凍土形成時の熱流直交方向への膨張特性に関する基礎的研究

北海道大学大学院工学院 北海道大学大学院工学院 北海道大学大学院工学院 北海道大学大学院工学研究院 北海道大学大学院工学研究院

1.緒言

近年, ライフライン網構築おける様々な場面で注目されている工法として地盤凍結工法¹⁾がある.しかしこの 工法において,土の凍結時に生じる凍上現象により,体 積膨張変化の予測精度が課題となることがある.特に熱 流直交方向の膨脹率を得ることは,既往の研究からも難 しいとされている.

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²⁾がある. また、上田³⁾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、複 雑化した地下空間での凍上性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、熱流直交方向の凍上性を評価するために 応力に注目し、図-1に示す実験装置⁴⁾を用いて開式三軸 凍上試験を行った. 試料には、凍上性のある試料と凍上 性のない試料(非凍上性試料)を用いた.

以上から,熱流直交方向の基礎的な応力挙動と膨脹特 性について検討する.

2.熱流直交方向応力測定装置

実験装置の概要に関して以下の図-1に示す.上下のペ デスタルに冷却水を流し込むことによって,試料の温度 を制御できる.また,供試体下部からの吸排水を許す構 造になっている.



図-1 熱流直交方向応力測定装置

図-2 に示す凍上セルはアクリルリングを 8 枚積層し た構造となっており,各リングの外周にひずみゲージが 設置されている.ひずみゲージは経時的にひずみを測定 するため,応力の時間変化を追うことができる.さらに,

○学生員	栗城 雅史	(Masashi Kuriki)
学生員	金内 尭	(Takashi Kanauchi)
学生員	天沼 稚香子	(Chikako Amanuma)
正会員	鄭好	(Hao Zheng)
フェロー	蟹江 俊仁	(Shunji Kanie)

各リングには温度計が設置されているため、温度と応力の関係を検討できる.



3. 側方拘束三軸凍上試験

本研究では、吸排水を許す開式三軸凍上試験を行った. 試料に関して凍上性のある試料として、豊浦標準砂と MZ カオリンの重量比 1:1 の混合土(以下混合土 A)、豊浦標準 砂と MZ カオリンの重量比 1:3 の混合土(以下混合土 B)、 土丹の 3 種類の試料を選定した.次に非凍上性の試料と して、豊浦標準砂、平均粒径 0.1mm ガラスビーズ(以下ガ ラス A)、平均粒径 3mm ガラスビーズ(以下ガラス B)の 3 種類を選定した.また水の単純な相変化による膨張を把 握するために、寒天に関して同様の実験を行った.寒天 は固体であるため対流を防ぐことができるが、上載圧に より供試体が収縮してしまうというデメリットがある. そこで、寒天の実験は閉式の凍上試験を行った. 実験諸条件を表-1に示す.

表-1 実験諸条件

実験室温度(℃)	1
凍結速度(mm/hr)	1
温度勾配(°C/hr)	0.1
熱流方向拘束圧(KPa)	50, 100, 200

4.実験結果

4.1.凍上性試料の実験結果

混合土 A の熱流方向膨張率(熱流方向変位を初期供試 体高さで除したもの)を表-2に示す.

表—2	混合十 Δ	の執流方向膨張率
-1X -		

熱流方向拘束圧(KPa)	50	100	200
膨脹率(<u>/</u> h/h)	0.30	0.28	0.20
表-2 より拘束圧が大	きくなるに・	つれ,熱流	方向膨張率
がしだいに小さくなっ	ている.こ;	れは高志の語	式と整合性
があるといえる.次に	,供試体中	心部のリン	グ No.4, 5
の熱流直交方向応力の	温度依存性。	を以下の 図-	-3に示す.

キーワード 凍上,凍上試験,熱流方向膨張率,熱流直交方向応力,温度依存性連絡先 060-0808 北海道大学 北海道札幌市北区北8条西5丁目 (011)706-2100



図-3 よりそれぞれの上載圧において、概ね同じように 応力が上昇しているという結果が得られた.また-1℃ を境に、圧力の上昇傾向が変化していることがわかる. 今回グラフは省略するが、混合土 B、土丹も同様な結果 が得られた.

次に各凍上性試料(拘束圧 100KPa)についての熱流方向 膨張率を表-3に示す.

表-3	凍上性試料の熱流方向膨張率			
乳約		十早	混合十 ▲	混合十 B

₽=v1=1	エバ	IRD L.A	IFE [] L D
膨張率(∠h/h)	0.27	0.28	0.29

表-3より,各凍上性試料において熱流方向膨張率に大きな差はないことがわかる.しかし粒径の小さいシルトを多く含む混合土Bは凍上性が高く,礫を含む土丹の膨脹率が一番小さくなっている.これは粒径が小さいほど凍上しやすいという既往の研究と一致している.

また各凍上性試料(拘束圧 100KPa)の熱流直交方向応力 の温度依存性を図-4 に示す.ここでの熱流直交方向応 力はリング No.3~7 の平均を用いた.



各凍上性試料では凍結初めの 0℃ から側方への応力が 出現し, -1℃ 付近を境に応力の上昇傾向が変わる.ま た,熱流直交方向応力の大きさや上昇率に関してはばら つきがみられた.

4.2.非凍上性試料の実験結果

豊浦標準砂は粒径が大きくアイスレンズが成長しない ため、熱流方向への膨脹は見られなかった.一方熱流直 交方向へは、図-5に示すように、応力が発生している. 豊浦標準砂の応力上昇は凍上性試料とは違い、二次曲線 的に増加している.また、応力の最大値は凍上性試料に 比べ小さいという結果が得られた.

次に,非凍上性試料(拘束圧 100KPa)の熱流直交方向応 力の温度依存性を図-6 に示す.また,各試料の熱流方 向への膨張は見られなかった.



図-6 より寒天は 0℃ 付近で供試体に含まれる水がすべて相変化し、その分の膨脹による側圧が発生している. その後は供試体に変化がないため、側圧も大きな変化は見られなかった.それに対して砂は、寒天よりも二次曲線的に緩やかな増加を示した.次にガラスビーズでは粒径によらず、温度低下とともに一定の割合で応力が増加するという結果が得られた.

5.考察,展望

図-3 より,熱流直交方向応力は上載圧によらず概ね 同じような増加傾向を示していること,また図-4より, 凍上性の高さと側圧の膨張量の間に関連性はないことか ら,アイスレンズの成長は側圧に寄与しないといえる. また図-6より,豊浦標準砂は寒天に比べ緩やかに応力 増加しているが,これは温度低下により不凍水分量が減 少したことにより,その場凍結による応力が緩やかに発 生したためと考えられる.

本研究では凍土形成の際の熱流直交方向応力に着目し、 凍上性試料と非凍上性試料を用いて実験を行い、両者の 違いに関して評価した.今後は、豊浦標準砂と MZ カオ リンの配合を変えた追加実験や不凍水によるその場凍結 と熱流直交方向応力の相関関係について検討したい.

参考文献

- 地盤工学会北海道支部:寒冷地地盤工学-凍上被害とその 対策-,中西出版,2009
- 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)
- 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)
- (CD)
 天沼稚香子:土の凍結膨張における熱流直交方向の発生応 力測定装置の開発,土木学会年次技術講演会講演概要集