

IV—20 凍上作用を受ける構造物の防護層厚さ

北海道開発局

正員

伊福部宗文

同

正員

工博○宮川 勇

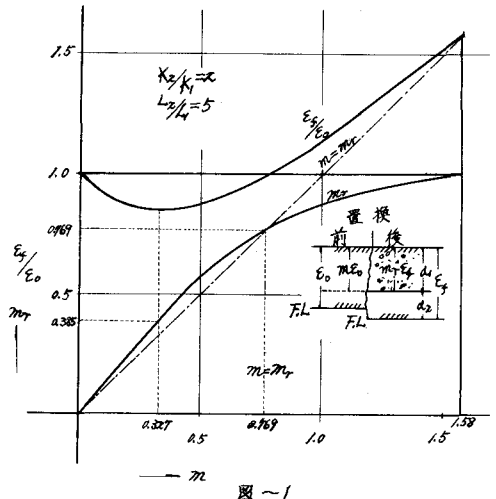
同

正員

小山 道義

寒冷地方では道路、飛行場滑走路、鉄道線路、建築物などのほかトンネル、水路などのライニングおよびその他一切の構造物は凍上性土質に隣接している限りその影響を受ける危険に曝らされている。しかもこの危険性はいわゆる土質の範疇に限りず岩石であっても軟質多湿性のものであれば同様と考えねばならない。厚さ 40~50 cm のコンクリートの背面にある泥岩（比重=2.23, 含水比=0.63, 密度=1.54）に約 30 cm に及ぶ凍結層内で凍上性氷層が顕著な発生をみせておりトンネルライニングや側溝に亀裂を作る原因となった例がある。

凍上対策として凍上力に対して構造物を抵抗させることが考えられるが、これは実際問題としてできないかまたは経済的に不利であると一般に考えられている。これに対して凍上量または融解時の軟弱化の程度を許容できる限度にまで低下させるための処置をとる方法が一般的であって、かつ、対策としては主体をなしており、あわせて構造物がこれに適応し得るようにその構造、材料などに考慮が払われる。最も多く採られる方法は土質の全部または一部を排水、薬剤処理などによって改善するか難凍上性材料で置換えることであり、その具体的方法、材料は構造物の種類や環境によって異なる。ただ一般にこの処置によって凍結深さが変りしかも多くの場合には処理前よりも深く凍ることになるの



図—1

で経済的な処理深さをきめるのはその方法や材料の選択とともになかなか難しいことである。道路などの路盤材料としては支持力の面からの要求もあって乾いた粗粒材料を用いることになるので、実際に用いている置換率の程度になると凍結深は増して、北海道の大部分の地方では凍結深を置換層内に収めることは経済的に大きな負担である。ある程度の凍上が許容できる場合にはその問題の内容に応じて部分置換法が採られる。図—1は凍上性土質の一部を砂利質材料で置換える場合について Stefan の方式によって見かけの置換率（ m ）と置換後の実質置換率（ m_r ）の関係を示す例である。

氷層の生成についての Stefan の計算方式を二層系の凍結の場合に準用すれば、才1層の層厚、熱伝導率、潜熱を d_1, k_1, L_1 、才2層のそれとそれぞれ d_2, k_2, L_2 とするとこの合成層を凍結させるための積算寒度は $F_A = L_1 d_1^2 / 2k_1 + L_2 d_2 (d_1 / 2k_1 + d_2 / k_2)$ ；層位を逆転したときは $F_B = L_2 d_2^2 / 2k_2 + L_1 d_1 (d_1 / 2k_1 + d_2 / k_2)$ であって両者の差は $F_A - F_B = d_1 d_2 (L_2 / k_1 - L_1 / k_2) = (d_1 / k_1) (d_2 / k_2) (k_2 L_2 - k_1 L_1)$ である。一般に k, L の値は才1層のそれが小さい場合の方が積算寒度が大きく凍結しにくいからそれだけ凍結深は浅くなる。 k, L の値は含水量に伴うので、才1層が乾いている程、才2層は含水量が多い程その差が著しい。部分置換材として表層に乾燥性材料（

砂・砂利・碎石・コンクリートなど) が用いられるゆえんである。この場合の才2層が凍上性の残置層であつて容認できない場合には、凍結層内の材料は難凍上性であればよいので支持力などの点で許容できれば、スカンジナビヤ地方で古くから行われているようにこの才2層に相当する部分を泥炭層や古木材などの類で置換えることができる。

