

# 廃棄ビニルシートの道路等の凍上防止路盤材への活用に関する研究

久保宏<sup>1</sup>・伊藤智明<sup>2</sup>

<sup>1</sup>フェロー会員 工博 北海学園大学工学部土木工学科教授（〒札幌市中央区南26条西11丁目1-1）

<sup>2</sup>学生会員 北海学園大学大学院工学研究科建設工学専攻（〒札幌市中央区南26条西11丁目1-1）

現在、農業用塩化ビニルシートが焼却によるダイオキシンの発生でその処理方法が問題となっている。そのため、早急に塩化ビニルシートの新たな処理方法の開発が必要となった。また、北海道では凍上対策に使用される良質な砂利、碎石等が枯渇化傾向にあり、新たな代替材料の開発が望まれている。

本研究では、廃棄物処理が困難な使用済み塩化ビニルシートを凍上対策路盤材としてのリサイクル利用と凍上対策用置換材料の枯渇化への対策、この2つの社会的問題を同時に解決することを目的として、使用済み塩化ビニルシートから作成したリサイクル材料を用いて、室内試験及び野外試験においてその適用性について検討を行った。

*Key Words: Waste Vinyl sheet, Frost-heave Preventive Materials, Recycle*

## 1. はじめに

現在、農業用の温室ビニルハウスに使用されているポリ塩化ビニルが大量に投棄され、その処理が問題となっている。主に、水稲、メロン、スイカ等の栽培施設で使用されている塩化ビニルシートは、日射透過率の減少や風などによる破損のため2年に1回の割合で交換し廃棄に至っているのが現状である。北海道における農林業での廃棄プラスチックの年間排出量は、平成7年で総排出量2万トンに対し塩化ビニルは約1万トンと全体のおよそ半分を占めている。この塩化ビニルシートの年間排出量は地域によって異なるが、例えば空知管内の南部1町村だけでも500トン以上、メロン等の果菜類の栽培地帯では1000トン以上にもなっており、今後この種の廃棄量はますます増大するものと思われる。

廃棄物処理法が改正され、産業廃棄物特定施設整備法では農業用育苗施設で使用されている塩化ビニルシートを埋立による処理から、その特性を考慮した利用方法を考える必要性が生じている。また一方、

北海道では農業用の用排水路の裏込め材や道路などの凍上防止のための路盤材に用いられる置換材料としての良質な砂利、碎石等が枯渇化傾向にあり、その代替材料が求められている。なお、寒冷地における水路の裏込め材及び道路などの下層路盤、凍上抑制層を凍上防止路盤材と総称する。

本研究は、道路等の凍上防止路盤材として、廃棄物処理の困難な温室ハウス等の使用済み塩化ビニルシートから作成したリサイクル材料（廃ビペレット材と略称）の活用と道路路盤材としての置換材料の枯渇化への対応という、2つの社会的問題を同時解決することを目的としている。具体的には廃ビペレットの基礎的性質を室内試験によって確認するとともに、空知郡栗沢町の農道における野外試験でその凍上防止路盤材としての適用性を調査した<sup>1)~5)</sup>。

## 2. 廃ビペレットの製造方法

廃ビペレット材の具体的生産方法は、まず温室ハ

ウス等の使用済み塩化ビニルシートを回収して、大きく裁断する。次にこれらを水洗いし、表面に付着している土砂などを除去する。それらをさらに細かく切り刻んで、水洗いを繰り返し替えし、145℃程度まで加熱し、液体化させてペレット状に成形する。

また、野外試験において経験した、その層厚が大きくなれば転圧が不十分で締め固めにくいという転圧時の困難さの改善について、廃ビペレット表面の摩擦力の増大を図るため、フライアッシュ入り廃ビペレット（改良廃ビペレットと略称）を製造した。これは、ビニルを液体化させた段階で火力発電所からの副産物として得られる微粉末のフライアッシュを加えて、同様にペレット状に成形したものである。廃ビペレットの製造方法を図-1に示し、成形後の廃ビペレットを写真-1に示す。

