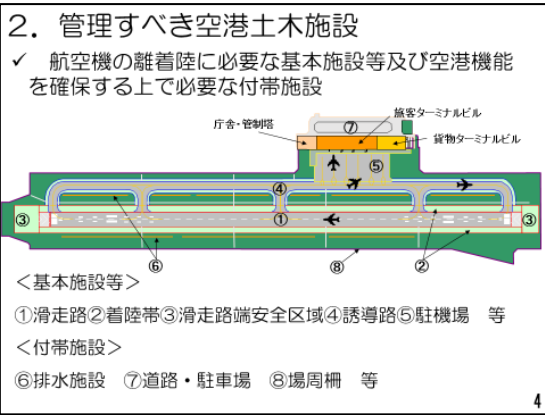
(空港研究部長 石原 弘一)



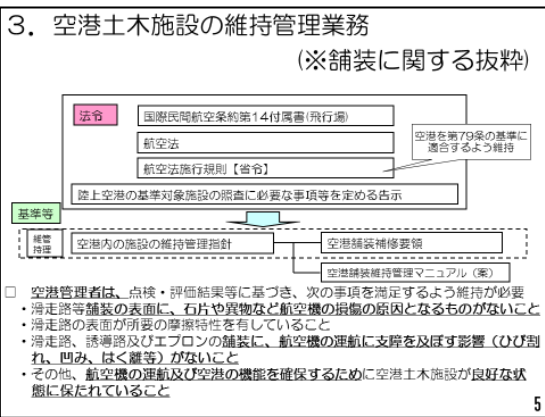
空港研究部長の石原でございます。これから当研究部で取り組んでおります空港舗装の点検技術の高度化についてお話をさせていただきます。



まず、維持管理に関します国交省の取り組みがいろいろあるわけですが、平成25年2月に空港内の施設の維持管理等に関する検討委員会が設置されました。この委員会の中で、空港内の施設の維持管理指針が同年9月に制定されております。



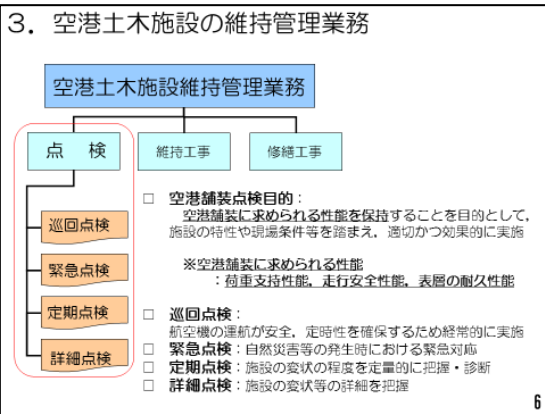
この維持管理の対象となる施設でございますけれども、ここがございますような基本施設、滑走路、着陸帯といったもの、簡単にいってしまうと、舗装されているところとお考えいただければいいと思います。こういったところの維持管理をきちんとやりましょうということが定められたわけでございます。



こうした維持管理業務、法律にも決まりがありまして、一番大本になりますのは、国際民間航空条約、ICAOという団体がございますけれども、そちらで空港の管理、飛行場の管理についての決まりがございます。それを受けまして、国内の航空法で基準に従って空港を管理することと定められており、また施行規則で実際の基準が定められております。その基準を維持管理に関するものでございますけれども、空港内の施設の維持

管理指針がございます。この中には、空港舗装の補修要領ですとか維持管理マニュアルといったものが含まれてございます。

この決まりの中で、空港管理者は国、地方公共団体はもちろんですが、空港会社、あるいは最近では空港の民営化ということで、コンセッションと呼ばれる特別な会社がございますけれども、その全ての管理者に対して、舗装の表面、地表面に異物がないこと、それから滑走路の摩擦係数がきちんとある水準以上に保たれていること、航空機の運航に支障を及ぼすような影響がないことを踏まえて、きちんと良好な状態に保ちなさいということで、維持管理計画をつくることになっております。



さて、空港土木施設の維持管理業務、大きく分けまして点検、維持工事、修繕工事となりますけれども、今回ターゲットにしていますのは点検業務ということでございます。点検業務、巡回点検、緊急点検、定期点検、詳細点検と分かれております。

