

毛管水の負圧変化について

古 賀 潔*

The Change of the Suction of Capillary Water

Kiyoshi KOGA

Faculty of Agriculture, Iwate University

Summary

It is supposed that hardening and softening of the soil by kneading are due to the water suction change of the soil (pF). So far, it has been believed, when the behavior units of soil approach owing to the external force applied, the capillary tension of the water between the units decreased.

The author calculated the curvature of capillary water between two spherical particles (Fig.2, Fig.3) and measured the capillary tension of water between two glass particles (Fig.4). The results shows that the capillary tension of water between particles increases as they approach.

I. はじめに

土壌の練り返しによる軟化・硬化の原因として ①土壌の行動単位間の距離が変化し、接合部の毛管水の曲率に変化する。(→軟化・硬化) ②行動単位内の土粒子間の結合が破壊され、(i)構造的非自由水が自由化する。(→軟化)、(ii)吸着可能な土粒子表面が実質的に増加して多くの水を拘束する。(→硬化) ③行動単位が、圧密されて、行動単位内の水が自由水として行動単位間の間ゲキ中に押し出される。(→軟化)などが考えられてきた¹⁾²⁾。

筆者は上記①について検討を加えた結果、行動単位の接近が接合部の毛管水の曲率の絶対値を減少させるという従来の見解¹⁾²⁾とは逆の結論を得たのでここに報告する。

II. 毛管水のモデルと負圧の計算方法及び計算結果

1. 行動単位間の毛管水のモデル

土壌の行動単位または土粒子を第1図のような球形の粒子(A, B)でおきかえる。毛管水は2球粒子間に懸垂しており、粒子との接触角は 0° と仮定する。このような毛管水の表面の形状は実際には複雑であるが、簡単のため、(i)2球の中心を結ぶ直線に垂直な平面が毛管水を切断してできる断面は円である。(ii)2球の中心を通る平面が毛管水を切断してできる断面は円弧である。と仮定する。

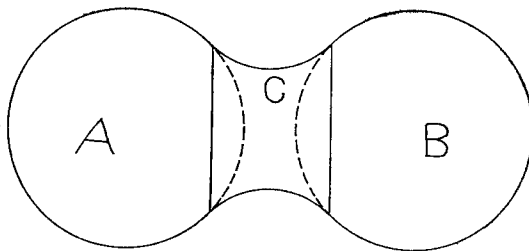
2. 計算方法

毛管水の体積を一定に保ちながら2球間の距離を変化

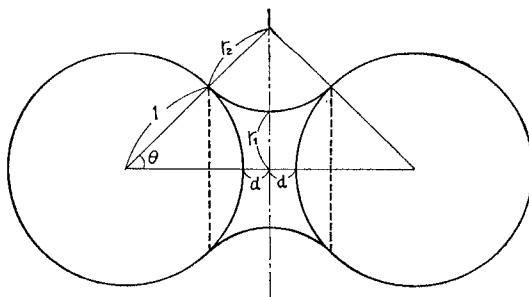
させた場合、毛管水の負圧がどのように変化するかを計算することを目的とする。

第2図のように2球の半径を簡単のため1、曲率半径の絶対値を $r_1 \cdot r_2$ 、2球表面間の距離を $2d$ 、毛管水の体積を V 、平均曲率を $1/R=1/r_1-1/r_2$ とおく。一般の場合には、2球の半径を a とすれば、 $r_1, r_2, d, V, 1/R$ は各々 $ar_1, ar_2, ad, a^3V, 1/aR$ などとすればよい。また角度 θ を第2図のように定める。

変数 r_1, r_2, d の間には $f_1(r_1, r_2, d)=0$ 、 r_1, r_2, θ の間には $f_2(r_1, r_2, \theta)=0$ などの関係が存在し、 $r_1,$



第1図 2球間の毛管管水



第2図 変数のとり方

* 岩手大学農学部

r_2, d, θ のうち2つが独立な変数である。2つの変数が定めれば、 $V, 1/R$ が計算できる。なお、 $r_1 > 0, r_2 > 0, R < 0, 0 < \theta < \pi/2, d \geq 0, V > 0$ の条件が必要である。

直接 $1/R = f(d, V)$ を求めると計算が繁雑になるため、 $V, 1/R, d$ を他の独立な2変数で表わし、2つの変数の組を各変数が定義された変域で数多く与えて、 $V, 1/R, d$ の数多くの組みあわせを得る。 $1/R, d$ を軸とするグラフ上に V の値をプロットし、 V 一定曲線を作図により求めた。 $V, 1/R, d$ は r_2, θ を用いれば次式で表わされる。

$$V = \frac{\pi}{6} \left\{ (1+r_2)[3(3r_2^2-2r_2+3)\cos\theta - (1+r_2)^2 \cos 3\theta - 12r_2^2(\frac{\pi}{2}-\theta)] - 8 \right\} \quad (1)$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{(1+r_2)\sin\theta} - r_2 - \frac{1}{r_2} \quad (2)$$

$$d = (1+r_2)\cos\theta - 1 \quad (3)$$

毛管水の水圧は次式で表わされる。(註)