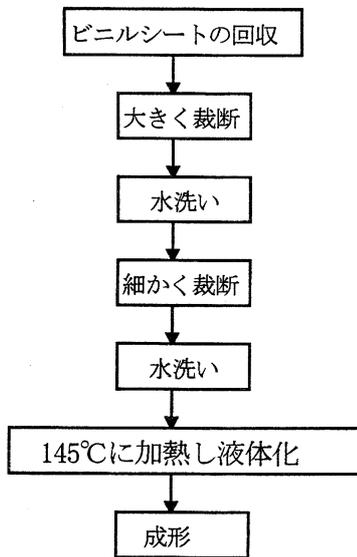


図-1 廃ビペレットの製造フロー

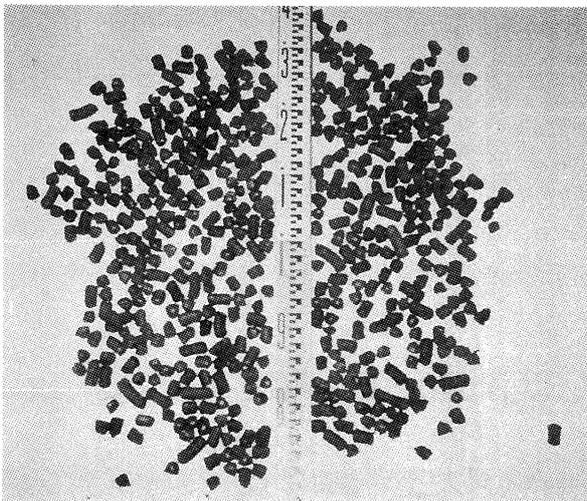


写真-1 廃ビペレット

### 3. 廃ビペレットの基礎的性質に関する室内実験

この廃ビペレットを道路等の凍上防止路盤材、水路裏込め材などに使用する場合に把握しておく必要がある性質としては粒度、比重、単位容積質量、熱伝導率、有害物溶出性、圧縮特性があげられる。本研究では、まずこれらの項目について室内試験を行った<sup>1)~5)</sup>。

#### (1) 粒度分布

ふるい分け試験の結果、廃ビペレットと改良廃ビペレットはともに最大粒径 30mm で粒径がほぼ 20mm 前後の均一な材料といえる。ただ製造過程が同じなのにも関わらず、粒径 20mm の通過質量百分率が廃ビペレットと改良廃ビペレットとで大きく違っているのは、これらの製造日が違うことからのばらつきと考えられるが、いずれにしても粒径 20mm 前後においてのみの差である。また、粒度分布における廃ビペレットの粗粒率は 7.7、改良廃ビペレットの粗粒率は 7.1 とこの試料においては若干ではあるが廃ビペレットの方が大きい粒径のものが多くなっている。廃ビペレットの粒度分布は図-2に示す通りである。

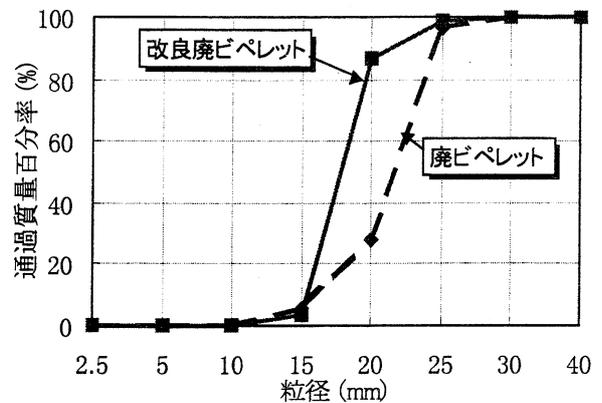


図-2 廃ビペレットの粒度分布

#### (2) 比重

北海道の道路の凍上防止路盤材として使用されている砂、碎石および廃ビペレットの比重及び吸水率の測定結果は表-1に示す通りである。廃ビペレットの比重は 1.21、改良廃ビペレットの比重は 1.26 とフライアッシュを混ぜ込んでいることで若干大きくなってはいるが、一般的な砂や砂利の 2.50~2.70 に比べ、廃ビペレット材はそれら材料の 1/2 程度の比重であることがわかる。また、吸水率についても

他の材料に比べ小さい値であることもわかる。

表-1 廃ビペレットの比重及び吸水率

材料の種類	比重	吸水率
砂	2.50～2.65	1.0～5.0%
砂利	2.55～2.70	0.5～3.5%
廃ビペレット	1.213	0.39%
改良廃ビペレット	1.262	0.91%

### (3) 単位容積質量

廃ビペレット材の単位容積質量はジッキング試験の要領で容器の各側を3回づつ交互に、全体で6回落下させて締め固めて測定した。廃ビペレットの単位容積質量は0.74 g/cm<sup>3</sup>、改良廃ビペレットのそれは0.78 g/cm<sup>3</sup>とこれもフライアッシュを混ぜ込んだことで若干大きな値となっている。一般的に使用されている砂利等の路盤材では1.5～1.9 g/cm<sup>3</sup>程度であり、廃ビペレット材はその約1/2程度の軽量な材料であることがわかる。

