

# 融雪装置を導入した空港アスファルト舗装の耐荷性能

八谷好高<sup>1</sup>・江崎 徹<sup>2</sup>・松崎和博<sup>3</sup>・坪川将丈<sup>4</sup>・水上純一<sup>5</sup>

<sup>1</sup> フェロー会員 工博 国土交通省国土技術政策総合研究所 (〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)

<sup>2</sup> 正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 (〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)

<sup>3</sup> 国土交通省九州地方整備局北九州港湾・空港整備事務所 (〒801-0841 北九州市門司区西海岸1-4-40)

<sup>4</sup> 正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 (〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)

<sup>5</sup> 国土交通省国土技術政策総合研究所 (〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)

空港基本施設の積雪による交通障害を防止するための方策として融雪装置の導入が有効と考えて、一連の試験研究を実施した。室内試験からは融雪装置を導入することによっても変形や動的安定度に及ぼす影響はほとんどみられないことがわかった。また、融雪装置を埋設した実大規模試験舗装に対する載荷試験からは、たわみやわだち掘れの変化する状況が融雪装置の有無や種類、それらの埋設深さによって大きくは変わらないことがわかった。さらに、繰返し走行載荷により生ずる累積変形は表面に近い層ほど著しいものの、航空機荷重により融雪装置に生ずる応力は十分に小さいものであることも確認された。これらのことから、融雪装置の空港アスファルト舗装への導入については十分可能であると結論づけられる。

*Key Words: snow-melting equipment, airport pavement, asphalt concrete, laboratory test, experimental pavement*

## 1. はじめに

全国各地の空港においては、冬期間の航空機運航の安全性を確保するための対策が空港基本施設に対して採られている。たとえば、グルーピングを滑走路のみならず、誘導路にも施工するといったものである<sup>1)</sup>。しかし、このような工夫によっても基本施設舗装上の積雪を完全には排除できない場合も多い。そのため、除雪作業が必須のものとなっており、航空機走行区域に5cmを超える程度の積雪があると航空機の安全運航に支障が出ることからこれを行うよう規定されている。

道路においても、交通の安全性を確保するために、ハード、ソフト両面で種々の方策が採られている<sup>2), 3)</sup>。それらのうち、航空機の走行特性や空港と道路の交通量の違いを考えると、現在空港において採られている方策に追加して用いることが可能なものとしては消雪装置が考えられる。この消雪装置は、地下水などを舗装面に散水することにより融雪する散水方式と、舗装を暖めることで融雪する無散水方式に大別される。このうち、積雪寒冷地等、雪による交通障害が大きな問題となっている地域に位置する空港においては、その気候条件から前者を用

いることは難しいと判断される。これに対して、後者はそのような条件下でも適用可能と考えられ、循環パイプ方式と発熱体方式に大別されるもののいずれもが道路舗装において十分な実績を有していることから、ここでは両者を検討の対象とした。

無散水融雪装置（以下、融雪装置と称す）を空港に用いるに際しては、道路を走行する車両に比べてはるかに質量の大きい航空機に対する耐荷性・耐久性に関して確認する必要がある。そこで、まず、二種類の融雪装置を埋設した小型供試体を用いた室内試験を行って、アスファルトコンクリートの熱的性質を把握するとともに、その力学的性状について検討した。次に、埋設深さを変えて融雪装置を導入した実大規模のアスファルト舗装を製作し、これに対して実物大の荷重を繰返し加えることによってその力学的挙動を調べ、この種の舗装の空港基本施設として適用性について検討した。

## 2. 室内試験の方法

融雪装置の種類と埋設深さを変えた場合の必要温度ならびに融雪装置の導入に起因するアスファルトコンクリ

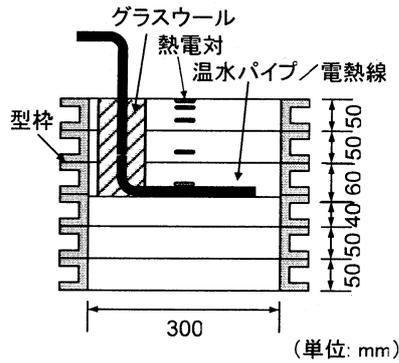


図-1 室内試験用供試体側面図

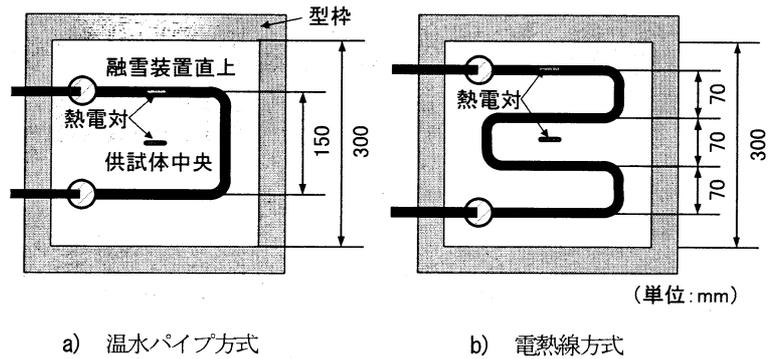


図-2 室内試験用供試体平面図

表-1 走行載荷試験の条件

融雪装置	埋設深さ (mm)	試験温度 (°C)
なし	—	-10, 1, 20, 40
あり	50	-10, 1, 20, 40
	100, 160	-10, 40

