

1. 緒言

前報では砂凍土及び析出氷晶を含まない粘土凍土の曲げ強度の温度依存性について報告した。今回は析出氷晶を含む粘土凍土の曲げ強度を調べた。析出氷晶を含まない粘土凍土、急速凍結氷及び人為的に造った粘土と急速凍結氷のサンドイッチ状凍土との比較も加えて報告する。

2. 供試体作製方法及び実験方法

試料土は藤の森青粘土である。粒度分布、土質定数を図-1に示す。供試体は粉末状粘土と水を予め含水比55%になるように練り合せたものを吊下げ凍結法で作製した。供試体寸法は4×4×16cmとした。試験はJIS-A1106に準じた3等分載荷方式で行ない、温度は-10℃、たわみ速度は約0.1mm/minとした。尚、比較の為の供試体である粘土凍土及び急速凍結氷は、それぞれ含水比50%に練り合せた粘土又は精製水をモルタル供試体成型型に入れ上面を断熱材で覆い-30℃の冷凍庫内で急速凍結させ作製した。サンドイッチ状凍土は同じ型に粘土と精製水を交互に継ぎ足しては急速凍結させ所定の厚さになるまで繰り返して作製した。

3. 実験結果

3-1. 載荷方向による違いと含水比依存性

図-2に示すA, B, Cの方向に分けて曲げ試験を行なった。載荷方向A及びBでは殆どの供試体でクラックは中央4cmの幅以内で発生したが、下端面より上端面へは斜めに走り破断に至る傾向が見られた。載荷方向Cでは下端面の氷晶層より破断が始まっていた。載荷方向Cの場合で氷晶の分布が不均質なものでは中央4cmの幅より外側で破断するものも見られたが今回のデータからは省略した。

図-3に載荷方向別の荷重-たわみ曲線の例を示す。供試体作製の困難さの為に含水比 w_i を揃えることはできなかったが、載荷方向に拘らずたわみの増加に伴い同様な勾配で荷重が増加している。この傾向は w_i が異なってもほぼ同じであった。図-4に、載荷方向Aで w_i を変化させた場合の荷重-たわみ曲線の例を示す。立ち上りの勾配はほぼ同じで、 w_i が大きくなる程小さなたわみで破断に至る傾向が見られた。従って、立ち上り勾配に関しては載荷方向や含水比に拘らず殆ど同じということになる。尚、載荷方向Aで153%以下の供試体ではクラックは発生するが破断には至らなかった。これは析出氷晶を含まない粘土凍土の場合と同じである。

今回の実験では荷重-たわみ曲線でのはっきりとした降伏点が見られなかった為、前報のような曲げ降伏強度は求める事が出来ず、その為次式で曲げ強度 σ_b を求めた。

$$\sigma_b = P_b \cdot L / (D \cdot H^2)$$

ここで P_b は最大荷重、 L はスパン、 D は供試体の幅、 H は高さである。

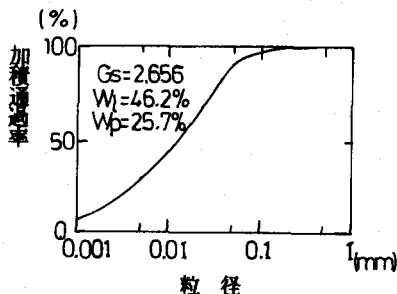


図-1 試料土の粒度分布

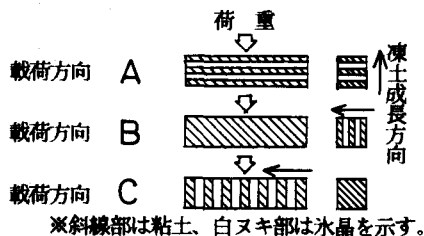


図-2 載荷方向と凍土成長方向との関係

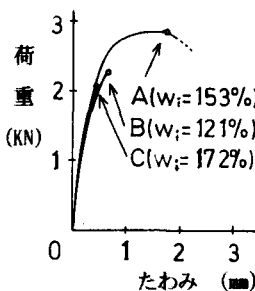


図-3 荷重-たわみ曲線の例1 (載荷方向別)

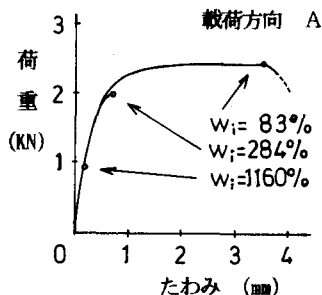


図-4 荷重-たわみ曲線の例2 (含水比変化)

