

摂南大学大学院 学生員 〇堀家直也  
 摂南大学 正会員 伊藤 譲

1.目的

粘性土では土粒子の表面に水分子が吸着され、半固体状の吸着水と呼ばれる水膜に覆われている。この吸着水は強い吸着作用のために密度や粘性が通常の水とは異なる。土粒子相互はこのような水膜を介して接触している。また、水膜の外側には吸着作用を受けていないバルクな水(自由水)が存在している。粘性土の間隙水はこのように吸着水と自由水から成り、土の強度を支配しているのは吸着水であると考えられている。

ところで、粘性土を凍結させると、温度降下に従い土中の水分が徐々に凍結する。ある温度で凍結した水分量(または、未凍結の水分量)と土の強度には相関関係があると考えられる。そこで、本研究ではフォールコーン貫入試験と一軸圧縮試験に示される結果と凍結特性の関係について報告する。

2.実験方法

(1)凍結水量測定試験

自由水の凝固点温度は0℃であり、吸着水はその吸着作用のために凝固点温度が低下している。そこで、試料土を0℃から徐々に温度降下させたときに吸着作用の弱い水分から凍結すると考え、この凍結水量を水から氷への相変化に伴う体積変化を利用して求める。

表1に今回用いた4種類の試料土の物性値を示す。試料土には液性限界の約1.5倍の蒸留水を加えて練り混ぜ後、真空飽和させ、標準圧密リングにて $p=19.6\text{kN/m}^2$ から $1256\text{kN/m}^2$ までの各段階で圧密して測定試料を作成した。測定試料はポリエチレン袋に入れられ、真空パックされ、エチレングリコールで満たしたアルミニウム製円筒容器に入れた。容器ごと低温恒温バスで0℃から-20℃まで冷却し、各温度において試料中の凍結した水分量を式(1)で算出し、式(2)で凍結水体積から凍結間隙比 $e_{f1(TC)}$ を計算した。

$$V_{wf(TC)} = \frac{(\Delta V_{f(TC)} - \alpha \cdot \Delta T \cdot V)}{0.09} \quad (1)$$

$$e_{f1(TC)} = \frac{V_{wf(TC)}}{V_s} \quad (2)$$

ここに、 $V_{wf(TC)}$ ：凍結水体積、 $\Delta V_{f(TC)}$ ：体積変化量、 $\alpha$ ：不凍液の体積膨張係数、 $\Delta T$ ：不凍液温度、 $V$ ：不凍液体積とする。

従来の間隙比は土粒子体積に対する間隙の比であるが、凍結間隙比は土粒子体積に対する凍結水の体積である。

表1 試料土の物性値

試料土	藤森06N	京橋粘土	上白	赤7号	
試料記号	N	B	U	A	
土粒子密度 $\text{g/cm}^3$	2.684	2.676	2.615	2.659	
液性限界 %	48.0	43.4	44.6	49.1	
塑性限界 %	27.9	22.6	30.4	31.4	
粒度分布	砂 %	84.5	96.2	93.1	91.5
	シルト %	12.5	3.3	6.8	2.0
	粘土 %	3.0	0.5	0.1	6.5

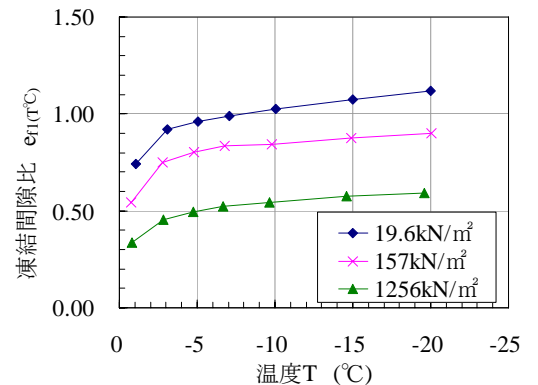


図1 凍結間隙比と温度(藤森 06N)

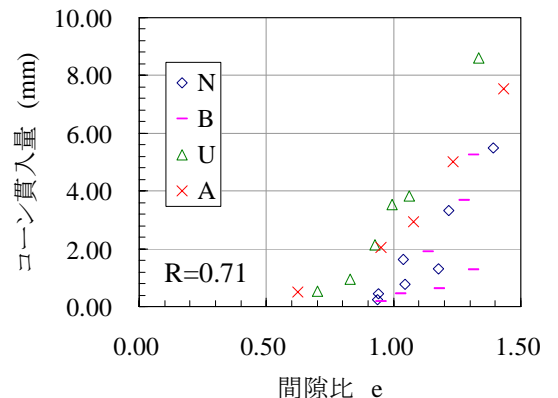


図2 間隙比とコーン貫入量

(2)力学試験

力学試験として、フォールコーン貫入試験と一軸圧縮試験を行った。フォールコーン貫入試験は上記と同様に作成した試料を圧密終了後、直径 $\phi=10.0\text{cm}$ 、高さ $H=3.0\text{cm}$ に成型を行なったものを用いた。供試体をフォールコーン試験装置の台にのせ、コーンを自重により落下させ5秒間の貫入量を測定した。また、一軸圧縮試験はJIS A 1216に従った。

