

V-30 空港ショルダー舗装の断熱工法による凍上対策

ダウ化工技術開発本部 佐野 修
 北海学園大学工学部 武市 靖
 開発局土木試験所 久保 宏

1. はじめに

寒冷地の舗装道路は凍上対策が必要であり、アスファルト舗装が大半を占める空港でも同様である。空港舗装での一般的な凍上対策は、切込砕石、切込砂利、あるいは砂、火山灰のような凍上を起こしにくい粒状材料により凍上性路床土を置換する、いわゆる置換工法である¹⁾。

ショルダー部は、通常航空機が走行する区域ではないため経済断面で設計され、凍上対策上不利な薄い断面となっている。帯広空港ではこのショルダー部にクラックが発生し、対策が検討されてきた。

ここでは、帯広空港におけるショルダー部の断熱材による凍上対策試験施工の調査結果を報告する。本試験は滑走路の嵩上げにともない、従来クラックが発生していたショルダー部改修工法の凍上対策効果確認のために実施されたものである。

2. 断熱材の厚さ、施工位置

ショルダー部は滑走路と芝生帯の中間に位置し、10mの幅で滑走路の両側を走るアスファルト舗装

部分である。断面は滑走路側で基準置換厚さ、端部は基準置換深さの50%の厚さであり、断面深さの両端部間の差は47cmである。(図-1)

改修工事では、掘削深さが浅いほうが経済的にも施工的にも有利であるが、断熱材の強度の面からは深いほうがよい。検討の結果、舗装仕上面から30cmの深さに断熱材を施工した。使用した断熱材は押し出し発泡ポリスチレン板で、発泡プラスチック断熱材のなかでは吸水しにくく耐圧強度に優れた材料である²⁾。経験的にも、またこの試験に先立って行われた現場強度試験においても、埋設した断熱材の上に砂利20cm、砂5cmのかぶりがあれば、20tダンパーの走行に耐えることがわかっている。従って、通常の除雪車の走行荷重には十分耐えると考えられる。

また、断熱材の厚さは修正Berggrenの式により凍結深さを計算し、土木用25mmの厚さの断熱材を使用した。図-1に断熱材を用いた断熱工法断面(以下断熱断面と呼ぶ)と、比較のために施工した砂工法断面(以下砂断面と呼ぶ)を示す。

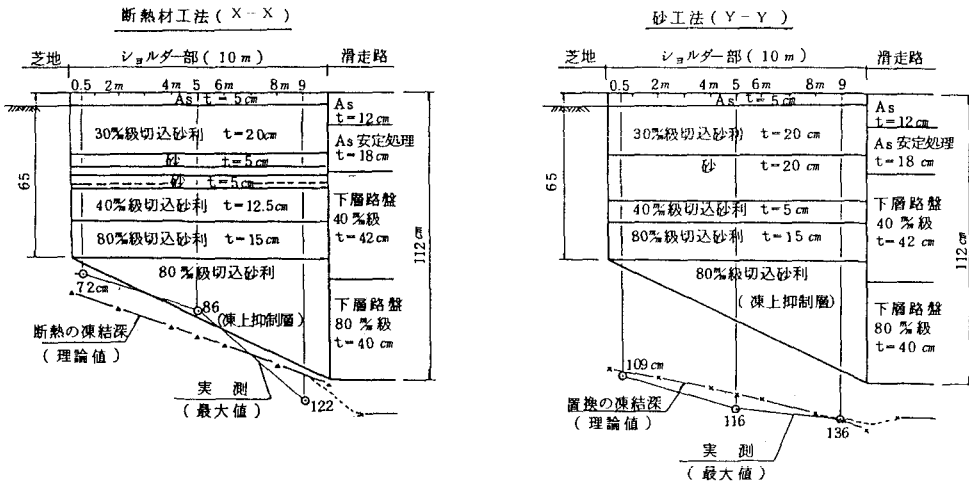


図-1 試験舗装断面

3. 観測結果及び考察

観測は昭和59年11月から昭和60年3月まで凍上量と凍結深さを上記2種類の断面について実施した。また、断熱材も砂も使用していない既存断面について凍上量のみ観測した。凍結深さの観測はメチレンブルー凍結深度計を使用した。図-2に各観測項目の測定位置を示す。

