

土壤のコンシステンシ - の測定法

遠結度・圧砕度・硬度の測定法

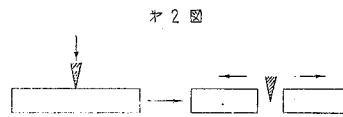
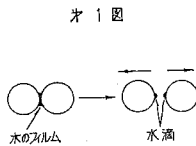
山 中 金 次 郎 (農技研)

I 連結度の測定

土壤は一種の粉体であるが、個々の粒子の連結に依てある程度固体化する。この固体化の程度は土壤の連結度或は一般に土壤の凝集力 (Soil Cohesion) と呼ぶ事ができる。連結度の測定には二つの様式が識別される。1) は従来から広く行われてきたものであつて、風乾細土に適量の水を加えて練塑して試片をつくるか、或は風乾細土を容器に填充し吸水飽和させたものを試片とする。これらを緩急に均等に乾燥させ、鋭いクサビ ($13^{\circ} \sim 15^{\circ}$) で切断し、クサビに加えられた荷重を以て連結度とする。前者を固結度 (festichkeit) 後者を連結度 (Bindichkeit) として識別することができる。勿論前者の方がずっと大きな抵抗値を示すが、ともに Kg/cm^2 として表示する事ができる。

測定装置は始め Atterberg¹⁾ (1912) が考案したレバー式の切断抵抗測定装置に多少の改良を加えて Haines²⁾ (1925) 及び山中³⁾ (1932) 等に依て行われてきた。試片は、 $1 \times 2 \times 6 cm$ の矩形型を用い、一固体から3~4の測定値が得られている。

この測定値の理論的意義についての Haines と Fisher との5年間に亘る論争に依て、土壤の毛管性理論が大きく発展した事は注目に値する。理論値の計算は互に切する二球粒子間の切点の周りにリング状に懸着する水フィルムに依る毛管力の計算を基礎とする。(第1図) 即ち二球を引き離すに要する引張り抵抗力 (tensile force) を意味する。測定のプロセスはある程度以上に乾燥した試片については、切断が次の様式で行われる。(第2図)



この場合クサビの侵入は1ミリ内外という僅かさで切断が突発的に行われる。従て前の理論のモデルに相似とみられる。Haines はこの切断抵抗値が理論値と絶体的にもほぼ一致していることを確めている。この測定値即ち固結度は含水量に依て変化し、土壤の種類により特有な関係曲線が得られる。熱乾したベントナイトの試片は100Kg内外の荷重を要するため、このレバー式の装置では機構上やや無理である。

2) の方法は立方体状に試片を成型し、これを平板間に挟んで荷重を加え、之を圧砕する際

の抵抗を測定するものである。

この測定は現地の土層断面の自然状態の試片についても適用できる。この場合は少なくとも 5 cm^2 程度の試片を用いるために大きな荷重を必要とする。

山中・松尾⁴⁾(1962) は油圧式の装置を用いて測定を行つているが、最大荷重は 1000 Kg である。この装置は多少の考案によつてレバー式に代改して固結度の測定に適用されることは勿論であり、測定は更に精確に行うことができよう。

立方体の試片を圧碎する際に土壌内部に発生する応力は引張り抵抗力の場合の様に単純に解析することは出来ないが、 Kg/cc 或は Kg/cm^2 としても表すことができよう。事実圧碎の際には土壌の状態によつて不規則な砕け方をする。然しながら、この測定の実際的の意義は現在極めて大きいと見られる。

II 硬度の測定

土壌の連結度が土壌の粒子を引き離すのに要する力とすれば、硬度は粒子の連結力に抗して土壌内部にずつと硬度の大きい材料をめり込めるのに要する力として識別することができよう。

土壌の硬度は金属等の材料に比して甚だ弱いものであり、且つ砕け易いからその測定は現地の圃場につき、多少共深く且つかなりのサイズを持つ金属片を穿入させ、その際の抵抗を読みとることによつて、行われるのが普通である。

然しながら、穿入がある程度深くなると土壌の可塑性変形応力、内部的及び外部的の摩擦力等が大きく関与した抵抗値をうることになる。例えば、全く連結力のない砂の層についてみると之をブロックとしてとり出すと脆く砕けてしまふに拘らず、砂層の穿入抵抗は砂粒子が密に填充されている場合にはかなりの値をとることになる。