3.実験結果

図1に試料Nの凍結間隙比と温度との関係を示す。図から、温度低下に従い間隙水が徐々に凍結し、凍結間隙比が増加していることがわかる。また、 $-1^\circ\text{C}$ において供試体中の水分の大部分が凍結している。なお、凍結間隙比は測定温度ごとに算出されるが、今回は $-1^\circ\text{C}$ までの凍結水を用いて算出される $-1^\circ\text{C}$ の凍結間隙比との関係について考察する。 $-1^\circ\text{C}$ までの凍結水は凍結温度が $0^\circ\text{C}$ に近いので、土粒子の吸着作用を受けていない、比較的自由に近い水分と考えられる。

図2に含水比から計算した通常の間隙比とコーン貫入量の関係を示す。間隙比が増加すると、コーン貫入量が増加する関係がみられるものの、相関係数の値は0.71である。次に、図3に今回定義をした凍結間隙比とコーン貫入量の関係を示す。相関係数は0.82であり、凍結間隙比とコーン貫入量の関係は通常の間隙比よりも強い。つまり、土の種類に関係なく凍結間隙比からコーン貫入量が予測可能であることを示す。

図4に間隙比と一軸圧縮強さの関係を示す。 $e$ が1.0を示すラインをみると $q_u$ は10.0~100.0を超える値を示し10倍以上の違いとなる。相関係数は-0.72であり、全試料土でみても関係があるとはいえない。図5に凍結間隙比と一軸圧縮強さの関係を示す。図5は図4と比較するとプロットが移動して相関係数が-0.87と強まることがわかる。この結果は凍結間隙比とコーン貫入量の関係と同様に、凍結間隙比と一軸圧縮強さとの関係にも全試料土を通じた負の相関が確認された。つまり、土の強度には通常の間隙水の性質ではなく、凍結間隙比に示される間隙水の性質から一軸圧縮強さを予測できる。

4.まとめ

細粒土と土の凍結試験から得られる指標との関係について以下のことが明らかとなった。

- (1) 凍結試験から求めた凍結間隙比は通常の間隙比と比較してコーン貫入量との関係が強い結果を得た。
- (2) 凍結間隙比は、通常の間隙比よりも一軸圧縮強さとの相関関係が強い。このように、凍結間隙比から土の強度を推定できる可能性が示された。

謝辞：本研究に協力していただいた、摂南大学都市環境システム工学科の荒木亨氏、大林真澄氏、田中輝佳氏、辻村光氏に厚く御礼申し上げます。参考文献：堀家、伊藤、嘉門：飽和細粒土における凍結試験と圧密特性との関係、土木学会、第64回年次学術講演会講演概要集、III-009、2009。

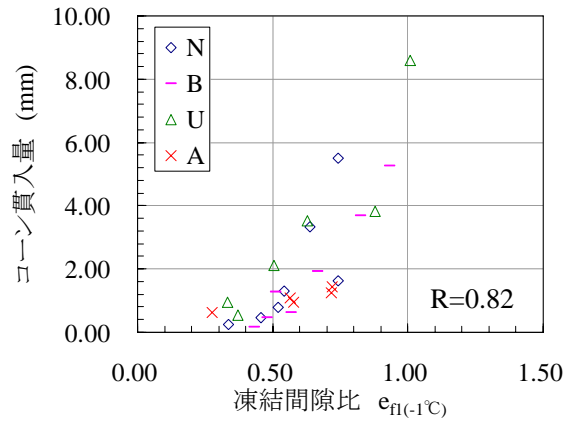


図3 凍結間隙比とコーン貫入量

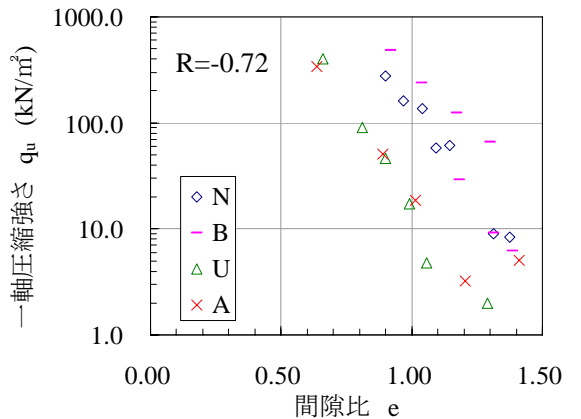


図4 間隙比と一軸圧縮強さ

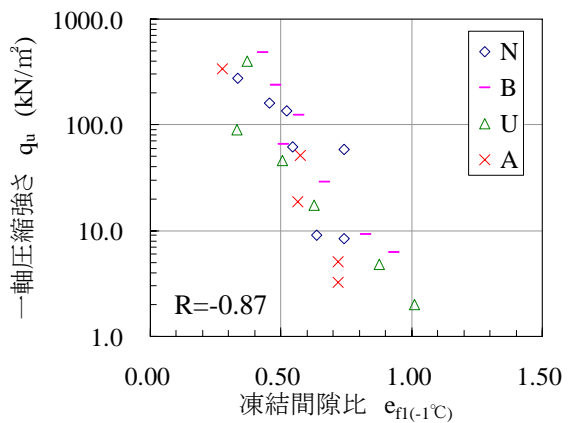


図5 凍結間隙比と一軸圧縮強さ