

土壌物理実験結果の現地への適用性に関する研究

(Ⅲ) 土壌の力学性の現地測定について

山田 宣良, 川田 裕, 横瀬 広司, 青柳 省吾

STUDIES ON THE FIELD APPLICABILITY OF THE EXPERIMENTAL RESULTS ON PHYSICAL PROPERTIES OF THE SOIL

(Ⅲ) ON THE MEASUREMENT OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF SOIL *in situ*

Noriyoshi YAMADA, Yutaka KAWADA, Hiroji YOKOSE and Shogo AOYANAGI

Vane shear test and Harvard compaction test are applied to measure precisely the mechanical properties of soil *in situ* and following results are achieved:

- (1) The significant correlation exists between vane shear test and cohesion stress measured by triaxial compression test, but whole shearing stress, including the angle of shearing resistance, cannot be measured by the former.
- (2) Though the correlation between Harvard compaction test and compaction test using rammer is highly significant, the former has the tendency to overestimate in proportion as the compact density increases.

It proves that both of these methods can estimate the mechanical properties of clayey soil, and that the applicability for sandy soil, however, is not sufficient.

現地における土壌の力学的性質をより正確に把握するために、ベーン式せん断試験ならびにハーバード式締固め試験による現地測定を試みた。その結果以下の事柄が判明した。

- (1) ベーン式せん断試験による現地測定結果は、三軸圧縮試験における粘着応力との間に有意な相関が認められたが、内部摩擦角を含むせん断応力全体の測定は困難であった。
- (2) ハーバード式締固め試験法による現地測定結果は、室内測定結果との間に高い相関を示したが、締固め密度が大きくなるに従って、その値を過大に評価する傾向があった。

これらの結果から、今回採用した2つの方法では、粘土質土壌の力学的性質を現地において測定できるが、砂質土壌に対する適用性は不十分であることが判明した。

I 緒言

既に論述したように、土壌物理実験結果の現地への適用性を高めるための手段の一つに、現地測定が考えられる。前報(1)においてはフォールコーン法を応用したコンシステンシーの現地測定を試み、レキ分が少ない土壌においては適用の可能性が高いことを示した。本報では引き続き土壌の力学性試験の現地での実施により、土壌の耕耘や施工などの実際の作業と直接関連性をもつ因子を、より適確に把握しようと試みた。測定項目は

土壌の力学性の中でも特に応用範囲が広いと考えられるセン断試験ならびに締固め試験を対象とし、また実際の測定方法としては、試験的に用いられた特異な方法は避け、現在ある程度理論的な裏づけがなされている「準規格」測定法として、ベーン式セン断試験、ハーバード式締固め試験を、実用上の見地から一部改良して実験に供した。

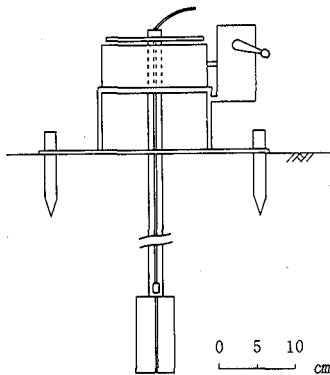
II 現地における土壌のセン断試験

土壌の力学的強度を求めるためのセン断試験は、基礎や斜面の安定計算に必要なばかりでなく、農耕の機械化に伴って、易耕性など農地との関連においてもますますその重要性が増大しつつある。具体的測定法としては、現在一面セン断試験(ASTM D 3080—1972)や三軸圧縮試験(ASTM D 2850—1970)が広く採用されているが、いずれも室内試験であり、得られた結果を現地に適用するためには、前処理や実験方法などでいくつかの制約が生じる(2)。それらをできるだけ緩和するために、ここでは現地において土壌のセン断試験を行ないうる方法としてベーン試験を採用し、若干の改良を加えた小型機を試作して実験に供した。それを図—1に示す。

この図からわかるように、試作機は一種のストレンコントロール型ベーンであるが、全体に小型化されており、質量も約6.5kgと軽量であるので、1人でも自由に携帯できる。ベーンの寸法も標準寸法のD=5cm, H=10cmのものに加えて、D=3cm, H=6cmおよびD=1.5cm, H=3cmのものを試作し、より細部にわたる測定を可能にすると共に、従来不適當と考えられていた砂質土壌に対しても適用を試みた。計測は現地測定を

