

IV-101 わが国における路盤凍結の可能性について

～とくに東北地方を主として～

秋田大学 正員 宮川 勇
富山県庁 山田 昌信

寒冷地では地盤の凍結、凍上現象、凍結融解やその繰返しなどによる障害がある。障害の内容は凍結そのものによることもさきながら多くの場合に含水土の氷晶分離を伴う凍結、いわゆる凍上現象による変形さらにそれによる凍上圧による構造物の変形破壊、融解期における地盤の軟弱化、斜面における凍融浸食などである。さらに範囲を広げれば凍結しない程度の温度低下でも低温部への地中水分の集積現象が類似の不都合～道路路床の軟弱劣化というような～を発生することが知られている。この種の問題はわが国では北海道や東北地方といったいわゆる寒冷地方と呼ばれる地域に限つたことではなくて、標高の少し高い所では九州地方でも同様なトラブルが起きる。このような観点から高標高地帯を含めて一般的にいつてわが国における地盤凍結の可能性はどのようなものかについて気象資料を用いて熱伝導論的手法による推定を試みた。広い地域にわたつて国内をカバーする予定であつたが入手できた資料からの制約でとくに東北地方が中心になり、かつ除雪された道路々体のような粗粒低含水土材料の問題に主眼をおくことになった。

凍結深さの推定に用いた方法： 静水における氷層の成長についての Neumann の方法を含水土の場合にも準用することにし、更に計算手数を省くために凍結前後の土の性状の差が大きくないと仮定して簡略化できるとすれば、凍結深さは次のような形で表わされる。

$$E = \lambda \sqrt{2C_1 \rho L t} / L \quad \cdots (1) \quad \text{ここに } E: \text{凍結深さ}, \lambda \text{ は } \gamma = C_2 / C_1: \text{Thermal Ratio}, \mu = C_1 / \rho L$$

: Fusion Parameter なる無次元のパラメーターの関数となり、 $\lambda = \sqrt{2\pi x^2 / \mu}$, $\mu = \sqrt{\pi x^2} / e^{-x^2 \{1/4\pi(x^2) - \gamma(1-4(x^2))\}}$ を満足するような無次元の係数である。また C_1 : 土の比熱, ρ : 土の乾燥密度, L : 土の熱伝導率を表わしいずれも凍結前後の平均値を用いることにする。 L は含水土の単位体積当りの融解潜熱 (=80w.p, w : 土の含水比), C_1 : 凍結期間中の一定地表温度(平均地表温度), C_2 : 最初の地温(年平均地表温度), t : 凍結期間である。実際には凍上性土の場合には凍結過程で含水量が変化し、したがつて土の諸常数とくに融解潜熱が変化するので問題の取扱いは困難なものになるが、ここではいちおうさて描くことにする。式の形から明らかなように λ は潜熱だけを考慮熱容量の影響および未凍土からの熱供給を無視した場合の凍結深さ、すなわち Stefan 流の方法による値に対する補正係数を表わす。 μ が 0 に近づけば L が支配的になり μ が大きくなると土中の保有熱が重要な意味をもつようになる。実際の適用にはデータの入手可能性という点から温度として地温の代りに気温が利用できるものとし、またいわゆる Freezing Index の概念を用いて凍結期間内の日平均気温の積算値を積算寒度 F と名づけ $F = C_1 t$ で表わされるとすれば、 $E = \lambda \sqrt{2\rho F L} \quad \cdots (2)$ と表示できる。これによればある地質の凍結深さは気象データ (F, t, T) と地盤の性状 (C, ρ, L) の関数として表わされる。さらに $E = \alpha \sqrt{F}$, $\alpha = \lambda \sqrt{2\rho L} \quad \cdots (3)$, $E = \beta \sqrt{F}$, $\beta = \lambda \sqrt{2\rho C_1 L} \quad \cdots (4)$ とおけば α はある地質における所定の地盤材料に対する凍結深さを支配する特性値となり、 β は同様に凍結速さを支配する特性値と