ートの力学的挙動の変化を明らかにするために、室内試験を実施した。今回の試験研究においては、融雪装置としては一般的なもの、すなわち、循環パイプ方式では温水パイプを、発熱体方式では電熱線を用いた。

### (1) 室内試験の種類

小型供試体を使用した試験は舗装内部温度変化試験と走行載荷試験の二種類である。

#### a) 舗装内部温度変化試験

融雪装置を埋設したアスファルトコンクリート供試体を用い、融雪装置を作動させたときに供試体の温度が変化する状況を調べた。

供試体寸法は、縦・横・厚さとも300mmであり、融雪装置の埋設位置はその底面位置が表面から50mm、100mm、160mmである(温水パイプ、電熱線とも)。これは、それぞれ、基層(上層)、基層(下層)、路盤施工後に融雪装置を据え付けることを想定したものである。供試体の側面図(温水パイプ・電熱線共通、埋設深さ160mm)を図-1に、平面図を図-2に示す。なお、供試体を入れた型枠の周囲には断熱材(厚さ12mm)を巻きつけた。このほか、融雪装置の稼動後における供試体の温度変化の状況を把握するために、熱電対を設置した。

融雪装置の通水、通電方法は、供試体ならびに雰囲気温度を-10°Cとし、表面温度が融雪に必要な温度(1°C)となるように設定した。

#### b) 走行載荷試験

融雪装置を埋設したアスファルトコンクリート供試体を用いて、舗装上を航空機が繰り返し走行する場合を想定した走行載荷試験を実施した。

供試体寸法ならびに融雪装置とその埋設位置はa)と同

様である。この供試体に対して空港舗装対応型ホイールトラッキング試験を実施した。载荷車輪の接地圧は1.38MPa、走行速度は20cm/sとし、最大5,040回まで繰返し走行載荷を与えた。車輪の走行位置は供試体中心線上であり、走行方向は供試体の転圧方向と同一である。この試験の開始から終了までの間、供試体の縦断方向の形状変化を調べた。また、試験開始前ならびに所定の走行回数時には、横断形状を3測線で計測するとともにひび割れの有無について観察した。

供試体ならびに雰囲気温度は表-1に示すように設定した。温度が-10°Cの場合には、融雪装置を作動させて供試体中央の表面温度がほぼ1°Cに到達した時点で繰返し走行を実施した。なお、高温時の試験においては、供試体に過大な変形が生じたため、試験装置の制約上最大走行回数到達前に走行を打ち切らざるを得ない場合もあった。

### (2) 使用材料

#### a) アスファルトコンクリート

試験に用いた骨材は、空港土木工事共通仕様書<sup>4)</sup>(以下、共通仕様書と称す)の規格を満たすものである。その粒度については、共通仕様書に記載されている基本施設表層①の粒度範囲のほぼ中央となるように調整した。また、アスファルトはストレートアスファルト60/80である。突固め回数75回(両面)の条件で供試体を作製してマーシャル安定度試験を実施した結果、最適アスファルト量は5.8%となった。

#### b) 融雪装置

融雪装置としては、1.で述べたように、道路等で一般的に使用されている温水パイプ方式ならびに電熱線方式の2つを用いた。

今回用いた温水パイプ方式では、外径17mm、内径13mmの特殊耐熱用ナイロン樹脂管を表層もしくは基層内に埋設し、ヒータにより温度を調節した不凍液を通水・循環させている。

また、電熱線方式では、導体抵抗が0.522Ωである発熱線を表層もしくは基層内に埋設し、通電している。

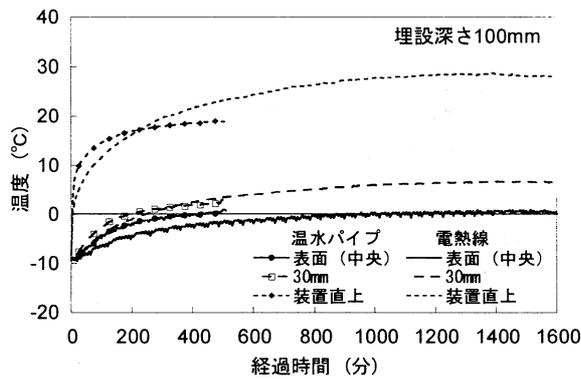


図-3 供試体内部の温度変化 (装置埋設深さ100mm)