考慮して12V乾電池でバックアップしたトランスジューサの読取りによって行なった。現地試験地点としては、香川大学農学部構内実験圃場内に5ヶ所、香川県内丘陵地に3ヶ所、計8ヶ所を選定した。それぞれの地点における土壌の基本的物理性は表—1に示すとおりである。

この表における池戸—1は灰色低地土壌に属する花崗岩質運積土の砂質土壌であり、池戸—2～5は原土である池戸—1に対して、粘土分、CaCO₃、有機物を加えて管理した結果、原土とは異なる物理性を有する土壌となっている。また由良山土および五色台土は安山岩質残積土、力石土は流紋岩質残積土で、これらは池戸—1～5と比べて相対的に粘土質土壌といえる。実験の実施にあたっては、現在最も一般的に行なわれている土質工学会採用の標準的方法(3)に準拠して行ない、サンプリング試料との対比の必要性上、測定深は10cmの固定とした。その結果は、図—2に示す。



図—1 ベーン式セン断試験機

表—1 供試土壌の物理的性質

	池戸-1	池戸-2	池戸-3	池戸-4	池戸-5	由良山	力石	五色台
真比重	2.59	2.63	2.55	2.60	2.63	2.64	2.52	2.75
砂分(%)	80.4	62.8	56.0	61.9	60.8	28.8	67.5	47.7
シルト分(%)	13.6	29.1	33.2	27.1	27.4	43.3	15.0	36.1
粘土分(%)	6.0	8.1	10.8	11.0	11.8	27.9	17.5	16.2
L.L.(%)	33.7	36.4	41.0	40.5	41.2	36.5	70.0	65.2
P.L.(%)	23.7	25.7	27.9	28.5	29.6	24.6	30.5	39.2
P.I.(%)	10.0	10.7	13.1	12.0	11.6	11.9	39.5	26.0

この図では前記8種土壌のデータのうち、池戸-2~4はそれぞれ池戸-1と池戸-5の中間的性質を示したので省略してある。図中における荷重と回転角度との関係は土壌によって著しい差がみられるが、表-1との対比を行なっても土壌の基本的性質との関係は必ずしも明白ではない。また図上のピーク点から判断すると、一般的にいわれている土壌のせん断強度(粘着力の成分と内部摩擦角の成分を加えたせん断応力)の値よりは小さいように思える。そこで土質工学会基準案(ASTM D 2850-1970)に基づいて行なった室内試験(三軸圧縮試験)の結果と比べてみると、表-2のとおりになる。

この表中における $\tan \phi$ (内部摩擦応力), C (粘着応力) および合計は、非圧密、非排水の条件下において、最適含水比で締固めた土壌に対して三軸圧縮試験を行った結果であり、いわば土壌の最大強度と考えられる。これに対して現地試験(ベーン試験)によって求めた値ははるかに小さく、また全般的な傾向としても合計とは一致していない。従ってこの方法によって、一般的にいわれているせん断強度そのものを求めることは困難と考える。しかしながら現在ベーン式せん断試験は、粘土質土壌のせん断強度測定法として位置づけられており(4)、また現地土壌の拘束圧がゼロとして扱える場合には、理論的にも粘着応力との対応が期待できる。そこでベーン法による測定結果とCとの関係を示すと図-3のようになる。

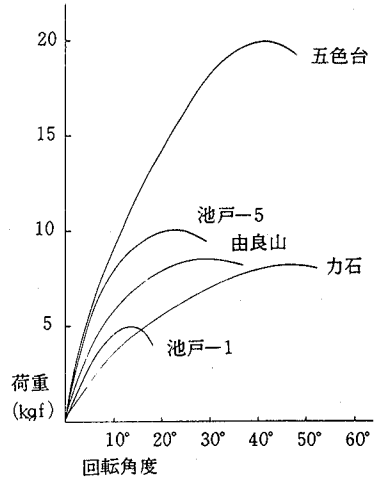


図-2 荷重と回転角度との関係

表-2 供試土壌のせん断強度 (kgf/cm²)

	$\tan \phi$	C	合計	ベーン
池戸-1	0.53	0.17	0.70	0.09
池戸-2	0.42	0.46	0.88	0.27
池戸-3	0.50	0.20	0.70	0.09
池戸-4	0.42	0.10	0.52	0.11
池戸-5	0.43	0.26	0.69	0.19
由良山	0.42	1.00	1.42	0.14
五色台	0.31	1.36	1.67	0.34
力石	0.84	0.61	1.45	0.12

