

マトリックスおよび浸透ポテンシャルの相互作用

都市環境技術事務所 正員 新納 格
豊橋技術科学大学大学院 清川美奈
豊橋技術科学大学 正員 蔣 建群
豊橋技術科学大学 正員 栗林栄一

1. まえがき

粒子間力を生成するマトリックスポテンシャルおよび浸透ポテンシャルの相互作用に関する検討はあまり成されていない。本研究は、それらのポテンシャルの粒子間力を理論的に考察し、その相互作用を実験的に検証した。その結果、表面電荷密度や比表面積の大きな土で相互作用の存在を確認した。

2. 化学ポテンシャルによる粒子間力の理論的考察^{1),2)}

土粒子間の液体架橋が鞍型の場合、式(1)の粒子間力が生じる。接触による粒子間力は、JKR極限からDMT極限まで変化するとされ、その場合の粒子間力を式(2)で定義する。

$$F_M = F_K + F_R \quad (1)$$

$$F_K = -\gamma_L \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \frac{\pi}{4} d^2 \sin^2 \beta, \quad F_R = -\gamma_L \pi d \sin \beta \sin(\beta + \theta)$$

ここに、 F_M ：マトリックスポテンシャルによる粒子間力

F_K ：毛管圧力、 F_R ：線張力、 γ_L ：液体表面張力

d ：粒径、 R_1, R_2 ：曲率半径、 β ：液量に対する角度

θ ：固体-液体間の接触角

$$F_{MS} = F_M + (F_{JKR} - F_{DMT}) \quad (2)$$

ここに、 F_{MS} ：粒子接触を含む粒子間力

$$F_{JKR} : -3\pi \frac{d}{2} \gamma_{SL} (= \text{JKR極限}), \quad F_{DMT} : -4\pi \frac{d}{2} \gamma_{SL} (= \text{DMT極限})$$

γ_{SL} ：固体-液体間の界面張力 $= \gamma_S - \gamma_L \cos \theta$

γ_S ：固体表面張力

浸透ポテンシャルによる粒子間力は、式(3)の接触値定理で与えられる。以上の考察およびIwataらの研究²⁾から図-1の土粒子モデルが得られる。

$$F_{OSM}(x) = kT \left[\sum_i \rho_i(x/2) - \sum_i \rho_i(\infty) \right] \quad (3)$$

ここに、 $F_{OSM}(x)$ ：浸透ポテンシャルによる粒子間力

x ：粒子表面間距離、 k ：ボルツマン定数、 T ：絶対温度

$\sum_i \rho_i(x/2)$ ：粒子間中央部の全イオン濃度

$\sum_i \rho_i(\infty)$ ：バルク相全イオン濃度

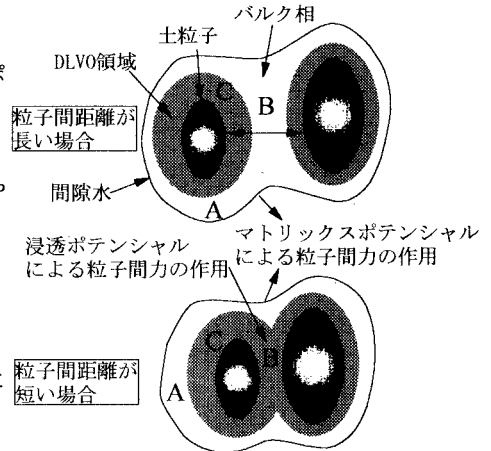


図-1 間隙水が付着した土粒子モデル

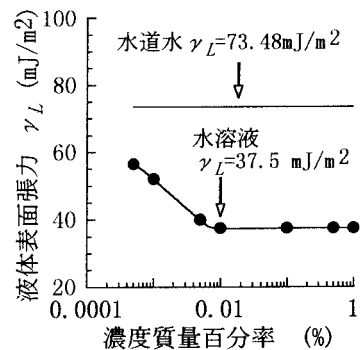


図-2 活性剤水溶液の性質

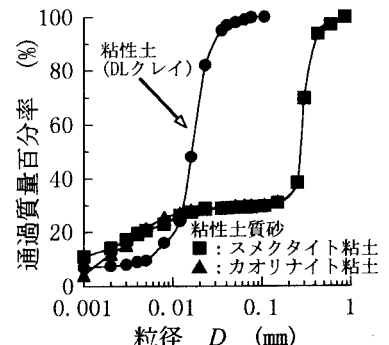


図-3 粒径加積曲線

図-1にはDLVO理論および非DLVO力がかかわる領域をDLVO領域と記して示した。図の上の「粒子間距離が長い(100nm以上)」場合、バルク相のA点および粒子間中央部のB点は等しいイオン濃度であり、マトリックスポテンシャルの粒子間力のみが存在し、浸透ポテンシャルの粒子間力は作用しない。図の下「粒子間距離が短い」場合に互いのDLVO領域が重なると、DLVO領域のイオン濃度が高いためにB点とA点間にイオン濃度差が生じ、浸透ポテンシャルの粒子間力(反発力)が生じ、同様に粒子間距離がイオンが侵入できないほど短い場合には、粒子間中央部よりもバルク相のイオン濃度の方が高くなり、負の粒子間力(付着力)が発生する。それらはマトリックスポテンシャルに影響を与えると考え、実験的に検証した。