### 3. 室内試験の結果

#### (1) 融雪装置による舗装内温度の変化

表層、基層ならびに上層路盤にアスファルト混合物を用いた舗装に、深さを変えて融雪装置を設置した場合に必要な、融雪装置の温度について検討した。

#### a) 供試体温度の変化状況

供試体ならびに雰囲気温度が $-10^{\circ}\text{C}$ の場合で、融雪装置の埋設深さを100mmとしたときの供試体内部の温度変化の状況を図-3に示した。これらの融雪装置の作動条件は、上記のように供試体中央の表面温度が $1^{\circ}\text{C}$ となるように、従来の経験に基づいて定めたものである。融雪方式の違いにより舗装内の温度が定常状態に到達するまでに必要となる時間に差がみられ、電熱線方式のほうが時間を要するとの傾向が明らかである。

融雪装置ならびに表面温度がほぼ一定となったときのデータを、融雪装置の種類、埋設深さ別にまとめものが表-2である。ここに示したデータは、装置を作動させたからの具体的な経過時間が、温水パイプ方式の場合で490~510分、電熱線方式の場合で1,090~1,110分のものである。この表から、当然ではあるが、融雪装置の埋設位置が深いほど融雪装置自体の温度を高くしなければならないことがわかる。融雪方式による違いとしては、埋設位置が浅い場合には温水パイプ方式のほうが、深い場合には電熱線方式のほうが融雪装置自体の温度を高くする必要があるとの傾向がみられる。

#### b) 室内試験結果の数値解析

上記のデータからアスファルトコンクリートの熱伝導率を逆算して求めることを目的として、融雪装置を作動させた場合の熱伝導解析を行った（三次元有限要素法 NASTRANによる定常電熱解析）。具体的には、融雪装置を50mm、100mm、160mmの深さに埋設した場合に、舗装表面が $1^{\circ}\text{C}$ になるために必要な融雪装置の温度を求めた。

解析においては、舗装周囲の外気温度としては室内試験と同じ $-10^{\circ}\text{C}$ とし、表面を除く5面では熱の出入りがな

表-2 定常状態時の供試体温度

融雪装置	位置	埋設深さ (mm)		
		50	100	160
温水パイプ	装置直上	15.5	18.8	25.3
	舗装表面	0.5	0.7	0.3
電熱線	装置直上	8.9	27.9	29.5
	舗装表面	0.3	0.2	0.8

(単位:  $^{\circ}\text{C}$ )

表-3 埋設深さが異なる場合の熱伝導率

埋設深さ (mm)	熱伝導率 ( $\text{W/m}\cdot\text{K}$ )	
	温水パイプ	電熱線
50	0.33	0.38
100	0.41	0.23
160	0.43	0.38

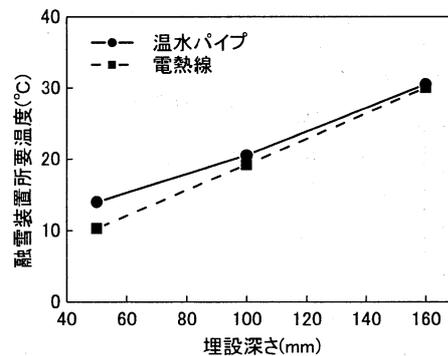


図-4 逆解析熱伝導率 (平均値) に基づく融雪装置の所要温度

いものとした。解析を行う際に必要となる舗装表面の熱伝達係数については、様々な計算方法があるが、ここではユルゲスによる(1)式を用いた。室内試験のため平均風速は $0\text{m/s}$ となることから、舗装表面の熱伝達係数は $6.2\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ となる。

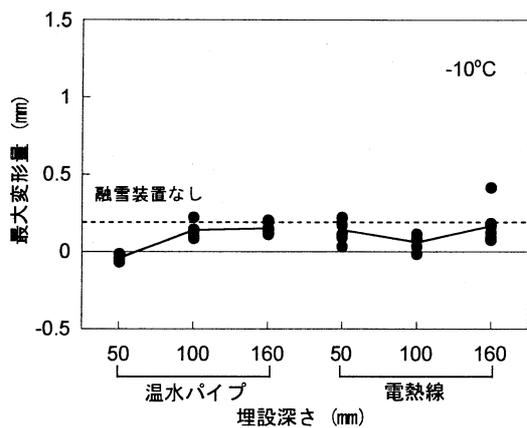
$$\alpha_c = 4.2v + 6.2 \quad (1)$$

ここに、 $\alpha_c$ : 熱伝達係数( $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ ),

$v$ : 平均風速( $\text{m/s}$ ).

