

III-702

硬さ測定触覚センサーと力学的性質の相関性について

日本大学工学部 正会員 ○古河 幸雄
 // // 藤田 龍之
 // // 尾股 定夫

1、まえがき

硬さ測定触覚センサーは、物質の硬さ、あるいは軟らかさの程度を定量的に評価するため、筆者らの一人によって開発されたものである¹⁾。この装置の特徴は、回路構成が簡単であり、そして取扱いが容易、しかも測定する対象物は非破壊で、結果がリアルタイムで得られるように考案され、さらに、適用する対象物に制限がなく、異なった性質の物質でも同じ硬さとして検出できることにある。

硬さ・軟らかさの程度は共振周波数の変化量として定量的に求められるため、これまで土の塑性限界や液性限界に対する検討を行ってきた²⁾。ここでは、力学的性質との相関性について検討するものである。

硬さ測定触覚センサーの原理は、図-1の概略図で示すように、振動子と振動を検出する検出素子から成るセンサー部分と、検出素子から出力を増幅して再び振動子に帰還する帰還回路から構成されている。この回路で増幅度を増せば、この系は振動子の機械的共振周波数で共振状態となる。図-2は触覚センサーが物質に接触していない無負荷状態の共振周波数 f_0 から、物質に接触させて負荷を与えたときの共振周波数 f_x の共振状態を示したものである。 f_0 から f_x への変化量 (Δf) は、接触する物質の硬さ、軟らかさによってそれぞれ異なるので、それを測定すれば物質の硬さ、軟らかさを測定することが可能となる。

2、試料および実験方法

試料は表-1に示す5種類の粘性土である。木節粘土、ベントナイト以外の試料は、締固め曲線での最適含水比、あるいは塑性限界が得られる程度まで空気乾燥し、0.425mmふるいを通過させている。本装置が含水比の広い範囲に渡って適用することを検討するため、塑性限界から液性限界まで調整しながら10cm \times 10cm \times 10mmの立方体でプロットのエネルギーで締め固めた。測定する基本量としては、含水比、供試体密度、硬さ測定触覚センサーによる Δf 、キャサラン法による落下回数、フォルクソン法(60°, 0.59N)による貫入量、および一軸圧縮強さである。

3、実験結果および考察

図-3は試料の締固め曲線である。図中には各供試体の塑性限界PLおよび液性限界LLを示しており、試料の含水比が広範囲にわたっていることがわかる。ベントナイトは、他の試料より含水比範囲が広いので $w=110\%$ 以上は省略している。最適含水比 w_{op} とPLの関係は、従来から指摘されているように本研究の試料でも近似した値になっているが、PLの方が若干小さいようである。

表-1 試料の物理的性質

記号	自然含水比 w_n (%)	土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	Ip	75 μ m 通過率 (%)	強熱源量 L_s (%)	試料名
A	-	2.677	49.39	100	-	木節粘土
B	-	2.644	442.14	100	-	ベントナイト
C	35.97	2.719	32.99	82.8	5.87	採取粘土
D	112.6	3.032	47.46	90.5	14.15	関東ローム
E	116.5	2.094	69.07	94.3	51.41	有機質土

センサー側の音響インピーダンス

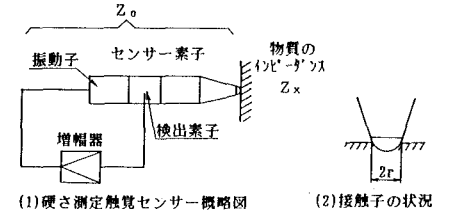


図-1 硬さ測定触覚センサー概略図

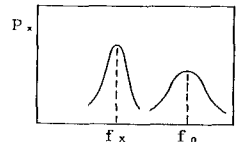


図-2 共振周波数の変化

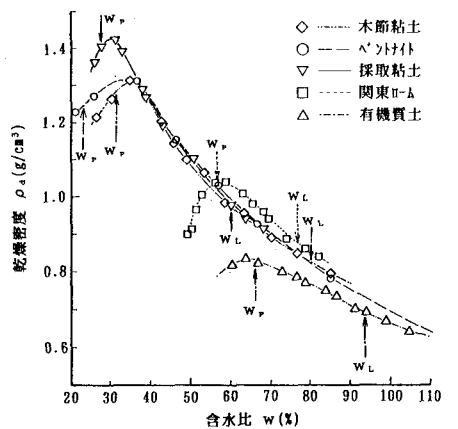


図-3 締固め曲線

図-4は一軸圧縮強さ q_u と変形係数 E_{50} の関係であり、各試料とも個別な傾向を示しているが全体として滑らかな曲線になっている。また、図-5は Δf と E_{50} の関係を示したものであり、ベントナイトを除いてはほぼ一致した傾向を示している。ベントナイトは他の試料に比べると可塑性の高い粘土であるため異なった特徴を示しているものと考えられる。ベントナイト以外の Δf は、 $E_{50} < 10$ において E_{50} のわずかな増加に対して非常に大きく増大しているが、 $E_{50} > 10$ ではそれまでの傾向と極端に異なり、 E_{50} の増加に比べて非常に小さい増加のため平坦になっている。このような、変化傾向の急激に変化する変移点は W_{opt} に近似している。土の変形のしやすさ、あるいは弾性係数に相当すると云われる E_{50} と硬さ測定触覚センサーで得られた Δf の関係から、 W_{opt} の前と後の供試体の弾性的挙動は、それを境として全く異なった性質を示すものといえる。