図-5に曲げ強度 σ_b と含氷比 w_i の関係を載荷方向を区別して示す。比較の為に、析出氷晶を含まない粘土凍土の σ_b も記入した。析出氷晶を含む粘土凍土の σ_b は含まない場合のそれより小さくなり、載荷方向に拘らずほぼ同じ値を取りながら w_i の増加に伴い減少することがわかる。比較的データの多い載荷方向Aにおいては、供試体内の析出氷晶の層数が異なっても w_i が同じならば本試験の範囲内では曲げ強度、荷重-たわみ曲線及び破断状況に大きな違いは見られなかった。

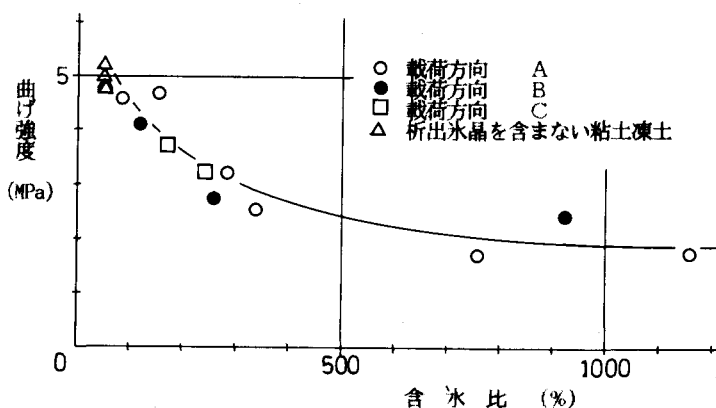


図-5 曲げ強度 σ_b と含氷比 w_i の関係

3-2. サンドイッチ状凍土との比較

析出氷晶を含む供試体作製には多くの時間を要し、氷晶の分布を均質にすることは難しい。そこで、場合によっては代用できるのではないのかとの期待のもとに粘土凍土内の析出氷晶相当部に急速凍結氷を配したサンドイッチ状凍土での曲げ試験を行なった。結果次第では、氷自身の役割に関する知見をうることもできる。荷重-たわみ曲線やクラックの発生、破断状況などは析出氷晶の場合とほぼ同じ傾向を示した。

曲げ強度 σ_b もおおまかには析出氷晶の場合とほぼ同じ値を取りつつ含氷比の増加に伴い減少する結果が得られた(図-7参照)。しかし、析出氷晶の場合と急速凍結氷の場合の違いを少し詳しく比較して見ると急速凍結氷の場合には曲げ強度 σ_b が載荷方向A, B, Cの順に小さな値を取る傾向があった。また、図-6に示す同じ載荷方向での荷重-たわみ曲線の析出氷晶の場合との比較例のようにたわみの増加に伴う荷重の増加の勾配及び最大荷重が若干小さく、この傾向は他の載荷方向の場合にも見られた。

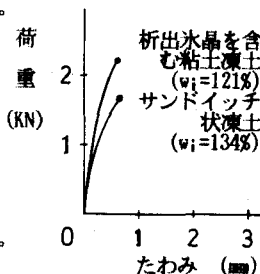


図-6 荷重-たわみ曲線の例3(載荷方向B)

3-3. 曲げ強度と間隙率の関係

図-7に析出氷晶、急速凍結氷を含む凍土の全ての供試体の曲げ強度と間隙率の関係を示す。図に析出氷晶を含まない粘土凍土と急速凍結氷のみのデータも記入した。粘土凍土に含まれる氷晶の違い及び載荷方向の違いを無視すると、今回の実験範囲内で大雑把には曲げ強度と間隙率との関係は氷晶を含まない粘土凍土と急速凍結氷の間を結ぶ直線で近似できる。

4. 結言

析出氷晶を含む粘土凍土の -10°C での曲げ試験結果から、析出氷晶を多く含む程曲げ強度は低下し、最終的には急速凍結氷のみの場合の強度に至ることがわかった。今後は温度依存性や試料土による違いを調べ実際の地盤での強度設計に生かしたい。

(参考文献)

1) 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 (1983)

2) 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, No1 (1983)

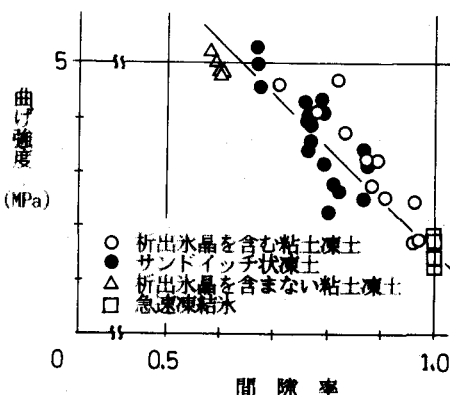


図-7 曲げ強度と間隙率の関係