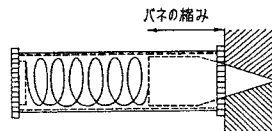
山中・松尾⁵⁾(1962) が主として土壌断面についての測定用として考案した土壌硬度計は長さ 4 cm の円錐体の一部を土壌中に穿入させる時の抵抗をバネの縮みによつて読みとるものである。(第3図)バネの強度は $8 \text{ Kg}/4 \text{ cm}$

となつており、自然状態の土壌でも堅密な場合には 10 mm 内外しか穿入しない状態で測定されるようになってゐる。従つてこの様な場合の測定値は材料的な硬度とある程度

対比することができる。然し、頁岩ですら穿入は 1 mm 内外にすぎないのであるから、せいぜい堅くても 10 mm 内外は穿入する自然土層が如何に軟弱であるかがわかる。

この測定値即ちバネの縮みに相当する力を F とすれば、硬度は $F / (\text{穿入した円錐体の容積})$ 即ち Kg/cm^3 或は便宜的に $F / (\text{円錐体の支持面})$ 、即ち Kg/cm^2 として表示され、或は更に簡単

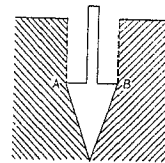
第3図



に硬度の指標としてバネの縮み (mm) で表示する。

現地の土壌について穿入抵抗を測定する試みは最近一般的となつて来ている。その代表的のものとしてコーン穿入計 (Cone Penetrometer) がある。この測定は円錐体を全部土層中に連続的に穿入させてゆくものであるから、その際の仕事の量は外見的に円板を押し込んでゆくのと相似的である。(第4図)。従つて、この機構は硬度と云はず、単に穿入計と呼ぶのが正しいと思われる。即ち、コーンの支持面 A B に相当する円筒形の空間が仕事の量に相当するものとして観察されるが、この土壌圧密の際コーンの全表面が関与するために円板の圧入に比してその機構は遙かに複雑である。その抵抗は同様に $F / (\text{コーンの支持面})$ 、即ち kg/cm^2 として表示される。

第4図



以上に述べた土壌硬度の測定二つのタイプの夫々につき、既に動的な方法を含めて、色々な考察があり、将来もその目的に応じた適当な方法が考案されると考える。

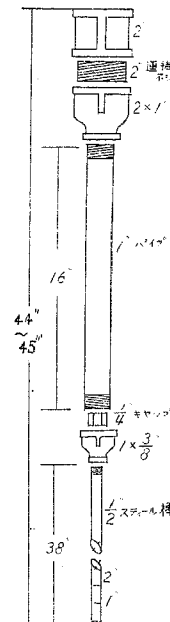
次に各国で最近、行われている土壌硬度の測定方法を紹介する。夫々がその目的に応じて特異な形をとつているのは注目に値しよう。

1. 氷結土層測定用ペネトロメーター

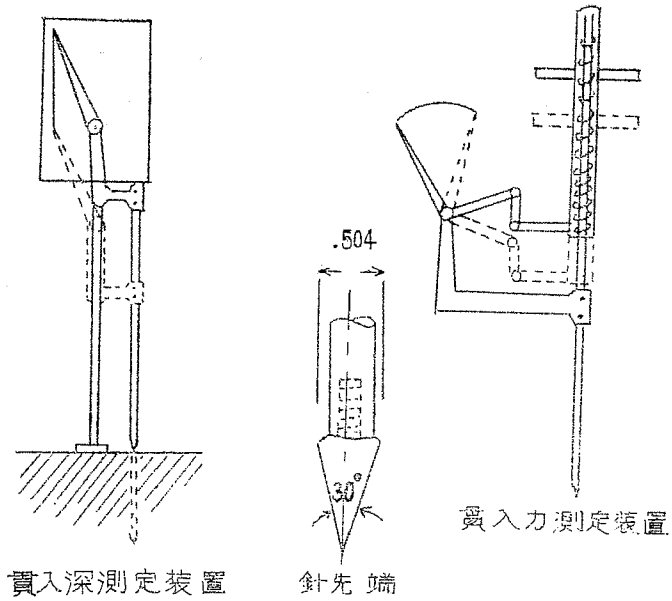
第5図に示したような装置が、氷結した土層の深さを測るためにカナダ北部地方で使用される。重量は12.0~15.5ポンドで、一定のストロークで貫入させると、固く氷結した土層では1/4~1/2インチ程度しか入らないが、氷結した土層を突き破ると4~8倍よく貫入するので、氷結土層の深さが測定できる。またこのペネトロメーターは一般市販の鉄製品で簡単に製作できる。

