

凍結・融解の影響を受けた凍上性材料の強度特性について

土木研究所 寒地土木研究所 正会員 ○橋本 聖
 同上 正会員 西本 聡
 同上 正会員 林 宏親

1. はじめに

補強土壁は盛土と補強材の拘束補強効果によって安定性を確保する工法である。積雪寒冷地において冬期に盛土を構築した際に凍結・融解作用によって強度が低下し、期待した拘束補強効果が得られないとの指摘がある¹⁾。しかし、常温、低温条件と凍結・融解作用を受けた盛土材の強度の差異は明らかではない。本報告は、常温、低温、凍結・融解作用を受けた凍上性の高い2種類の試料の強度に及ぼす影響およびその要因を把握するため、コーン貫入試験と含水比試験を実施した結果を評価したものである。

2. 室内試験概要

2. 1 試料および試験項目

試料は凍結・融解で強度低下が想定される火山灰土、粘性土の2種類を選定した(表-1)。温度条件は夏期、春秋期、冬期の気温を再現するため、常温(20℃)、低温(2℃)、凍結・融解の3パターンとした。凍結・融解方法は実際の盛土施工を想定し、外気が盛土地表面のみに作用すると仮定して、外部から供試体へ水の供給が無いクローズド・システムにより1次元方向で凍結・融解させた。供試体内の強度特性を把握するためにコーン貫入試験を実施し、試験後に供試体を高さ方向に3分割した試料で土の含水比試験を実施した。

表-1 各試料の諸元

試料	火山灰土	粘性土
土質名称	SV-G	CL
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.498	2.748
自然含水比 W_n (%)	50.4	26.0
最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	0.990	1.545
細粒分含有率 F_c (%)	43.9	61.0
シルト分 (%)	33.1	30.7
粘土分 (%)	10.8	30.3
液性限界 W_L (%)		47.0
塑性限界 W_p (%)	NP	23.2
塑性指数 I_p (%)		23.8
凍上速度 U_n (mm/h)	0.74	0.33
凍上性	高	高

2. 2 実験方法

(1) 供試体作成

自然含水比(W_n)の各試料を20℃と2℃の一定温度にて24時間養生した。その後、常温は20℃、低温と凍結・融解は2℃の恒温・恒湿室内にて、直径15cm、高さ12.5cmのモールド内に最大乾燥密度 ρ_{dmax} の90%となるよう締固めて作成した。

(2) 養生方法

常温と低温で作成した供試体は、すぐ(3)を実施したので養生は実施しなかった。凍結・融解の供試体はJGS基準(JGS 0172-2003)に従って凍結・融解試験装置(図-1)にセットした後、供試体上・下端面を0℃に保ち24時間養生した。凍結速度(U)はJGS基準に従って $U=1\sim 2\text{mm/h}$ (火山灰土 $U=1.424\text{mm/h}$ 、粘性土 $U=1.723\text{mm/h}$)を満足するよう²⁾、供試体下端面の降下速度を火山灰土、粘性土ともに -0.15°C/h として、供試体上端面がマイナス温度に達するまで冷却した。その後、供試体上・下端面を20℃に上昇させ3日間で供試体を融解させた。

(3) 室内コーン貫入試験

コーン貫入試験は、常温では実験室内と同等の温度、低温と凍結・融解は2℃に温度調整した断熱スペース内にモールドを設置して、自動コーン貫入装置にて実施した(図-2)。先端コーンは締固めた土のコーン指数試験方法(JIS A 1228)に準拠して、先端角 30° で底面積 3.24cm^2 を使用した。コーンの貫入速度は貫入試験機の性能上、 0.5mm/min とした。

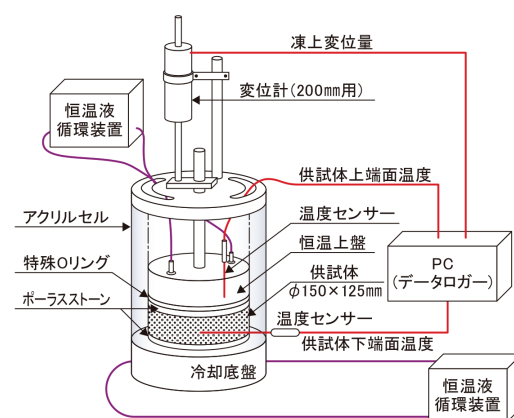


図-1 凍結・融解試験装置



図-2 コーン貫入試験

キーワード：凍上性材料、凍結融解、コーン貫入試験、含水比試験

連絡先：〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号 寒地土木研究所 寒地地盤チーム TEL:011-841-1709

