

金沢大学 工学部 正員 西田義親
 金沢大学 工学部 正員 八木則男
 西松建設株式会社 正員 O深見新一

I. 緒言

粘性土の力学的挙動を説明するのに、間けき水の化学ポテンシャルを利用する方法がとられてきている。例えば、農学分野では、pF値による土のコンシステンシー状態の分類や、土の強度、抵抗値等のpF表示が研究、発表されてきた。果して半定説的なこれらの結論が、高塑性粘土に至るまで、一般性のあるものかどうか、又、pF値で土-水系としての全体の普遍的関係を説明する上での有用性及び問題点を探ってみた。

II. 実験方法、試料

4試料をX線回折し、各々、No.1 Na Bentonite, No.2 Pyrophyllite, No.3 Sericite, No.4 Kutani-kaolin と命名し、土質工学的諸量(LL, PL, etc.)の測定、圧密試験、強度試験(一軸圧縮、一面せん断、フォールコン)を行なうとともに、pF~含水比曲線を測定した。ここから、pF値による土質工学的諸量の表示の検討、pF~含水比曲線と圧密曲線の類似性についての考察、さらに、粘性土の非排水せん断強度 C_u をpF値を使って表現する上での問題点、ひいては、pF値のもつ意味を考えた。

III. 結果及び考察

1. 土質工学的諸量のpF値表示 — 4試料のAtterberg
 限界、最適含水比、比重の各試験結果を表-1に示す。

Clay Type	LL	PL	PI	I_f	I_t	w_{opt}	SL	G_s
NO.1	450	49.2	401	50.3	8.0	42.0	9.8	2.64
NO.2	62.9	42.2	20.7	8.7	2.4	30.0	39.9	2.71
NO.3	39.3	26.5	12.8	7.8	1.6	19.0	23.1	2.73
NO.4	79.3	26.8	52.5	16.0	3.3	23.0	21.5	2.59

表-1

これらの値を図-1のpF~含水比曲線上にプロットした。この結果から従来農学分野で述べられてきた説と異なり、実験誤差もあるが、土質工学的諸量が必ずしも一定のpF値で表示されないことである。その理由を考えてみる。まず液性限界試験は衝撃による動的破壊試験であり、含水比を変化させた場合の試料の強度変化の様子は流動曲線の傾き I_f で検討することが出来るが、これの決定因子として、土の構造も考えなければならぬであろう。練り返した飽和粘土は時間経過に伴い、静止硬化による強度回復を示す。吸引法でpF測定する場合、この現象による保水性の増大が

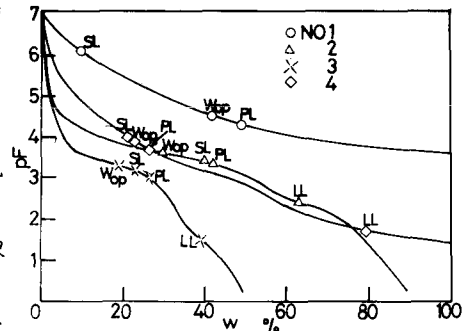


図-1

考えられ、その度合は粘土により異なる。また、土の構造を考えると、図-2に示すように、直接動的破壊に寄与する度合が、平衡状態で同一ポテンシャルにある水でも、b点の方がa点より大ということである。液性限界については、このように、LL試験とpF測定試験の両者のレオロジカルな現象の競合結果として、LLに対応するpF値を検討すべきだろう。一方塑性限界LL、収縮限界SL、最適含水比 w_{opt} に対応する各々のpF値を見



図-2

けると、LLの場合と同様、確かにバラツキはあるが、PIの大きさの順になっていることに気づく。周知のごとく、pF~含水比曲線は吸水、脱水両過程の間にヒステリシスを生じる。どんなポテンシャル状態においても脱水過程の含水量は、吸水過程のそれより高い。粘性土のヒステリシスの原因の一つに粒子の再配列が考えられ、その量は粒子の比表面積、吸着水と見なされる範囲および塑性指数の大きさによって決まると考えられ、一般にPIの大きなもの程、粒子再配列は大であり、ヒステリシスも大になる。こういった理由から、図-1の結果が出たことと思われる。その顕著な例は、試料No.1のSLに対するpF値に現われている。PL, w_{opt} 試験については、外力

(エネルギー)による吸着水の自由化も考えられるし、この軟化の度合がPL, W_{opt} のpF値を左右する。なお、図1を見るとpF=4ぐらいから、曲線勾配が急変していることが分るが、この点あたりで、自由水と結合水(吸着水、拘束水)という大体の土中水の性状変化が想像できるし、PL, W_{opt} がこの辺に現われてくるという意見は、本研究結果をも合わせ、また、塑性限界、最適含水比を土-水系という中で考えみると妥当であると思われる。

