JR 根室本線直下 R&C 工事における凍上防止対策と解析的検証

(株)奥村組 正会員 森田修二 JR 北海道 正会員 綱嶋和彦 (株)奥村組 正会員 山野 浩 (㈱奥村組 古川 誠 (㈱奥村組 藤田 仁

1. まえがき

北海道などでは寒冷地特有の「土の凍上現象」がある。冬期の気温低下により地盤中の間隙水が凍結し体 積膨張等により表土が隆起する現象である。軌道直下ではこの凍上現象により軌道狂いが発生する。特にア ンダーパスを行う箇所では、設置したボックスからの冷却と地熱供給の阻害により凍上現象が促進され軌道 管理上の問題となっている。札内南大通りにおける JR 根室本線下をアール・アンド・シー工法によりアン ダーパス工事を施工する際に凍上防止対策を実施し地盤の変位と温度を計測した¹⁾。また、凍上現象のメカ ニズムを検証するために地下水の浸透流、熱拡散、凍結膨張のシミュレーションを行ったので報告する。な お、数値解析には有限要素法による汎用構造・非構造解析コード"FEAST"を用いた。

2. 解析手法の概要

本報の目的は凍上現象のメカニズムを検証することである。凍結土の力学的挙動は複雑であるが、地表面 付近の不飽和地盤では拘束圧が低く弾性的挙動を示すと考えられる。凍上現象は地下水の浸透流、地盤中の 熱拡散、地盤の凍結膨張を評価する必要がある。地盤中の浸透流の方程式、熱拡散方程式、は式(1)、式(2) で表される。本報では地表面付近の不飽和領域を解析対象とし、不飽和の透水特性は van Genuchten の式を 適用する。不飽和領域では地下水の含水比が低く熱拡散は水よりも土粒子が大きい。式(2)の熱拡散方程式で は地下水と土粒子の熱拡散を表したものであるが、地下水と土粒子間の温度差は小さいと仮定して拡散項は 等価な拡散係数で評価した。ここで、k は透水係数、h は全水頭、q は流量、S_s は比水分容量、 φ は温度、 λ w、 λ_s は水と土粒子の熱伝導率、v は地下水の実流速、Q は熱量、n は間隙率、θ は体積含水率、 ρ_w、 c_w は 水の密度と比熱、 ρ_s、 c_s は土粒子の密度と比熱である。

$$k_{x}\frac{\partial^{2}h}{\partial x^{2}} + k_{y}\frac{\partial^{2}h}{\partial y^{2}} + k_{z}\frac{\partial^{2}h}{\partial z^{2}} - S_{s}\frac{\partial h}{\partial t} + q = 0$$
(1)

$$\lambda_{x}\frac{\partial^{2}\phi}{\partial x^{2}} + \lambda_{y}\frac{\partial^{2}\phi}{\partial y^{2}} + \lambda_{z}\frac{\partial^{2}\phi}{\partial z^{2}} - v_{x}\frac{\partial\phi}{\partial x} - v_{y}\frac{\partial\phi}{\partial y} - v_{z}\frac{\partial\phi}{\partial z} - R\frac{\partial\phi}{\partial t} + Q = 0$$
(2)

$$R = 1 + \frac{(1-n)}{\theta}\frac{\rho_{s}c_{s}}{\rho_{w}c_{w}}, \quad \lambda = \left\{\lambda_{w} + \frac{(1-n)}{\theta}\lambda_{s}\right\} / \rho_{w}c_{w}$$

図-1には解析のフローを示した。浸透流解析により地下水の流速と含水量 分布を算定、熱拡散解析により凍結や融解時の潜熱を考慮した温度分布を算 定、温度分布に応じた凍結時の膨張解析を行い地盤の変位を算定する。膨張 解析は水と氷の密度差による膨張ひずみに対する弾性の応力変形解析を行う。

3. 現地の概要

図-2 にはアンダーパス部分の地表平面、図-3 には側面の概要を示した。 凍上防止対策として下記の2つの方法を実施した。



図-1 解析のフロー

対策①:アンダーパス直上に断熱材を敷設

対策②:地盤の砕石による置換

対策②は地下水の排水を促進して間隙水を減少させて凍上量を低減する方法であり、対策①は地盤の温度低 下を抑制して凍上量を低減する方法である。JR 根室本線に沿う直下地盤には対策②を実施し、隣接部分に対 キーワード:アンダーパス工法、凍上防止対策、凍上解析 連絡先:〒108-8381 東京都港区芝 5-6-1 ㈱奥村組 TEL:03-5427-8576 FAX:03-5427-8104 E-mail:shuji.morita@okumuragumi.jp 策①を実施した。なお、底版部は有孔管方向に中央から 2.5% の勾配を設け排水を促進するように配慮した。計測位置を No.1 ~No.4 に示したが、比較のために未対策の部分や一般部(原地 盤)にも配置した。計測項目は下記の通りである。

① 地表面変位

② 地中温度 (GL-10cm、GL-80cm) と気温

4. 計測と解析結果

図-4 に地表面変位の結果を示した。計測結果では No.2(対 策②)には変位が見られないが No.1(対策①)では最大 17mm の凍上量が発生している。No.4(一般部)では最大 10mm でこ の結果が原地盤の本来の凍上量と言える。

解析に用いた物性値を表-1に示した。砕石部と埋土で不飽和 特性は同一とし、透水係数に100倍の差を設定した。弾性係数 等は同一として主に浸透特性の凍上への影響を検討した。降雨 (気象庁本別データを使用)の地表面への流入と有孔管による 排水を境界条件として軌道方向断面の2次元有限要素解析を行 った。最大の凍上量はNo.1は19mm、No.2では5mmとなった。 計測結果の砕石部と埋土との相対的な関係を非常によく表し ている。図-5には地中温度でGL-80cmの結果を示した。底部で 断熱材の効果が最も期待できる点であるが、計測結果ではあま り差違が見られない。一方、解析結果では底部の熱伝達率に10 倍の差(断熱材の熱伝達率:1.4W/m²℃)を設定したが、凍上初 期にNo.1の温度低下の遅れが見られ、保温対策の効果がうか がえる。しかし、No.1の凍上量は平衡状態に達しており、断熱 材は温度低下の遅延効果はあるが凍上の抑制には課題がある。



5. 結論

本報では凍上解析手法の1つを提案した。不飽和領域を対象に熱拡散解析では一部簡略化した定式化を用いたが、計測結果による検証を行い良好な結果が得られた。定性的には透水性の高い地盤では凍上量を低減できることが確認できた。凍上現象のモデル化にはまだ課題もあり今後も検討を継続していく予定である。

[参考文献]

1) 堀道明、古川誠、藤田仁、「土被り 0mでの函体推進」、土木建設技術シンポジム 2007 論文集、pp. 97-102、2007



図-2 軌道直下の平面配置



図-3 施工概要(側面)

実_1 抽般の物性値

我一把 盖 的伤住他						
	k(cm/s)	α	n	m	$E(kN/m^2)$	ν
砕石	1.0	5	Б	0 8	7000	0.2
埋土	1.0×10^{-2}	0	0	0.0	1000	0.3
($($ $) =) = m$						

有効飽和度 $S_e = \{1 + (\alpha \psi)^n \}^m \quad \psi : \forall \rho \nu = \nu$