### (4) 有害物溶出性

廃ビペレット材を長期間使用したときの有害物の溶出が懸念された。これについて土木学会基準「コンクリートの凍結融解試験方法」に従い、ゴム製袋に廃ビペレットを入れて水道水を満たし、外側から水中凍結時温度-18℃、融解時温度+5℃で300サイクルの凍結融解試験を行い、その融解水の分析を財団法人日本食品分析センターに依頼して行った。その結果を表-2に示す。僅かに鉄分、マンガンが検出された以外はシアン、水銀などの有害成分は検出されず、土壤水に対する環境基準に合致するものであった。

表-2 廃ビペレットの有害物溶出性

計量物質	単位	試験結果	土壤基準
水銀	mg/l	検出せず	≦0.0005
鉛	mg/l	検出せず	≦0.01
六価クロム	mg/l	検出せず	≦0.05
六価クロム	mg/l	検出せず	≦0.01
ヒ素	mg/l	検出せず	≦0.01
鉄	mg/l	0.22	基準なし
マンガン	mg/l	0.01	基準なし

### (5) 熱伝導性

北海道の道路の凍上防止路盤材に使用されている砂利等と廃ビペレットの熱伝導率の測定結果は表-

3に示す通りである。熱伝導率の測定は、北海道立寒地住宅都市研究所に依頼し、およそ90cm四方の木枠に廃ビペレットを入れ、その間隙に充填材として碎石くずを詰め、現場で使用された場合を想定し平板直接法によって行った。これから廃ビペレットの熱伝導率は、砂利、碎石と空隙率がほぼ同じであるにもかかわらず、1/15～1/20程度であり、熱を伝えにくい材料であることがわかる。

表-3 廃ビペレットの熱伝導率

材料	熱伝導率 (W/m <sup>2</sup> ℃)	条件
切込碎石	2.13	$\rho_d=2.0, w=5, n=4.8$
切込砂利	2.51	$\rho_d=2.0, w=7, n=6.5$
砂	1.97	$\rho_d=1.7, w=15, n=13$
廃ビペレット	0.12	$\rho_d=0.9, w=2, n=4.0$

$\rho_d$ :乾燥密度(g/cm<sup>3</sup>)、w:含水比(%), n:空隙率(%)

### (6) 圧縮特性

廃ビペレットの圧縮試験はCBR試験用モールドを用い、13kNまでの荷重を3回繰り返して加えた。廃ビペレットの圧縮特性はおよそ13kNまでの繰り返し荷重に対して最大13%前後の変位であったが、今回行った改良廃ビペレットにおいてもほぼ同様の結果が得られた。その改良廃ビペレットの圧縮試験の結果は図-3に示す通りである。廃ビペレット中にフライアッシュを混ぜ込むことで多少変位が減るように思えたが、今回の試験結果では大きな違いが見られず、廃ビペレットと改良廃ビペレットの圧縮特性はほぼ同等であると考えられる。