前記の例では泥岩の凍結深は約30cmであり、この成層条件と凍結状態について Stefan の方法で試算しさらにこれを北海道中部内陸地方の気象条件で Neumann の方法に準じて修正すればこの例の積算寒度は約 800°C days に相当する。同じ条件でコンクリートの背面に容積含水率90%の泥炭を用いれば凍結深は約22cmでありこれに所要の余裕を見込んだ裏ごめ

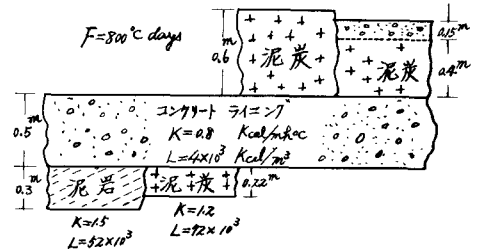


図 ~ 2

厚さとすればよい。この場合泥炭層をライニングの表面に置けば60cmの被覆が必要でありその一部(15cm)をコンクリートで置換えても総厚55cmの被覆が要る(図~2)。本例から類推されるように砂利層を裏ごめに用いることは凍結深の点から、したがって裏ごめ厚、掘さく量の点からは不利であり、多湿性材料を利用する方がよい。

トンネルや掘削置換する路盤の場合には掘削量をできるだけ少なくしたいし、また一般にライニングや置換(裏ごめ)材料を節約したいので、凍結深をできるだけ小さくすることは重要な条件の一つである。凍結を避けたい埋設管などの場合にも事情は同じである。このような観点から凍結深を最小にするような合成層の配置とその厚さの組合せは大きな関心事である。これに加えて支持力からの要求や構成材料の価格、掘削費などの条件による得失を顧慮して合理的な断面が決定される。凍結深を最小にするための層厚の組合せは合成層の積算寒度を最大にする条件から次のように得られる。

(i) 二層組合せの場合: $m_1 = d_1 / (d_1 + d_2) = (K_1 / K_2 - 1) / (K_1 / K_2 + L_1 / L_2 - 2)$ 但し $K_1 / K_2 + L_1 / L_2 < 2$

(ii) 三層組合せの場合: $E_f = \text{凍結深}$

(a) d_1 が既定の場合: $d_2 / E_f = \{ (K_2 / K_3 - 1) - \{ (K_2 / K_1) (L_2 / L_3 - 1) + (K_2 / K_3 - 1) \} (d_1 / E_f) \} / (K_2 / K_3 + L_2 / L_3 - 2)$

ここに $K_2 / K_3 + L_2 / L_3 < 2$

(b) d_2 が既定の場合: $d_1 / E_f = \{ (K_1 / K_3 - 1) - \{ K_1 / K_3 - K_1 / K_2 + L_2 / L_3 - 1 \} (d_2 / E_f) \} / (K_1 / K_3 + L_1 / L_3 - 2)$ ここに $K_1 / K_3 + L_1 / L_3 < 2$

泥岩に対するコンクリートライニングを防護するために、泥炭層およびパーライトのような軽量骨材によるコンクリートを用いた場合の算例を図~3に示した。路盤材料の置換にもこの考え方は有効に利用される可能性があり、このときは支持力の面からの要求を併せ考えねばならない。(1961. 2)

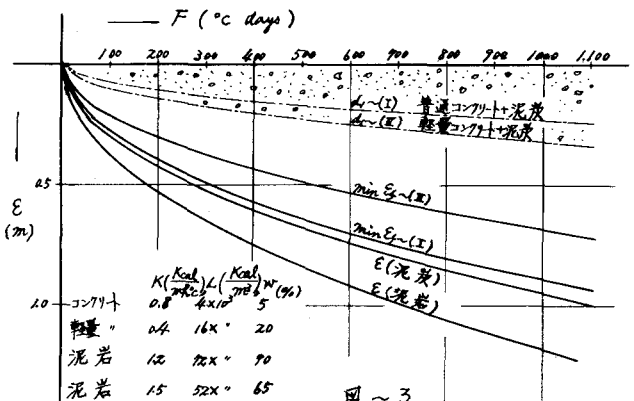


図 ~ 3