

平成 12 年度冬期の異常低温による道路の凍上被害対策

久保 宏、金澤雅博、毛馬内 学（北海学園大学工学部大学院）

1. はじめに

平成 12 年度の冬期において、その異常低温によって北海道などの積雪寒冷地では道路等に大きな凍上被害が発生した。その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、碎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 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から得られる凍結指数などをもとに総合的に決められる。現在の北海道における舗装道路は、北海道開発局による昭和 47 年度制定の道路工事設計基準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¹⁾。一方、近年地球環境の変化に伴い積雪寒冷地でも冬の温暖化と異常低温が進行し、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各地の気象データから最近 30 年間の気象傾向を踏まえたうえで、最大凍結深さの推定に用いられる凍結指数を算定した。さらに、道路築造の設計基準として現在適用されている置換え深さを再検討し、安全性と合理性を兼ね添えた新しい提案を行った。

2. 北海道における凍結指数

図-1 は、最近 30 年間（1970 年～1999 年）の北海道各地（15 市町）における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 ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{days}$) 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 ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{days}$) 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。しかし、1988 年から現在に至るまで少しずつではあるが、平年並みの傾向に戻りつつある。

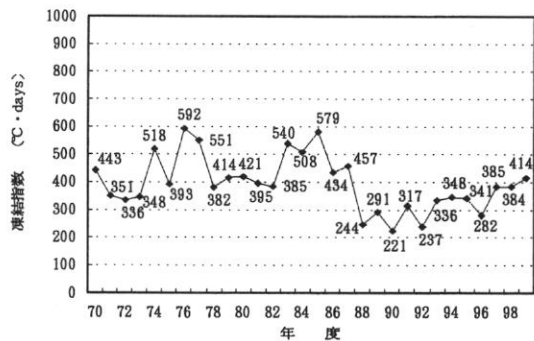


図-1 北海道各地の凍結指数の平均推移

3. n 年確率凍結指数

本研究では、アスファルト舗装要綱（以下アス要綱という）をもとに北海道内の AMeDAS データ全観測地点を 10 年確率と同様に 20 年、30 年についても 20 年確率及び 30 年確率として算出した。また、この他に 30 年間の 10 年、20 年、30 年それぞれ最も

大きいもの（最大）、 n 年の大きい方から（ $n/10$ ）個の平均（最大平均）を求めた。これは「 n 年確率」の手法以外に様々な手法が用いられてきたのでそれらと比較検討するためである。これらをまとめたものが図-2である。本研究では、実験計画法により北海道各地の主に支庁が所在する15市町において10年、20年、30年を確率、最大、最大平均について検定し、10年と20年、10年と30年のデータ間には有意差があることを確認し、20年と30年の間には有意差がないことを確認した。また、過去30年間の AMeDAS データが不足しており揃っていないことやアス要綱では、「確率論」の考え方をを用いていることを考慮し、道路の凍上対策上の設計には20年確率を用いるのが現時点では望ましい。

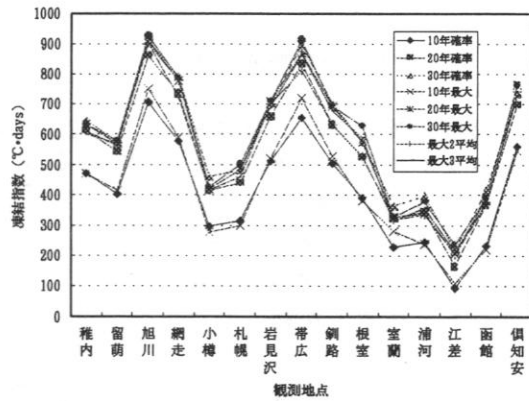


図-2 北海道各地における手法別の凍結指数

4. 北海道各地における道路の置換え深さ

北海道における舗装道路は、北海道開発局による昭和47年度道路工事設計基準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²⁾。現在、アス要綱では、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として修正 Berggren の式①が示されており、寒冷地における舗装の凍結深さを推定する場合に用いられている。本研究では、この修正 Berggren の式を用いて気象観測データによって求めた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。