(1) 凍結指数

このシーズンの凍結指数は960℃days(帯広空港候所観測データより計算)であった。この年は1973年から1982年までの帯広の凍結指数を示した表-1より、帯広空港としてはほぼ平年並みであったといえる。表-2に各空港の最大凍結指数を示す。

(2) 凍上量、凍結深さ

図-3に断熱断面、砂断面のセンター(X-X及びY-Y断面)での凍上量、凍結深さの観測結果を示した。図-4は既存断面の凍上量である。

凍上量は、断熱断面(D₂-1~D₂-5)が4~15mm、砂断面(S₂-1~S₂-5)が30~60mm、既存断面(D₄-1~D₄-5)が20~50mmの範囲に分布しており、断熱断面の凍上量は小さい。凍結深さも同様の傾向であり、ショルダー中央での観測結果は断熱断面で最大86cm(B点)、砂断面で最大116cm(E点)であった。いずれも断熱材による断熱効果が大いことを示している。

砂断面の凍上量は置換厚が小さいほど(芝生に近いほど)大きくなる傾向を示しているが、断熱断面

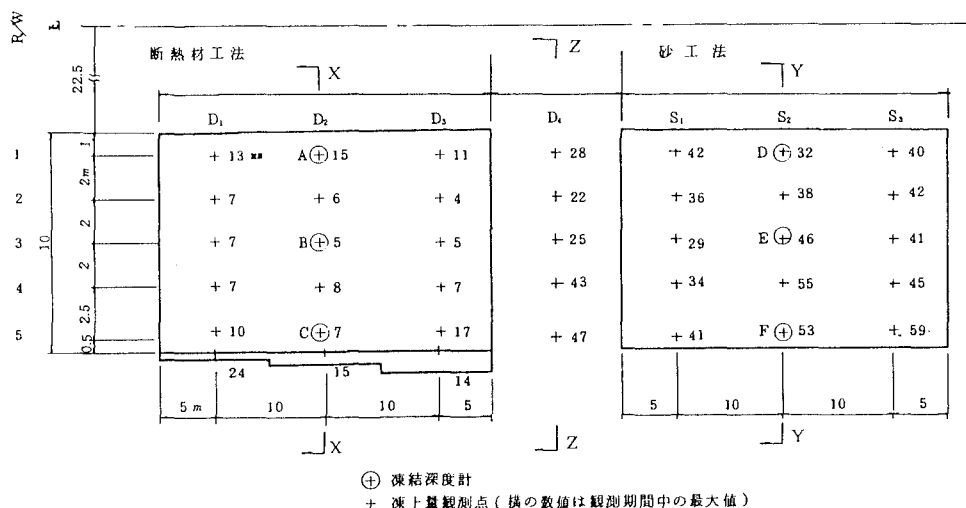


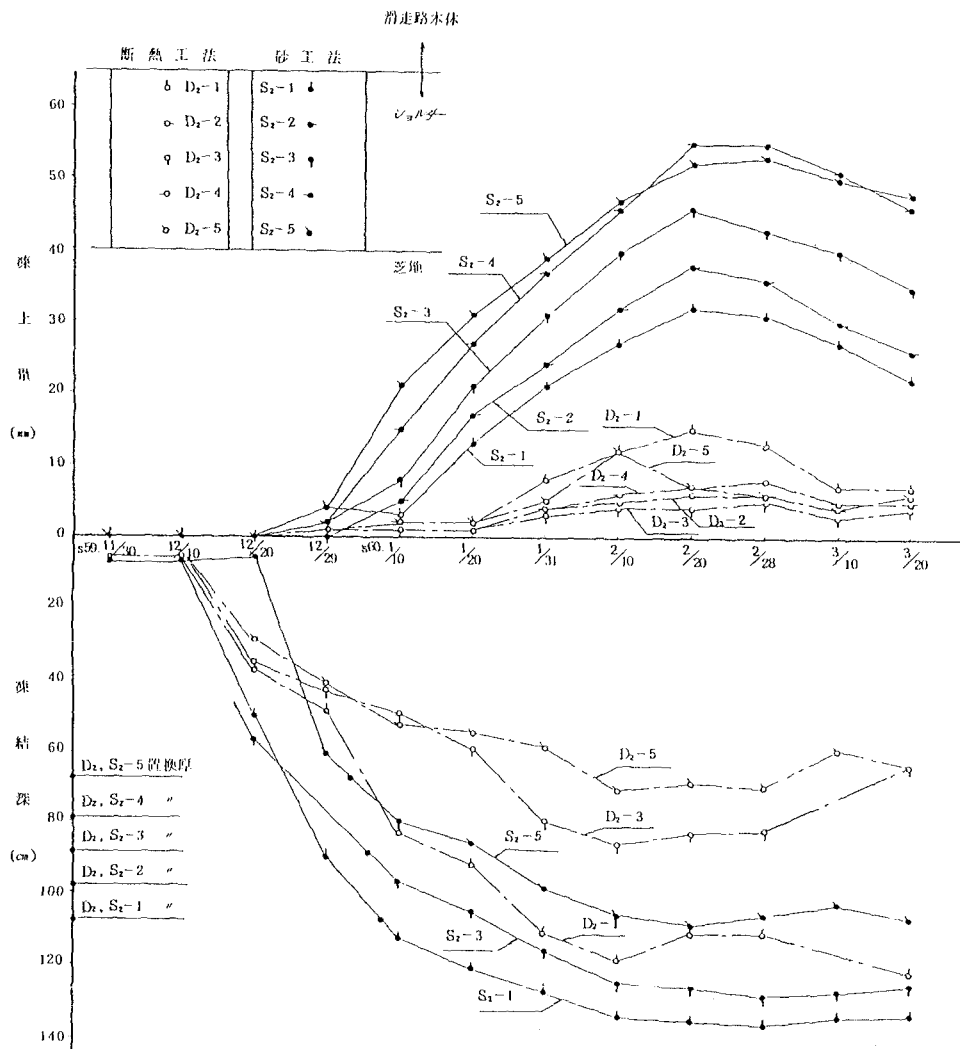
図-2 観測点位置

表-1 帯広における最大凍結指数
(1973~1982)

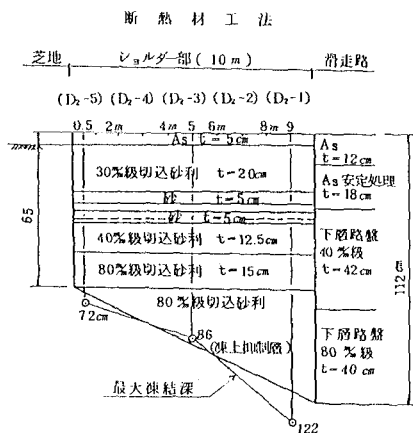
年(昭和)	凍結指数(℃・days)
1973(48)	679.6
1974(49)	1,045.5
1975(50)	862.3
1976(51)	1,222.4
1977(52)	1,007.7
1978(53)	815.8
1979(54)	927.8
1980(55)	933.3
1981(56)	1,052.5
1982(57)	932.4

表-2 寒冷地各空港最大凍結指数
(1960~1970)

