

III-403 SEGREGATION POTENTIAL による凍上解析(その1:飽和土に適用した線形モデル)

清水建設(株)技術研究所 (正)了戒公利
日本道路公団試験所 若槻良行 (正)伊藤 護

1. まえがき

飽和土の凍上量を予測するためには、有効応力と凍結速度の関係から凍上率を与える高志らの式がある。この関係式では、凍結速度が小さい領域では凍上量を的確に予測することが困難であった。

ここでは、KONRAD¹⁾が提案した SEGREGATION POTENTIAL の概念を用いた解析手法を新しく提案し、それにもとづく温度、透水係数、供試体長さなどの影響について検討した。

2. 線形凍上解析

2.1 吸水速度 吸水速度 V_w は、KONRAD が提案している次式で与えられる。

$$V_w = S_p dT/dx \quad (1)$$

ここに、 S_p は SEGREGATION POTENTIAL、 dT/dx は凍結面近傍の凍土の温度勾配である。吸水速度は、高志らが提案しているように有効応力が大きくなると、小さくなることから、次式が成り立つとする。

$$S_p = S_{p0}/\sigma' = S_{p0}/(\sigma - u_{wo} - S_f) \quad (2)$$

ここに、 S_{p0} は定数、 σ' は有効応力、 σ は土載圧(全土圧)、 u_{wo} は初期間隙水圧、 S_f は凍結面での吸水力である。

2.2 温度分布 凍土及び未凍土の温度分布は、次式のような直線分布で与えられるものとする。

$$T_f = (T_o - T_u) \frac{X}{X_f} + T_u \quad (3)$$

$$T_{uf} = (T_l - T_o) \frac{X - X_f}{H - X_f} + T_o \quad (4)$$

ここに、 T_f 凍土内温度、 T_{uf} は未凍土内温度、 T_u 、 T_l は上部冷却温度、下部温度、 T_o は土の凍結温度、 X_f は凍結面の位置、 H は供試体の高さである。

凍土と未凍土との境界において、熱的条件として次の関係が成り立たねばならない。

$$\lambda_1 \frac{(T_o - T_u)}{X_f} - \lambda_2 \frac{(T_l - T_o)}{H - X_f} = L_s \gamma_s V + L_w \gamma_w V_w \quad (5)$$

ここに、 λ_1 、 λ_2 は凍土及び未凍土の熱伝導率、 γ_s 、 γ_w は土及び水の単位体積重量、 L_s は土の凍結潜熱、 L_w は水の凍結潜熱、 V は凍結速度、 V_w は吸水速度である。

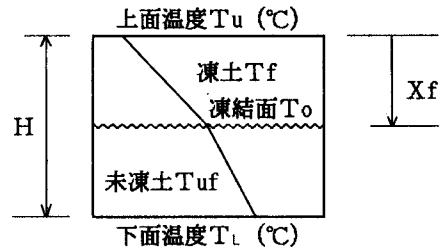


図-1 解析モデル

2.3 凍結面での吸水力 未凍土においてダルシー則が成り立つとすると次式が成立する。

$$V_w = - \frac{k}{\gamma_w} \frac{S_f}{H - X_f} \quad (6)$$

なお、 k は透水係数である。

式(1)と(6)から凍結面での吸水力 S_f は次式で与えられる。

$$S_f = \{ \sigma - u_{wo} - \sqrt{(\sigma - u_{wo})^2 + 4(B/A)} \} / 2 \quad (7)$$

ここに、 $A = k / (\gamma_w S_{p0})$

$$B = (T_o - T_u) (H - X_f) / X_f$$

2.4 凍上量 凍上量を以下の手順で求めることができる。まず、式(7)より吸水力 S_f を求める。この S_f を式(6)に代入することにより、吸水速度 V_w がもとまる。式(5)に代入し、凍結速度 V がもとり、 ΔX が凍結する時間 Δt がもとまる。よって、 ΔX が凍結する間の氷晶分離による凍上量 Δh_s は次式で与えられる。

$$\Delta h_s = (1 + \Gamma) V_w \Delta t \quad (8)$$

ここに、 Γ は水の凍結膨張率(0.09)である。もともと土中に含まれている間隙水の凍結に伴う凍上量 Δh_i は

$$\Delta h_i = \Gamma n \Delta X \quad (9)$$

である。ここに、 n は間隙率である。よって、全凍上量 Δh は、次式で与えられる。

$$\Delta h = \Delta h_s + \Delta h_i \quad (10)$$

3. 解析結果からみた凍上量に及ぼす要因

計算は、苫小牧土²⁾の凍上実験から得られた定数を用いて行った。

3.1 供試体両端面温度の影響 冷却温度が低いほど、凍結面は急速に最終の凍結面に近づき、凍上量は大きくなる(図-2(a)~(c))。しかも、凍結面での吸水力は大きくなる傾向にある。凍結速度が小さい領域においても、この傾向を提案式で表わすことができた。

