

飽和細粒土の凍結試験から得られる指標と圧密特性との関係

奥村組土木興業株式会社 正会員 ○佛圓 典史
 摂南大学 正会員 伊藤 譲

1. 目的

建設工事や汚染土壌の浄化において地盤材料の工学的性質を把握することは極めて重要である。土質試験より各種の工学的諸量が得られるが、それらは地盤工学的メカニズムを明らかにするものではない。例えば、土の透水係数や一軸圧縮強さを求めることは可能であるが、そのメカニズムや相互関係すら明らかとは言えない¹⁾。

本研究では、飽和細粒土の工学的性質を把握するために凍結試験を用いることができないか検討を行った²⁾。ここで用いた凍結試験の特徴は、間隙水の凍結時における液相から固相への相変化に伴う体積膨張を利用して凍結水分を求めることであり、間隙水を自由水と吸着水とに分けて示すことができる³⁾。

本報告では飽和細粒土における凍結試験から得られる指標と圧密特性との関係より、圧密現象に関するいくつかの知見について述べる。

表-1 試料土の物性値

試料土	記号	密度 ρ _s g/cm ³	液性限界		粒度分布			土の分類
			W _L %	W _P %	砂分 %	シルト分 %	粘土分 %	
藤森06N	N-C	2.684	48.0	27.9	24.4	54.5	21.1	CL
藤森08P	P-C	2.681	44.6	25.5	26.4	47.1	26.5	CL
藤森08F	F-A	2.688	49.8	21.2	-	-	-	-
藤森08F凍結融解	F-B	2.688	51.1	21.2	10.3	47.3	42.4	CL
藤森08F炉乾燥	F-D	2.688	38.1	22.2	-	-	-	-
藤森10P	10-C	2.708	45.2	21.8	4.6	65.4	30.0	CL
藤森11P	11-C	2.686	42.6	25.0	19.0	55.2	25.8	CL
関東ローム	K-A	2.638	169.8	99.5	-	-	-	-
関東ローム凍結融解	K-B	2.638	137.9	93.3	6.0	64.5	29.5	MH
関東ローム炉乾燥	K-D	2.638	NP	NP	-	-	-	-
カオリン5号クレー	G-C	2.805	39.6	26.1	0.0	57.7	42.3	ML
STカオリンクレー	S-C	2.720	53.2	40.7	0.0	51.3	48.8	MH
カタルボ	T-C	2.704	31.7	19.7	0.0	73.1	26.9	ML
京橋粘土	B-C	2.676	43.4	22.6	0.5	3.3	96.2	CL
上白	U-C	2.615	44.6	30.4	0.1	6.8	93.1	CL
赤7号	A-C	2.659	49.1	31.4	6.5	2.0	91.5	CH
稲荷山黄土	Y-C	2.763	58.2	33.3	5.3	26.5	68.2	CH
稲荷山白土	W-C	2.697	62.5	23.3	4.2	32.5	63.3	CH
薬白	R-A	2.594	54.3	24.5	6.0	23.6	70.4	CH
荒目5号	S-A	2.583	38.3	21.3	10.0	6.0	84.0	CL
稲荷山黄土11	Y11-C	2.719	59.2	27.1	3.0	34.5	62.5	CH
稲荷山白土11	W11-C	2.647	71.8	27.7	2.5	22.4	75.1	CH
万古土	BA-C	2.651	60.8	27.7	0.0	26.0	74.0	CH
園芸用茶土	TY-C	2.762	48.8	28.0	15.6	41.3	43.1	ML
藤森06N+ベントナイト(2.0%)	F-2	2.684	49.2	31.0	-	-	-	ML
藤森06N+ベントナイト(4.0%)	F-4	2.684	50.5	31.5	-	-	-	MH
藤森06N+ベントナイト(8.0%)	F-8	2.684	54.9	34.2	-	-	-	MH
現場試料 No1:1T	No-1:1T	2.640	79.2	27.9	10.5	47.5	42.0	CH
現場試料 No3:1T	No-3:1T	2.627	98.5	36.0	2.4	46.5	51.1	CH
現場試料 No3:1D-1	No-3D-1	2.623	125.6	34.3	1.8	34.3	61.6	CH
現場試料 No4:1T	No-4:1T	2.642	70.7	25.6	3.7	44.9	51.4	CH
現場試料 No4:1D-2	No-4D2	2.614	109.1	37.5	15.5	36.2	48.3	CH
現場試料 No4:3D	No-4D3	2.655	67.4	25.0	3.6	46.7	49.7	CH

