

土の凍上による強度低下について

北海道土質試験協同組合 ○高橋 孝輔 平 信明

1. はじめに

近年、寒冷地で土の凍上を起因とする土木構造物の被害事例が多く報告されている¹⁾。盛土構造物では、凍上現象により斜面の安定性・支持力が低下し、すべり・崩落に伴い、側溝などの付帯構造物の破損といった被害が報告され、社会的な問題となっている。凍上により土が体積膨張した後、融解する事で、土の強度低下が生じると考えられるが、土の密度や強度定数である粘着力 c や内部摩擦角 ϕ 等、凍上の影響による物性値の変化に関して報告例が少ない。

一般的に室内試験では、NEXCO 試験法 112 の「凍上性判定のための土の凍上試験²⁾」があり、凍結融解後の CBR 値をもって土の強度低下を評価する事が出来る。地盤工学会より基準化されている「JGS0172-2020 凍上性判定のための土の凍上試験³⁾」(以下: JGS 型凍上試験)では、土の強度低下を評価する方法は定められていない。

そこで本論では、JGS 型凍上試験を実施後、凍上後の融解時に土の体積が変化する事により、密度と含水比を計測可能である事に着目し、融解後の供試体条件にて三軸圧縮試験を行い、JGS 型凍上試験の強度低下の評価に関する方法として検証し報告するものである。

2. 使用材料及び試験方法

使用材料には、火山灰質砂・粘性土質砂を用い、各試料の凍上前、融解後の試験結果を表-1に示す。一般的な盛土管理基準である最大乾燥密度の90%を目安に、自然含水比で供試体を作製し、JGS 型凍上試験及び三軸圧縮試験を行った。

図-1に凍上試験経過時間と凍上量の関係を示す。JGS 型凍上試験を実施し、試料の凍上速度を測定した後、供試体の融解を行った。凍上試験の温度降下速度は $-0.05^{\circ}\text{C}/\text{h}$ で実施し、粘性土質砂の凍上速度は $0.22\text{mm}/\text{h}$ 、火山灰質砂の凍上速度は $0.16\text{mm}/\text{h}$ であった。凍結速度 U は $1\sim 2\text{mm}/\text{h}$ の範囲で凍結が完了した。凍結した供試体の両端面を $+10^{\circ}\text{C}$ で融解させ、凍上量、吸排水量が安定した後、凍上量及び吸排水量を測定し土の体積を求め、融解後供試体の乾燥密度・含水比を算出した。

次に融解後供試体の状態を再現した供試体で三軸圧縮試験を実施し、凍上前の三軸圧縮試験結果と比較を行った。実施した材料は、2試料とも砂質土に分類されているが、細粒分含有率 F_c が30%を超えており、中間土である事を考慮し三軸圧縮試験のせん断時の条件として、CD法とUU法の2条件で実施し、側圧は、 $\sigma = 30 \cdot 60 \cdot 90\text{kN}/\text{m}^2$ で行った。尚、本論では凍上試験後の試料を用いて供試体作製はしていないため、凍上作用による土の細粒化等

表-1 物理・締固め試験結果一覧表

| 試料名 | 火山灰質砂 凍上前 | 火山灰質砂 融解後 | 粘性土質砂 凍上前 | 粘性土質砂 融解後 |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 土粒子の密度 $\rho_s(\text{Mg}/\text{m}^3)$ | 2.547 | | 2.521 | |
| 含水比 $w(\%)$ | 32.2 | 39.8 | 34.5 | 42.9 |
| 細粒分含有率 $F_c(\%)$ | 36.3 | | 30.0 | |
| 最大乾燥密度 $\rho_{dmax}(\text{Mg}/\text{m}^3)$ | 1.402 | | 1.345 | |
| 最大乾燥密度90% $\rho_{dmax90}(\text{Mg}/\text{m}^3)$ | 1.262 | - | 1.211 | - |
| 融解後乾燥密度 $\rho_d(\text{Mg}/\text{m}^3)$ | - | 1.220 | - | 1.164 |
| 供試体飽和度 $S_r(\%)$ | 80.8 | 93.3 | 75.2 | 93.0 |
| 凍結速度 $U(\text{mm}/\text{h})$ (凍結完了後) | 1.19 | - | 1.14 | - |
| 凍上速度 $U_h(\text{mm}/\text{h})$ (凍結完了後) | 0.16 | - | 0.22 | - |
| 凍上量 $\Delta H(\text{mm})$ (凍結完了後) | 6.37 | 1.62 | 6.36 | 1.94 |
| 膨張率 $\xi(\%)$ (凍結完了後) | 12.8 | 3.3 | 12.7 | 3.9 |