点検業務といいましても、空港ならではの特殊性がございます。皆様ご案内のとおり、非常に広

いということ、滑走路、大きな空港ですと幅が 60 メーターあつたりします。非常に広大な範囲を点検しなくてはならない。しかも、そのほとんどの作業を夜間やらなければいけないという特殊性がございます。

### 3. 空港土木施設の維持管理業務

✓ 空港舗装維持管理を取り巻く状況

空港の維持管理は広大な範囲を基本的に運用時間外に実施しなければならない

近年、空港の利便性向上のため運用時間が拡大したり、深夜の国際線や貨物便の就航等の影響により、夜間の維持管理の作業時間が短くなる傾向。

羽田空港の場合（24時間運用）

施設名称	作業可能日	作業可能時間
A滑走路地区	週4日	23:30~06:30
B滑走路地区	週6日	23:30~06:30
C滑走路地区	週5日	02:00~06:30
D滑走路地区	週2日	23:30~06:30(週1日) 02:00~06:30(週1日)
その他主要な誘導路	毎日	00:00~06:30

那覇空港の場合（24時間運用）

時間	状況
6~23時	通常の旅客利用
23~1時 (2時間)	維持管理作業 (02:00~06:30)
1~6時	深夜貨物便利用

【深夜貨物便の駐機状況】

深夜便の影響で平日は1日に2時間しか作業できない




こちらに羽田空港の例をお示ししておりますけれども、4本滑走路がございますが、24時間運用ということで、特に夜間使われることが多いC滑走路、D滑走路については、作業ができる日にちが週2日、あるいは3日、しかも作業時間が1日3時間とか4時間程度しか許されておられません。

また、那覇空港は貨物便が非常に盛んになって

いるわけですが、こちらも24時間空港です。しかも、貨物便は夜間飛んでくることが多いということで、1日2時間程度しか点検作業ができないという状況がございます。

### 3. 空港土木施設の維持管理業務

空港舗装の損傷例



舗装破損・異常 → 走行安全性低下 → 機材損傷・航空機事故の可能性 → 遅延・欠航運用への影響

骨材飛散(障害物) → 施設閉鎖

供用中に滑走路等の基本施設の舗装が破損した場合には、飛散した骨材が航空機のエンジンに吸引されたりなど、航空機運航の安全性及び定時性が確保されない

航空機運航の安全性及び定時性を確保するためには、日常からきめ細やかな維持管理が必要



では、点検作業の対象となるような損傷はどういうものがあるかということで、ひび割れですとかわだち掘れというものがございまして。こうしたものは、表面にあらわれておりますので、目視でも何とかみつけることは可能なのですが、特にこれからお話しするような空港の舗装というのは、3層とか4層とか幾つかの層で分けて施工されるのですが、層と層の間に透き間ができる。私ども、これを層間剥離と呼んでおりますけれども、そういったもの、あるいは何かの弾みに層の間に水分が残っていると、それがいずれ水蒸気になって膨らむというブリスタリングと呼ばれておりますが、こういったものは地表面からではわかりません。

今申し上げました層間剥離ですとかブリスタリングというのは、非常に大きな悪さをいたします。きのうまで何ともなかったのだけれども、けさになってみると突然、表面が壊れているということが頻繁に起きます。そういった舗装のかけらが当然、エンジンなどに吸い込まれますと、こちらにございますように、エンジンの破損という重大な危険を招くこととなります。

今申し上げました層間剥離ですとかブリスタリングというのは、非常に大きな悪さをいたします。きのうまで何ともなかったのだけれども、けさになってみると突然、表面が壊れているということが頻繁に起きます。そういった舗装のかけらが当然、エンジンなどに吸い込まれますと、こちらにございますように、エンジンの破損という重大な危険を招くこととなります。

### 4. 非破壊計測技術を用いた空港舗装の点検手法に関する研究

#### 空港舗装維持管理(点検)の現状と課題

##### 点検の現状

###### 巡回点検(標準年3回以上)

- 人の巡回による目視、打音による点検
- 主として航空機運航に直ちに支障がないか判断



###### 定期点検(標準3年毎)

- 路面性状評価のための点検(落下式弾性測定器、軸方向弾力、平面性係数計)
- 計画的な舗装の更新実施に利用



##### 巡回点検の課題

- 広い舗装面の点検に時間がかかる
- メンテナンス時間の減少による点検漏れ(抜け)の可能性
- 補修要否の判断に個人差が出る可能性
- 打音点検の組合せに赤外線カメラを導入しているが、天候の影響を受けやすく利用環境が限定的
- 定期点検に使用している計測機器は、計測項目の違いなどの点で日常点検へそのまま適用が困難

