

近接構造物への凍結土圧の試算と構造物の補強に関する考察

(株)精研 正会員 ○松岡 啓次
 (株)精研 正会員 生頼 孝博
 (株)精研 正会員 上田 保司

1. はじめに

地盤凍結する場合、近接構造物があれば、凍結膨張による地盤の変位が抑えられ、地盤応力が増加する。特に硬質な粘性地盤を対象とする場合には、応力が大きくなり、構造物の補強対策が必要となる場合がある。凍結土圧は、地盤の凍結膨張特性に基づき、地盤の変形係数、凍土と構造物の距離、構造物の剛性に依存すると考えられる。凍結域の増加に従って地盤応力が増加し、凍結膨張率はその応力に依存して減少する。本稿では、上記～の値の変化による構造物への凍結土圧の変化や構造物の補強について調べた。

2. モデル及び諸定数

図1に示すモデルを用いて2次元弾性FEM解析によって検討した。検討に使用した諸数値を表1に、仮定等を以下に示す。

- (1) 凍結域は、X方向に多数分割し、凍結線膨張率は、応力に依存する式(1),(2)の三軸凍上実験式¹⁾を使用する。式(1),(2)は初期地盤応力と増加応力に分割している。熱流はX方向とする。

$$\xi_x = a + \{b \cdot (\sigma_{y0} + \Delta\sigma_y) + c\} / (\sigma_{x0} + \Delta\sigma_f) \quad (1),$$

$$\xi_y = d + \{e \cdot (\sigma_{x0} + \Delta\sigma_f) + f\} / (\sigma_{y0} + \Delta\sigma_y) \quad (2).$$

ここで、 σ_{x0}, σ_{y0} : X, Y 方向の初期有効応力、 $\Delta\sigma_f, \Delta\sigma_y$: X 方向の増加応力(凍結膨張圧)、Y 方向の増加応力、 ξ_x, ξ_y : X, Y 方向の凍結線膨張率、 $a \sim f$: 凍結膨張特性を表す定数で、硬質粘土の値¹⁾として、 $a=-0.043, b=0.029, c=0.010, d=-0.025, e=0.023, f=0.002$ を用いる。

なお、凍結膨張圧 $\Delta\sigma_f$ は、凍結膨張によって凍結面位置で地盤に加わる増加圧力である。凍結土圧 ΔP_f は、凍結膨張によって構造物や周囲の地盤に加わる増加圧力である。

- (2) 構造物の剛性は、構造物単体と補強材(H形鋼で支保)の合成で決まるが、ここでは、構造物の剛性率を表1の基準断面積(H400・400・13・21)のG倍として表わし、Gを0~2とする。G=0は、補強材がない場合である。補強材は図1のように3本とする

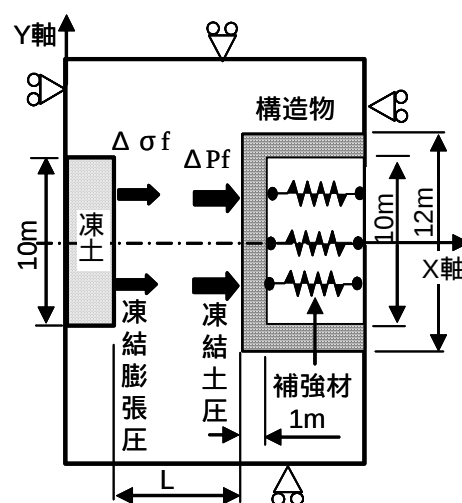


図1 解析モデル図

表1 使用した諸数値

地盤	未凍土	変形係数: Es (MPa)	20, 50, 100
		ポアソン比	0.3
	凍土	変形係数 (MPa)	2,000
		ポアソン比	0.3
構造物		初期土圧 (MPa)	0.3
		弾性係数 (MPa)	25,000
		ポアソン比	0.2
		凍結面離れ: L (m)	0.2, 3
補強材		弾性係数 (MPa)	206,000
		基準断面積 (m ²)	0.02187

3. 解析結果

3-1 構造物剛性による凍結線膨張率

地盤の変形係数 $E_s=20, 50, 100$ MPa、構造物の凍結面からの距離 $L=0.2m, 3m$ の場合、構造物の剛性率 G に対する X 方向の平均凍結線膨張率 ξ_{xa} を図2に示す。 ξ_{xa} は、凍土内の X 方向の凍結膨張圧 $\Delta\sigma_f$ における凍結線膨張率 ξ_x を平均した値である。 E_s や L の値に拘わらず、 G が大きい程凍結膨張圧 $\Delta\sigma_f$ が大きくなるので、 ξ_{xa} が減少するが、 G が1程度以上になるとほとんど一定となる。 $L=0.2m$ と比べ $L=3m$ の場合、凍土と構造物間の地盤

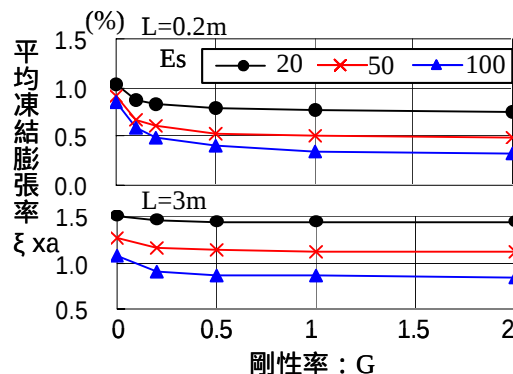


図2 Gに対する平均凍結線膨張率 ξ_{xa}

キーワード 地盤凍結、凍結膨張圧、凍結土圧、凍結線膨張率、FEM 解析

連絡先 〒542-0066 大阪市中央区瓦屋町2丁目11-16 (株)精研 技術本部 TEL: 06-6768-5031(代)