空港名	凍結指数(℃・days)	空港名	凍結指数(℃・days)
稚内	690	千歳	856
利尻		函館	409
旭川	867	青森	196
紋別	777	三沢	166
女満別	1,066	八戸	247
中標津	1,067	新秋田	200
帯広	952	花巻	160
釧路	676	山形	161
丘珠	493	松本	222



凍結深 (最大値)



置換厚

D₂ or S₂

1. 107.4 cm
2. 97.9 cm
3. 88.6 cm
4. 79.1 cm
5. 67.4 cm

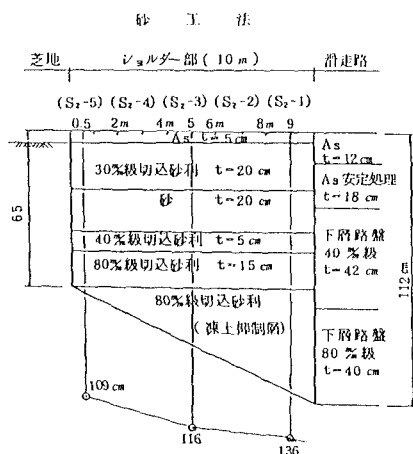


図-3 測点D₂とS₂方向の経時変化

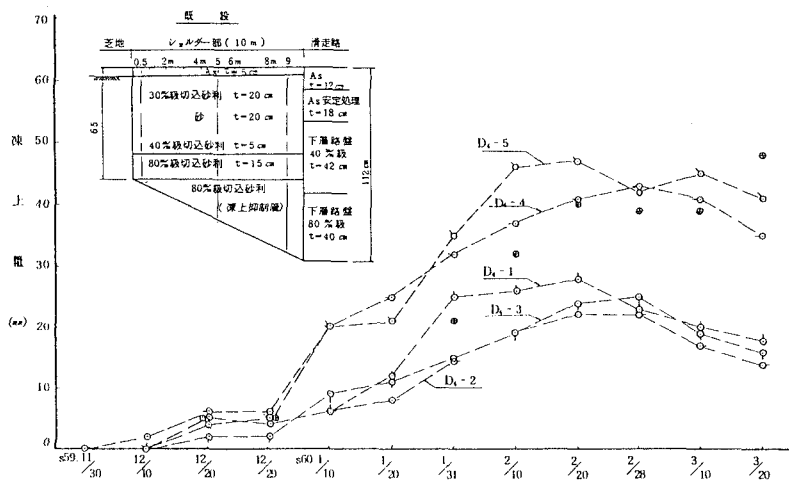


図-4 測点D₄方向(既設断面)の経時変化

の場合には凍上量が小さいためその傾向は明確ではない。

断熱断面、砂断面ともに置換厚が大きくなるにつれて凍結も深くまで入っている。このことは、切込砂利層が凍結の侵入を受け易く、路床は凍結の侵入を受けにくいことを示している。路床は熱伝導が小さいことと、砂利よりも水分を多く含んでいるため水分凍結時の潜熱の発生が多くなり、凍結が入りにくい³⁾。

砂断面の場合、置換厚が小さい測点ほど凍上量の増加割合が大きく、増加が著しくなる時期も早くなっている。このことは、凍上量が路床内凍結深さに影響されていることを示している。

断熱断面では、滑走路との隣接部分(D₂₋₁)が滑走路本体の影響を受けて、凍結が深く侵入している。そのため、置換厚が大きいかにかかわらず他の測点よりも凍上量は大きくなっている。