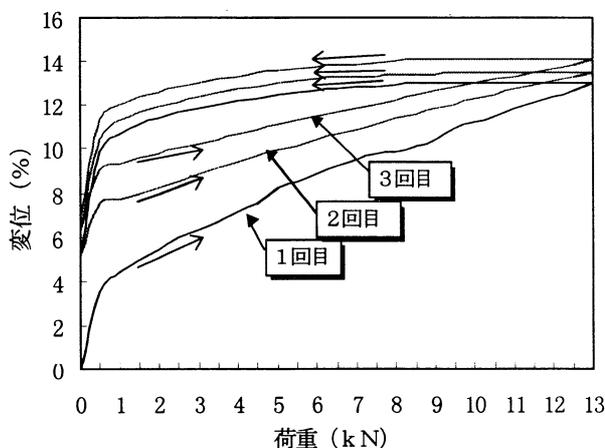


図-3 改良廃ビペレットの圧縮特性

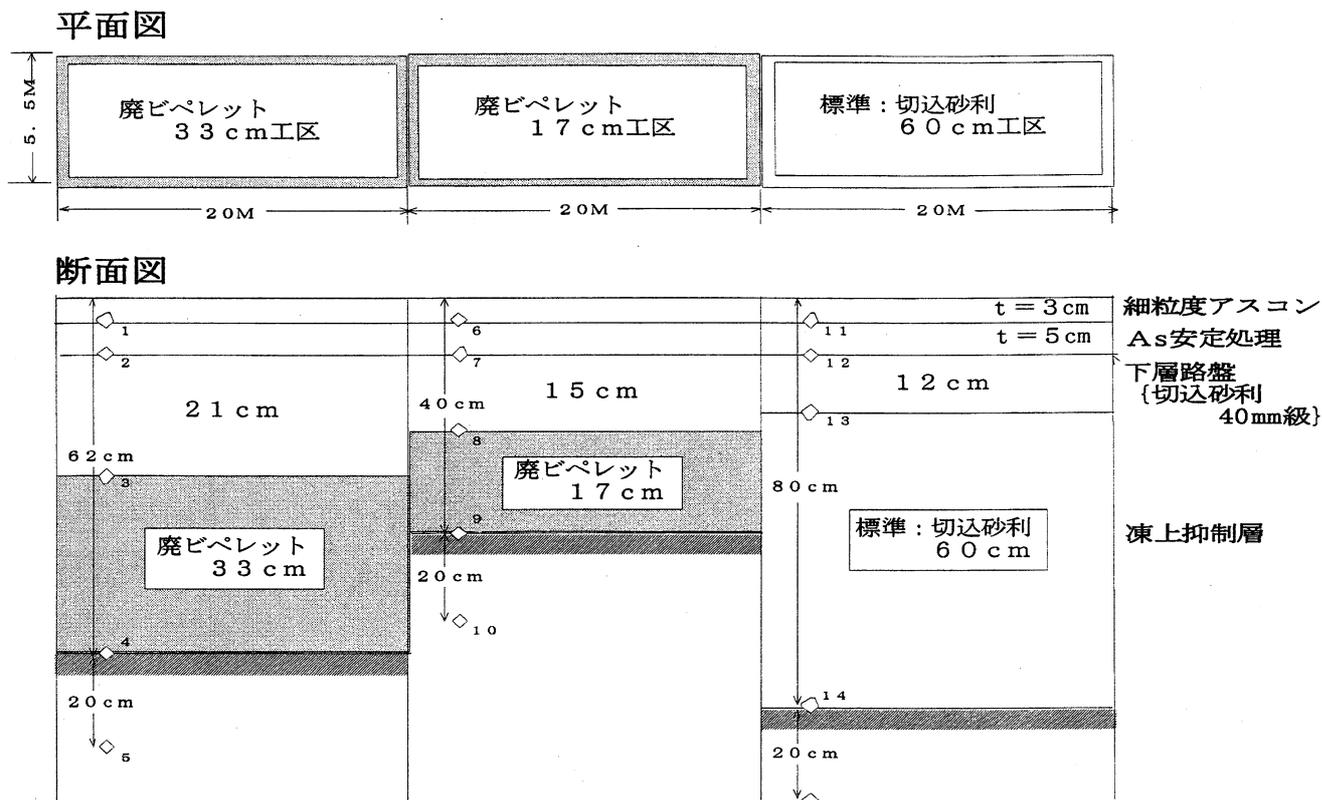


図-4 栗沢農道野外試験現場の平面図及び断面図

#### 4. 廃ビレットの適用性に関する野外試験

##### 4.1 空知郡栗沢町農道での野外試験の概要

空知郡栗沢町岐阜地区において廃ビレットを農道の凍上抑制層材として使用した野外実験を行った。図-4に野外実験の平面図及び断面図を示す。凍上抑制層材として廃ビレットを17cmと33cmの厚さとした工区、そしてこの地域における標準工法である60cm厚さの切込砂利の工区を設置した。施工時には各舗装構成層に熱電対温度計を設置し、平成9年11月13日から翌年3月29日までの冬期間の地中温度を1時間間隔で測定し、各置換深さについて冬期間における各層の地中温度の比較検討を行った。なお、図中の番号は温度計設置位置を示す。

##### 4.2 野外試験における結果と考察

図-5は凍上抑制層下面温度を示したものである。これを見ると廃ビレット33cm工区の温度は常にプラス側であり、凍上性路床土は凍結していない。また、標準断面である砂利60cm工区では1月中旬から温度はマイナス側になっており路床土は若干凍結しているものと考えられる。廃ビレット17cm工区の場合は、1月下旬からマイナス側になっているが