3.2 供試体の長さの影響 供試体が長くなるにつれ、凍上量は小さく現われた(図-3)。これは、凍土内の温度勾配が小さくなることと、凍結面での吸水力が増加し、有効応力が大きくなる

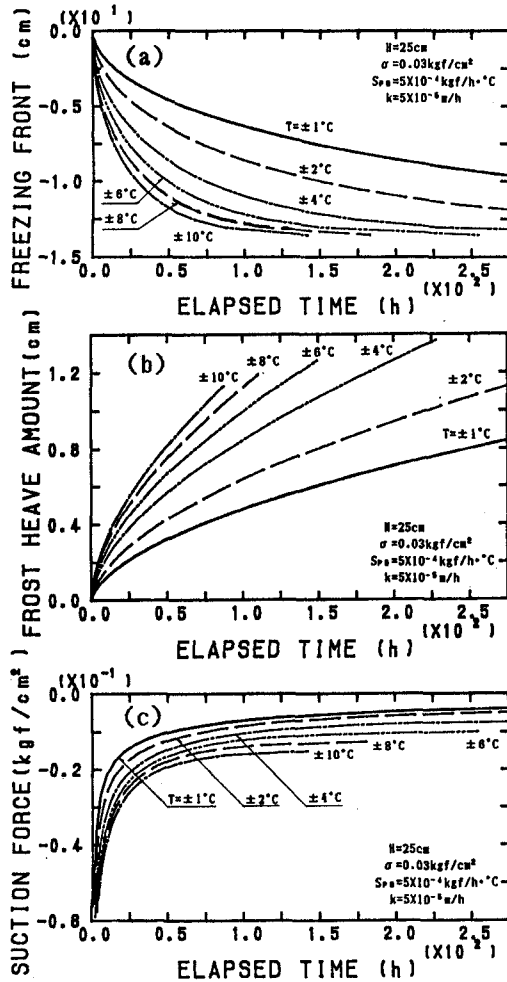


図-2 冷却温度を変えた凍上解析結果(a)凍結面、(b)凍上量、(c)凍結面での吸水力の経時変化

ためと考えられる。

3.3 S_{po} 及び透水係数の影響 S_{po} あるいは透水係数が大きくなるにつれて、凍上量は大きくなる傾向を示した(図-4)。さらに、透水係数が大きくなるにつれて、凍上量の経時変化は放物線型を示し、逆に小さくなると、直線型を示す傾向にあった。

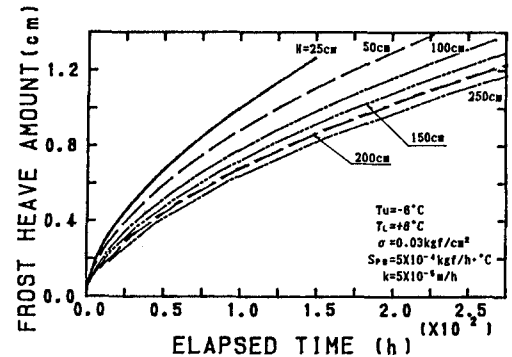


図-3 供試体長を変えた凍上量の解析結果

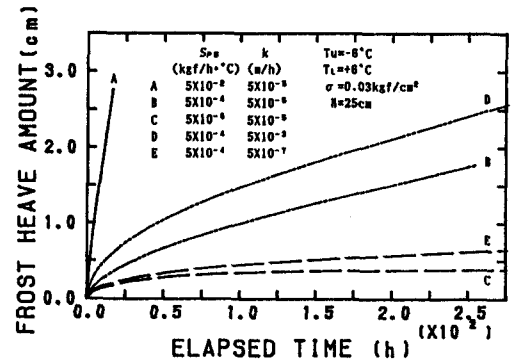


図-4 S_{po} 及び透水係数を変えた凍上量の解析結果

4. まとめ

SEGREGATION POTENTIAL の概念を用いて凍上解析を実施した。その結果、凍結速度が非常に小さい場合にも適用できることが明らかとなった。今後は、非線形モデル及び不飽和土を対象とした解析モデルを提案する予定である。

最後に、実験並びにデータ整理をして頂いた吉田寛、青山義人、日暮優勝の各氏に感謝致します。

参考文献 1) KONRAD, MORGENSTERN, Segregation Potential of a Freezing Soil; Canadian Geotechnical Journal, 1985 2) 伊藤、若槻、瓦川、了戒; 道路の凍上対策に関する研究(その1)、土質工学会学術講演会、1989