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

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

ここに、 Z ：推定凍結深さ（cm）

$X = d_1 + d_2 + \dots + d_n$ ：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（cal/cm/s/°C）

L_n ：各層の融解潜熱（cal/cm³/°C）

$\alpha = f(\mu \cdot \tau)$ ：補正係数

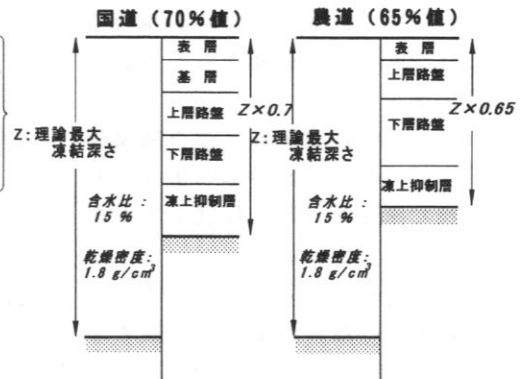


図-3 理論最大凍結深さと舗装構造の模式図

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

図-3は、寒冷地道路舗装の必要な置換え深さのもとになっている理論最大凍結深さと舗装構造との関係を模式的に表したものである。この模式図は、北海道で算出される道路用材料について、現地での平均的な含水比と乾燥密度をもとに凍上を起こしにくい様な地盤として考える。本研究では、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、農道は簡易舗装要綱でも示されるように国道に比べ交通量が少なく、雪に覆われ断熱効果が期待できることから約 65%値と提案する。図-4は北海道各地の置換え深さの基準値と提案値を示し、図-5はその提案値を地図上でまとめたものである。

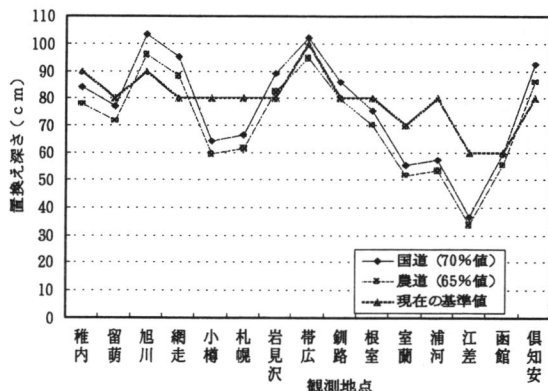


図-4 北海道各地の道路の置換え深さ (提案)

5. 結論

北海道全域における 20 年確率凍結指数についての検討結果とその周辺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) 過去 30 年間の AMeDAS 全観測地点のデータ不足と確率論の考え方を採用していることから、現時点では 20 年確率凍結指数を用いるのが望ましい。
- 2) 札幌、小樽、室蘭など都市部及び沿岸部では、国道の基準値よりも置換え深さを 10cm 程度小さくすることができる。
- 3) 旭川、網走、岩見沢など内陸部では、国道の基準値よりも置換え深さを 10cm~15cm 程度大きくする必要がある。

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
- 3) 毛馬内・久保・上田：最大凍結指数と道路の凍結深さに関する研究、第 36 回地盤工学研究発表会、2001 年 6 月

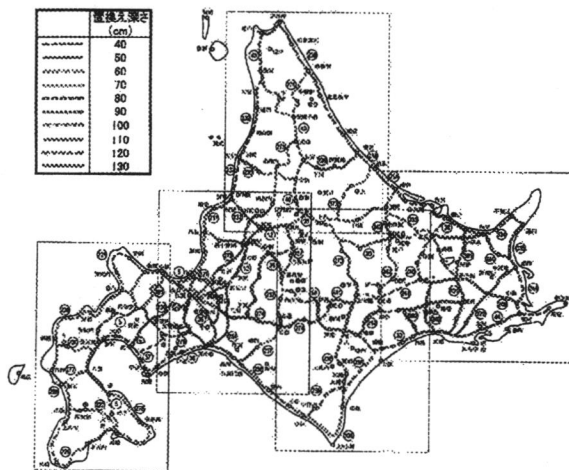


図-5 北海道各地の道路の置換え深さ (提案)