

Ⅲ-1

土の粒子間結合力の測定について

岐阜大学工学部 正会員 神谷浩二 宇野尚雄

1. まえがき 空気圧入や薬液注入に伴う地盤の亀裂(割裂)破壊は、その圧入による引張り応力の発生に起因している。引張り強度は曲げ試験による試みもみられるが、本報告では、その基礎的研究として、単純引張り試験による土の引張り強度の測定から求まる粒子間結合力について考察するとともに、不飽和土の間隙水状態や軽部の「サクシオン応力」との関係に言及する。

2. 測定方法及び試料 土の粒子間結合力の測定には、装置の概要を示す図-1の市販の粉体付着力測定装置EB-3300CH(島津製作所製)を用いた。測定方法は、図-1(b)に示したような上下部に分割できる円筒形セル(試料層断面積 $A=10\text{cm}^2$)に、試料層高さ $L(\text{cm})$ (本報告では $L=2\text{cm}$ 程度)になるように充填した土試料層を鉛直方向に引張ることにより、その試料層を破断するのに要した力 $M(\text{gf})$ より引張り強度 $\sigma_z(\text{gf}/\text{cm}^2)$ 及び粒子間結合力 $F(\text{gf})$ を求める垂直引張り破断法である。この装置では、試料層が破断されたときの最大引張り力 M は天びんに表示され、この M より引張り強度 σ_z が次式により求められる。

$$\sigma_z = M/A \quad (1)$$

そして、粒子1接触点あたりの平均粒子間結合力 F が次式によって算出される¹⁾。

$$F = \frac{nD^2}{N(1-n)} \sigma_z (\text{Rumpf式}) \quad (2)$$

$$N = 13.8(1 - \sqrt{1.21n - 0.297}) (\text{Ridgway-Tarback式}) \quad (3)$$

D : 平均粒径($D = D_w = 1/\sum(P_i/D_i)$, P_i : ある粒径範囲を代表する粒径 D_i が全試料に対して占める含有率)(cm),
 N : 配位数(粒子1個の接触点数), n : 間隙率。

測定試料には、表-1に示す標準砂、長良川シルトを用いて、飽和度 $S_r(\%)$ を変えて粒子間結合力の測定をおこなった。

3. 測定結果 図-2は、飽和度 S_r による平均粒子間結合力 F の変化に水分保持曲線を重ね合わせて示したものである。なお、引張り強度 σ_z は、標準砂で $4.0 \sim 15.0(\text{gf}/\text{cm}^2)$ 、シルトで $30.0 \sim 105.0(\text{gf}/\text{cm}^2)$ であり、シルトは標準砂の10倍程度である。一方、結合力 F は、標準砂で $1.0 \times 10^{-3} \sim 4.0 \times 10^{-3}(\text{gf})$ 、シルトで $1.0 \times 10^{-5} \sim 4.0 \times 10^{-5}(\text{gf})$ で、シルトは標準砂の1/100程度となり、引張り強度のときとは大小逆転する。これは式(2)のように結合力は粒径の2乗に比例するためである。

さて、図-2において、標準砂、シルトのいずれの試料についても中間的な飽和度で結合力は最大となり、低飽和度及び高飽和度で結合力は小さくなる傾向にある。また、中間的飽和度で結合力は水分保持曲線と相似した関係を示している。

4. 考察 図-2によれば、飽和度の低下に伴いサクシオン $S(\text{gf}/\text{cm}^2)$ は大きくなる傾向にあるのに反して、結合力 F は、前述のように中間的飽和度で最大となる傾向にある。粒子1個についてみれば、飽和度

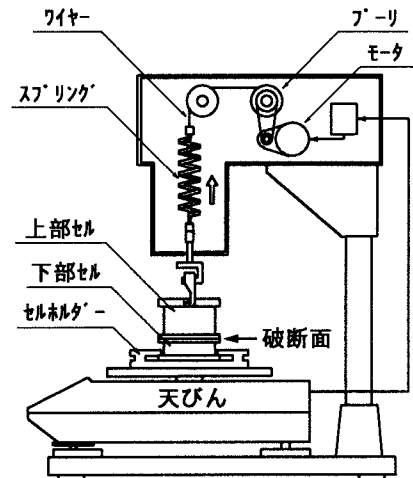


図-1(a) 測定装置全体概要図

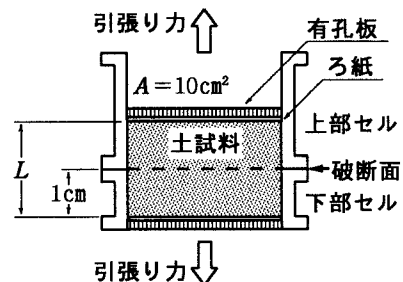


図-1(b) 測定装置試料セル部

表-1 測定試料

試料名称	粒子密度 $\rho_s(\text{g}/\text{cm}^3)$	平均粒径 $D_w(\text{cm})$
標準砂	2.643	0.0188
長良川シルト	2.678	0.000662