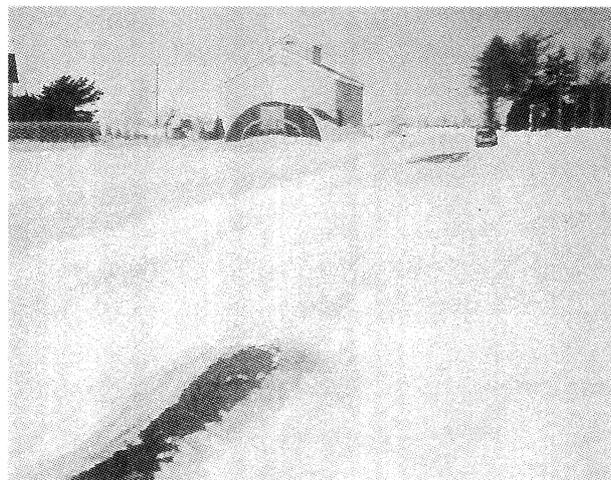


写真-2 冬期の野外試験現場

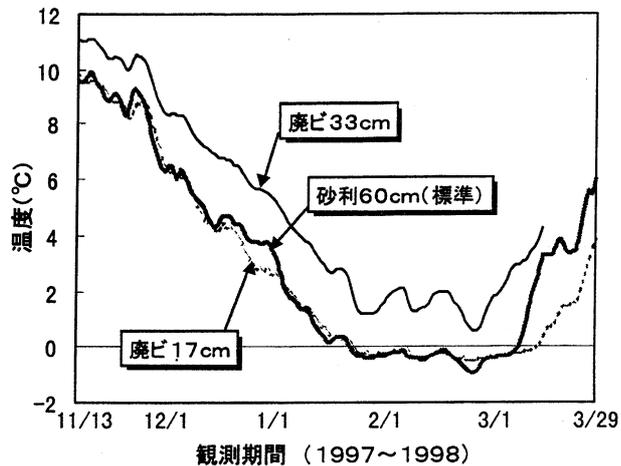


図-5 凍上抑制層下面の温度変化

標準の砂利 60cm 工区と比較すると、僅かではあるが  
高い温度を示しており、砂利の約 1/3 の層厚を考  
えると断熱効果が大いといえる。

図-6 は凍上抑制層下面温度の積算値を示したも  
のである。これを見ると廃ビペレット 33cm 工区は、  
積算温度が常にプラスであるが、標準の砂利 60cm  
工区と比較すると最大で約 250℃・days の差があり  
凍上抑制層上面からの寒気の侵入を廃ビペレットは  
よく遮断していることがわかる。また、廃ビペレ  
ット 17cm 工区は 1 月中旬以降緩やかにマイナスに  
移行しているが、標準工法の砂利 60cm 工区と同様に  
移行していることから、層厚を考慮すると砂利より  
廃ビペレットの断熱効果が大いことを確認できた。

図-7 は凍上抑制層上面及び下面の温度差の積算  
値を示したものである。これを見ると廃ビペレット  
33cm 工区が標準工法である砂利 60cm 工区の場合  
より高い温度差積算値を示していることがわかる。  
これは凍上抑制層上下間での熱の移動が少ないこと  
を示しており、同時に廃ビペレットの熱伝導率の低  
さを示している。よって、廃ビペレット 33cm 工区  
は砂利の約 1/2 の厚さで同等以上の凍上抑制効果  
が期待できるといえる。

図-8 は平成 10 年 2 月 28 日までに  
おける路面での累計凍上量と沈下量を示したも  
のである。これを見ると標準工法の砂利 60cm 工  
区の凍上量、沈下量ともに、廃ビペレット 33cm  
工区及び 17cm 工区に比べ 2 倍以上の数値が  
示されている。これは、廃ビペレットの断熱性  
が砂利よりも大きく比重が小さいためであり、  
軟弱で凍上性土盤における凍上量と圧密沈下  
量を低減できるものと考えられる。

### 4. 3 舗装の凍結深さ

一般に寒冷地における舗装の凍結深さを推定する  
場合、一般に①式に示すような修正 Berggren の式  
が用いられている<sup>6)</sup>。本研究では、廃ビペレット  
を用いた場合でも、設計上各々の地域における舗  
装厚の決定を行うために、気温による気象データ  
で舗装の凍結深さを推定できるかどうかを、それ  
ぞれの工区についてこの式で検討した。この検討  
に用いた気象データは試験施工現場近くの Amedas  
データを使用し、舗装構成の熱常数については、  
施工時における現場の含水比と乾燥密度から求  
めた<sup>6)</sup>。ただし、廃ビペレットの熱伝導率は、  
室内試験の結果を用いた。計算に用いた各層に  
おける熱常数を表-4 に示す。

