

III-138 氷晶点前後における塩分含有砂凍土の一軸圧縮強度

株式会社 精研	正員	岡本 純
“	“	生頼 孝博
“	“	山本 英夫
“	“	高志 勲

1. 緒言

著者等は以前に塩分を含む凍土の一軸圧縮実験を行ない、塩分を含むと凍土の強度は低下することと示した。この強度の低下は塩分を含むことによる凍土中の不凍水量の増加によるものと考えられる。しかしながら、以前の実験では塩分の氷晶点以下の温度での試験を行なっていないが、氷晶点とは、それ以下で塩水溶液がすべて固相（氷＋塩類の結晶）になり温度である。不凍水量の増加が強度の低下ともなるものであれば、氷晶点以下の温度では塩分による不凍水は無く、強度が増加することが考えられる。これは地盤凍結工法や低温硬化ガス地下タンクの建設にとって重要な興味深い問題である。このことを確認する目的で行なった、各種の塩分を含む砂凍土の一軸圧縮実験結果を以下に報告する。

2. 実験方法

試料土は豊浦標準砂を用いた。添加する塩分は実験温度範囲 ($0 \sim -30^{\circ}\text{C}$) 内に氷晶点がある塩化カリウム KCl (氷晶点 -11.2°C)、塩化ナトリウム NaCl (氷晶点 -21.2°C) とした。なお、比較のために塩化カルシウム CaCl_2 (氷晶点 -55.0°C) についても実験を行なった。また、実用上の必要性から海水をそのまま用いた実験も行なった。供試体は次のように作製した。円筒形容器に乾燥砂と塩水溶液を熟知にのみすうに充填し、下面より約 20 mm/h の凍結速度で一次元的に凍結し、 -30°C まで冷却する。その後、容器より外れて端面を上上げ、試験温度で約 72 時間養生した後、試験に供した。供試体の物理定数を表-1 に示す。試験温度の精度は $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ であり、歪速度は $1\text{ \%}/\text{min}$ とした。なお、供試体の塩分含有量は作製時に用いた塩水溶液の重量塩分濃度で表わした。

表-1 供試体の物理定数

3. 実験結果及び考察

図-1に NaCl 2% のものの応力-歪曲線の例を示す。氷晶点は少し高い温度では応力ピークは鈍い形で、応力も低い。氷晶点は少し低い温度では比較的鋭く高い応力ピークを持った形となっている。一軸圧縮強度とシマはピーク応力 q_u とする。また、変形初期の弾性的性質を示す量とシマ、変形係数 E_{50} ($=\frac{1}{2}q_u / [\frac{1}{2}q_u$ のときの歪]) をとり実験結果と整理した。

図-2, 3は KCl 、 $NaCl$ 、 $CaCl_2$ の各2%水溶液と海水とそのまま用いて作製したものの g_u 及び E_{50} の温度依存性を示したものである。 KCl 2%では、 KCl の氷晶点である $-11.2^{\circ}C$ 付近は少しも温度が低くなると、 g_u 、 E_{50} はそれまでの温度依存傾向を離れて急激に増加している。 $NaCl$ 2%についても、 $NaCl$ の氷晶点である $-21.2^{\circ}C$ よりも低い温度の領域で g_u 、 E_{50} の急激な増加がみられる。これらに対して、氷晶点が実験温度範囲内に無い $CaCl_2$ 2%の場合には、 g_u 、 E_{50} は単調で緩やかな増加傾向を示すのみである。これらの結果から、塩分含有が砂凍土では、その塩分の氷晶点と境を境として強度特性が大きく変化することやわかった。これは塩分による不凍水が氷晶点以下で無くなるためであると考えられる。海水とそのまま用いた

表-1 供試体の物理定数

寸法	(円柱形) 5 cm ^D x 10 cm ^H
含水比	24.7±1.0 %
乾燥密度	1.53±0.02 g/cm ³
空隙比	0.730±0.024
飽和度	> 95 %

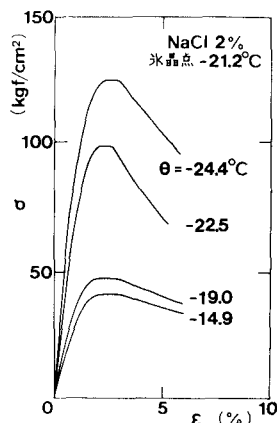


図-1 応力-歪曲線の例

ものでは、NaCl の氷晶点以下の温度で、あまり急激ではないが q_u 、 E_{50} に増加傾向がみられる。海水は塩分濃度約 3.5% で、塩分のうち約 78% が NaCl、約 11% が $MgCl_2$ 、その他に塩々の塩類が約 11% 含まれた混合水溶液であるので、温度が NaCl の氷晶点以下でもその他の塩分による不凍水が残るために強度の増加があまり大きくないものと考えられる。なお、温度が $MgCl_2$ の氷晶点 -33.6 以下になると強度が更に増加することが予想される。

