

# 寒冷地における道路舗装の置換え深さに関する研究

北海学園大学大学院 学生員 堤 洋介  
北海学園大学工学部 正会員 久保 宏  
北海道電力(株) 毛馬内学

## 1. はじめに

北海道などの積雪寒冷地における道路の凍上対策工法として一般的な工法は、凍上性の土を必要な深さまで掘削して砂利、砕石等の凍上を起こしにくい材料で置換える置換工法である。この置換え深さは設計期間をn年（一般には10年）に一度生じると推定した凍結深さの70%の値、実測値や経験的にわかっている値、あるいは気象観測データ AMeDAS から得られる凍結指数などをもとに総合的に決定されることになっている<sup>1)</sup>。現在の北海道における舗装道路は、北海道開発局による道路工事設計基準（昭和47年度）をもとに定められており、北海道内の開発建設部管内ごとに示されている。その一方で、近年地球環境の変化に伴い積雪寒冷地でも温暖化が進行し、北海道においてもその傾向が見られる。特に1988年以降、現在に至るまではその影響が顕著に示されている。本研究では、北海道内における近年の気象データから道路の凍結深さの推定に必要な凍結指数の算定方法、北海道の道路において現在凍上対策で適用されている置換え深さの規準の再検討、などに関する参考資料として提案することが目的である。

## 2. 北海道における月平均気温から求めた凍結指数

図-1は、過去101年間（1901年～2001年）の北海道6市町の月平均気温から求めた凍結指数の推移を示したものである。太線はこのグラフの近似曲線です。この曲線を見てわかる通り、はっきりと温暖化の傾向にあると言える。また、月平均で求めた凍結指数は日平均で求めた凍結指数より30・日程度小さくなることがわかり、道路の設計に用いると危険側に出ることがわかった。そのため月平均の凍結指数を用いるときには補正して使う必要がある。なお、AMeDASの気温のデータは、日平均気温は市町村の30年間のデータもないのがほとんどなのに対し、月平均気温は100年以上のデータが揃っている。よって、有効な置換え深さが推定できると考えている。

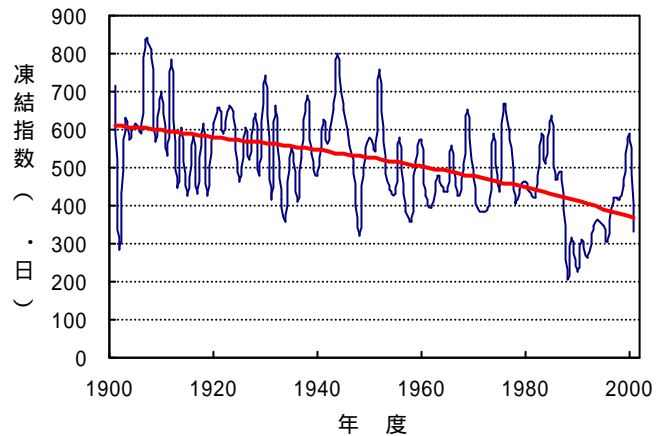


図-1 北海道の月平均気温から求めた凍結指数の推移

## 3. 北海道における日平均気温から求めた凍結指数

図-2は、最近41年間（1961年～2001年）の北海道各地（8市町）における日平均気温から求めた凍結指数を平均値で示したものである。ここでは、1970年代及び1980年代中頃に凍結指数が500（・days）を超える寒い冬が続いていたことがわかる。一方、1988年以降凍結指数が急激に低くなっており、300（・days）より小さくなる年が数年続いていることから確実に温暖化の影響が関係していると思われる。また、10年から15年おきに寒い冬が来るという周期性があることもわかった。

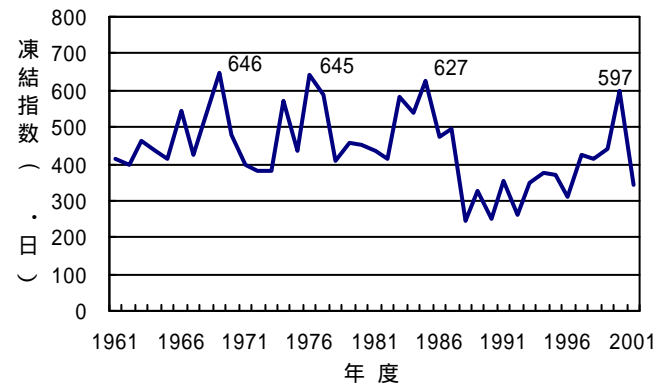


図-2 北海道各地の凍結指数の平均推移

#### 4. 手法別の平均凍結指数

北海道各地の凍結指数を手法別にそれぞれ平均化し、凍結深さを推定するには、どの手法を用いるのがふさわしいかを検討した。

図 - 3 は、その手法別に平均化したグラフである。このグラフから、10 年最大及び最大平均は、10 年確率に比べおよそ 80 ・ days 高くなり差があることがわかる。また 30 ・ 40 年確率は 30 ・ 40 年間の最大値をも上回っていること、さらに地域によっては過去 30 年間の AMeDAS データも完備していないことから判断すると、これらの値を道路の設計に用いることは望ましくないと考えられる。しかし、過去最近 20 年のデータを用いた凍結指数は、いずれの手法においてもさほど変わらないことがわかる。また、凍上対策の基準となるアスファルト舗装要綱は、確率論という考え方を採用していることから、20 年確率凍結指数を用いることが最も適切であると考えられる。