入力となる温度データについては、表-2に示したものをを用いた。解析では、まずこの表に示した融雪装置の温度をその位置に相当する節点に温度として入力し、熱伝導率を種々に仮定して計算を繰り返し、舗装表面温度がこの表に示した温度になるときのものを熱伝導率として同定した。このときの舗装表面温度としては、融雪装置の中間地点の直上、すなわち供試体表面の中央地点のものをを用いた。得られた熱伝導率を表-3に示した。表-2に示した実測値からもわかるように、装置埋設深さと装置直上温度の相関があまり良好とはいえないことから、この表に示した逆解析による熱伝導率は必ずしも同一とはならない結果となった。

この表に示す熱伝導率の平均値を使用して、舗装表面



a) 雰囲気温度-10°C

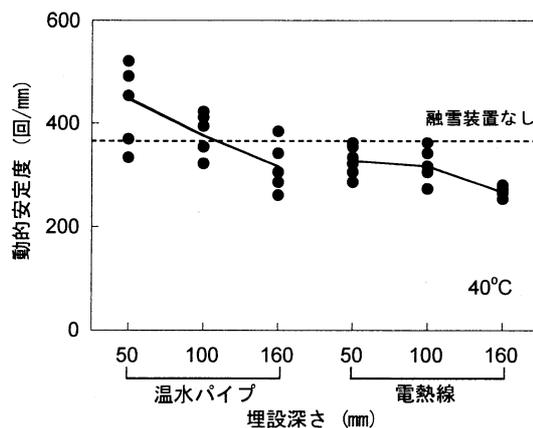
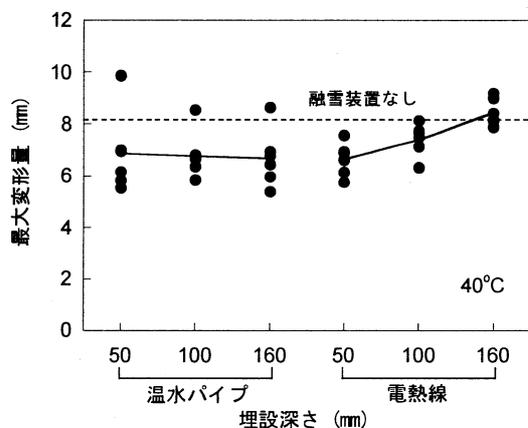


図-6 融雪装置を導入した供試体の動的安定度



b) 雰囲気温度40°C

図-5 融雪装置を導入した供試体の最大変形量

温度を1°Cにするために必要となる融雪装置の温度を、上記と同様の定常電熱解析により求めた。その結果を図-4に示す。これにより、融雪装置の埋設深さを任意の位置とした場合に必要となる温度が求められる。

## (2) 融雪装置が舗装の力学的挙動に及ぼす影響

融雪装置を埋設した供試体に繰返し走行載荷を実施した場合の力学的挙動について、それを導入しない場合と比較することにより検討した。

走行載荷試験終了時の車輪走行位置における最大変形量を図-5にまとめた(雰囲気温度-10°Cと40°Cの場合)。いずれの温度条件においても、融雪装置を導入した場合の最大変形量は、導入しない場合に比較すると若干小さくなっていることがわかる。

図-6には雰囲気温度40°Cのときの動的安定度を示した。この場合の動的安定度は、通常のホイールトラッキング試験での動的安定度算定時に使用するものと同じ走行回数における変形量を使用して算定した。温水パイプ方式、電熱線方式とも、融雪装置の埋設位置が深いほど動的安定度が小さくなる傾向がみられる。また、電熱線方式の

場合には、これを設けない場合に比べて動的安定度が1割程度小さくなっていることもわかる。

このように、いずれの指標においても融雪装置の設置による影響はほとんどみられていない。なお、ひび割れに関してはいずれの場合も発生が認められていない。

## 4. 実大規模試験の方法

融雪装置を埋設した舗装に繰返し走行載荷を行い、融雪装置を設けていない通常の舗装の場合との力学的挙動の違いを調べた。

### (1) 試験舗装の構成

#### a) 試験舗装の構造

試験舗装は国土技術政策総合研究所の原型載荷実験槽に製作した。これは、その平面図を図-7に示すように、A~Dの4区画から構成されており、各区画とも幅4m、長さ8.25mの大きさとなっている。このうち、C、D区画には融雪装置を埋設した(C区画には温水パイプを、D区画には電熱線を埋設)。これらの比較対象となる融雪装置を埋設していない通常の場合はA区画である。なお、B区画は、本研究の対象とはならないことから、以下では言及しない。

試験舗装の構造は図-8に示すとおりである。各区画とも、上層路盤には15cm厚のアスファルト安定処理材、下層路盤には75cm厚の砕石を用いた。表層には密粒度アスファルトコンクリート(5cm厚)を、基層には粗粒度アスファルトコンクリート(厚さは上層5cm、下層6cm)を用いた。

融雪装置としては、上記のように、C区画には温水パイプ、D区画には電熱線を用い、いずれも、上層路盤、基層下層、基層上層施工後に設置した。すなわち、舗装表面から融雪装置底面までの深さは50、100、160mmである。