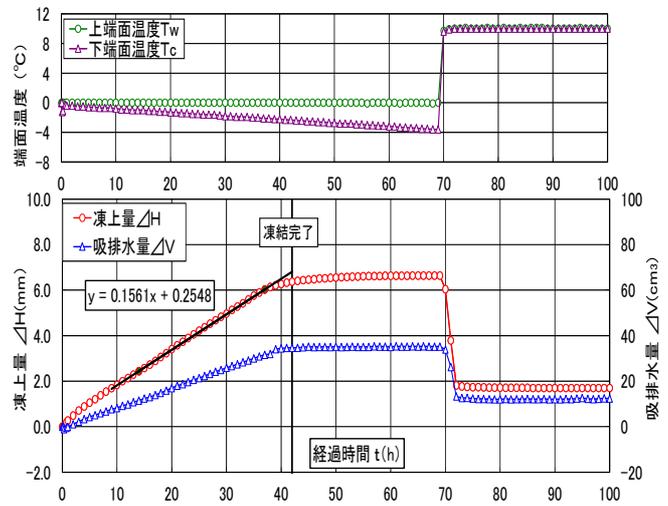


図-1 凍上試験経過時間と凍上量の関係

材料の劣化に対して考慮・検討は行っていない。

3. 試験結果と考察

(1) 三軸圧縮試験結果

三軸圧縮試験結果を表-2に示す。各試料の凍上前と融解後を比較するとUU法では、粘着力 c は大きな変化は見られず、内部摩擦角 ϕ は、融解後の方が小さい結果となった。CD法では、粘着力 c は、融解後に小さくなり、内部摩擦角 ϕ は大きくなる結果となった。試験結果よりUU法では、内部摩擦角 ϕ 、CD法では粘着力 c が低下する傾向が得られた。

(2) 側圧と軸差応力の関係(火山灰質砂)

火山灰質砂の側圧と軸差応力の関係を図-2 に示す。UU 法、CD 法ともに側圧の増加に伴い、軸差応力は大きくなる傾向にあり、凍上前と融解後を比較すると融解後の方が小さい。融解後の状態は凍上前より体積、含水比が増加し、乾燥密度が低くなるためである。融解後の UU 法では、側圧増加による軸差応力の差は小さく、凍上前と比較すると大きく強度が低下する事が確認された。CD 法の凍上前と融解後の比較では、側圧 30kN/m²の結果が最も軸差応力が低下しており、側圧が小さい程、著しい強度低下の傾向が確認された。そのため、融解後の粘着力 c が低下し、内部摩擦角 ϕ が大きくなったと考えられる。以上の結果から土被りの小さい盛土表層部において凍上による土の強度低下が懸念されると考えられる。

(3) 側圧と軸差応力の関係(粘性土質砂)

粘性土質砂の側圧と軸差応力の関係を図-3 に示す。UU 法、CD 法ともに側圧の増加に伴い、軸差応力は大きくなる傾向にある。融解後の UU 法では、火山灰質砂と同様に側圧増加による軸差応力の差は小さく、凍上前と比較すると大きく強度が低下する事が確認された。CD 法では、凍上前より融解後の軸差応力が大きくなっており、火山灰質砂とは逆の傾向が見られている。図-4 に CD 法の側圧と圧密後間隙比の関係を示す。融解後の強度が増加した要因として、凍上前供試体よりも融解後供試体の圧密後の間隙比が低下し、より密実化した事が考えられる。火山灰質砂では凍上前、融解後供試体の圧密後の間隙比変化は比較的少ない。この事から、融解後における圧密後間隙比の変化の程度により、強度特性が異なる事が確認された。

4.まとめ

- ① UU 法では、融解後に著しい強度低下の傾向が見られた。
- ② CD 法では、低側圧領域での強度低下が見られ、粘着力 c の低下、内部摩擦角 ϕ が増加した。圧密後間隙比の変化の程度により、強度特性が異なる。
- ③ 土被りの小さい盛土表層部で凍上による土の強度低下が懸念される。

