

第Ⅲ部門

細粒土の凍結特性と間隙比・液性指数との関係

摂南大学 学生員 ○堀家 直也

摂南大学 正会員 伊藤 謙

高松高専 フェロー 嘉門 雅史

1.目的

細粒土において、間隙水は土粒子からの吸着作用を強く受け、土の工学的性質に大きく影響を与えている。本研究では吸着水の存在やその強弱を、凝固点温度と凍結水量から把握することが可能であると考え、土の凍結特性と工学的性質との関係について実験的検討を行った。今回は凍結特性に対する間隙比と液性指数の関係性を報告する。

2.実験方法

(1)試料土

表1に実験に用いた試料土の物性値を示す。試料はすべて $425\mu\text{m}$ ふるい通過分である。藤森粘土の一部と関東ロームでは各種の処理を行い土粒子の性質を変化させた。A処理とは無処理のことである。B処理では液性限界の約1.5倍で練り混ぜ、 -20°C で24時間凍結後、 $+20^{\circ}\text{C}$ で24時間の融解を行った。C処理は室内乾燥、粉碎された試料である。D処理は、試料を $+110^{\circ}\text{C}$ で24時間かけ炉乾燥し、その後 $+20^{\circ}\text{C}$ の恒温で放置したものである。

(2)供試体作成

液性限界の約1.5倍の含水比で練り混ぜたペースト状試料の脱気後、圧密リング内において、 9.8kN/m^2 から荷重増分比 $\Delta p/p=1$ で載荷を行い、7段階の試料($p=19.6\sim 1256\text{kN/m}^2$)を供試体とした。

(3)凝固点温度測定

温度調整バスにより供試体温度を 0°C から -5°C まで急激に降下させ、供試体の中心部に挿入したPtセンサーにより10秒間隔で温度測定を行った。

(4)凍結水量測定

土中の吸着水はその吸着作用の強弱により凍結温度が異なり、吸着作用が弱い水は 0°C 付近の温度で凍結し、吸着作用が強い水はより低い温度で凍結する。凍結水量測定試験では、各温度において供試体中の凍結した水分量を測定した。

アルミ製円筒型容器($\phi=90\text{mm}\times h=100\text{mm}$, 以下、「円筒容器」)を不凍液で満たし、ビニル袋で密封された供試体を入れた。温度下降時にビュレットで円筒容器内の供試体の体積変化を測定し、同時にPtセンサーにより円筒容器内の温度変化を測定した。測定温度は 0 , $-1\sim -20^{\circ}\text{C}$ として、最初に 0°C から -5°C に降下させ凍結開始を確認後、急激に -1°C まで上昇させ、以降は順次温度降下させて測定した。

表1 試料土の物性値

試料名	試料記号	土粒子密度 ρ_s g/cm^3	液性限界 LL %	塑性限界 PL %	粒度分布				
					粗砂 %	中砂 %	細砂 %	シルト %	粘土 %
藤森06N	N-C	2.684	48.0	27.9	0.0	5.8	18.6	54.5	21.1
藤森08P	P-C	2.681	44.6	25.5	0.0	3.6	22.8	47.1	26.5
藤森08F	F-A	2.688	49.8	21.2	0.0	0.2	10.1	47.3	42.4
藤森08F凍結融解	F-B		51.1	21.2					
藤森08F炉乾燥	F-D		38.1	22.2					
関東ローム	K-A	2.638	169.8	99.5	0.0	0.0	6.0	64.5	29.5
関東ローム凍結融解	K-B		137.9	93.3					
関東ローム炉乾燥	K-D		NP	NP					
カオリン5号クレー	G-C	2.805	39.6	26.1	0.0	0.0	0.0	57.7	42.3
STカオリンクレー	S-C	2.720	53.2	40.7	0.0	0.0	0.0	51.3	48.8
カタルボ	T-C	2.704	31.7	19.7	0.0	0.0	0.0	73.1	26.9