のように、非常に点検に時間がかかります。また、どこを点検してきたかというのがなかなか後でわからない。ハンマーでたたいたりしますので、経験の有無とかという個人差が生じるという問題が現場から寄せられておりました。

では、その点検の現状でございますけれども、先ほどお話ししました巡回点検については、年に3回以上ということをやっております。実際には、この写真でございますように目視でやって、そしてあと作業員の方が並んで、立てひぎで手にハンマーをもって表面をたたいて、異音がしないかということを実はやっていたという状況にあります。

こんな写真の様子をごらんになるとおわかり

### 4. 非破壊計測技術を用いた空港舗装の点検手法に関する研究

#### ✓目的

点検作業の時間短縮及び精度向上のための新たな非破壊計測技術の導入





#### ✓研究内容

- 新たな計測技術の情報収集・抽出
- 新たな計測技術を用いた点検の評価
- 実地に適用するための機能向上や運用条件の改善及びマニュアル案の作成

そこで、当研究部ではこうした点検作業の時間の短縮、それから誰でも同じような結果を出せるような非破壊計測技術の研究と申しますか、開発に取り組んだところでございます。具体的には、新たな計測技術の収集、それからそうした点検技術が本当に使えるかどうかというフィールド実験と実際に現場で使えるためのマニュアルづくりをしたところでございます。

### 4. 非破壊計測技術を用いた空港舗装の点検手法に関する研究

✓約60種類の計測技術の中から、空港舗装の適用性、夜間作業の適用性、可搬性、不具合箇所特定の自動化といった、空港特有の要求性能を評価基準として4技術を選定(第1次評価)

技術名称	技術概要	イメージ	特徴	非破壊計測技術の選定に関する評価基準			
				適用性(適用範囲)	可搬性	自動化	夜間作業
AE計測システム(超音波)	弾性波(振動)の伝播特性を利用し、構造物内部の亀裂や空洞を検出する。		非破壊計測が可能で、構造物内部の亀裂や空洞を検出できる。	適用性: 適用範囲が広い。	可搬性: 可搬性が高い。	自動化: 自動化が可能。	夜間作業: 夜間作業が可能。
打音測定車	打音測定車を用いて、舗装面の硬さを測定する。		打音測定車を用いて、舗装面の硬さを測定する。	適用性: 適用範囲が広い。	可搬性: 可搬性が高い。	自動化: 自動化が可能。	夜間作業: 夜間作業が可能。
加速計付ハンマー	ハンマーを用いて、舗装面の硬さを測定する。		ハンマーを用いて、舗装面の硬さを測定する。	適用性: 適用範囲が広い。	可搬性: 可搬性が高い。	自動化: 自動化が可能。	夜間作業: 夜間作業が可能。
中性子水分計	中性子を用いて、水分量を測定する。		中性子を用いて、水分量を測定する。	適用性: 適用範囲が広い。	可搬性: 可搬性が高い。	自動化: 自動化が可能。	夜間作業: 夜間作業が可能。

いたもの、2つ目は打音測定車ということで、先ほど人がハンマーでたたいていたのを若干機械化したようなもので、原理は非常に簡単なものですが、そういった打音測定車、それから加速度計のついた内蔵ハンマー、中性子を使った水分計の4つを抽出いたしまして、実際にフィールド実験を行いました。

非破壊計測技術というのは、民間に60種類程度あるということでございまして、その中で空港舗装へ使えるか。空港舗装は非常に厚い舗装が何層にもなっておりますので、そういったところで使えるかということ。夜間でも使えるか、あるいは持ち運びが便利であるかということの評価の観点にしまして、60種類余りのところから4つの計測技術を選定いたしました。1つ目はアコースティックエミッションのところでは弾性波を用いたもの、2つ目は打音測定車ということで、先ほど人がハンマーでたたいていたのを若干機械化したようなもので、原理は非常に簡単なものですが、そういった打音測定車、それから加速度計のついた内蔵ハンマー、中性子を使った水分計の4つを抽出いたしまして、実際にフィールド実験を行いました。