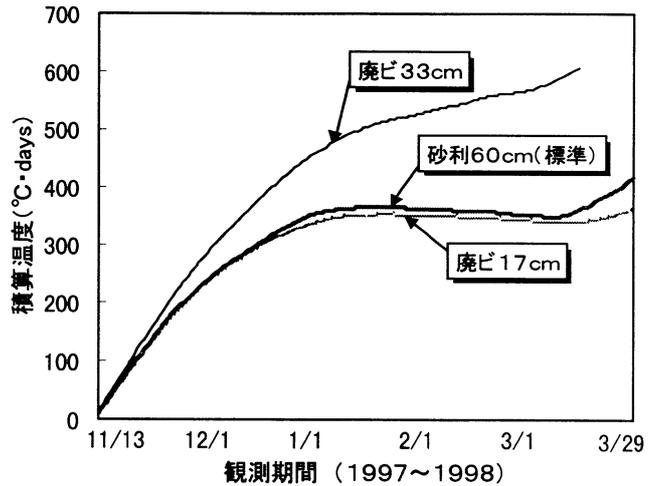


図-6 凍上抑制層下面の積算温度

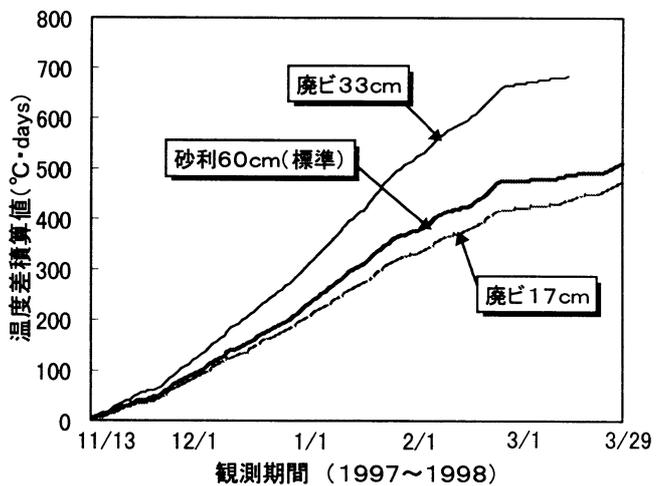


図-7 凍上抑制層上面と下面の温度差積算値

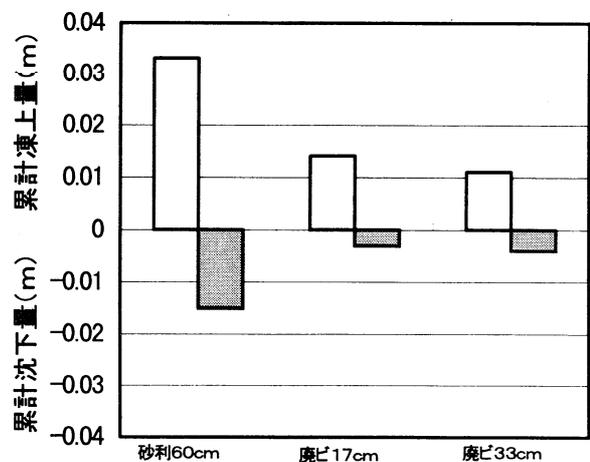


図-8 累計沈下量と凍上量

$$Z = \alpha \sqrt{48F / (Lw / K)_{eff}} \quad \text{.....①}$$

ここに、

Z : 推定凍結深さ (cm)

$\alpha$  : 補正係数

F : 凍結指数 ( $^{\circ}\text{C} \cdot \text{days}$ )

$$(Lw/K)_{eff} = \frac{2}{X^2} \left\{ L_1 d_1 \left( \frac{d_1}{2K_1} \right) + L_2 d_2 \left( \frac{d_1 + d_2}{K_1 + 2K_2} \right) + L_3 d_3 \left( \frac{d_1 + d_2 + d_3}{K_1 + K_2 + 2K_3} \right) + \dots + L_n d_n \left( \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_n}{K_1 + K_2 + \dots + 2K_n} \right) \right\}$$

X =  $d_1 + d_2 + \dots + d_n$  : 予想凍結深さ (cm)

$d_n$  : 予想凍結深さ内の各層の厚さで、

$d_1$  は最上層の深さ (cm)