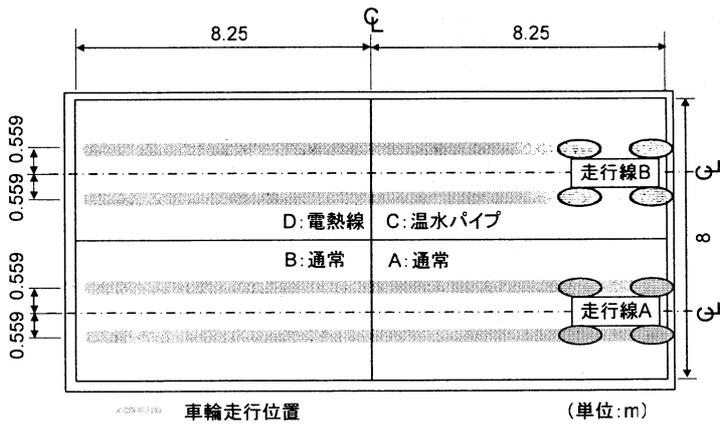


図-7 試験舗装の平面図

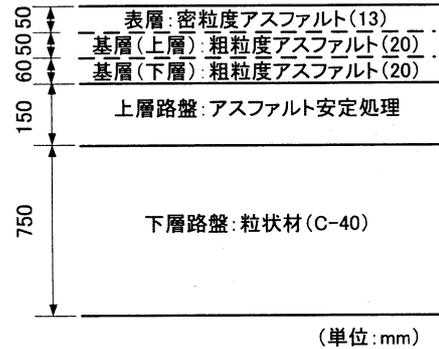


図-8 試験舗装の構成

## b) 材料

表層ならびに基層アスファルトコンクリートは、共通仕様書の規格を満たすものを使用した。この場合のマーシャル試験に対する規格値は共通仕様書記載の基本施設①表層と③基層である。アスファルトとしてはストレートアスファルト60/80を使用した。

上層路盤のアスファルト安定処理材は、共通仕様書記載の規格である基本施設タイプAを満足するものである。下層路盤の碎石は、共通仕様書の規格を満たす下層路盤材料のタイプAのものを使用した。

融雪装置として使用したものは、室内試験に用いたものと同様である。ただし、後述する載荷試験中には通水もしくは通電はしていない。

## (2) 載荷試験

試験舗装に対して航空機荷重による繰返し走行載荷を行った。試験前ならびに所定の走行回数時には静的載荷試験とFWD載荷試験を実施した。なお、一連の試験は1月から5月にかけて行われ、その間に舗装の表面温度はおおよそ11°Cから23°Cへと増加している(載荷試験時)。

### a) 走行試験

原型載荷実験槽に備え付けられた自走式走行載荷試験装置を用いて、試験舗装に対して繰返し走行載荷試験を行った。自走式走行載荷装置は、B747型航空機の主脚と同等のもので、荷重は910kNである。走行速度は5km/hである。

走行位置は図-7に示すように、A-B区画上の走行線Aと、C-D区画上の走行線Bの2箇所である。それぞれの走行線上で自走式走行載荷試験装置を10,000回まで走行させた。

この繰返し走行は、2つの走行線上で所定の回数を交互に実施することにより行った。具体的には、走行線Aにおいて所定回数まで走行させた後に、走行線Bにおいて同様に走行させ、静的載荷試験、FWD載荷試験ならびに表面形状測定を実施するというものである。

## b) 静的載荷試験

静的載荷試験は自走式走行載荷試験装置を用いて行った。具体的には、舗装表面に直径400mmの載荷板を硬質ゴムを介して置き、自走式走行載荷試験装置により舗装表面に段階的に静的荷重を加えていきながら、たわみを計測した。このときの最大荷重は等価単車輪荷重の282kNである。

## c) FWD載荷試験

FWDを用いた試験は、最大衝撃荷重を200kNとして、所定の走行回数時に実施した(載荷板直径450mm)。この場合の変位は0, 30, 45, 60, 90, 150, 250cmの7点で測定した。

## d) 表面形状・層厚測定

舗装の表面形状は、デジタルプロファイルメータにより横断方向に測定した(測定間隔1cm)。これは1区画あたり3測線で行った。また、10,000回の繰返し走行載荷終了後には、舗装を解体して各層の厚さを測定した。

## 5. 実大規模試験の結果

融雪装置を埋設した試験舗装に対して実施した、静的載荷試験、FWD載荷試験、走行試験の結果についてまとめた。また、融雪装置の耐荷性について有限要素解析により検討した。

### (1) 静的載荷試験

繰返し走行載荷の進行につれて最大たわみが変化する状況を図-9に示した(荷重282kN)。融雪装置の埋設位置による違いが若干みられ、温水パイプでは基層160mmの場合、電熱線では基層100mmの場合でたわみが大きくなるのがわかる。しかし、全体的にみれば、たわみの大きさと融雪装置の埋設深さとの間には明確な関連があるとまではいえない。