#### 4. 非破壊計測技術を用いた空港舗装の点検手法に関する研究

✓滑走路等と同程度の舗装構成にした、疑間的な層間剥離舗装を設置  
 ・異物は、深さ5、8、10、15cmの4種類の層間に挿入  
 ・使用材料は、不織布・フラベニア・石粉とし、大小6ケース設けた

試験舗装製作      グリッド切削

(異物の挿入断面)

(使用材料)

不織布      フラベニア      石粉

12

実験を行いました。

#### 4. 非破壊計測技術を用いた空港舗装の点検手法に関する研究

✓測定精度を評価  
 ・損傷に見立てた6ケースの層間剥離の異常の正答率を検知率として評価  
 ・結果、打音測定車が、効率的な手法であるものと評価(第2次評価)

技術名称	技術原理	検証状況	測定精度・正答率(%)※				評価
			深さ5cm	深さ8cm	深さ10cm	深さ15cm	
AEシステム (フックアップ法)	弾性波 (面的広範囲)		0	0	0	0	×
打音測定車	打音 (線上)		83 85	86 77	73 72	64 61	○
加速度計内蔵カメラ	打音 (局部)		87 28	10 20	16 5	0 2	×
中性子水分計	中性子 (局部)		25 2	0	-	-	×

(※) 上段：グルーピング無、下段：グルーピング有  
 なお、検知率は、損傷箇所と打音走行した異音箇所が一致した割合である。

13

路には水はけをよくするために、四角い溝が切っております。その溝がある場合、ない場合でもどうかということで、比較のために検証したものでございますけれども、グルーピングのあるなしというのは、ほとんど打音測定車に関しては影響がないということがわかりただけだと思います。

#### 4. 非破壊計測技術を用いた空港舗装の点検手法に関する研究

✓「打音測定車」を実空港への導入にあたって、データ取得から活用までより効率的・効果的な点検となるよう、機材の機能向上や運用条件改善の検討

打音測定車による新たな機能向上  
 GPS機能の付加による位置測定機能の追加  
 リアルタイムでの異常判定機能の付加  
 異常アラート

現場での活用に向けた運用条件の改善  
 雨天時の運用のため、雨水による影響の検討  
 段差・凹凸検出の検出  
 グルーピングの有無による影響の検討  
 グルーピング形状  
 段差の検出(高差)と凹凸検出(低差)との区別

【打音測定車の概要】  
 ・測定車を手押し  
 ・ヘキサコンを回転  
 ・その衝撃音を集音計とレコーダーで収録  
 ・周波数と音圧レベルから異常判定

写真：測定車の集音計等及びソノグラフ異常マップ図

14

に伝わるような仕組みをつけてほしい。それから、当然、雨の日でも作業しなければいけないので、表面に水がある場合どうなのだろう。それから、先ほど申しましたように、グルーピングのあると

フィールド実験の様子なのですが、実際に舗装を施工しました。舗装を地表面から5センチ、8センチ、10センチ、15センチの深さにベニヤ板だとか異物を引いて、その上に舗装をかけてみました。この異物が実際には先ほどから申しました層間剥離を再現するものということで、こういったものを準備いたしました。また、舗装の層の間に水分があったらどうかということもあって、実際濡らしたものをあわせてセットして、

こちらがその実験結果でございます、4つの測定で深さごとにどのくらい異物を発見できたというか、異物の存在をみつけられたかというデータでございます。これをござらいただければ、打音測定車の成績が図抜けているということがわかりいただけると思います。

数字が2段になっておりますけれども、これは上段がグルーピングのない場合、下段がグルーピングのある場合。グルーピングというのは、滑走路

それで、打音測定車というのはどうも使えるのだということがわかったのですが、実際に現場ではこのままでは使いません。そこで、実際に空港の点検業務をしている方々にヒアリング、あるいはいろいろご意見を伺いました。その結果、やはり幾つか要望、あるいは疑問が寄せられたのですが、1つはどこをはかっていたのか、それがわかるようにしてもらいたいということ、それから異常があった場合、それが測定している者

ころ、ないところでもどうなのだろうといったことがヒアリングの結果寄せられました。

それを受けまして、位置出しがわかるようにということで、GPSをつけて、作業終了後、どこをどうはかってきたかというのが一目わかるような装置をつけました。また、異常があるかないかわかるように、これは簡単なランプなのですけれども、異常がある場合、異常な音を拾った場合は、ランプがぴかっとつくようにしたという工夫をいたしました。