示すことになる。また F, t の最大値は地奥ごとに気象統計的には固有な値となる。このような方法による推定値は仮定条件から考えても定性的意義に重きをおいた方がよいと考えられるが、北海道程度の寒さの所では実測との検証によつてかなりの信頼度が期待されている。

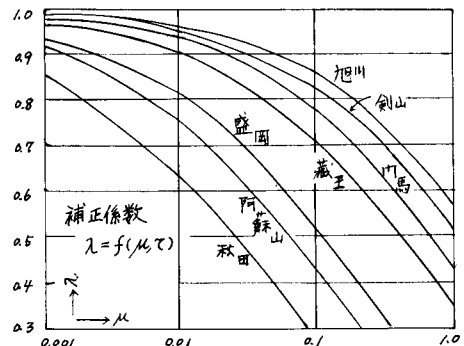
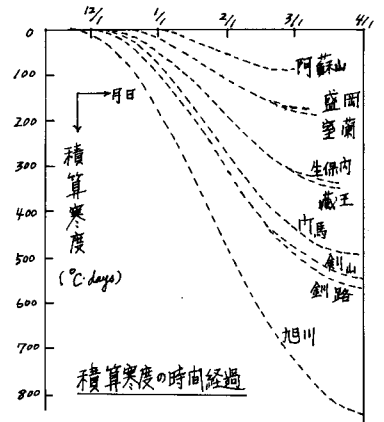
利用した気象資料としては月日別平均気温の統計期間内の平均値であるが、北海道については既発表の13地奥、東北地方では一部を気象庁の気候表によりその他は地方气象台などによる気象月報を基に1969年に至るおおむね14年間以上にわたる平均値を94地奥について求め、中部・関東以南は気候表による30年間の月日別平滑年値を11地奥について利用したが、統計期間は統一できなかった。いずれも日平均気温または日最高最低気温平均値を用いて F, t, IC_1, C_2 を求めた。裸地の凍結深の推定に当つては各地奥ごとにその Thermal Ratio γ に対して $\lambda = f(\gamma, \mu)$ の一般的関係を求めておき、更に具体例として含水比がそれぞれ7.5, 14, 45, 80各%なる4種の枝料に対してほぼ等当と考えられる常数を選んで各地奥の気象条件に対する凍結係数 α, β および凍結深 z を求めた。

このようにして得た気象定数の相互関係およびそれら

がその地奥の経緯度、標高その他の地理的条件などとの対応を検討した。とくに東北地方については中央部を縦断する背稜山系の影響をみるために日本海側と太平洋側を対比し更にそれぞれにその海洋性、内陸性的傾向についての考察を行なつた。凍結深については各種枝料に対するどの範囲を推定するとともに、とくに道路路盤の場合のように粗粒枝料を用いる場合を考えてその気象定数との関係、緯度・標高などとの対応について検討した。

気象定数のあらまし : とくに東北地方における関連気象定数の概況をみると、個々の地奥については地形その他の環境による影響が作用して一般的傾向を乱すが、概観的には次のようである。

(1)、海洋性の地奥は内陸性の地奥に比べて、積算寒度が小さく凍結期間は長く凍結期平均気温は高い。また年平均気温については日本海側で低く太平洋側では高い傾向がある。(2)、日本海側は太平洋側に比べると、海洋性、内陸性のそれぞれについてみると、積算寒度が大きく凍結期平均気温は低く、年平均気温では高い。また凍結期間については海洋性地奥で長く内陸性地奥では短い傾向がみられる。(3)、(イ)陸奥湾、大湊湾の沿岸にある地奥では、その位置に応じてそれぞれの海洋性特性を示す。(ロ)、背稜山系付近の地奥はその海からの巨衝とそこを遮蔽する付近の山地などによる環境地形によつて太平洋・日本海のいずれかの特性を示す。(ハ)、山形・米沢の各盆地内の地奥は盆地をとり囲む山地の高さの奥羽山脉の高さとの相対的關係と海岸からの巨衝によつて、それぞれ日本海側または太平洋側の影響を複雑にうける。(ニ)、福島県内の諸地奥は、太平洋側に近い阿武隈山地内の地