(3) 凍上量と路床内凍結深さの関係

凍結が路床内に侵入している32個のデータについて、凍上量と路床内凍結深さの相関を直線回帰により計算した。

$$F(Y) = 1.10884 \times F(X) + 2.53241$$

F(Y):凍上量(mm)、F(X):路床内凍結深さ(cm)
R(相関係数)は0.9216で、良好な相関が得られた。図-5に両者の関係を示す。

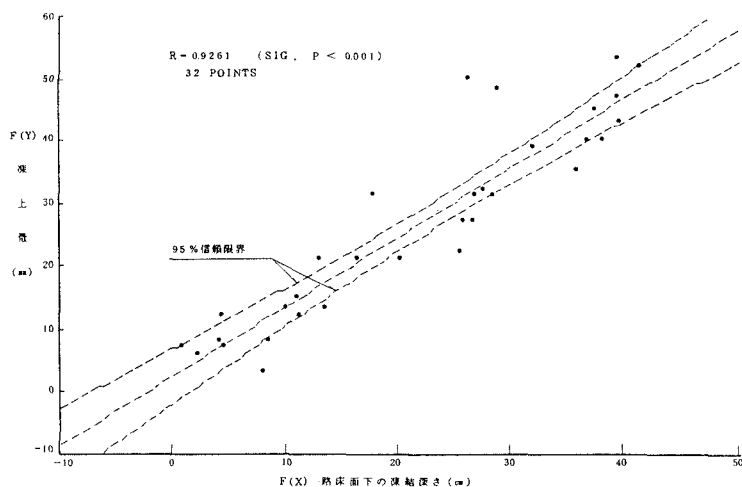


図-5 凍上量と路床内凍結深の関係

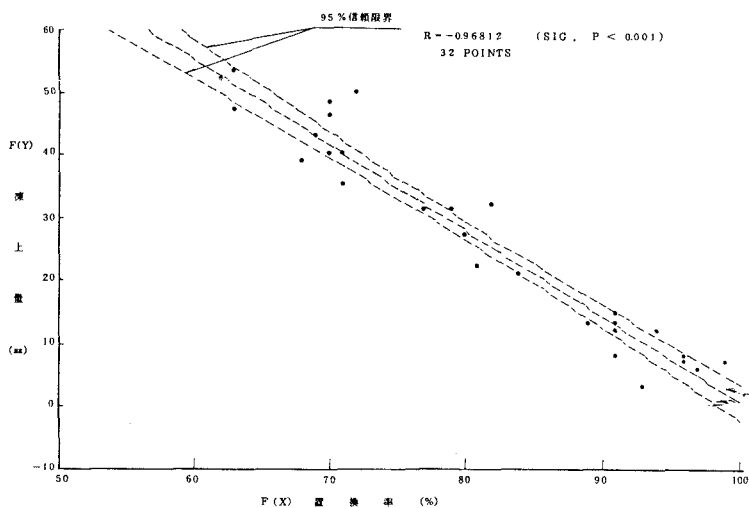


図-6 凍上量と置換率の関係

(4) 凍上量と置換率の関係

図-6は凍上量と置換率(100×置換厚/凍結深さ)の関係を示したものであるが、アスファルト舗装設計で一般的に用いられている80%置換では凍上量は25～30mmの範囲に止まっている。32個のデータについて凍上量と置換率の相関をとると次式が得られた。

$$F(Y) = -1.36126 \times F(X) + 136.955$$

F(Y):凍上量(mm)、F(X):置換率(%)

Rは-0.96812で、良好な相関が得られた。

(3)、(4)の相関は特に砂断面で明確であった。

4. 強度評価

昭和60年5月にFWD(フォリング・ウェイト・デフレクトメータ)によるたわみ測定を実施し、そのデータと層構造弾性理論解析を組み合わせる断面の強度評価を行った。図-7にFWDのシステムを示す⁴⁾。

ショルダー表面でのたわみは断熱断面、砂断面各12点ずつ、合計24点測定した。各データは载荷中心及び中心から300mm、750mm離れた位置のたわみ測定値3組から構成される。

実測たわみデータより路床弾性係数は720kgf/cm²、路盤の弾性係数は750kgf/cm²と推定された。これらの条件から図-8の断面における5t輪荷重に対する強度を推定した。