### (2) FWD載荷試験

FWD載荷試験により得られた載荷板中心のたわみ(最

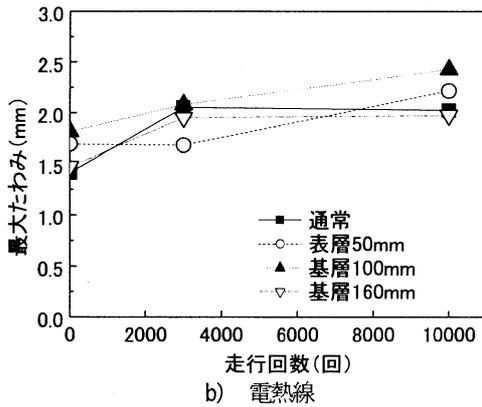
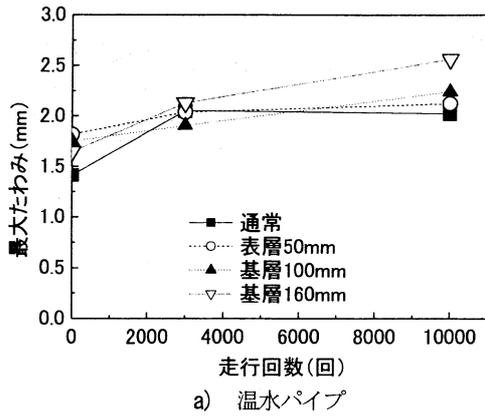


図-9 静的載荷試験における最大たわみ

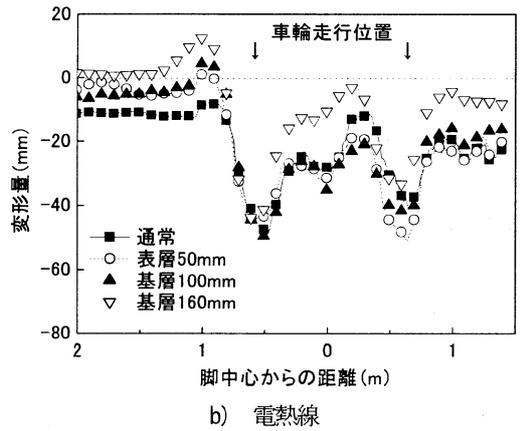
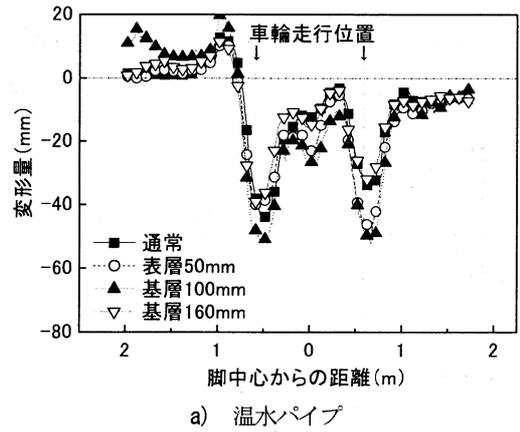


図-11 走行回数5,000回時の横断方向表面形状

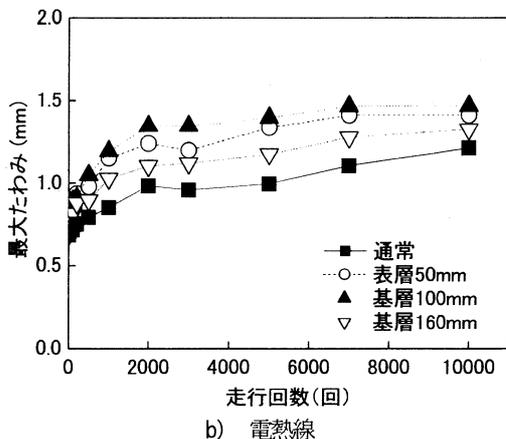
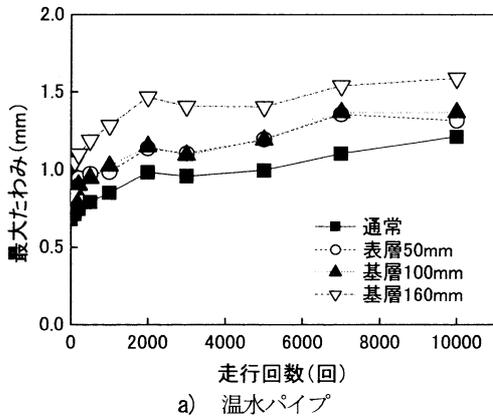


図-10 FWD載荷試験における最大たわみ

大たわみ)を図-10に示す。全体的にみれば、融雪装置を設置しているほうが通常舗装に比べて大きな値を示す傾向にあることが明らかである。また、埋設深さによる違いをみれば、静的載荷試験と同様に、温水パイプでは基層160mmの場合が、電熱線では基層100mmの場合が最も大きくなっていることがわかる。この最大たわみについては、温水パイプ、電熱線といった、融雪装置による違いは明確ではなく、融雪装置の埋設深さとの関係も明らかではない。

### (3) 走行試験

#### a) 表面形状

走行回数5,000回時の横断方向の表面形状について融雪装置の埋設深さによる違いをみたものが図-11である。左右の車輪位置におけるものを総合して考えると、融雪装置の有無や融雪装置の埋設深さの違いによる影響は明らかではない。

