

(株) 精研 正員 生頼孝博、正員 山本英夫、正員 岡本 純、
正員 伊豆田久雄、正員 高志 勤

1. 緒言 凍土の強度は未凍結土のそれの数倍から数十倍という大きな値を示す。もし、何らかの方法で更に凍土の強度を増加させることができるならば、凍結工法での凍土厚みを薄くすることができ、工期短縮や凍土量の減少が期待できる。また、近い将来の地下100mにも及ぶ土工事での耐力壁としてこの強化凍土に大きな期待がもてる。土にセメントを混合させると強度が増加することから、凍土の場合もセメント混合による強度増加が考えられた。そこで、セメント混合凍土で一軸圧縮試験及び曲げ試験を行ったところ予想通りの強度増加効果が得られたので報告する。

2. 供試体作製及び実験方法 試料土は主に篠の森青粘土を用い、一軸圧縮試験にのみ豊浦標準砂を追加した。図1に粒度分布、表1に供試体諸定数を示す。供試体は試料土に早強ポルトランドセメントを所定のセメント土比 W_{cs} (風乾土に対するセメント重量の割合) になるように加え、更に一定量の水を加えて練り返したものを型枠内で7日間水中養生(+20℃)して作製した。供試体の凍結は、一軸圧縮試験用は吊下げ装置を用い、両式で凍結面進行速度 $U_f = 3 \text{ mm/hr}$ の条件下で一元的に凍結し、曲げ試験用は-30℃の冷凍庫内で急速凍結した。供試体寸法は一軸圧縮が $5 \text{ cm}^4 \times 10 \text{ cm}^4$ の円柱、曲げが $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}^4$ の角柱とした。試験温度は一軸圧縮、曲げ共に-10℃で、一軸圧縮試験の歪速度は1%/minとし、曲げ試験は三等分点載荷方式でコンクリートの曲げ試験法(JIS-A1106)に準じた。

3. 実験結果 図2に一軸圧縮試験での応力～歪曲線の例を示す。図中の太線はセメントを混合しない場合である。粘土凍土、砂凍土共にセメント混合した場合の曲線の形状は混合しない場合とよく似ているが、その応力の値はかなり大きくなっていることが分かる。各曲線での最大応力を一軸圧縮強度 σ_u と定義し、図3に σ_u とセメント土比 W_{cs} との関係を示す。

図中には参考の為に未凍結土の場合のデータも記入している。砂凍土の場合は W_{cs} が3～5%で σ_u は急激に増加し、その後の W_{cs} に対する σ_u の増加は緩やかである。粘土凍土の場合は σ_u は W_{cs} の増加に伴って緩やかに増加している。 $W_{cs} = 20\%$ では0%の場合に比べて粘土凍土、砂凍土共に σ_u は約1.8倍に増加している。また、 σ_u を1.5倍に増加させる為には砂凍土では W_{cs} は3%程度、粘土凍土では12%程度でよいこと

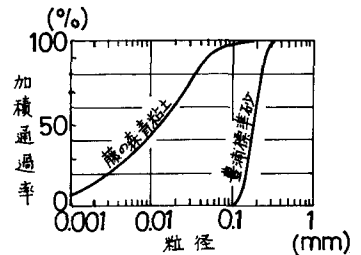


図1 試料土の粒度分布

表1 供試体の諸定数

	一軸圧縮試験用		曲げ試験用	
	含水比 w (%)	乾燥密度 ρ_d (g/cm^3)	含水比 w (%)	乾燥密度 ρ_d (g/cm^3)
粘土凍土	48~* 70	1.12~* 0.69	52.7	1.040
砂凍土	19.7	1.673		

* 凍結膨脹を生じた為、範囲を示した。

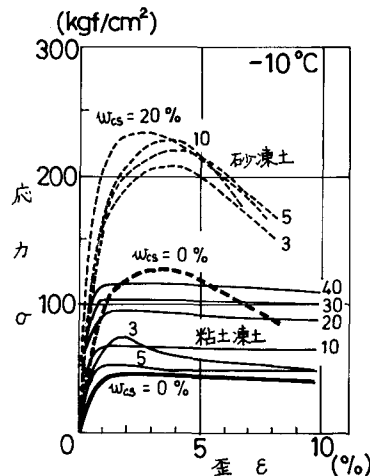


図2 応力～歪曲線(一軸圧縮試験)