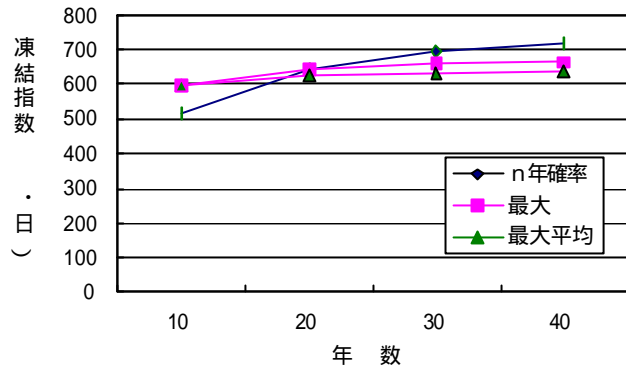


図 - 3 手法別による平均凍結指数

道路の設計に用いることは望ましくないと考えられる。しかし、過去最近 20 年のデータを用いた凍結指数は、いずれの手法においてもさほど変わらないことがわかる。また、凍上対策の基準となるアスファルト舗装要綱は、確率論という考え方を採用していることから、20 年確率凍結指数を用いることが最も適切であると考えられる。

#### 5. 北海道各地における道路の置換え深さ

これまでの研究で述べてきた道路の凍結深さを推定する方法として凍結指数から求める簡易式の修正 Berggren の式を用いて寒冷地における舗装の凍結深さを推定する<sup>2)</sup>。また、このときの凍結指数は 20 年確率凍結指数及び凍結日数から北海道各地の凍結深さを推定することにする。

$$Z = a \sqrt{172800 F / (Lw / K) eff} \dots\dots\dots$$

$$(LwK)eff = \frac{2}{X^2} \left\{ \begin{aligned} &L_1 d_1 \left( \frac{d_1}{2K_1} \right) + L_2 d_2 \left( \frac{d_1}{K_1} + \frac{d_2}{2K_2} \right) + L_3 d_3 \left( \frac{d_1}{K_1} + \frac{d_2}{K_2} + \frac{d_3}{2K_3} \right) + \\ &\Lambda \Lambda + L_n d_n \left( \frac{d_1}{K_1} + \frac{d_2}{K_2} + \Lambda + \frac{d_n}{2K_n} \right) \end{aligned} \right\}$$

ここに、Z : 推定凍結深さ (cm)

X = d<sub>1</sub> + d<sub>2</sub> + ..... + d<sub>n</sub> : 予想凍結深さ (cm)

d<sub>n</sub> : 予想凍結深さ内の各層の厚さで、d<sub>1</sub>は最上層の深さ (cm)

K<sub>n</sub> : 各層の熱伝導率 (W/m・K)

L<sub>n</sub> : 各層の融解潜熱 (J/m<sup>3</sup>)

= f(μ・) : 補正係数 F : 凍結指数 (・ days)

道路の置換え深さについて国道は理論最大凍結深さの約 70% 値とし、簡易舗装要綱を適用して農道を約 65% 値として求めた。図 - 4 に北海道各地の置換え深さの基準値と本研究で求めた道路の置換え深さを示している。

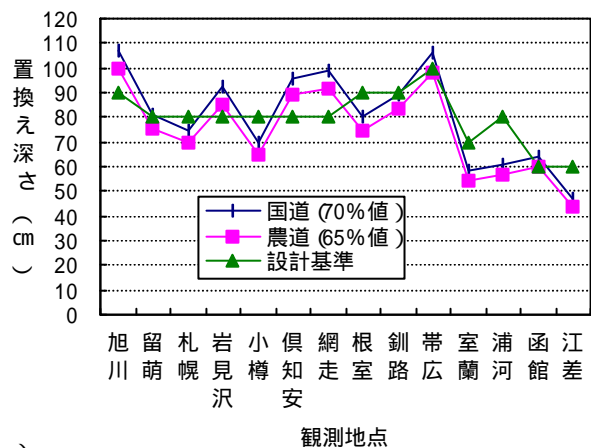


図 - 4 北海道各地の農道舗装の置換え深さ

#### 6. 結論

20 年確率凍結指数から道路の置換え深さに関してまとめると次のようになる。

- 1) 100 年の月平均気温データの近似式から温暖化の傾向があるとわかる。
- 2) 手法別凍結指数を比較して、道路の設計に 20 年確率凍結指数を用いたほうが良いと考えられる。
- 3) 道路の置換え深さは、農道を凍結深さの 65% 値を用いることで、国道よりも 5cm 程度小さくすることができる。

参考文献

- 1) 土質工学会編：土の凍結 - その理論と実際 -、pp.186 ~ 192、1989 年 7 月
- 2) 北海道開発局：道路工事設計基準 (昭和 47 年度 ~ 49 年度) pp.1 ~ 12、1972 年