3. 実験結果

3. 1 各試料および温度条件による強度特性の変化

図-3は各試料の温度条件に応じた深度方向のコーン指数 q_c を示す。 q_c は供試体上部から 40mm コーンを貫入させたあと、貫入深度 100mm までを評価対象とした。各試料の常温、低温における q_c をみると、火山灰土は貫入深度が 40mm～70mm (以降、a 区間) 内で $q_c=800\text{kN/m}^2$ 前後から $q_c=1,400\text{kN/m}^2$ 前後まで増加する傾向であったが、70mm～100mm (以降、b 区間) 内では $q_c=1,600\text{kN/m}^2$ 前後と強度の伸びは小さくなった。粘性土は a～b 区間で貫入深度が深くなるに従い、 $q_c=370\text{kN/m}^2$ から 470kN/m^2 へ漸増する傾向であった。一方、凍結・融解の q_c をみると、火山灰土は a 区間では常温・低温と同程度に q_c が増加したが、b 区間では $q_c=1,525\text{kN/m}^2$ をピークに q_c が減少した。一方、粘性土では a 区間の平均値が $q_c=690\text{kN/m}^2$ と同区間の常温、低温の平均値 $q_c=422\text{kN/m}^2$ より高い q_c 値を示した。しかし、b 区間の平均 q_c 値は a 区間より減少し、常温、低温の平均 q_c 値と同程度の $q_c=450\text{kN/m}^2$ で推移した。

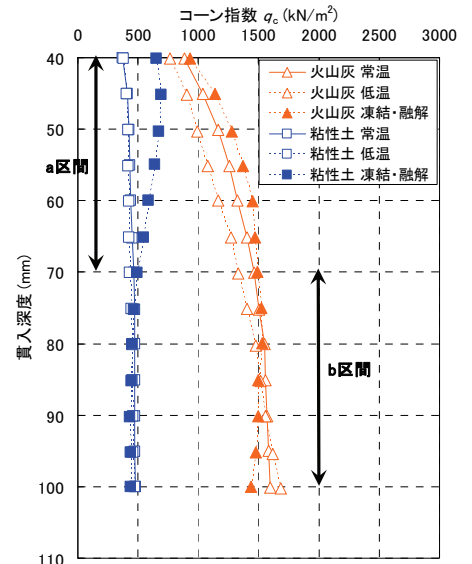


図-3 各試料のコーン貫入抵抗

3. 2 各試料および温度条件による含水比の変化

表-2は各温度条件におけるコーン貫入試験後の供試体の各部位 (上部、中部、下部) の含水比 W を表している。常温と低温をみると、いずれの試料も温度や部位の違いによる W の差はみられなかった。一方、凍結・融解では火山灰土と粘性土において、供試体上部よりも下部の W が大きくなる傾向にあった。このような現象は、佐藤ら³⁾ が実施した高液性限界シルトによる屋外実験でも確認されている。また、青山ら⁴⁾ は、クローズド・システムによる凍結・融解を受けた粘性土の力学的性質の変化について、凍結時には自由水の多い高含水比のほど水分の移動が大きくなるとして、供試体内の温度勾配、氷晶分離によるサクション力などが要因としている。今回の試料をみると、青山らと同様に、 W が高い火山灰土では供試体内の水分移動が大きかった。

表-2 コーン貫入試験後の含水比

試料	部位	コーン貫入試験後の含水比 W (%)		
		常温	低温	凍結・融解
火山灰土	上部	50.2	49.1	45.6
	中部	48.6	49.6	48.4
	下部	49.2	49.9	53.0
粘性土	上部	25.3	25.3	24.1
	中部	25.8	25.2	25.6
	下部	25.7	25.6	26.0

3. 3 考察

凍結・融解作用で各試料内の q_c が変化した要因について考察する。凍上性が高い火山灰土、粘性土に凍結・融解作用が生じた場合、外部から水の供給が無いクローズド・システムであったとしても、冷気を作用させた供試体の下端面に保有する間隙水が移動するため、a 区間の W は低下しそれに伴い土粒子が密になり q_c が増加したと考えられる。その反面、b 区間では凍結時に集水した間隙水が凍結膨張するものの、融解時には土粒子配列の変化などで土粒子間隔が広がったため凍結融解前の状態に戻れず、 q_c が低下したと推測される。

4. まとめ

凍上性が高い 2 種類の試料を用いて、常温、低温、凍結・融解条件における供試体内の強度特性およびの含水比の変化について、以下の知見を得た。

- 1) 凍上性が高い試料であっても、常温と低温条件ではコーン指数 q_c 、含水比 W に大きな差異はなかった。
- 2) 外部からの水の供給が無いクローズド・システムで凍上性の高い材料を凍結・融解させた場合、常温と低温条件とは異なり、冷気を作用させた供試体下端面に含水比 W が移動し、それに伴って供試体内のコーン指数 q_c が変化することが確認された。

今回の試験結果から、凍上性が高い試料の強度特性は常温、低温と凍結・融解条件では異なることがわかった。冬期の積雪寒冷地で凍上性の高い盛土材を補強土壁に施工で使用すれば、凍結・融解作用によって、補強材の引抜き抵抗に影響を及ぼすことが考えられる。

【謝辞】 実験を実施するにあたり、北海学園大学の小野丘教授をはじめ、北海道工業大学の川端伸一郎教授ならびに北海道工業大学大学院の村山巧さんに貴重なご助言を頂いた。ここに厚く感謝の意を表します。

【参考文献】 1)木幡：寒冷地における補強土壁工法の信頼性，基礎工／2010.2，pp.42-45，2010. 2)社）地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説、第 11 章凍上試験、2009. 3)佐藤ら：自然寒冷下での凍結融解過程における高含水比土の水分移動、地盤工学ジャーナル vol.4、No.2、pp.205-214、2009. 4)青山ら：凍結－融解を受けた土の性質、土と基礎、25-7、pp.41-46、1977.