図-4、5 は NaCl の塩分濃度を 0.25、0.5、2% と変えた場合の q_u 、 E_{50} の温度依存性を示したものである。氷晶点よりも高い温度では塩分濃度が大きい程、不凍水量が多いので、 q_u 、 E_{50} は小さいが、氷晶点以下では状況が異なり、 $-30^{\circ}C$ 付近では逆に塩分濃度が大きい程、 q_u が大きくなるという結果が得られた。氷の強度に関する研究においても、KCl を含む多結晶氷が氷晶点以下の温度で、濃度が大きい程、強度も大きくなるという結果が得られている²⁾。氷晶点を境として、塩分は凍土の強度に質的に異なる作用をするものと考えられ興味深い。本実験の温度範囲内では塩分を含まないものの強度を超えることはなかったが、温度が非常に低く、例えば LNG 地下タンク周辺の温度まで下がると塩分を含む凍土の強度が、塩分を含まないものの強度よりも大きくなる可能性も考えられ、実用面からも興味深い。

なお、図-2~5 の塩分を含まない砂凍土の実験結果 (0% と表示したものは) は著者等の先行研究によるものである。

4. 結言

塩分を含む砂凍土の一軸圧縮強度 q_u 、変形係数 E_{50} は、その塩分の氷晶点以上の温度では、凍土中に塩分による不凍水が存在するため、塩分を含まない凍土に比べて小さいが、氷晶点以下の温度になると、それまでの温度依存傾向を離れて急激に増加することが明らかになった。氷晶点以下での強度の増加の仕方は塩分濃度に依存し、塩分濃度が大きい程、増加の割合が大きい。但し、本実験の温度範囲内では、塩分を含まない凍土の強度を超えることはなかった。また、海水をそのまま用いて作製した砂凍土の強度は、塩化ナトリウムの氷晶点以下の温度で、増加の割合が大きくなることがわかった。

(参考文献)

- 1) 高橋・生類・山本・岡本; 砂凍土の一軸圧縮強度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) 小川・黒岩; KCl を含む多結晶氷の一軸圧縮試験、昭和 54 年度日本雪氷学会秋季大会講演要録集、p. 129, 1979

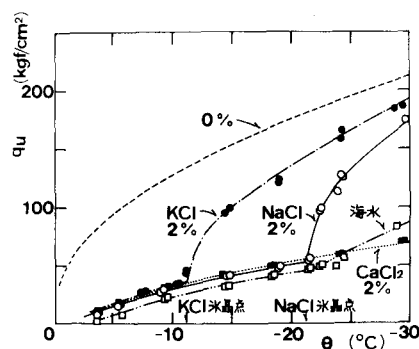


図-2 塩分の種類が異なる場合の q_u と温度

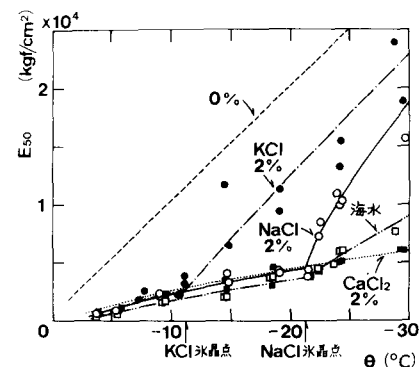


図-3 塩分の種類が異なる場合の E_{50} と温度

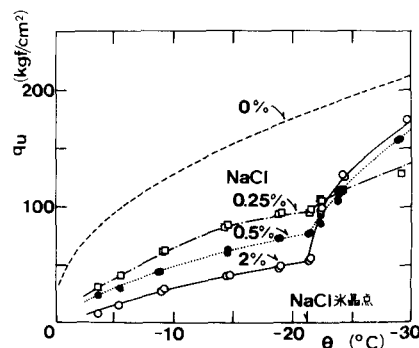


図-4 塩分濃度が異なる場合の q_u と温度

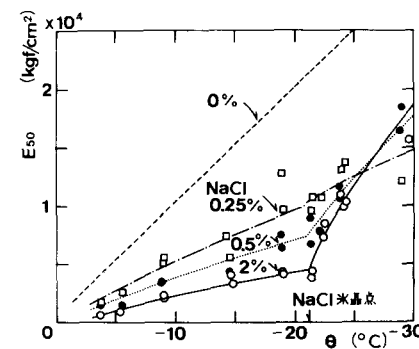


図-5 塩分濃度が異なる場合の E_{50} と温度