土の凍結前後における熱流直交方向ひずみの評価

Evaluation of strains in orthogonal direction of heat flow before and after the freezing of soil

nara)
Kuriki)
(anauchi
ng)

1.緒言

気温が 0℃以下になると土は凍り始め気温の低下に伴 いさらに地下深くへと凍結していく. 土が凍り始めると 凍る前とは著しく変わった挙動を示し、体積膨張や諸物 性が変わることが知られている.近年,この凍土の強度 や遮水性などを利用した、土木工事の補助工法の一つで ある地盤凍結工法が注目されている.しかし、この工法 において、土が凍る際に発生する凍上現象の影響が、未 凍結領域への土圧増加や変位となって表れることがある. 凍上現象とは土が凍る際,土中にレンズ状の氷の層(ア イスレンズ)が形成されることにより、単に土中の水分 が氷になる相変化よりも、膨張率が大きくなる現象であ る. 凍上量と拘束有効応力との一次元的な評価には、室 内凍上試験から求められる実験式である高志の式 りが用 いられる. また, 上田 ²は熱流方向, 熱流直交方向に一 定の拘束有効応力を与える開式三軸凍上実験を行い、応 力と凍結線膨張率との関係を表す実験式を導き出した. しかし、熱流直交方向の膨脹に関する研究は例が少ない. 今後,都市部の複雑化した地下空間での凍上量の予測に は熱流直交方向の凍上性の評価が重要になると考えられ る.

本研究では土の凍結前と凍結後の熱流直交方向ひずみ に着目し,図-1に示す実験装置を用いて三軸凍上試験 を行った.凍上性試料のMZカオリンと非凍上性試料の 豊浦標準砂を混合した試料を用いた実験結果から凍結前 後での熱流直交方向ひずみについて検討する.

2.熱流直交方向の凍結膨張ひずみ

図-1 に示す凍上セル,実験装置を用いて,各リング に設置したひずみゲージから外周周方向ひずみを測定す る.熱流直交方向の半径方向直応力を求めるために厚肉 円筒理論を用いると以下の式(1)で表される.

$$\begin{cases} -\sigma_{r}(a) \\ \sigma_{r}(b) \end{cases} = \begin{bmatrix} K \end{bmatrix} \begin{cases} u_{a} \\ u_{b} \end{cases} - \alpha \begin{cases} -1 \\ 1 \end{cases} \&$$
 (1)

ただし,

$$\begin{bmatrix} K \end{bmatrix} = \alpha \frac{1}{a^2 - b^2} \begin{bmatrix} -a - (1 - 2\nu)b^2 / a & 2(1 - \nu) \\ 2(1 - \nu)a & -b - (1 - 2\nu)a^2 / b \end{bmatrix}$$
$$\alpha = \frac{E}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}$$

a:アクリル・モールド内面半径,b:アクリル・モール ド外面半径, $u_a:$ アクリル・モールド内面変位, $u_b:$ ア クリル・モールド外面半径, $\sigma_r:$ アクリル・モールド半 径方向応力, E:弾性係数, v:ポワソン比, ε_i ;温度膨張 ひずみ ここで,弾性係数 E,ポワソン比v, α はアク リル,供試体の材質ごとに定義するため,以降アクリル に添え字のaおよび供試体にsを付すものとする.供試 体の外周における半径方向応力は以下の式で表される.

$$\sigma_r(a) = \alpha_s \frac{u_a}{a} - \alpha_s \varepsilon_f$$

$$\alpha_s = \frac{E_s}{(1 + v_s)(1 - 2v_s)}$$
(2)

$$\varepsilon_{f} = -\frac{\left\{ a(1-\beta) + \frac{(1-2v_{a}+\beta)b^{2}}{a} \right\} \left\{ b + \frac{(1-2v_{a})a^{2}}{b} - 4(1-v_{a})^{2}ab}{2(a^{2}-b^{2})(1-v_{a})a\beta} u_{b} \right\}}{2(a^{2}-b^{2})(1-v_{a})a\beta}$$



図-1 凍上セル,実験装置

3.三軸凍上試験

試料は MZ カオリンと豊浦標準砂の混合土を用いた.実 験条件を表1 に示す.図-1に示す実験装置を用いて 三軸凍上試験を行った.