$K_n$  : 各層の熱伝導率 ( $\text{cal/cm/s} \cdot ^{\circ}\text{C}$ )

$L_n$  : 各層の融解潜熱 ( $\text{cal/cm}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}$ )

表-4 熱常数の入力条件

熱常数 舗装構成	熱伝導率 ( $\text{cal/cm} \cdot \text{sec} \cdot ^{\circ}\text{C}$ )	熱容量 ( $\text{cal/cm}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}$ )	融解潜熱 ( $\text{cal/cm}^3$ )
アスファルト層	0.0035	0.448	0.00
下層路盤	0.0078	0.483	13.44
凍上抑制層	廃ビ	0.0003	0.208
	砂利	0.0078	0.483
路床	0.0041	0.562	36.40

図-9~11は、この地域における標準工法である砂利60cm工区、廃ビペレット33cm工区、廃ビペレット17cm工区それぞれの路面からの凍結深さの実測値と①式を用いて求めた推定値を示している。この3つの図を見ると凍結深さが最大になるまでは多少のずれが生じている部分もあるが、最大の凍結深さは実測値と推定値がほぼ一致している。このことから、廃ビペレットを凍上防止のための路盤材として用いる場合に、気象データを用い、この凍結深さ推定式により、容易に凍結深さを推定できることがわかった。

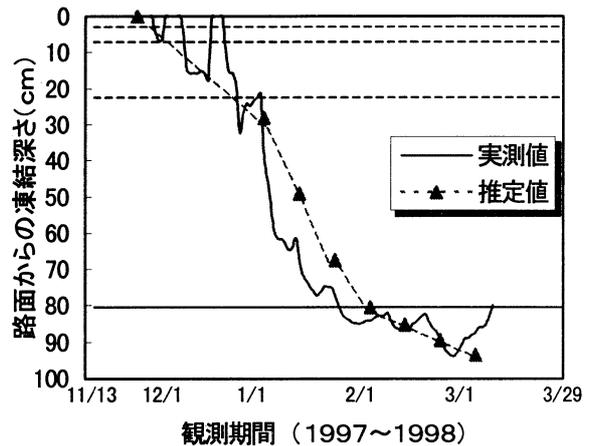


図-9 凍結深さの推定値と実測値  
(標準：砂利60cm工区)

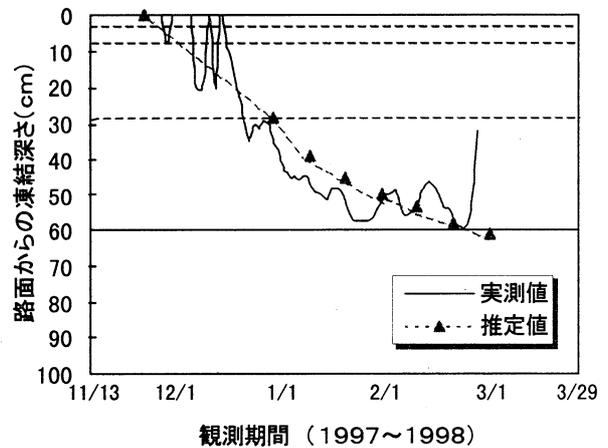


図-10 凍結深さの推定値と実測値  
(廃ビペレット33cm工区)

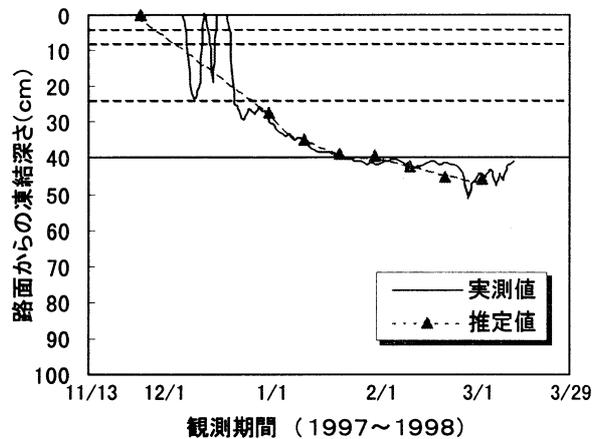


図-11 凍結深さの実測値と推定値  
(廃ビペレット17cm工区)