2. pF~含水比曲線と圧密曲線($e \sim \log p$ curve)の相関性

エネルギー論的に解釈すると、一般のpF測定試験と圧密試験とは何ら変りない。圧密圧力Pを g/cm^2 で表わし、間けき比を含水比に換算すれば、 $\log P$ はpFに対応するものである。一般にこの考えは、完全圧縮性飽和粘土についていえることである。何故なら低pFに対応する低圧密圧力の範囲(高含水比域)では、機械的摩擦や、初期含水比の影響が、高pFに対応する高压密圧力の範囲でも土粒子が直接接触し合い荷重を受けもつようになり、当然両曲線は対応しなくなる。普通、対応範囲はpF=4までぐらいとされている。これは、毛管不飽和の始まる点(ここで曲線勾配が急変する)をpF=4とした考えに由来している。図-3に対応させた結果を示した。PIの大きい試料No.4、最も小さいNo.3について、その対応の様子を見れば、試料の圧縮性、非圧縮性が原因となってくることも分かる。ここで2曲線の相関性に影響を及ぼす実験上の問題を列記すると、④遠心法によるpF測定の際、Water-logging現象に対する処置、⑩圧密試験では、載荷時間の相違により $e \sim \log P$ 曲線は変化すること、即ち遠心法における脱水時間との対応上の問題。

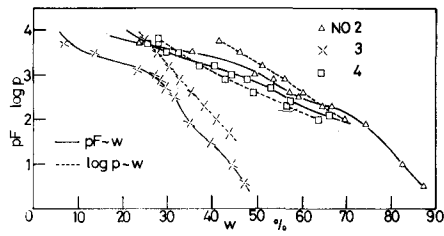


図-3

以上、pFと圧密を対応させたことは、圧密試験の意義を高めたものと思う。

3. pF値と飽和粘性土の非排水セン断強度 C_u の関係

図-4に含水比変化に伴う C_u の変化を示したが、それは必ずしも連続的ではないことが分かる。これはセン断強さの機構と粒子間力から考えた場合(図-5参照)、有効応力の主要成分が土粒子相互間に作用する物理化学的応力(即ちRとA)であることが特徴的であり、粒子間斥力の増大としてpFの増大を考えると、土の構造が強固に影響を与え不連続な結果になったと思われる。ここで同一含水比における C_u とpF値の関係(図-6)を見ると、実験式として $\log C_u = pF - \text{const}$ が得られる。理論的に1つの正規圧密粘土では、 C_u と圧密圧力Pとの間に $C_u/p = \sin \phi' / (1 + (2A_f - 1) \sin \phi')$ という関係がある。 $\log P$ とpFとが対応すると考え、上記の実験式を想定したのである。セン断の過程で粒子は再配列を強いられ、それに粒子間斥力が抵抗を示し、 C_u に寄与すると考えると、構造論的解釈が最も主要である。さらに、急速セン断中の構造変化は破壊面付近に集中する。即ち、含水量変化の起る領域(限界域)は狭いが、変化量は大きい。以上のように考えまると、pF=有効応力と考え、 C_u とpFの関係を上記のように結論し、pFを有用なものと断定するのは早計と思う。

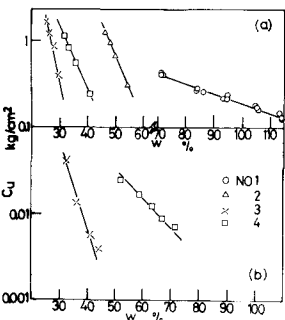


図-4

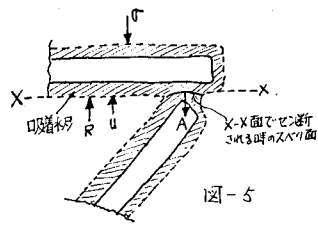


図-5

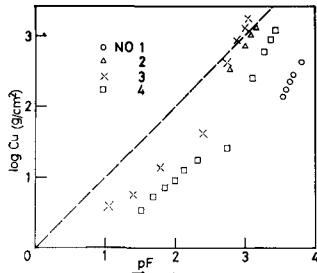


図-6

IV. 結論

pFは土中水の移動原理を統一的に説明してくれる反面、pF値を使って粘土の力学的挙動を説明しようとすると、粘土の骨格構造やシキソトロピー的現象を無視しがちになる恐れがある。

V. 参考文献

- i) R.N. Yong & Warkentin "Introduction to Soil Behavior" ii) 山崎不二夫監修 "土壌物理" 養賢堂 1971