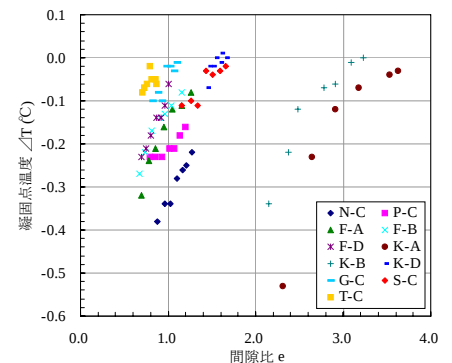


図1 間隙比と凝固点温度

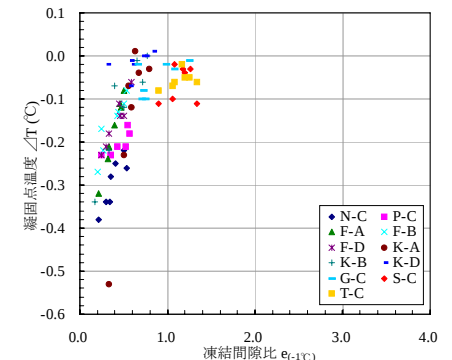


図2 凍結間隙比と凝固点温度

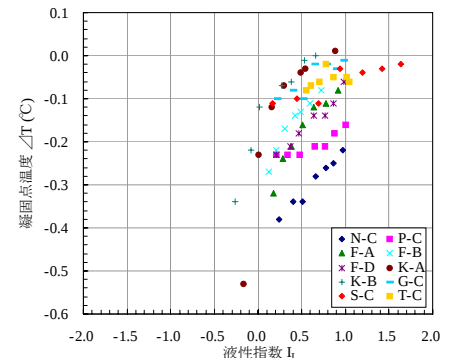


図3 液性指数と凝固点温度

凍結水量の算出法を以下に示す。

$$V_{wf}(T^{\circ}\text{C}) = (\Delta V_{fT^{\circ}\text{C}} - \beta \cdot \Delta T \cdot V) / \alpha_{(T^{\circ}\text{C})} \quad (1)$$

ここで、 $V_{wf}(T^{\circ}\text{C})$ ：凍結水体積、 $\Delta V_{fT^{\circ}\text{C}}$ ： $T^{\circ}\text{C}$ におけるの膨張体積、 β ：不凍液の体積膨張係数、 ΔT ：不凍液温度、 V ：測定時の不凍液体積、 $\alpha_{T^{\circ}\text{C}}$ ： $T^{\circ}\text{C}$ における氷の体積変化率、 V_s ：土粒子体積、 $V_{wu}(T^{\circ}\text{C})$ ：未凍結水体積とする。

凍結間隙比 $e_{f(T^{\circ}\text{C})}$ の算出は次式で行う

$$e_{f(T^{\circ}\text{C})} = \frac{V_{wf}(T^{\circ}\text{C})}{V_s + V_{wu}(T^{\circ}\text{C})} \quad (2)$$

(5) 間隙水の凝固点温度

試料の凝固点温度には、間隙水自体の凝固点の影響が考えられる。そこで、供試体作成時の圧密による排水の凝固点温度を測定して凝固点温度の補正を試みた。今回、間隙水の凝固点温度測定を行った試料はP-C、F-A、F-B、F-D、K-A、K-Bの6試料である。

3. 試験結果と考察

(1) 間隙比 e 、凍結間隙比 $e_{(-1^{\circ}\text{C})}$ と凝固点温度 ΔT の関係

図1に間隙比 e と凝固点温度 ΔT の関係を示す。図より同じ試料で比較すると e が大きくなれば ΔT は 0°C に近づくことが分かる。しかし、試料全体で比較すると必ずしも e が大きいほど ΔT が 0°C に近づくわけではない。図2に凍結間隙比 $e_{(-1^{\circ}\text{C})}$ と ΔT の関係を示す。図2より図1の2つのグループが1つのグループに集まっていることが分かる。つまり、試料ごとに異なる間隙比 e と凝固点温度 ΔT の関係は、凍結間隙比 $e_{(-1^{\circ}\text{C})}$ を用いることにより評価できる可能性がある。