こういった工夫をとりつけて、実際にまた空港の実務の作業者に立ち会ってもらったところ、これは非常にいいですねという評価と申しますか、評判をいただいたところでございます。

**4. 非破壊計測技術を用いた空港舗装の点検手法に関する研究**

✓打音測定車の機能向上や運用条件改善の検討結果

- 音響情報をもとに、平面上に舗装損傷箇所を明示する機能が有効であった。
- 測定している時点で異常を感知した時に測定者に知らせる機能が有効であった。
- 測定スピードについては時速2kmが最適と判明した。
- 雨水による影響はほぼないものと判明した。
- 剥離内の水分の有無による異音検出への影響もないものと判明した。
- グルーピングについても影響はほぼないものと判明した。

⇓

✓導入メリット

- 空港の現場で研究成果の点検手法を活用することで、**点検の効率化や質の向上**に資する
- 人力による打音調査（点検ハンマー）に比べ、**労力が軽減**
- GPS機能の付加により、**広大な範囲でも計測の位置出しが容易**
- 舗装内部で発生した**異常箇所の確実な発見**
- 空港管理図に計測結果を反映した**デジタルデータの取得が可能**
- 点検結果のデジタルデータ蓄積による**経年のモニタリングが可能**

最終的な取りまとめといたしまして、機能の改善をいたしました。1つ目は、今申しあげましたような平面図上に異常箇所を明示する機能が非常にいいということ。それから、異常を感じたときに、作業者に異常を知らせる機能、簡単なランプがただですけれども、これも非常にいいですねというお話でございました。

それから、どのくらいのスピード、速さで測定するのがいいのかというのも現場から寄せられたのですが、

どうも時速2キロ程度ですので、ゆっくり歩く程度でやれば、まず間違いなく異常をつかまえることができるということがわかりました。

また、表面に水のある場合、雨の降っている状況でも、影響はほとんどないということ、それから先ほどの測定結果でお示ししましたように、グルーピングのあるなしについても影響がないということがわかりました。

そういった装置が何とか実用化できれば、当然、労力の軽減、それから異常箇所の確実な発見といったことが実現できるのではないかと思います。

この装置につきましては、先月から羽田空港の現場で試験的に今、使用していただいているところでございます。やはり空港の現場ですと、実験と違いまして、またいろいろな状況がありまして、いろいろな改善点だとか要望が今後寄せられるのではないかと考えております。

**5. 地震災害時における空港舗装の迅速な点検・復旧方法に関する研究**

- 空港が緊急物資輸送等の拠点として機能するためには、点検・復旧を速やかに実施する必要がある。
- 地震時の空港舗装の被害の点検・復旧方法の判断基準を確立する。

熊本地震後の離着陸回数

	時間帯	定期便	臨時便	控除機	その他	備考
4/14木	7:30-21:30	76	26			【21:26前編】
	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本編】
4/16土	7:30-21:30	0	198			ターミナル閉鎖
	21:30-翌7:30	0	7			ターミナル閉鎖
4/17日	7:30-翌7:30	1	124			ターミナル閉鎖
4/18月	7:30-翌7:30	0	123			ターミナル閉鎖
4/19火	7:30-翌7:30	35	149			定期便再開
4/20水	7:30-翌7:30	51	134			

山台空港の液状化による局所沈下

ショルダー 誘導路

今申しあげました一連の話は、通常の巡回点検ですとか、定期点検のときのお話でございました。これからご紹介いたしますのは、地震災害が起きたときに、迅速に点検と復旧ができる方法についての研究でございます。この研究につきましては、当研究部で今年度から取り組んでいるものでございまして、まだきちんとした成果ではございませんけれども、こういったものを目指してい

るかということをお話をさせていただきます。

航空局で地震に強い空港のあり方が取りまとめられておりまして、その中で地震災害時に空港の果たす役割としては、緊急物資ですとか救援物資の輸送拠点として機能する必要があるということが記述されております。

こちらに示しておりますのは、仙台空港での液状化で誘導路が陥没しているというものでございます。

また、昨年ございました熊本地震のときの熊本空港の利用状況でございます。本震がありました後、民間の定期便、臨時便が約3日間、完全にストップしたのでございますけれども、たまたまこのとき、熊本空港のほうはそんなに大きな損傷を受けなかったということで、救援機が1日100機以上飛来しているという状況がございました。