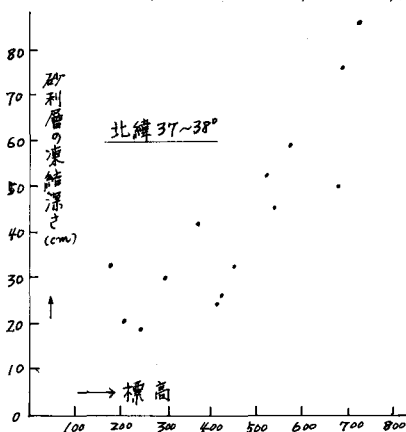
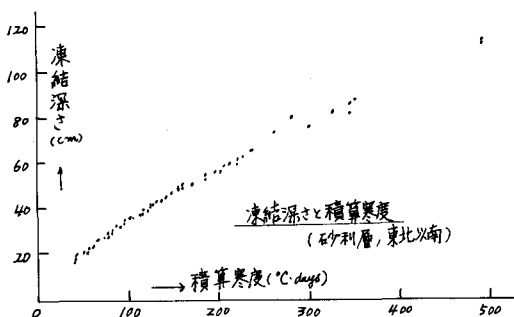
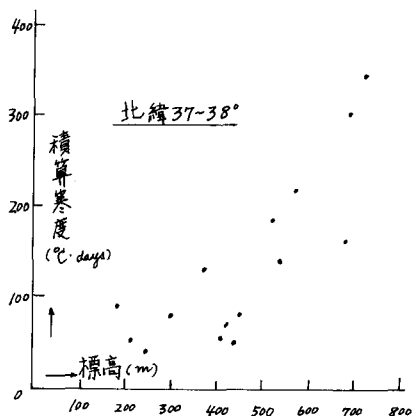
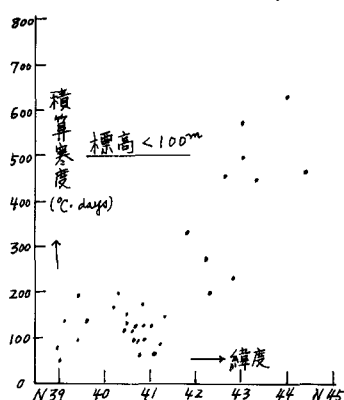


英は太平洋側の影響を受けた特性を示し、これから日本海側に近づくにしたがつてその内陸性的傾向を示すようである。(ホ)、特殊な地形環境にある地奥ではその影響を強くうけて定型的関係からはずれるものがある。(4) 当然のことながら標高・緯度が高くなるにつれて積算寒度が大きく凍結期間は長く、凍結期平均気温、年平均気温とも低くなる傾向が認められる。とくに福島地方の地奥についてかなり明確な傾向

が認められるのはその地形環境によるものであろう。標高の低い地奥では他の局地的因子の影響で定型的傾向が乱れる。

これを更に全国的規模でみると、入手できた中部以南のデータが少いため必ずしも明確

な定型的関係としては捉えにくいが東北地方で得たと同様で(4)で述べた傾向がよりはつきりした形で現われる。当然のこととして局地的環境の影響へ海洋、地形などへの効果は総合的に関連し合うのでこの傾向が不鮮明になるのは避けられないし、低標高地奥においてとくに著しい。このことは、見方をかえれば、もし十分な気象データが得られれば、このような微視的検討によつて局地的な興味ある知見を得る可能性が期待される。



凍結深さ、凍結係数などについて : 凍結深さは地被条件とくに積雪による熱的遮蔽条件によつて決定的に影響されるので、ここでは除雪された裸地を対象にして推定した。凍結深は前述のように気象定数と関連しているのでその緯度・標高などとの間の関係は気象定数とそれらとの間に見られるものと同様な対応を示すことはいうまでもない。東北地方について各種含水材料の凍結に関する諸係数値の程度を示すと表のようである。補正係数 λ の値は比較的温暖な地方ほど、また含水比の小さいほど小さくなる。試算によるとこの値は北海道地方では砂利層に対して $\lambda=0.65\sim0.80$ であり、含水土($w=0.45$)では $\lambda=0.8\sim0.9$ となる。したがつて割合に暖い低緯度低標高の地域では、とくに路盤材料の