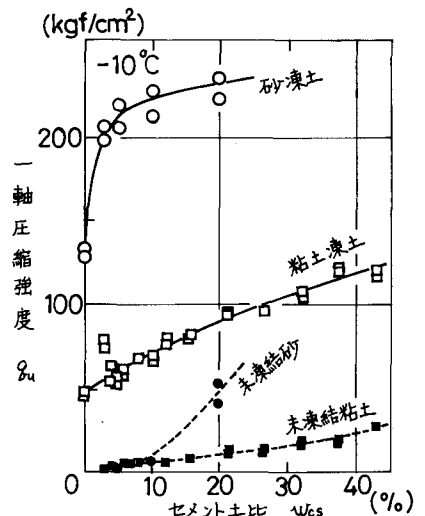


図3 一軸圧縮強度～セメント土比

が分かる。凍土と未凍結土の σ_u の増加勾配は粘土凍土、砂凍土共にかなり異なっていることも、セメントの強度への影響を知る上で興味深い。尚、粘土凍土の $w_{cs}=3\%$ 附近で σ_u と応力～歪曲線に特異性が見られるのは、凍結時に膨張したことからアイスレンズが多く存在したことによるものと考えられる¹⁾。図4に変形係数 E_{50} ($1/2 \sigma_u$ とこれに相当する歪との比)と w_{cs} との関係を示す。データのバラツキが大きく、明確な w_{cs} 依存性は見られないが、粘土凍土、砂凍土共にセメントを混合することによって E_{50} も増加することが分かる。

図5に曲げ試験での粘土凍土の荷重～たわみ曲線の例を示す。太線がセメントを混合しない場合である。たわみは供試体上部載荷点での変位である²⁾。 w_{cs} が10%以上で供試体は破断したが、5%以下ではクラックは発生したが破断には至らなかった。曲げ強度 σ_b はコンクリートの試験法に準じて定義し、最大荷重を用いて計算した。更に、計算に当っての仮定である弾性的変形に問題があることから、図5の曲線で初期の直線部分から外れ始める点(降伏点)での荷重を用いて計算した値を曲げ降伏強度 σ_{fy} と定義した²⁾。図6に σ_b 、 σ_{fy} とセメント土比 w_{cs} との関係を示す。 σ_b 、 σ_{fy} 共に w_{cs} の増加に伴って増加していくことが分かる。 $w_{cs}=20\%$ では0%の場合に比べて、 σ_b で σ_u の場合と同じく1.8倍、 σ_{fy} では実に2倍以上にも増加している。また、これらの強度を1.5倍に増加させる為には w_{cs} は10%程度でよいことが分かる。図7に弾性論に基づいて計算した曲げ弾性係数 E_b と w_{cs} との関係を示す。強度の場合と同じく、 w_{cs} の増加に伴って E_b も増加することが分かる。尚、図5～図7に於て $w_{cs}=3\%$ のデータに特異性が見られるのは一軸圧縮の場合と同様にアイスレンズの存在によるものと考えられる。

4. 結言 セメントを混合させることによって、凍土の強度をかなり増加させることが明らかになった。 -10°C の粘土凍土ではセメント土比 w_{cs} が10%、20%で一軸圧縮及び曲げ強度は夫々50%、80%程度にまで増加する。砂凍土では w_{cs} が3%で一軸圧縮強度は50%も増加し、 -10°C で 200 kgf/cm^2 を越える大きな値になる。セメントを混合することによって凍土の解凍沈下の抑制効果も大きいことから³⁾、地盤中へのセメント混合方法が確立されるならば凍結工法への貢献が期待できる。また、強度増加の原因を追求することによって凍土の強度機構解明の手がかりが得られる可能性もある。

今後は、温度、養生日数、試料土と含水状態などが異なった場合の効果を確認したい。

参考文献

- 1) 生頼 他; 析出氷晶を含む凍土の一軸圧縮強度に関する実験的研究, 雪氷, Vol.45, No.1, 1983。
- 2) 岡本 他; 砂凍土、粘土凍土の曲げ強度の温度依存性, 土木学会第38回年次講演概要集3, 1983。
- 3) 高志 他; セメント混合による凍土解凍沈下抑制効果, 第18回土壌工学研究発表会, 1983。