#### b) 解体調査による厚さの確認

一連の走行試験終了後に舗装を解体して、各層の厚さを測定した。走行載荷の影響は舗装表面に近いほど大きく、表層の変形が著しいことが認められた。したがって、融雪装置を舗装表面に近い深さに埋設することは、航空機の繰返し走行に起因する融雪装置自体の変形の点から

表-4 力学特性値

層・材料	弾性係数 (MPa)		ポアソン比
	冬期	夏期	
表・基層	5,000	300	0.3
下層路盤	1,500	1,500	0.3
下層路盤	300	300	0.3
路床	40	40	0.3
温水パイプ	785	785	0.3
電熱線	3.25	3.25	0.3

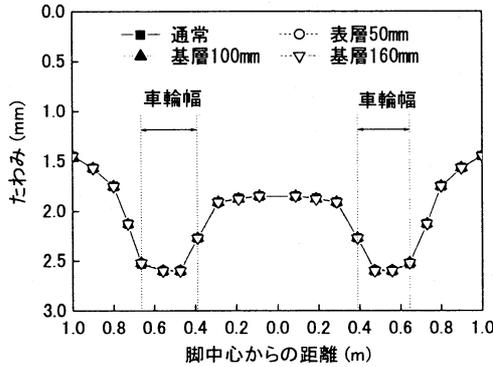


図-12 車輪中心位置における横断方向たわみ分布

は望ましくはないことになろう。

(4) 融雪装置の耐荷性に関する有限要素解析

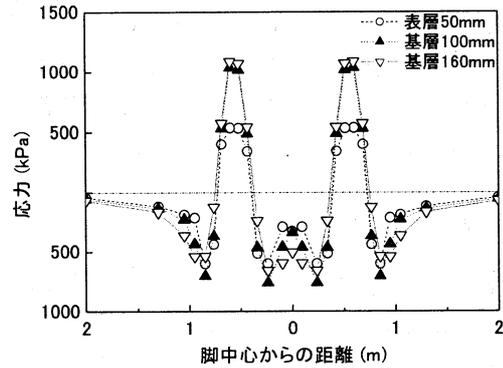
融雪装置を埋設した舗装に航空機荷重が载荷された場合に融雪装置に生ずる応力について、三次元有限要素法 (NASTRAN)を用いて解析した。

a) 解析方法

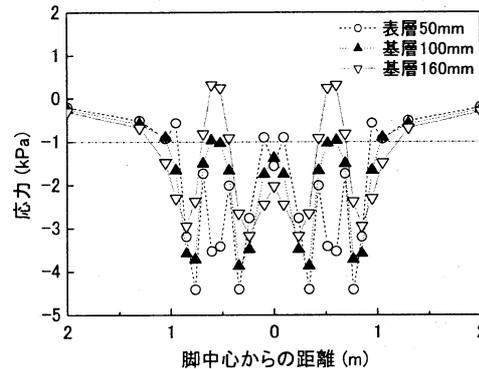
解析に用いた舗装モデルの寸法は、幅10m、長さ15m、厚さ6mであり、舗装構成は、試験舗装と同様のものである。融雪装置の埋設深さについても同様である。温水パイプと電熱線については矩形のものとし、辺長はそれぞれ、17mm、9mmとした。

解析に用いた材料の力学特性値は、表-4に示すとおりである。これは、融雪装置が埋設されていない通常舗装でのFWD载荷試験の結果を逆解析することによって得られたものである。表・基層については夏期、冬期の温度を想定して設定した。また、温水パイプについてはメーカーのカタログを、電熱線はその材質をゴムとみなして理科年表を使用して算定した。

このモデル上にB747-400 (満載時) が載った場合の舗装ならびに融雪装置の挙動について解析した。荷重は接地圧1.38MPa、接地面積1,632cm<sup>2</sup> (幅32cm、長さ48cm)のものが4個である。横断方向に埋設された融雪装置の真上に車輪が2個載る場合を解析した。具体的には、舗装表面のたわみ、アスファルトコンクリート層下面の水平応力、融雪装置に生ずる応力 (装置底面の水平応力) を計算した。



a) 温水パイプ



b) 電熱線

図-13 融雪装置の応力

b) 解析結果と考察

i) 舗装

たわみ形状は、温水パイプを埋設した舗装の夏期におけるものを図-12に例示するように、融雪装置の埋設深さの違いのみならず、装置の有無によってもほとんど変化していないことがわかる。これには温水パイプ、電熱線といった違いは見られない。

また、アスファルトコンクリート層下面に発生する最大水平応力も、たわみと同様に、融雪装置の有無による違いはほとんど見られない。

ii) 融雪装置

融雪装置に発生する応力について図-13にまとめた (夏期)。この場合、温水パイプの荷重中心付近では、どの埋設深度であっても引張応力が発生し、埋設位置が深くなるにつれてその値も大きくなっている。一方、電熱線の場合には、全体的に圧縮応力が発生していることがわかる。この圧縮応力は、埋設位置が深くなるにつれて小さくなっていき、基層160mmの場合の荷重中心付近では引張に転じている。これに対して、冬期の場合には、温水パイプ、電熱線ともに埋設深度が深くなるにつれて引張応力が大きくなっている傾向が見られるものの、その値は夏期の場合の1/10程度にすぎないことがわかっている。