結果は表-3の通りである。この結果から断熱断面について次のことがいえる。

- ・アスファルトの疲労破壊回数はおよそ6万回
- ・断熱材上面に発生する応力は断熱材の圧縮強度の1/3以下
- ・路床の支持力に問題なし

以上の結果より、断熱断面は5t輪荷重を有する除雪車3万台の走行に耐えられると推定された。

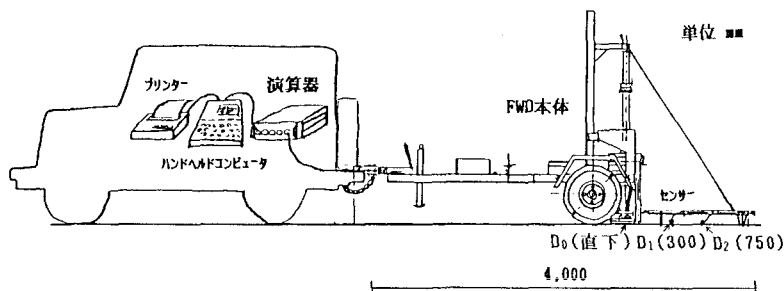


図-7 FWDによるたわみ測定システム

〔計算条件〕

輪荷重：5 t 走行速度：60 km/h
 接地半径：17 cm アスファルト層温度：0℃
 H：層の厚さcm E：弾性係数kgf/cm²

断熱断面		砂断面	
アスファルト層 H1=5, E1=100,000		アスファルト層 H1=4, E1=100,000	
路 盤	H2=25, E2=750	路 盤	H2=83.5, E2=750
断熱材	H3=2.5, E3=120		
路 盤	H4=56, E4=750		
路 床	E5=720	路 床	E3=720

図－8 解析舗装断面

表－3 層構造解析結果

	断熱断面	砂断面
路面たわみ	1.33 mm	1.23 mm
アスファルト層 下面のひずみ	460×10^{-6}	441×10^{-6}
断熱材上面に 作用する応力	0.96 kgf/cm ²	—
路床上面に 作用する応力	0.24 kgf/cm ²	0.23 kgf/cm ²
路床に生じる 垂直ひずみ	347×10^{-6}	331×10^{-6}

5. 結論

本報告で明らかになった事項は次の通りである。

- ・断熱工法は凍上量が砂工法の1/4程度で、凍上対策工法としての効果が十分に発揮されている。
- ・断熱工法は凍上の抑制効果が大いだが、滑走路側では凍結のまわり込みの影響を受けて凍上量、凍結深が大きくなる。
- ・凍上量と路床内凍結深さのあいだに正の相関、凍上量と置換率の間に負の相関が明確にみられ、特に砂工法に顕著である。
- ・道路の構造評価の手法を用いて強度評価を試み、除雪車の走行は問題ないと推定された。

むすび

断熱材を用いた凍上対策は過去20年以上の実績があり、もはや珍しい工法ではない。しかし、空港という特殊な施設の一部に実用化されたのは海外では例があるが日本では初めてである。本試験により空港施設の中でも簡易な構造で設計されるショルダ一部では、断熱工法が有効であることが明らかとなった。特に改修という制約された条件下では断熱工法は凍上対策として有利と考えられる。

最後に、本試験の準備、観測、まとめ等に多大な便宜をはかっていただいた帯広市及び同市空港建設課の皆さんに感謝の意を表します。また、FWD測

定、解析にご協力いただいた北海道工業大学の笠原教授及び学生諸君に謝意を表します。

参考文献

- 1) 運輸省航空局編：空港アスファルト舗装構造設計要領、1976
- 2) 滝沢勇一、斎藤幸俊、久保宏：断熱材工法に関する現場試験について、第16回北海道開発局技術研究発表会論文集、昭和48年10月
- 3) 土質工学会編：土の凍結～その制御と応用～昭和57年10月
- 4) 笠原篤、佐野修：断熱工法におけるアスファルト舗装の構造評価、土木学会北海道支部論文報告集、第41号、昭和60年2月