## 5. 結論

廃ビペレットの基礎的性質に関する室内実験及び空知郡栗沢町での野外実験の結果をまとめると次のようになる。

- (1) 廃ビペレット並びに改良廃ビペレットの最大粒径はともに 30 mm、比重は 1.3 程度、熱伝導率は 0.12W/m°C 程度である。
- (2) 廃ビペレットの単位容積質量は 0.74 g/cm<sup>3</sup> 程度、改良廃ビペレットは 0.78 g/cm<sup>3</sup> 程度である。13 kN までの荷重を繰り返し加えたときの廃ビペレットと改良廃ビペレットの変位は最大 13% 前後である。
- (3) 廃ビペレットは比重が砂利の約 1/2 程度であるので、軟弱地盤での圧密沈下量を低減できる。
- (4) 廃ビペレット層は熱伝導性が低く、薄い層厚で標準工法と同等以上の凍上抑制効果が期待できる。
- (5) 長期使用時の有害物の溶出もなく、凍上防止のための路盤材として使用可能である。
- (6) 廃ビペレットを使用した場合でも、気象データと既存の凍結深さ推定式により、各舗装構造における凍結深さを推定することができる。

## 6. おわりに

本研究における空知郡栗沢町での野外実験では、廃ビペレットを用いた凍上抑制層厚を 17cm 及び 33cm として行ったが、廃ビペレット 17cm が標準工法より僅かに小さな温度差積算値を示していることから、施工地域での気温、積雪量の条件を考慮して置換厚を決定する必要がある。

また、施工性の改善のため、室内試験で基礎的性質を確認している改良廃ビペレットを用いて北海道空知郡三笠市において野外実験を現在行っている。更に、施工性の改善を図るための方法として、廃ビペレットを複数接着し、一枚の板状にしたものを用いることも一つの方向として考え、室内試験並びに野外試験でその適用効果を把握するための実験も続けていく予定である。

廃ビペレットは、その層厚が大きくなれば転圧が不十分で締め固めにくいという施工性の悪さなど、まだ多くの問題を抱えているが、この施工性の改善が図れば、年々確実に増加すると思われるビニルハウスからの塩化ビニルシートのリサイクル問題の解決、寒冷地での砂利、碎石等の枯渇化問題の解決につながるものと思われる。

謝辞：本研究を行うに際し、北野コンクリート（株）北野隆春氏、及び元北海学園大学大学院生、現（株）ズコーシャ 佐渡知典氏には多大なるご尽力頂いた。また、本研究は住友財団 1996 年度環境研究助成の交付を受けた。ここに記して深い感謝の意を表す。

### (参考文献)

- 1) 伊藤智明、久保宏、佐渡知典：廃棄ビニルシートの農道路盤材への活用に関する研究、平成 9 年度農業土木学会大会講演会講演要旨集、pp. 674～pp. 675、1997、藤沢市
- 2) 佐渡知典、久保宏、伊藤智明：廃棄ビニルシートの道路等の凍上抑制層材への活用に関する研究、平成 9 年度土木学会第 5 2 回年次学術講演会講演概要集 第 5 部、pp. 120～pp. 121、1997、八王子市
- 3) 伊藤智明、久保宏、佐渡知典、北野隆春：廃棄ビニルシートの農道凍上防止への適用に関する研究、農業土木学会北海道支部研究発表会講演集、pp. 12～pp. 17、1997、札幌市
- 4) 佐渡知典、久保宏、伊藤智明、北野隆春：廃棄ビニルシートの道路路盤材への活用に関する研究、寒地技術シンポジウム '97 寒地技術論文・報告集 Vol. 13、pp. 181～pp. 186、1997、苫小牧市
- 5) 伊藤智明、久保宏、佐渡知典、北野隆春：廃棄ビニルシートの農道路盤材への活用に関する研究（2）、平成 10 年度農業土木学会大会講演会講演要旨集、pp. 416～pp. 417、1998、京都市
- 6) 熊谷茂樹、有田政博：マイクロコンピュータによる凍結深さ推定プログラムについて、北海道開発局土木試験所月報 No. 380、pp. 25～pp. 37、1985 年 1 月

# EXPERIMENTAL STUDY ON WASTE VINYL SHEET AS FROST-HEAVE PREVENTIVE MATERIALS OF PAVEMENTS

Hiroshi KUBO and Tomoaki ITO

This experimental study has a purpose to solve two social problems which are the recycle of used vinyl sheet and short of highly qualified aggregates for pavements constructions. The investigations were conducted on the full-scale of base course materials with used vinyl sheet as the countermeasures frost-heave preventive materials of pavements, compared with the standard method of pit-run gravel materials.