夏期，冬期によらず，弾性係数の違いから電熱線より温水パイプのほうが大きな値を示しているが，これらの応力はいずれも破断応力よりも小さいことが確認された。このことから，航空機荷重が加わっても融雪装置が破壊する危険性はほとんどないものと考えられる。

## 6. まとめ

融雪装置を導入したアスファルト舗装の空港基本施設への適用性に関する一連の試験研究結果は，以下のようによまとめられる。

### (1) 室内試験

- a) 融雪装置の種類の違いにより装置自体ならびに舗装表面温度が定常状態になるまでの時間に大きな差があり，電熱線のほうが長時間を有する。
  - b) 実測データから熱伝導解析によりアスファルトコンクリートの熱伝導率を逆算した。この値を使用して熱伝導解析を適切に行うことにより，融雪装置の種類，埋設深さが異なる場合の融雪装置の必要温度が推定できる。
  - c) 融雪装置を導入することがアスファルトコンクリートの変形や動的安定度に及ぼす影響は，ほとんどないか，もしくはわずかである。
- ### (2) 試験舗装
- a) 荷重に対する弾性応答であるたわみは，融雪装置を導入することにより若干大きなものとなる。しかし，温水パイプ，電熱線といった融雪装置による違いは明確ではなく，また融雪装置の埋設深さによる違いも明確ではない。
  - b) 航空機荷重の繰返し走行による舗装表面形状の変化は，融雪装置を導入することによっても大きく異なるような傾向はみられない。
  - c) 10,000回の繰返し走行載荷後における舗装各層の累積変形量は，表面に近い層ほど著しい。
  - d) 航空機荷重が加わった場合に融雪装置に生ずる応力は

破壊応力に対して十分小さいことが三次元有限要素解析により認められた。

以上のことから，融雪装置の空港アスファルト舗装への導入については十分可能であるとまとめられる。

## 7. おわりに

本文で示した一連の試験のうち，試験舗装に対する載荷試験の結果は，気温が比較的高い状況下で実施されたことから，実際の使用状況下の場合と比較すると，累積変形の点では厳しいものとなったことが懸念される（特に，融雪装置を浅い位置に埋設した場合）。このような点も含め，今後は，実際の空港での実施検証といったものを経て，融雪装置の実用化を図って行くこととしたい。

また，融雪装置導入には多額の費用を必要とすることから，道路での検討事例等<sup>5) 6) 7)</sup>も参考にして，融雪装置の低費用化や融雪装置と除雪作業の併用化といった点についても検討し，合理的な冬期航空輸送の安定化方策について研究を進めていく所存である。

## 参考文献

- 1) 国土交通省航空局（監）：空港土木施設設計基準，（財）港湾空港建設サービスセンター，2001。
- 2) （社）雪センター：凍結抑制舗装資料，72p.，1997。
- 3) （社）雪センター：冬期路面対策事例集，318p.，1997。
- 4) 国土交通省航空局（監）：空港土木工事共通仕様書（平成16年度版），（財）港湾空港建設サービスセンター，2004。
- 5) 布施浩司，岳本秀人，早坂保則：省エネルギー型ロードヒーティングの性能評価試験，北海道開発土木研究所月報No.594，pp.24-31，2002。
- 6) 植野英睦，岳本秀人，石田 樹：冬期バリアフリー整備計画策定に資する基礎調査ーロードヒーティング施設整備の評価ー，北海道開発土木研究所月報，No.622，pp.45-51，2005。
- 7) Lund, J. W.: Pavement Snow Melting, GHC Bulletin, pp.12-19, 2000。

## BEARING CAPACITY OF AIRPORT ASPHALT PAVEMENTS WITH EMBEDDED SNOW-MELTING EQUIPMENTS

Yoshitaka HACHIYA, Toru ESAKI, Kazuhiro MATSUZAKI, Yukitomo TSUBOKAWA and Junichi MIZUKAMI

A series of research works on an introduction of snow-melting equipments to airport asphalt pavements were conducted to prevent air traffic disturbance due to snow and ice. The laboratory tests show that the snow-melting equipments do not affect the deformation and dynamic stability of the asphalt concrete layers. The loading tests on the experimental pavements having snow-melting equipment show that the deflection and rutting of pavements are scarcely influenced with the type and installation depth of snow-melting equipments. Although the accumulated deformation of layers increases as the depth becomes shallow, 3-D finite element analysis shows that the stress of snow-melting equipments caused by aircraft load is sufficiently small against the strength. It is concluded from the above that the snow-melting equipments might be installed successfully to airport asphalt pavements.