ような低含水材料の凍結深の推定に当つては λ の補正係数としての意義の大きいことが判る。 α 、 β の値は温暖なほど、また含水比の増加に伴つて減少する。 α の値は北海道の除雪された砂利道について3.7~4.0の実測値があり、一方アスファルト舗装要綱では $\alpha=3\sim5$ を提案している。今回の資料による計算では表示のように温度条件や材料性状によつてかなり変化するが、いずれにしても東北地方以南では標高のとくに高い寒冷地を除いて普通の条件下では要綱の示す値は過湿な普通土に対してはもとより(要綱はこの種の土を対象として考へているように思われる)砂利層に対してもやや過大であると推定される。

もつともこのような地質では路体厚は一般に支持力などの観測から決定されるであらうし、その厚さが凍結深を越える場合が多いであらうから、凍結するかどうかという点だけからは普通には問題にならないであらう。たとえば路体厚を60cm程度とすれば比較的乾いた砂利層でも積算寒度で200℃daysくらいになるまでは凍結という点では支障がないということになるので、その地質の緯度や局地的環境

に応じてそれ相当の標高に達するまでは、東北地方以南では安全圏に包括される。この限界領域は路体厚によつて異なるが仮にこれを積算寒度という尺度で考へてその限界値を200℃daysとすれば、凍結という点から考へる必要がある限界標高を今回のような試算から、その緯度に応じて推定することもできる。本報ではその一例として北緯37~38°の場合について標高の変化に対応する積算寒度、凍結深さ(砂利層)の推移を図示したが、このような推定によれば大まかな値であるがN40~41°では100~150m、N39~40°に対して200m、N37~39°に対して500~550m、N35~37°では900m、N35°以南では1300m以上となる。もちろんこの値は局地的条件によつて幅広く変ることはいふまでもない。ここで述べたのは路体内に凍結を終わせる場合のことであつて、北海道地方で行なわれているように着者のいわゆる残留凍結層を残すような処理方法の場合には、路体厚が薄いと残留層の凍結融解に伴う劣化現象が支持力に直接的に影響する。また限界標高は積算寒度の値のきめ方によつてはもとより低下するから対象地域の範囲は広がることになる。とくに斜面の凍融浸食のような問題において然りである。さらにたとへ凍結しなくとも温度低下に伴う低温部への地中水分の集積によつて既述のような好ましからぬ問題を惹き起す可能性がある。高標高地域における開発に伴う問題としては更に範囲を広げて検討する必要があるように思われる。

付記：本研究を行なうに当り資料の入手に御配慮を戴いた気象台とくに秋田地方気象台の担当官に對し、ならびに昭和44年度卒業研究として協力された猿谷 彰君に對して深謝の意を表します。

東北地方と北海道地方の気象定数の対比

気象定数	東北地方	北海道
積算寒度 F : °C days	~489	~894
凍結期日数 n : days	~114	~132
凍結期平均気温 $1C_1$: °C	0.7~4.4	2.1~4.0
年平均気温 C_2 : °C	6.8~11.8	5.1~8.3
Thermal Ratio, $\gamma = \frac{C_2}{1C_1}$	1.56~15.7	0.93~4.03
凍結初日 (月/日)	12/1 ~ 1/1	1/20 ~ 12/12
凍結終日 (月/日)	3/3 ~ 3/25	3/16 ~ 3/31
対象地質の標高: m	3 ~ 880	3~113

東北地方における凍結係数の範囲

材料名	含水比 w	補正係数 λ	凍結係数		凍結深 E (cm)
			α (cm, °C, days)	β (cm, days)	
砂利層	0.075	0.397~0.921	2.95~5.00	2.30~10.4	~112
	0.14	0.468~0.778	2.60~4.32	2.17~9.03	~96
土層	0.45	0.541~0.828	2.50~3.83	2.08~8.00	~86
	0.80	0.571~0.862	2.23~3.28	1.86~6.86	~73