2. 試験方法

表-1 に試料土の物性値を記す。体積圧縮係数、圧縮指数、圧密係数は標準圧密試験(JIS A 1217)から求めた。

次に凍結水量測定試験を説明する。試料土に液性限界の1.5 倍の蒸留水を加えて練り混ぜ、養生後、飽和させた。その後、標準圧密リングにて $p = 19.6 \sim 1256 \text{ kN/m}^2$ まで圧密して供試体を作成した。供試体を袋に入れて真空パックし、さらに不凍液で満たしたアルミ製の測定容器に入れ、容器ごと恒温低温バスで -20°C まで冷却し、容器に接続したピュレットにて体積変化を、容器内に挿入した Pt センサーにて供試体温度を測定した。

式(1), (2)に凍結間隙比 $e_{f1(T^{\circ}\text{C})}$ 、凍結間隙比 $e_{f2(T^{\circ}\text{C})}$ を示す。 $T^{\circ}\text{C}$ までに凍結する水分で定義される $e_{f1(T^{\circ}\text{C})}$ は、土粒子に対する凍結水の体積の比であり、 $e_{f2(T^{\circ}\text{C})}$ は土粒子と未凍結水に対する凍結水の比である。このような水分は、自由水に近い間隙水と考えられる。未凍結間隙比 $e_{u1(T^{\circ}\text{C})}$ は、式(3)に示すとおり通常の間隙比と凍結間隙比の差として定義されるものであり、土粒子近傍の吸着水と呼ばれる間隙水に近い。

$$e_{f1(T^{\circ}\text{C})} = \frac{V_{wf(T^{\circ}\text{C})}}{V_s} \quad (1)$$

$$e_{f2(T^{\circ}\text{C})} = \frac{V_{wf(T^{\circ}\text{C})}}{V_s + V_{wu(T^{\circ}\text{C})}} \quad (2)$$

$$e_{u1(T^{\circ}\text{C})} = e - e_{f1(T^{\circ}\text{C})} = \frac{V_{wu(T^{\circ}\text{C})}}{V_s} \quad (3)$$

ここに、 $V_{wf(T^{\circ}\text{C})}$:凍結水量(cm^3)、 $V_{wu(T^{\circ}\text{C})}$:未凍結水量(cm^3)、 V_s :土粒子体積(cm^3)である。

