

砂を含む氷の一軸圧縮破壊強度の研究

本池 真生男, 庄子 仁 (北見工業大学)

1. 研究目的

土が凍って凍土になるとその強さは著しく増加する。このことが、北海道のような寒い地域での土木工事を困難にさせ、一方では、軟弱地盤を一時的に凍らせて掘削を行う地盤凍結工法に利用されている。また、自然状態で存在する氷を機械的に扱う場合も土粒子の存在を無視することはできない。いずれにしても、氷と土の混合固体の凍結状態を知り、その力学的特性を理解することが基本的に重要である。本研究では氷と土による混合固体の力学的特性のうち、特に破壊過程に関する理解を深めるために、砂を含む氷の一軸圧縮破壊実験を行い、その濃度依存性を広範囲にわたって調べた。

2. 実験方法

実験には低温室 (-20°C) 内に設置した一軸圧縮試験機 (ひずみ速度制御式) を使用し、各圧縮試片についての変位と荷重を X-Y レコーダーで記録した。実験条件はひずみ速度を $0.9 \sim 1.2 \times 10^{-4} / \text{s}$, 試験温度を $-10 \sim -14^{\circ}\text{C}$ とし、砂の濃度を $0 \sim 94 \text{ wt\%}$ の範囲で変化させた。

3. 試料

試料は、蒸留水から作った粉末状の種氷と砂とを攪拌して容器の中に入れ、脱気した蒸留水を下から浸透させて凍結させる方法で作成した。この方法は、砂粒子の沈降が抑止され、容器上方へ脱気ができるという利点がある。そこから $25 \times 25 \times 75 \text{ mm}$ の直方体を切り出して圧縮試片とした。この際試片の切り出しはバンドソーまたは手鋸を使用し、表面仕上げは試片の砂濃度によってミクロームかポリネットで行った。

砂は豊浦砂 (密度 2.64 g/cm^3 , 50% 粒径 0.24 mm) を用いた。試料の薄片観察を行ったところ、砂粒子はそのほとんどが氷の結晶粒界に存在していたが、なかには結晶中に取り込まれているものもあった。また、氷の結晶粒径は純氷で約 2 mm であり、砂を混入させると粒径は小さくなった。

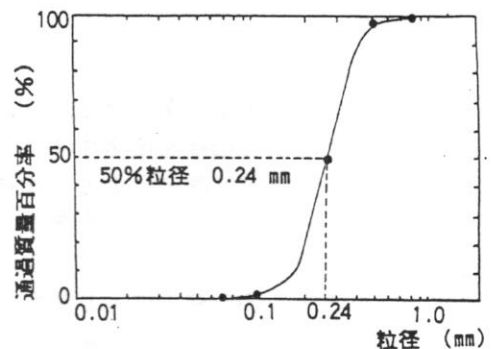


図1. 豊浦砂の粒径加積曲線

4. 実験結果

実験で得られた応力-ひずみ曲線は、機械の弾性特性や圧縮試片の形状の影響などを受けた曲線として立ち上がるが、まもなく弾性領域を表す直線部分へと移行する。この直線の傾きを測って変形係数 E_m とした。直線からはずれて最大荷重を示すときの応力

を一軸圧縮破壊強度 q_u とした。その後の応力降下については、ひずみに関してほぼ指数関数的に低下する。小クラックの大量発生は直線部分の終わりあたりから始まり、各圧縮試験が終わるまで継続した。

純氷において 4~5 MPa である q_u は、 C_w の増加に伴い単調に増加するが、 C_w が約 80 % になると 8~9 MPa で最大となり、それ以上 C_w が増加すると q_u は急激に小さくなる (図 2)。この 2 つの濃度範囲について以下の実験式が得られた。

$$C_w = 0 \sim 80 \% \quad q_u = 3.3 \times 10^{-2} C_w + 3.9$$

$$C_w = 80 \sim 94 \% \quad q_u = -4.2 \times 10^{-1} C_w + 4.2 \times 10$$

各試片の破壊状態の特徴としては、 C_w が小さいほど大きなクラックが生じやすい傾向があり、 C_w が 80 % 以上の試片ではせん断破壊が見られた。

C_w の増加にともなう E_m の変化は、 q_u の C_w 依存性ときわめて類似しており (図 3)、 q_u は E_m の約 10^{-2} 倍の値をとることがわかった ($q_u = 8.6 \times 10^{-3} E_m + 5.9$)。

応力が q_u となるときひずみは、 C_w が約 80 % までの範囲では約 1 % でほとんど一定していたのに対して、それ以上の濃度では 2 % 近くまで増加した。

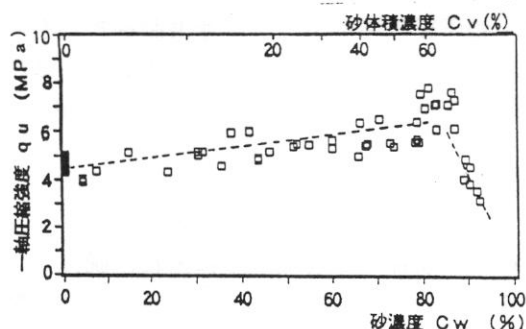


図 2. $q_u - C_w$

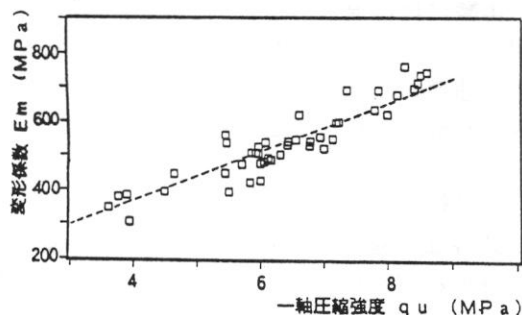


図 3. $E_m - q_u$

5. 考察

圧縮試片の破壊状態の違いなどから、 C_w が約 80 % になるまで q_u が増大するのは、砂粒子がクラックの伝播を阻害するためと思われる。今回の試料作成方法で砂を詰め込むことのできる限界は測定によると体積濃度 $C_v = 60 \%$ で、このときの C_w が約 80 %

であることより、 q_u が最大となるのは砂の充填状態が最密でその間隙が氷について飽和している場合であるといえる。 C_w がそれ以上の値をとっている領域では、砂粒子の間隙を埋める氷の量の減少により見かけ上の C_w が増加しているものと考えられ、砂粒子の接合物質としての氷の量の減少が、 q_u の低下をもたらしているものと思われる。

参考文献

高志 勤 他：砂凍土の一軸圧縮強さに関する実験的研究，土木学会論文報告集，1980

高志 勤 他：砂質凍土の一軸圧縮強度，第13回土質工学会研究発表会講演集，1978

井上 正則 他：凍土の圧縮強度と動的性質，低温科学物理篇，1975

Hook, Dahlin and Kauper: Creep of ice containing dispersed fine sand, Journal of Glaciology, 1972