

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

北海道大学大学院工学院

学生会員 ○天沼 稚香子

低温圏工学研究所

正会員 赤川 敏

北海道大学大学院工学研究院

フェロー会員 蟹江 俊仁

1. はじめに

一般に凍上現象は熱流方向に発生・成長するアイスレンズによって膨張する現象と考えられている。

凍上量と拘束圧の1次元的な評価には、凍上試験によって得られる実験式である高志の式¹⁾が広く用いられてきたが、凍結工法で課題となる熱流直交方向の膨張に関する研究²⁾はほとんどない。そのため、本研究では凍上試験の際に熱流直交方向に発現する応力を測定装置の開発と、実験による発生応力の傾向を考察する。

2. 計測器の選定

凍上の際の熱流直交方向に発現する応力の計測器として、小型水圧計(以下、水圧計)、および凍上セル外周面周方向のひずみを測るひずみゲージ(以下、SG)の2種類を選定した。この2種類の計測器の性能を次章以降に比較評価する。

次に、供試体側方を拘束する凍上セルは図-1に示すようにアクリルリング(以下、リング)を積層した構造となっている。リングの半径方向の厚さは15mmに設定し、1枚の厚さは10mmで、リングとリングの間は厚さ

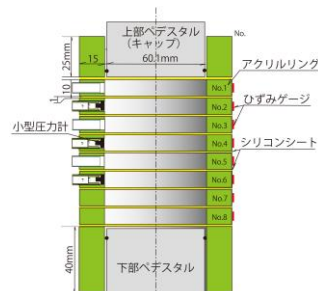


図-1 多重アクリルリングによる凍上セル

1mmのシリコンシートを挟みこんだ。その際、シリコンシートとリング間は止水のためにシリコンコーキング剤で接着した。リング各々に温度計とひずみゲージ、3つのリングには同図に示すように水圧計も設置した。

3. 計測器の検定

計測器の計測性能を検証するため、凍上試験機を用い、凍上セル内の水圧を変動させる圧力検定と、凍上セル内の水の温度を変動させる温度検定(実際の凍上試験は温度変化を与えるため)を行った。

3.1 圧力検定

凍上セル内の水圧は0-500kPaまで100kPaずつ加圧し、同様に圧力を下げた際の水圧計とSGの計測値をみた。(図-2参照)

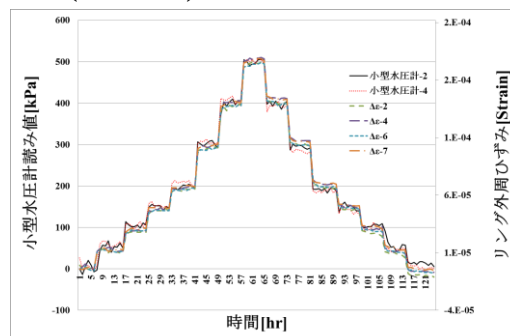


図-2 内圧変化による水圧計・SGの読み値
加圧圧力に対して小型水圧計の読み値の圧力は対応している。一方、ひずみと加圧圧力も線形性があり、紙面の関係で省略するが、厚肉円筒理論³⁾による理論値と一致した。

3.2 温度検定

凍上セル内の水温変化による、水圧計およびSGの測定値の変化を記録した。

温度の変化速度は、一般的な凍上試験の温度勾配(0.1℃/mm)と凍結速度(1.0mm/hr)から、0.1℃/hrで凍上セル内温度を下げる検定条件とした。その結果、水圧計の読み値の変化及びSGの内圧の初期値からの変化を図-3、図-4に示す。尚、SGのひずみ読み値から圧力への変換は、前節で述べた厚肉円筒理論値から求めた。

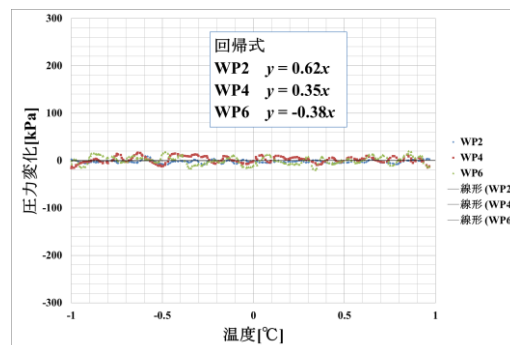


図-3 温度変化による水圧計の圧力変化

キーワード 凍土、凍結凍上、側方応力、三軸凍上試験

連絡先

〒060-0808 札幌市北区北8条西5丁目 北海道大学大学院工学院 TEL011-706-6177

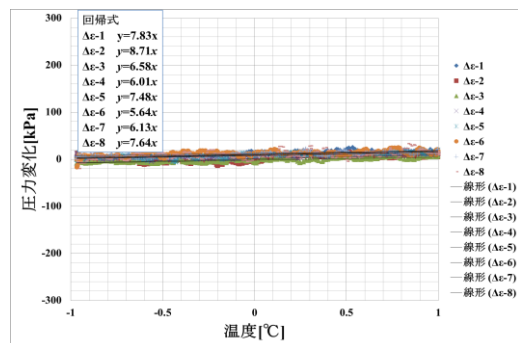


図-4 温度変化による SG の圧力変化

水圧計はほぼ変化しないが、SG の計測値は温度変化に対して線形性をもって変化する傾向を示した。SG には凍上試験でこの線形性を用いて補正值とすることで温度変化による影響をなくすることができる。