3. 結果と考察

凍結試験 凍結間隙比 工学的諸特性

大阪府寝屋川市池田中町 17-8 TEL/FAX 072-839-9116

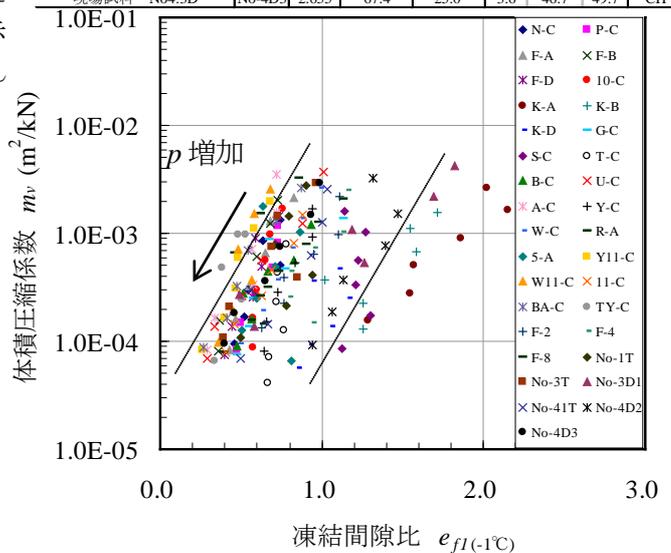


図-1 凍結間隙比 $e_{f1(-1^{\circ}\text{C})}$ と体積圧縮係数 m_v の関係

(1) 凍結間隙比 $e_{f(-1^{\circ}\text{C})}$ と体積圧縮係数 m_v の関係

図-1 に凍結間隙比 $e_{f(-1^{\circ}\text{C})}$ と体積圧縮係数 m_v の関係を示す。図より、 p が増加すると $e_{f(-1^{\circ}\text{C})}$ が小さくなり m_v も小さくなる傾向が見られる。これは、圧密により排水される間隙水が -1°C までに凍結する自由水に近い間隙水であることを示す。

(2) 圧縮指数 C_c と凍結試験から得られた $C_{cf(-1^{\circ}\text{C})}$ の関係

図-2 に圧縮指数 C_c と $e_{f(-1^{\circ}\text{C})}-\log p$ 曲線の傾きである $C_{cf(-1^{\circ}\text{C})}$ の関係を示す。図より、 $C_{cf(-1^{\circ}\text{C})}$ とは全体的に 1 対 1 の関係になっていることがわかる。このことは、前述の m_v と同様に、圧密で排水されるのは土粒子表面からは遠くに位置する自由水に近い水分であることを裏付けている。

(3) 凍結間隙比 $e_{f2(-1^{\circ}\text{C})}$ 、未凍結間隙比 $e_{ul(-1^{\circ}\text{C})}$ と圧密係数 c_v の関係

図-3 に凍結間隙比 $e_{f2(-1^{\circ}\text{C})}$ と圧密係数 c_v の関係を示す。図より、各々の試料については、 p の増加によって $e_{f2(-1^{\circ}\text{C})}$ が小さくなり c_v が大きくなる傾向がある。また、試料毎にみると p が同じであれば、 $e_{f2(-1^{\circ}\text{C})}$ が大きいほど c_v は小さくなる。全体的な傾向では比較的粘土分の多い試料は c_v が小さくなり、シルト分の多い試料は c_v が大きくなっている 2 つのグループに分かれている。しかし、円で囲った現場の試料は粘土分とシルト分の割合がどちらにも片寄っていないが、 c_v は他の試料に比べて小さくなっている。

図-4 に未凍結間隙比 $e_{ul(-1^{\circ}\text{C})}$ と圧密係数 c_v の関係を示す。図より、 p が増加しても $e_{ul(-1^{\circ}\text{C})}$ は変化しないが、 c_v は急増する。また、 $e_{ul(-1^{\circ}\text{C})}=0.6$ を上回ると c_v の増加傾向が落ち着く。

4. 結論

本研究の成果を以下のようにまとめる。

- (1) 圧密沈下に関しては、体積圧縮係数 m_v や圧縮指数 C_c の実験からは、圧密荷重により排水される間隙水は均一に排水されるのではなく、土粒子の遠方にある自由水から順に排水されると言えよう。
- (2) 圧密時間に関しては、圧密係数 c_v は吸着水が一定量までは、吸着水量と関係がなく大きく変化するが、 $e_{ul(-1^{\circ}\text{C})}=0.6$ 以上になるとその低下傾向が落ち着く。このことは、間隙中の自由水が連続して存在することができる限度を越えて吸着水が存在すると圧密係数が土の構造よりも水の粘性に支配されることを意味するものと思われる。
- (3) 本研究で新たに提示した間隙水の評価方法は、従来の物理試験から得られる方法(アッターベルク限界等)と比較して直接的であり、特に軟弱地盤の安定処理における添加剤や圧密促進工法の開発において新たな応用が期待される。

謝辞: 本研究には科学研究費補助金(基盤研究(C)、課題番号 22560501 番)が使用されています。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献: (1)James K. Mitchell & Kenichi Soga : Fundamentals of soil Behavior, p.325, 2005. (2)土質工学会: 土の凍結-その理論と実際, pp.21-78, 1994.(3)伊藤謙・堀家直也: 飽和細粒土の透水係数と凍結試験から評価される間隙比の関係, 材料.Vol.61.No.1, pp.85-88, 2012.