2. 土壌圧密研究のためのペネトロメーター

第6図に示したように、コーン型のペネトロメーターで、侵入深と侵入力をそれぞれ別々に記録できる。この装置を用いて、土壌の容積重と水分の異つた試料について圃場の浸潤能と硬度の関連を研究した。



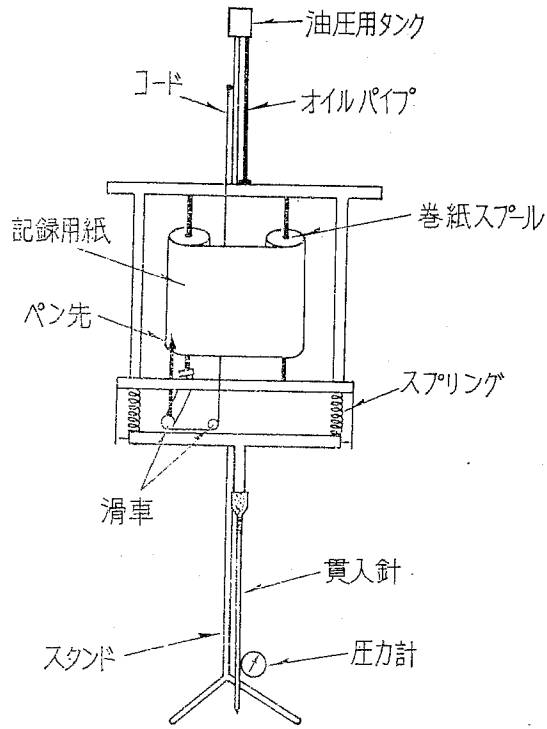
第5図 氷結土層測定用ペネトロメーター



※ 6 図 土壤圧密研究のためのペネトロメーター

3. 自記記録式ペネトロメーター

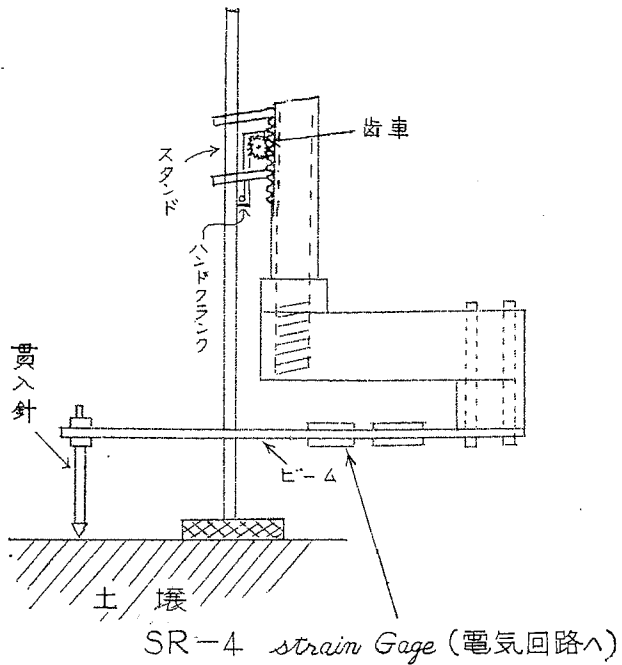
第7図に示したペネトロメーターは、a. 貫入針に加わつた圧力をスプリングによつて測定する。b. 貫入針の貫入力を油圧方式によつて一定にする。c. コードと滑車の組み合わせによつて記録用紙に貫入深と貫入力を自記する。以上3種の目的を達するように組み立てられている。とくに油圧を利用した点はこの装置の特色で、貫入針の抜きとりを容易にする場合にも用いられる。