図-6は q_u と Δf の関係である。ベントナイトは他の試料と異なった傾向を示すが、いずれの場合でも全体的に滑らかな曲線を示している。これらの傾向のうち、 $\Delta f \approx -100$ Hzを境にしてそれより大きいところでは試料間に差が認められるが比較的近似した傾向を示し、それより小さい範囲では土の種類に関係なくほぼ一致した傾向となっている。また、ベントナイトは、可塑性や膨潤性が他の試料に比べて極めて大きいため、異なった性質を示すものと考えられる。

いずれにしても、 Δf が q_u と密接な関係であると考えて差し支えない。また、 Δf の測定には、小さな力(0.1N)で押し当てるため供試体を乱さずに非破壊で測定できる。このことは、供試体の力学条件を設定してからいろいろな試験を実施するような場合などに有効であり、また、本装置を小型軽量化すれば現場での未採取、未攪乱による強度評価が可能になる測定法にもなる。

4、おわりに

硬さ測定触覚センサーの検出部分は供試体の形状や測定位置に影響を受けずに測定できるよう工夫されたセンサープローブ(61.2kHz, $\phi=2.2$ cm, H=10.8cm)である。それによって測定される Δf は、1種類のセンサープローブで、しかも非破壊で土の性質を示す物理的な指標の液性限界から塑性限界までの広い含水比範囲にわたって測定が可能であり、このことは、軟らかい土質について非破壊で測定する方法がなかったことを考えると画期的な方法と言える。 《参考文献》

- 1) 尾股定夫：特許出願，1989，1990，1991，1992 2) 古河幸雄・藤田龍之・尾股定夫(1992)：硬さ測定触覚センサーの液性限界・塑性限界への応用について、土質工学会、新しい土の物理試験方法に関するシンポジウム、pp.173~178 2) 古河幸雄・藤田龍之・尾股定夫(1992)：硬さ測定触覚センサーの土質工学に適用するための基本的検討、第27回土質工学研究発表会、pp.746~747

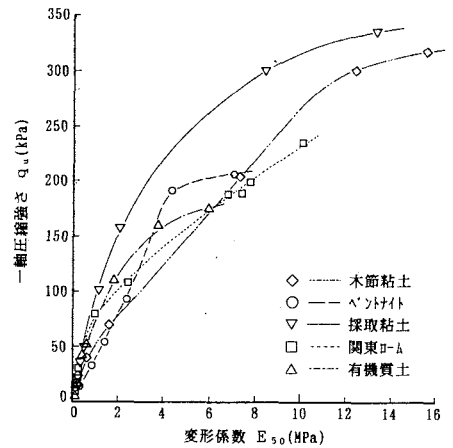


図-4 一軸圧縮強さと変形係数の関係

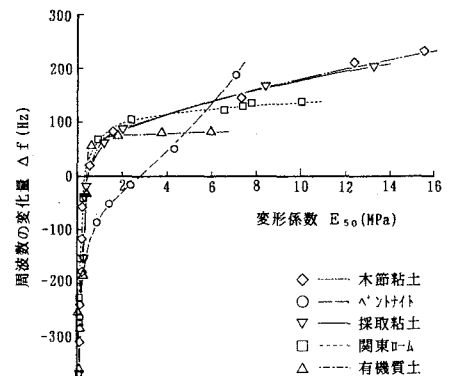


図-5 周波数の変化量と変形係数の関係

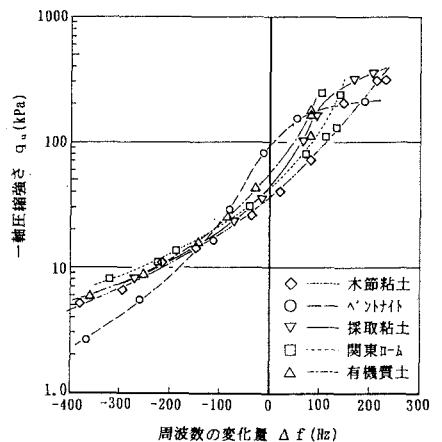


図-6 一軸圧縮強さと周波数の変化量の関係