3. 各ポテンシャル成分の相互作用の実験的検証

図-2に示す非イオン性界面活性剤の6種類の濃度の水溶液および水道水を添加した3種類の土を、内径50mm高さ30mmのモールドに、所定の体積率となるように3層に分けて均等に入れ、静的に締め固めて供試体を作製し、2日間静置後に加圧版法でサクションを測定した。3種類の土の粘性土はDLクレイ、粘性土質砂は2種類の鉱物粘土をケイ砂6号と混合したものである。粒径加積曲線を図-3に示す。表面電荷密度または比表面積の大きさは、粘性土質砂(スメクタイト粘土)>粘性土質砂(カオリナイト粘土)>粘性土の順序となる。

図-4に粘性土の試験結果を示す。活性剤濃度0.5質量%以上でサクションは一定となり、図-2の自由水面の液体表面張力が一定となる濃度に近い。図-5に粘性土質砂(カオリナイト粘土)の結果を示す。活性剤濃度2.0質量%以上で近似的にサクション一定となる。粘性土に比べて、やや大きな活性剤成分の土粒子表面への吸着が認められる。図-6に粘性土質砂(スメクタイト粘土)の結果を示す。土粒子の体積率0.5の場合、図-5と同様な活性剤濃度に応じたサクション減少が見られる。粒子間距離が短い土粒子の体積率0.6では、逆に活性剤濃度に応じたサクション増加傾向が認められる。この結果は、活性剤濃度の増加に伴い、土粒子間イオン濃度がバルク相イオン濃度を上回り、浸透ポテンシャルによる反発方向の粒子間力が生じ、マトリックスポテンシャルのサクションを増加させたものとする。

4. 結論

マトリックスポテンシャルと浸透ポテンシャルの間に相互作用が存在することを実験的に確認した。この相互作用が不飽和土の力学的特性を複雑にしている原因の一つと考える。

参考文献

- 1) J.N.イスラエルアチヴィリ(近藤 保、大島広行訳)：分子間力と表面力、第二版、朝倉書店、pp.205-325、1997。
- 2) Iwata, S., Tabuchi, T. and Warkentin, B.P.: Soil-Water Interactions, 2nd ed., Marcel Deller, p.35, 1994。

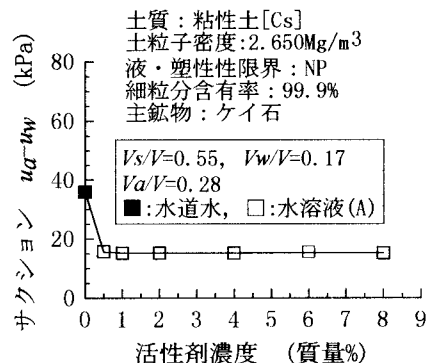


図-4 活性剤濃度とサクションの関係
粘性土 (DLクレイ)

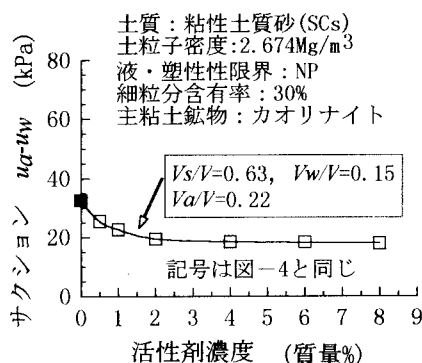


図-5 活性剤濃度とサクションの関係
粘性土質砂 (カオリナイト粘土)

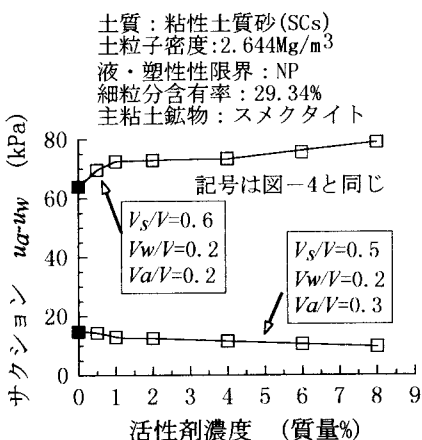


図-6 活性剤濃度とサクションの関係
粘性土質砂 (スメクタイト粘土)