5.おわりに

今後は、種々の材料や異なる凍上性、密度の大小等が土の強度低下にどのような影響があるか検討していきたい。

《引用・参考文献》

- 1) 公益社団法人地盤工学会北海道支部 凍上対策工の調査・設計法に関する研究委員会:斜面の凍上対策の調査・設計マニュアル(案), PP4~PP13, 2016.10
- 2) 東、中、西日本高速道路株式会社:NEXCO 試験方法第1編 土質関係試験方法, PP50~PP61, 2017.07
- 3) 公益社団法人地盤工学会:地盤材料試験の方法と解説-二分冊の1-, PP253~PP256, 2020

表-2 三軸圧縮試験結果

| せん断 | | 火山灰質砂 凍上前 | 火山灰質砂 融解後 | 粘性土質砂 凍上前 | 粘性土質砂 融解後 |
|-----|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| UU法 | c_u | 14.3 | 15.3 | 24.1 | 23.5 |
| | ϕ_u | 36.7 | 7.9 | 28.1 | 9.7 |
| CD法 | c_d | 22.4 | 6.4 | 15.8 | 10.5 |
| | ϕ_d | 37.8 | 41.0 | 38.6 | 41.8 |

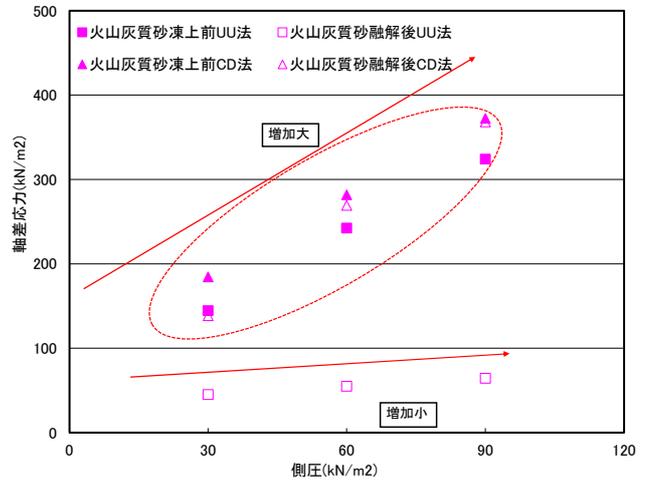


図-2 側圧と軸差応力の関係(火山灰質砂)

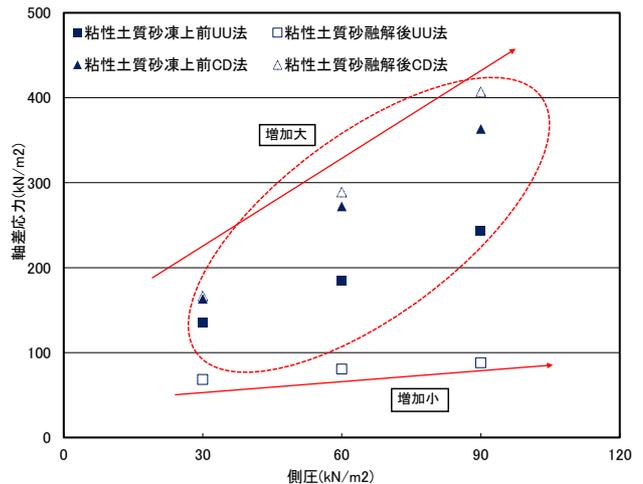


図-3 側圧と軸差応力の関係(粘性土質砂)

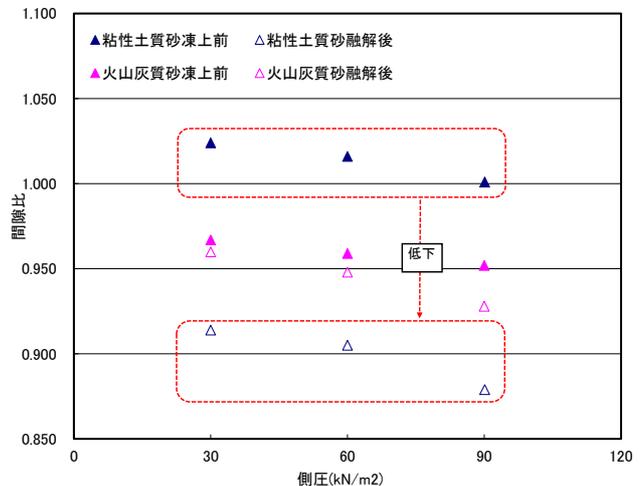


図-4 側圧と圧密後間隙比の関係