(2) 液性指数 I_L と凝固点温度 ΔT の関係

図3に液性指数 I_L と凝固点温度 ΔT の関係を示す。全体的に I_L が同じ1.0を示していても ΔT は $0.0 \sim -0.2^{\circ}\text{C}$ の範囲で広がっている。このように、凝固点温度 ΔT と液性指数 I_L の関係はそれほど強くない。

(3) 間隙水の凝固点温度の補正

図4に間隙水の凝固点温度を控除した凝固点温度 ΔT^* と間隙比 e の関係を示す。図4は全体的に2つのグループに分けられ、図1に比べてプロットが集合する傾向が認められる。次に図5に間隙水の凝固点温度を考慮した凝固点温度 ΔT^* と凍結間隙比 $e_{(-1^{\circ}\text{C})}$ の関係を示す。図2と比較すると凝固点温度の範囲が狭まっていることが明らかである。つまり、図2では間隙水の凝固点温度が影響しており、図5は間隙自体の性質が反映しているといえる。図6に液性指数 I_L と間隙水の凝固点温度を考慮した凝固点温度 ΔT^* の関係を示す。図6では図3において明確ではなかった凝固点温度と液性指数の関係が認められた。

4. 結論

- (1) 土の工学的性質を凝固点や凍結水量の測定から評価できる可能性が示された。
- (2) 土の凝固点温度 ΔT は、間隙比 e より式(2)で定義した凍結間隙比 $e_{(-1^{\circ}\text{C})}$ が強く関係していることが示された。
- (3) 間隙水自体の凝固点温度を補正すると、間隙比 e および液性指数 I_L と凝固点温度 ΔT の関係が明らかとなる可能性が示された。

謝辞：本研究には日本学術振興会科研費基盤研究(C)(No.16560499,代表：伊藤謙)の一部が使用されています。本研究に協力いただいた摂南大学工学部都市環境システム工学科の東万里子君、古川晶大君に厚く御礼申し上げます。

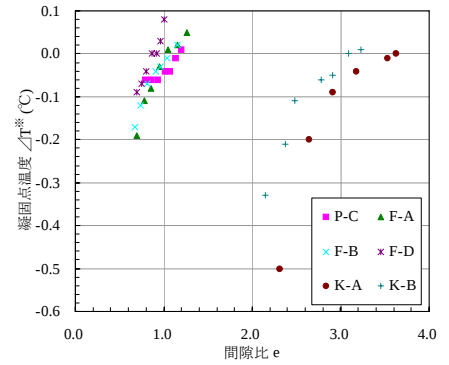


図4 間隙比と凝固点温度(補正後)

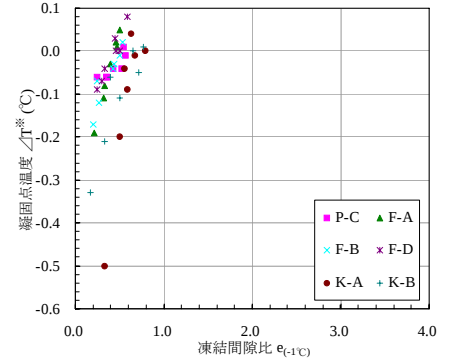


図5 凍結間隙比と凝固点温度(補正後)

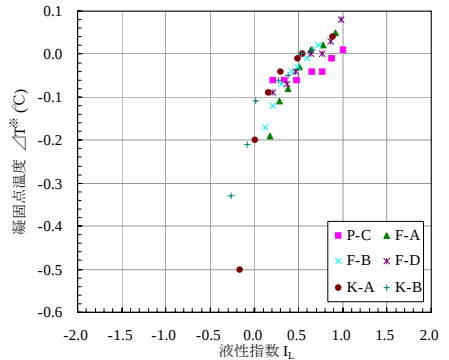


図6 液性指数と凝固点温度(補正後)