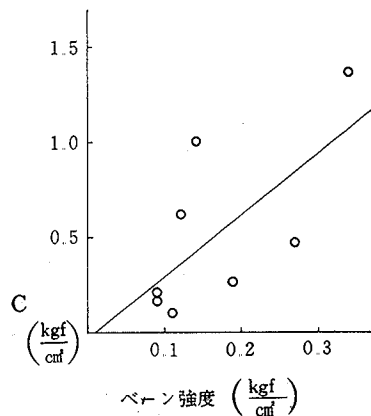


図-3 粘着応力とベーン強度との関係

両者の関係を式で表わすと

$$y = 3.24x - 0.03 \quad r = 0.66^*$$

となり、ベーン法による現地測定結果は、室内における三軸圧縮試験によって求められた粘着応力Cに対して、絶対値はやや小さいものの5%水準で有意な相関を示している。特に両者の関係を表わすグラフがほぼ原点を通ることから、両者の間にみられる絶対値の相違は、主として密度の差に起因するものと考えられる。すなわち、室内法が締固め後のほぼ最大密度に近い試料で測定されているのに対して、ベーン法が現地の密度で測定が行なわれていることに起因するものとみなせる。従ってベーン法によって現地土壌のせん断試験を行なった場合、せん断応力全体を求めるには困難が認められるが、粘着応力のみを測定を対象とした場合には十分その目的が達成でき、従来から主張されてきた粘土質土壌に対する適用性が再確認できたものと考えられる。

Ⅲ 現地における土壌の締固め試験

土壌の締固め試験は、現在 JIS A-1210-1980に定められており、路盤や盛土の施工、管理に応用されているほか、農耕の機械化に伴う農地土壌の緊密化に対する基礎資料としても有用であろう。しかしながら現地における締固め試験はまだ規格化されるには至っておらず、ほとんどが経験的方法である。ここではハーバード式締固め器を利用した簡便な現場締固め試験を採用した。その具体的手順をフローチャートで示すと図-4のとおりである。

この図からわかるように、この方法はサンプリング試料を利用しているため、厳密な意味では現地測定とはいえない面があるが、定容採土法によるサンプリングの場合には、現地の状態が比較的良好に保存され、かつより正確な測定が可能となるものと考えて採用した。また同一の手順で室内、現地を問わず測定が可能であるという利点もある。このうちハーバード法による締固めは、JISの規格に対して相似則が成立するものと考え、単位体積当りの仕事量を 5.62 kgf-cm/cm^3 と、同一にして測定を行なった(5)。また現地における締固めでは、事実上自然含水比以下の水分条件での測定が不可能であるので、実際の測点は最適含水比前後の2~3点にとどまる場合が多い。図-4に示した手順による各地点での測定結果を、室内試験と併記して示すと図-5のようになる。

この図において実線は室内測定結果を、また破線は現地測定結果を、それぞれ示している。図-5からわかるように、ハーバード法による現地試験では室内法のような広い水分範囲を対象とした測定は困難であるが、測定時の水分値(自然含水比)は最適含水比に近くなっている場合が多くみられ、サンプリング時期の選定に留意すれば、測定値をそのまま最大密度とおきかえられる可能性もある。最も問題となるのは、締固め最大密度が現地において正確に求めるか否かであろう。そこで現地の最大密度 γ_H と室内での最大密度 γ_R とを対比させてみた。その結果は図-6に示すとおりである。