表 1 実験条件									
上載圧(KPa)	50	100	200						
凍結速度	1.0mm/hr								
温度勾配		0.1°C/mm							

また計測した周方向ひずみから凍結膨張ひずみを計算 した.計算条件を**表2**に示す.

表 2 計算条件

X_ = HX							
<i>a</i> (mm)	<i>b</i> (mm)	v_a	v_s	β	$E_a(GPa)$		
30	45	0.3	0.3	0.05	3.5		

平成29年度 土木学会北海道支部 論文報告集 第74号

 u_b は外周周方向ひずみにアクリル・モールド外面半径を乗じることで算出した. 凍土の一軸圧縮試験 ³⁾から 今回 β を 0.05 と設定した. 以下凍結膨張ひずみを熱流 直交方向ひずみとする.

4.実験結果

既往の研究より同実験条件下,同実験装置を用いた熱 流方向ひずみと熱流直交方向ひずみの関係性は図-2の ようにわかっている.図-2より配合条件を変えた時の 上記のひずみの関係性はわかった.しかし凍結前後での 供試体の挙動はいまだ不透明なため凍結前後を経時的に 評価するためにひずみゲージ4に着目した.

図-1 の実験装置のひずみゲージ4における豊浦標準 砂と MZ カオリンの混合土の熱流直交方向ひずみと凍結 深の関係を図-3,図-4,図-5に示す.







図-3 MZカオリン(100%)





図-5 豊浦標準砂

図-2から MZ カオリンが 50%となっているときに最 も熱流直交方向にひずみが生じていることがわかる.熱 流方向ひずみと熱流直交方向ひずみの関係を示す図-2 の傾きの大きさも 50%, 100%, 75%の順となった.

凍結深は時間を供試体高さで除したものであり,凍結 速度を乗することで,供試体全体の何%凍結しているか が分かる.リング4は凍結深が40~60%で凍結が始まる. 凍結前の熱流直交方向ひずみは,上載圧に準じた大きさ となっており,凍結開始後直交方向ひずみは増加傾向を 示した.図-4,図-5より砂の配合が多くなるほど, 凍結前の熱流直交方向ひずみは一定の値をとる結果にな った.今回の結果では凍結終了時,熱流直交方向ひずみ と熱流方向拘束圧との関係性は大小関係を見るに留まっ た.MZカオリン 50%の際,熱流直交方向ひずみと凍 結深の関係性は最も線形に近づいている.

5.考察,展望

供試体の配合を変えた実験からは MZ カオリン 50% のときに最も熱流直交方向にひずみが生じていることか ら標準砂によって熱流直交方向へのひずみが助長されて いるのではないかと考えられる。

凍結前の供試体において熱流直交方向ひずみは、熱流 方向拘束圧による水圧によって生じていると考えられる ため、拘束圧の大きさに比例して、1:2:4の関係性が みられるはずであったが、今回は大小関係がみられるに 留まった。凍結前の熱流直交方向ひずみの大小は 200KPa≥100KPa>50KPaとなったため、少なくとも凍結 前では熱流直交方向ひずみは熱流方向拘束圧に依存して いると考えられ、凍結後は標準砂の影響が大きいと考え られる.

今後は、砂と MZ カオリンの配合を変えた実験を進め ることで,配合比率が凍結前後の熱流直交方向ひずみに どのような影響を与えるのか見識を深め、凍上現象に対 する三次元的な評価手法の確立に努めていきたい.

参考文献

- 高志勤, 生頼孝博, 山本英夫, 岡本純:砂凍土の一 軸圧縮強さに関する実験的研究, 土木学会論文報告 集, No.302, pp.79-88(1980)
- 2) 上田保司, 生頼孝博:未凍土の側方歪が直角方向への凍結膨張率に及ぼす影響,日本氷雪学会(2004)
- 3) 土質工学会編:土の凍結-その制御と応用-土質基礎ラ イブラリー(1982)