4. 三軸凍上試験の実施

前章の検定結果を踏まえて、土丹を攪拌した再構成シルトを用いて、上載圧 200kPa (熱流方向の応力)、凍結速度(1.0 mm/hr)、温度勾配(0.1°C/mm)の一般的な凍上試験の条件下で、凍上試験を行った結果を以下図-5、図-6 に示す。

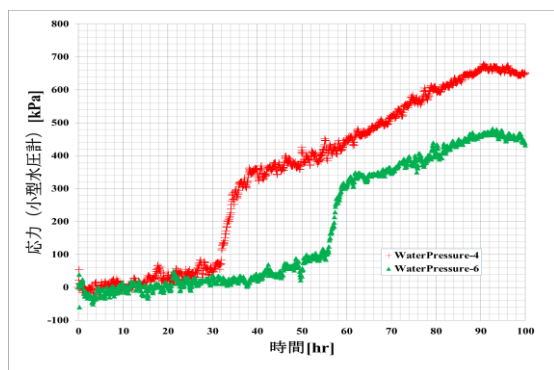


図-5 側方発生応力 (水圧計)

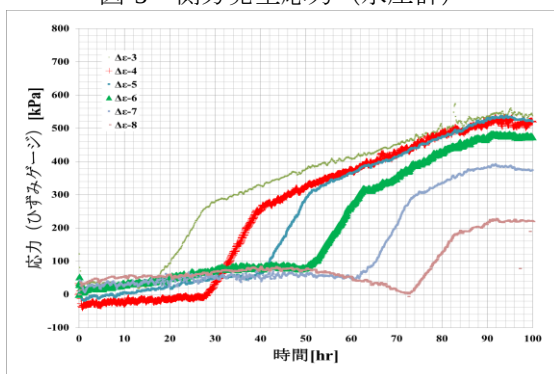


図-6 側方発生応力 (SG)

2 種の計測器ともに似たような応力発生挙動を示していることがわかる。具体的には、リング No が小さい方 (凍結方向) から応力増加していて、どの計測器でも、ある短時間に急激な応力増加が発生し、その後比較的線形に応力増加していくことが分かった。また、2 種の同じリングの計測器は、ほぼ同時に急激な応力増加がみとれる。

5. 考察・まとめ

圧力検定から、圧力変化に対して計測器の妥当性を評価できたといえる。

温度検定の結果から、水圧計では温度による変化はほとんどない。よって温度変化を与えても水圧計の値を信用できる。これに対し、SG による計測では、温度変化により圧力が発生した。これは、アクリルリング自体の温度変化による熱膨張ひずみが発生したことが原因と考えられる。実際の凍上試験で期待される側圧増分は数百 kPa⁴⁾であるが、検定結果を踏まえると最大約 80kPa 相当分の熱膨張ひずみが発生することになる (試体高さが 10 cm の条件下)。これは、少なくとも結果に 10% の影響を与えるため、熱膨張ひずみを考慮する必要がある。ただし、図-4 で示した回帰式を用いることで、この影響分を補正できる。結果として温度変化に対しても両計測器の計測性能を検証できた。

三軸凍上試験の結果から、2 種の計測器は側方の発生応力を測定でき、計測方法としての妥当性を評価できた。この試験により、リングと温度の関係から、0°C 付近で急激な応力増加が起こり、そのあと線形な応力増加が発生することがわかった。これは、供試体の中の水が氷に相変化を起こす際に、急激な応力増加を引き起こすと考えられる。

今後は、側方に発生する応力を定量的に評価できるようにすることが必要である。そのため、今回は液圧で評価した SG に関して、凍上セルであるリングと、凍土圧の相互関係を力学的に検討していく。

また、熱流方向の応力 (σ_1)・熱流方向変位量・側方応力との関係性も検討するためのさらなる実験の実施や、水の相変化に関わる温度と、側方応力の関係なども検討していく。

参考文献

- 1) 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: 土の凍結膨張による地盤変形および発生応力の予測と対策に関する研究, 京都大学大学院工学研究科学学位論文, pp. 6, 2007
- 3) 岡本玄: 軸対称凍結モデルによるフロストバルブとパイプの凍着強度特性, 北海道大学寒冷地建設工学講座平成 19 年度卒業論文, pp. 29-34
- 4) 弓削輝之, S. B. Tamrakar, 赤川 敏: 凍上試験における側方摩擦の評価, 第 37 回地盤工学研究発表会, pp.1191-1192, 2002.6.