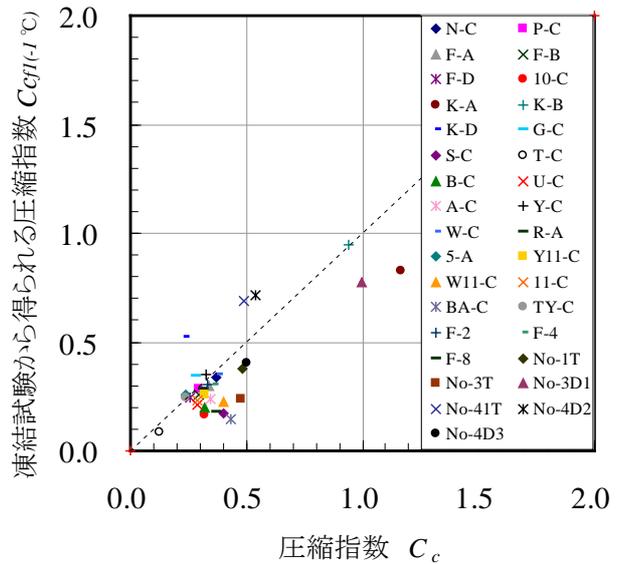


図-2 圧縮指数 C_c と凍結試験から得られた $C_{cf(-1^{\circ}\text{C})}$ 関係

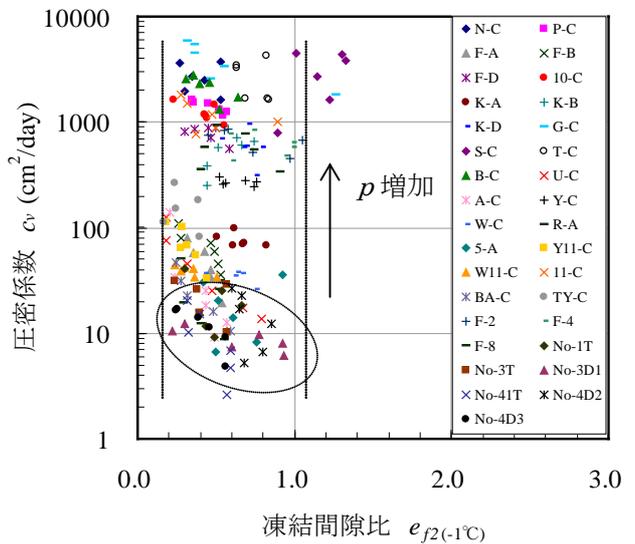


図-3 凍結間隙比 $e_{f2(-1^{\circ}\text{C})}$ と圧密係数 c_v の関係

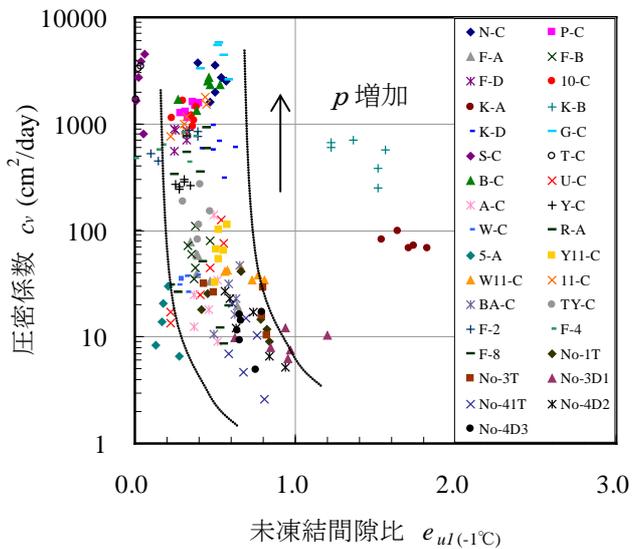


図-4 未凍結間隙比 $e_{ul(-1^{\circ}\text{C})}$ と圧密係数 c_v の関係