が変形されやすく、また、膨張量の一部が周辺地盤へ逃げやすくなるために、地盤の応力増加が少なくなるので、 ξ_{xa} が大きくなる。本解析条件の範囲では、Y 方向の平均凍結線膨張率 ξ_{ya} は、 ξ_{xa} の約 0.2~0.8 倍程度である。

3-2 構造物剛性による凍結膨張圧と凍結土圧の比較

変形係数 $E_s=50\text{MPa}$ の場合、剛性率 G に対する凍結膨張圧 $\Delta\sigma_f$ と凍結土圧 ΔP_f を 2 種類の L について図 3 に示す。 G が大きくなると、構造物の変形による凍結膨張量の吸収が少なくなるので、 $\Delta\sigma_f$ 、 ΔP_f は共に増加する。 $L=3\text{m}$ の場合、 ΔP_f は $\Delta\sigma_f$ より小さくなっているが、これは X 方向の膨張量の一部が周辺地盤に散逸しやすくなるためと考えられる。 L が小さければ、散逸量が少なくなり、 ΔP_f と $\Delta\sigma_f$ はほぼ等しくなる。

3-3 構造物剛性による凍結土圧に及ぼす影響

凍結面離れ L と変形係数 E_s を変えて、剛性率 G に対する凍結土圧 ΔP_f を図 4 に示す。 G が大きくなると、構造物の変形による凍結膨張量の吸収が少なくなるので、 ΔP_f が増加する。また当然のことであるが、 L の値に拘わらず、 E_s が大きい程凍結域と構造物間の地盤が圧縮され難いので、 ΔP_f が増加する。特に、 L が小さい程、 G の増加に対して ΔP_f の増加が顕著となる。 L が小さい場合、 G が 0.5~1 以上で、 L が大きい場合、 $G=0.2$ 付近以上で ΔP_f がほぼ一定となっている。このことから、剛性率 G をあまり大きくする必要がなく、補強材は条件に応じてある程度の剛性を持たせることで、経済的な設計ができるといえる。

4. その他の影響因子に関する考察

本稿では、地盤を弾性体として扱ったが、実際の地盤は弾塑性体であり、応力増加によって凍土と構造物間の地盤が圧密されたり、また、構造物と地盤との滑りが生じて土圧が低下することも考えられる。更に、地盤の透水性に応じて凍結面への吸水が抑制され、それによって凍結膨張率が低下し、その結果凍結土圧が低下することも考えられる。従って、実際の凍結土圧は、本試算で得られた値より小さくなると思われる。ただし、凍結域や構造物の形状によっては、凍結土圧が極端に大きくなる閉塞凍結となる場合もあるので、十分な注意が必要である。

5. まとめ

構造物のある地盤付近を凍結する場合、凍結膨張の発生状況と構造物の補強に関して以下の結果が得られた。

- (1) 構造物の存在によって、構造物方向(X 方向)の応力 σ_x が増加するため、平均凍結線膨張率 ξ_{xa} は急激に減少する。
- (2) 構造物にかかる凍結土圧 ΔP_f は、構造物の剛性 G の増加に伴って増加するが、ある程度の G の値以上ではほぼ一定となる。 ΔP_f が一定となる G は、凍結域と構造物間の距離 L が大きく、また地盤の変形係数 E_s が小さい程、小さくなる。従って、補強材の選定に際しては、条件に応じた経済的な設計をする必要がある。

今後、地盤を弾塑性体とし、圧密、地盤と構造物の滑り、凍結面への吸水を考慮し、更に、土質による凍結膨張特性や熱流方向の相違、凍結域や構造物の形状の相違等による影響を調べ、凍結土圧や構造物補強等の有効な対策方法を提言していきたい。

(参考文献) 1) 上田・生頼・田村：有効応力に基づく土の三軸方向への凍結線膨張率，土木学会論文集，NO.806/ -73，2005，PP.67-78。

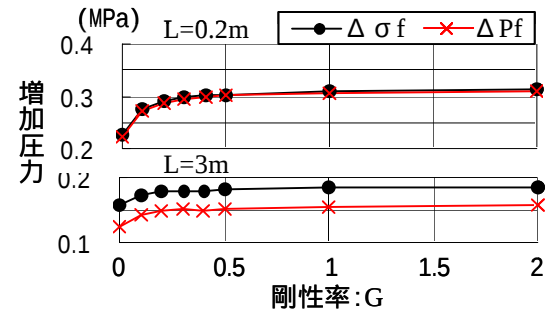


図3 G に対する凍結膨張圧、凍結土圧 ($E_s=50\text{MPa}$)

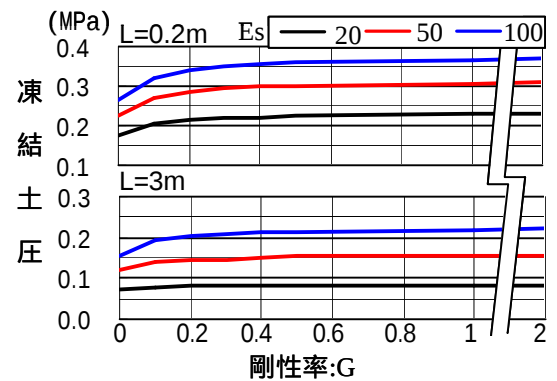


図4 G に対する凍結土圧