カ7図 自記記録式ペネトロメーター

4. 歪計利用のペネトロメーター

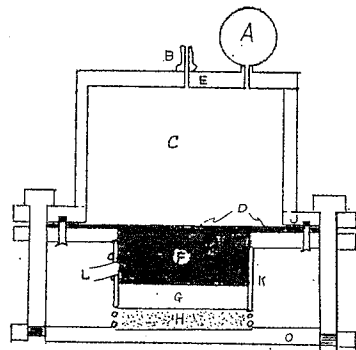
第8図に示したように、貫入針に対する土壌の抵抗を歪計を応用して測定する装置であり、測定ビームに接着した歪計の抵抗変化をホイーストン・ブリッジ回路を応用して、アンメーターで直続するか、あるいは自記記録計に接続している。この際4ヶの歪計は自動的に温度保償をしている。この装置は小麦播種機改良のため考案されたもので、したがって針先端は播種機に準じ、主として土壌表面のクラスト状態を追跡することに有用である。



※8図 歪計利用のペネトロメーター

5. 空気圧土壤圧縮装置

第9図に示したように空気圧によつて土壤を圧縮する装置であり、このような空気圧による圧力変化の過程がトラクターのタイヤによる圧力と類似するということから考案された。この装置は圧縮した試料の透水性も測定できる。

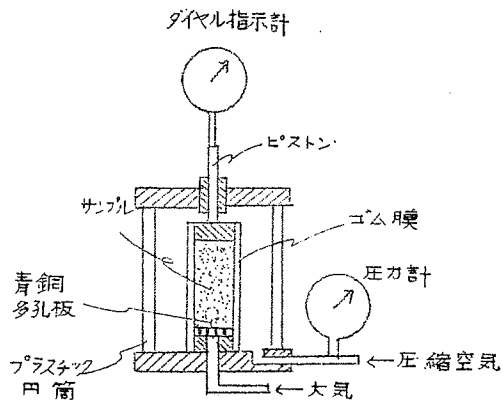


※9図 空気圧土壤圧縮装置概要図

- | | |
|------------|--------------|
| A 圧力計 | F アルミニウムピストン |
| B 空気孔 | G 土壤サンプル |
| C 空気室 | H 多孔板 |
| D ゴム薄膜 | K サンプル支持リング |
| E J.D.N 鋼板 | L 注入口 |

6. 等方性圧力による土壌変形の測定器

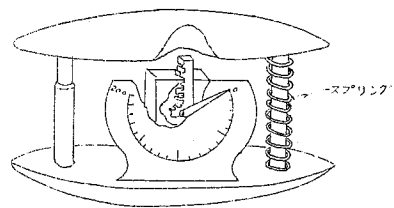
第10図に示したように、土壌に三軸性の圧力を加え、その際の容積変化すなわち歪を測定する装置である。容積変化は垂直方向の圧縮をダイヤル指示計によつて測定し、急激な変化は避けて、1分当り長さで0.01%以内の変化で測定する。



※10図 等方性圧力による土壌変形の測定器

7. 土壌硬度測定の個人偏差を推定するための握力計の利用

第11図に示したような握力計を利用し、圧碎圧の指に対する触感を測定し、その変異を調査した。握力計はこの目的のために、2ヶのスプリングを1ヶにし、さらに弱いスプリングとしたものである。この結果硬さを4段階にして、それらを区別することは1%レベルの信頼度で有意的であることが判明した。



※11図 使用した握力計(1/2)

引 用 文 献

- 1) Atterberg, A. : Intern. Mitt. Bodenk., 2, 312(1912)
- 2) Haines, W. B. : J. Agr. Sci., 15, 529~535(1925)
- 3) 山 中 金 次 郎 : 農技研報告B第6号 (1955)
- 4) 山 中 · 松 尾 : 土肥誌 , 33, 348(1962)
- 5) 山 中 · 松 尾 : 土肥誌 , 33, 343(1962)
- 6) Stoecker & Thames : Soil Sci., 85 , 47(1958)
- 7) Terry & Wilson : Agr. Eng., 34 , 831(1953)
- 8) Mathieu & Toogood : Canad. J. Soil Sci., 38, 100(1958)
- 9) Hanks & Harkness : Agr. Eng., 37 , 553(1956)
- 10) Howard M. Taylor : Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 22, 271
(1958)
- 11) Mc Murdie & Day : Soil Sci Soc. Amer. Proc., 22 , 18
(1958)
- 12) Robert & Lindo : Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 21 , 661
(1957)