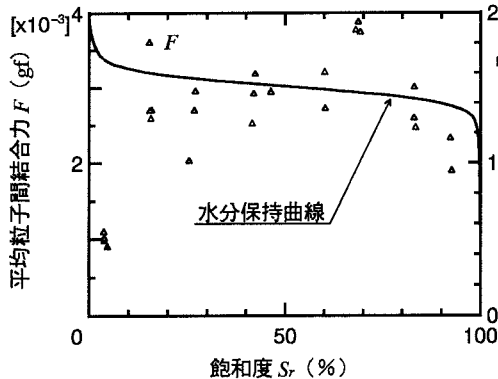


図-2(a) 平均粒子間結合力和水分保持曲線(標準砂)

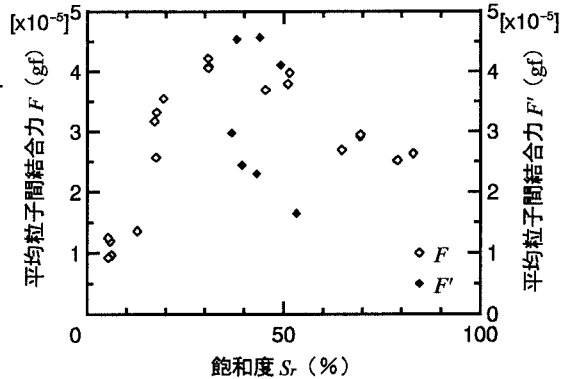
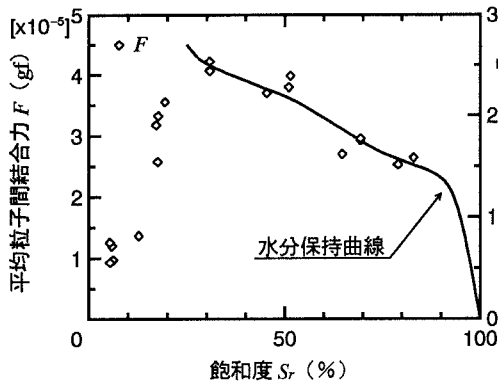

図-3 $f(S)$ から求めた平均粒子間結合力(シルト)


図-2(b) 平均粒子間結合力和水分保持曲線(シルト)

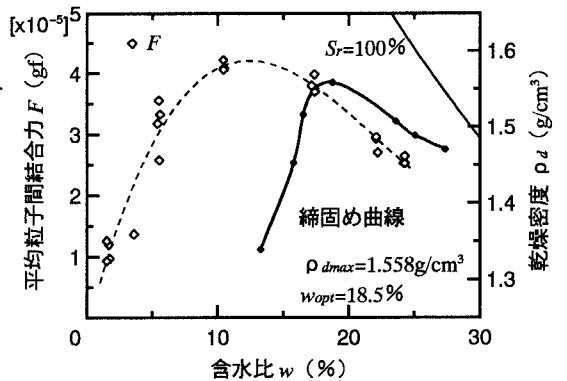


図-4 平均粒子間結合力和締固め曲線(シルト)

による結合力変化は水分保持曲線に類似した傾向を示すものと考えられる。しかしながら、測定した結合力は見かけのものであると考えられ、土試料全体としては、土中の間隙水の存在状態からみると、①低飽和度では、間隙水は粒子接触点付近や微細な粒子間隙に保持されているが、せん断歪に対して土試料全体が抵抗するのではなく、与える歪が試料内で局部的に進行するため見かけ上の結合力は小さくなる、②中間的飽和度では、間隙水により粒子間が連結される部分が増加することにより結合力が大きくなる、③高飽和度では、空気と水の気液界面の減少に伴うサクシジョンの減少により、粒子間に作用する力が減少するため結合力は小さくなる、ことが推察される。即ち、間隙水が土試料全体に分布して粒子間が間隙水により連結される部分が多くなり、しかも気液界面が十分に存在するような飽和度のとき結合力は最大となると考えられる。

次に、図-3は不飽和シルトの3軸圧縮試験で求めた軽部らのサクシジョン応力 $f(S)$ (gf/cm²)を $f(S) \approx \sigma_z$ として式(2)より求めた平均粒子間結合力 F' を F と併せて示したものである²⁾。 F' と F は比較的近い値を示しており、粒子間結合力の測定から $f(S)$ の推定が可能であると考えられる。また、図-4はシルトの平均粒子間結合力 F を締固め曲線と併せて示したものであるが、最適含水比より低い乾燥側の約10%の含水比で最大の結合力を示している。これは、Proctorの貫入抵抗が同様の傾向を示すことと類似している³⁾。

5. あとがき 本報告は、土の粒子間結合力の測定より、①結合力は中間的飽和度で最大となる、②結合力からサクシジョン応力の推定が可能である、③Proctorの貫入抵抗のように結合力が最大となるとき含水比は最適含水比より小さくなる、ことを述べた。本研究は、科学研究費・一般研究(C)No.06650534(地盤内の空気流動が及ぼす土の引張り破壊に関する基礎的研究)の補助を受けた。関係各位に謝意を表する。

【参考文献】 1)日本粉体工業技術協会:微粒子工学,朝倉書店,pp.9-14,1994. 2)森崎泰隆:不飽和シルトの変形と強度に関する研究,第27回土質工学研究発表会発表講演集,pp.741-742,1992. 3)土質工学会編:土の締固めと管理(土質基礎工学ライブラリー36),pp.127-133,1991.