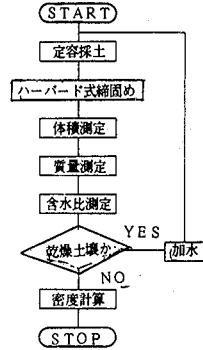


図-4 現地締固め試験のフローチャート

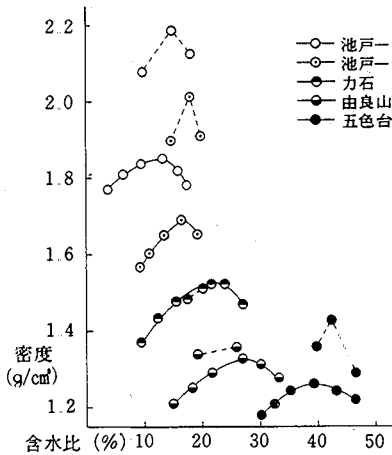


図-5 締固め曲線

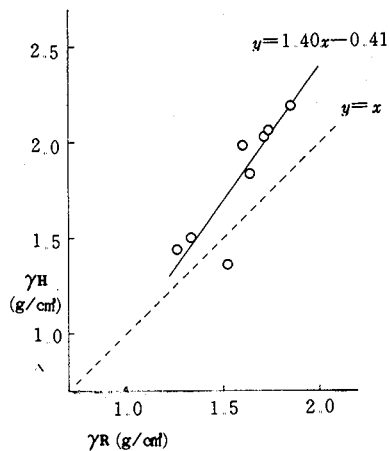


図-6 締固め最大密度の比較

y 軸に現地測定結果を, また x 軸に室内測定結果をプロットした場合, 図-6における両者の関係は,

$$y = 1.40x - 0.41 \quad (r = 0.88^{**})$$

で表わされ, 1%水準で有意な相関を示している。しかしながら $y = x$ の線とはかなり離れていることからわかるように, 両者の絶対値は必ずしも一致してはいない。特に乾燥密度が2.0前後にも及ぶような砂質土壌の場合には, ハーバード式によって得られた値がかなり過大に評価されている。この原因としては,

①室内法は繰返し法であるので, 土粒子の破碎に伴う粒度の変化が生じる。

といった従来から認められていた問題点の他に,

②相似則が不成立となる可能性。

が考えられる。たとえば容器が小さい場合には, 側壁による圧縮の影響がより強く出現する恐れがある⁽⁶⁾。従って現地において土壌の締固め密度を測定する場合, 一般的傾向はかなり明確に得られるものの, 絶対値そのものの信頼性はやや乏しい場合がある。

IV. 総合考察

今回実施した土壌の力学的性の現地測定の結果, 現在準規格化測定法として位置づけられているベーン式セン断試験, ハーバード式締固め試験を現地測定法として適用した場合には, いずれも対象土壌が砂質である場合に問題があることがわかった。すなわち前者の場合は, 理論的にみると拘束圧ゼロのときのセン断応力の測定として考えることができ, 従って内部摩擦角の成分に比べて粘着応力が相対的に小さい砂質土壌の測定には困難が生じる。これは今回の現地試験によって裏づけることができたといえよう。また後者の場合には, 一般に土壌が砂質になればなるほど室内測定値との間に誤差の増大傾向がみられた。これは繰返しによる粒子の破碎に加え, 周辺効果の作用が加わった複合的な原因によるものと考えられる。

これらの結果を総合すると, 今回供試した2つの方法による現地測定は, 粘土質土壌の場合にはその力学的性質をかなりよく反映した結果を得ることができるが, 砂質土壌の場合にはやや不十分であり, より実用性の高い測定法の検討が望まれる。しかし, いずれにしても, 土壌の力学的性質の中でも特に応用範囲が広い, セン断強度と締固め密度について, 現地での測定に関してある程度の見通しを得ることができたものと考えている。

V. あとがき

筆者らがこれまでに行ってきた, 土壌物理実験結果の現地への適用性に関する一連の実験的研究により, 個々の実験項目についてはその適用性の向上にある程度の見通しが得られた。具体的には, 現地において直接試験することが最も有効であり, それが不可能な場合には, 予措などの測定に至る過程をできるだけ簡略化することが必要であるものと考えられる。しかしながら, 農耕上や土木施工上問題となるような土壌の物理性は, 個々の独立したものではなく, たとえば易耕性に象徴されるような総合的物理性であり, それをいかに適確に把握するかが重要な問題である。従って単に土壌の物理性測定法の改良のみにとどまらず, 実用的見地に基いた現地土壌の物理性評価の方向への発展を今後の課題としたいものと考えている。

引用文献

- (1) 梅田裕, 山田宣良: 土壌物理実験結果の現地への適用性に関する研究, (Ⅱ) コンシステンスの現地測定について, 香大農学報, 33-2, 127 (1982).
- (2) 梅田裕, 山田宣良, 八幡伸幸, 吉田満: 土壌物理実験結果の現地への適用性に関する研究, (Ⅰ) 前処理の影響について, 香大農学報, 33-2, 121 (1982).
- (3) 土質工学会: 土の調査実習書, 土質工学会編 (1983).
- (4) 土質工学会: ベーン試験に関するシンポジウム発表論文集, 土質工学会 (1980).
- (5) 渡辺隆: 土質調査および土質試験, 技報堂 (1963).
- (6) 青柳省吾: 未発表 (1985年5月31日 受理)