5. 地震災害時における空港舗装の迅速な点検・復旧方法に関する研究

研究内容① 点検方法と判定基準の検討

- ・一次判定基準の検討（目視）
- ・二次判定基準の検討（FWDや大型消防車）



大型消防車を用いた支持力調査  
(平成19年能登地震)

FWDによる支持力調査  
(平成23年東北地方太平洋沖地震)

17

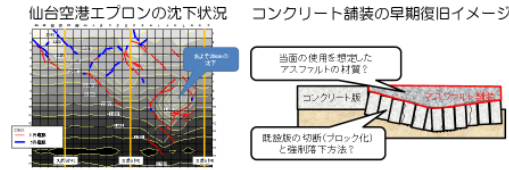
実際に地震災害が起きたときに、すぐ点検しなければいけないのですけれども、なかなか点検機材が手元にないという場合がございます。左の写真は、能登半島地震のときに航空機を発車するわけにいかないで、一番重い車両、大型消防車があったということで、とりあえずそれを走らせてみて、舗装がへこんだりしないかということに苦しまざれにやっていたという場合がございます。こういったものに頼らないで、簡単な装置、ある

いは何か計測で判定できるようなことがそういった基準でできないかということに今取り組んでいるところでございます。

5. 地震災害時における空港舗装の迅速な点検・復旧方法に関する研究

研究内容② 復旧方法の選択基準の検討

- ・アスファルト舗装の復旧方法  
調達可能な舗設機械が限定される場合を考慮した復旧方法選択基準の検討
- ・コンクリート舗装の復旧方法  
アスファルト混合物による復旧方法の検討



仙台空港エプロンの沈下状況

コンクリート舗装の早期復旧イメージ

当面の使用を想定したアスファルトの材質？

コンクリート版

既設版の切断(ブロック化)と強制沈下方法？

18

また、点検は点検であって、逆に復旧をどうしようか。左側の絵でございませけれども、仙台空港のエプロンの変状で、20センチ程度の沈下。大きさ十数メートルあるのですけれども、実際に駐機場はコンクリート舗装が主に行われております。したがって、コンクリート舗装の下部分が液状化して、コンクリート盤が沈下するのが非常に厄介でございます。時間があれば全部取り除いて、コンクリートを打ち直すことができますので

けれども、こういった救援機が飛んでようかという状況ですと、それも許されないということで、例えばコンクリートを埋め戻しにして、上にアスファルトを敷き詰めるのはどうだろうかということについて検討しているところでございます。

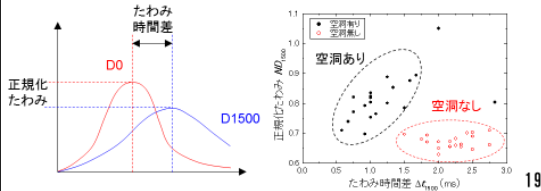
5. 地震災害時における空港舗装の  
迅速な点検・復旧方法に関する研究



空洞が生じたコンクリート版におけるFWDたわみを分析したところ、空洞があることにより

- 正規化たわみ は大きく
- たわみ時間差 は小さくなる。

FWD (Falling Weight Deflectometer)



19

がわかっております。このぐらいデータがきちんと明確にわかれば誰でも判断できるのですが、非常に微妙な場合が多いございますので、そういった場合でも、現場の人が専門の技術者に頼らなくて、自分の目で自信をもって判断できるような簡易な基準をつくっていきたいということで、研究に取り組んでいるところでございます。

これは、FWDといって、重りをどすんと落として、その落としたときの表面の変形、たわみとたわみが伝わる速さを計測するものでございまして、大きな空洞がありますと、たわみ量は当然落とした位置から1.5メートル離れたところで計測するのですが、空洞がありますと、たわみ量が大きくなる。空洞がない場合に比べてたわみ量が大きくなり、またたわみが伝わる速さ、表面の弾性波が伝わる速さが速くなるということ

ご清聴ありがとうございました

以上、当研究部で取り組んでおります空港舗装の点検技術の高度化についてお話をさせていただきました。ご清聴ありがとうございました。

—了—

20