$$P = P_0 + \frac{\sigma}{R} \quad (4)$$

P : 毛管水の水圧。

P_0 : 外圧 (大気圧)。

σ : 表面張力。

(註) $\sigma/R < 0$, 本稿では $|\sigma/R|$ を負圧 (の大きさ) と呼ぶ。

3. 計算結果

計算結果を第3図に示す。当然のことながら、 V が増加するのに従い $|1/R|$ は減少している。

d の変化に対しては、 $d=0$ で $|1/R|$ は極大を示し、 d の増加に伴って急激に減少することがわかる。

III. 実験

上記の計算結果、特に d の増加に伴う $|1/R|$ の変化の傾向を検証するために、簡単な実験を行なった。

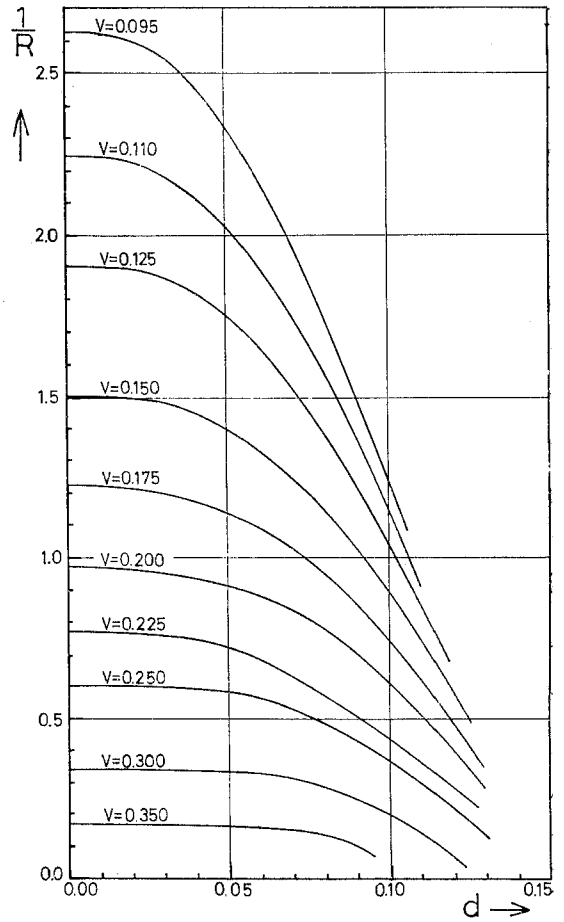
1. 負圧の測定方法

① 清潔なガラス棒を加熱して先端をほぼ球形としたもの (以下ガラス球と呼ぶ) を2個作製し、うち1個は固定し、それに先端を接触させてもう1個のガラス球を半固定した。2球間に蒸留水をレンズ状に懸垂させた。

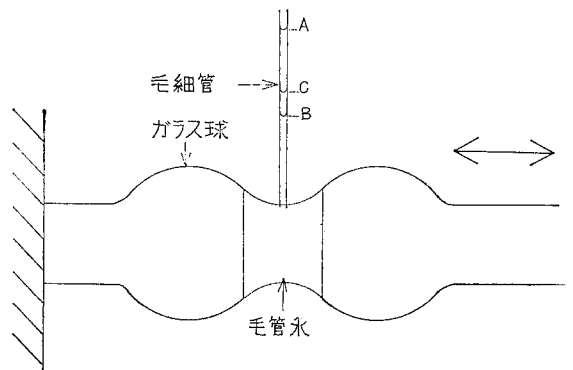
② 毛細管を自由水面に垂直に立てて毛管上昇させ、平衡に達した水面の位置に印(A)をつけた。この毛細管を①の毛管水部分に挿入し、毛細管中の低下した水面の位置に印(B)をつけた。A, Bの高さの差は毛管水の負圧を表わしている。(第3図)

③ ②の状態のまま2球間の距離を引きはなし、毛細管中の水面の位置の変化を観察した。

2. 観察結果



第3図



第4図 毛細管による負圧の測定

2球間の距離を増加させると、毛細管中の水面はBからA方向へ上昇し、途中で静止した。(C)再び2球を接触させると水面はもとの位置Bで静止した。

以上の結果から、2球間の距離の減少に伴い、負圧は上昇することが定性的に検証された。

なお、測定中に毛細管中の水がガラス球間の毛管水中に出入りすることにより、毛管水の体積 V が若干変化するが、定性的な測定のうえでは問題ない。毛管水の負圧が上昇する場合毛細管中の水は毛管水の中に若干移動し、毛管水の体積を毛細管を挿入しない場合より若干増加させる。すなわち、毛細管を挿入したことにより、挿入しない場合とくらべてやや低い負圧が読みとられることになる。逆に毛管水の負圧が低下した場合は上昇した場合とくらべて、毛細管の挿入による誤差は小さい。したがって、2球間の距離を変化させたことによる毛管水の負圧変化の幅は、毛細管の挿入によって若干狭く測定されるが、変化の傾向をつくつがすものではないことがわかる。

IV. まとめ

2球間の毛管水についてのモデル計算及びガラス球間の毛管水の負圧変化の測定を行なった結果、2球間の距離が接近することにより、毛管負圧が上昇することがわかった。

土壌を練り返すことにより、土壌の行動単位が接近すると仮定した場合、練り返しは行動単位間の毛管水の負圧を上昇させる要因となる。

たとえば、直径0.2mmの球形粒子(比重2.65)を立方充填させ、含水比を約4.8%とした場合の毛管負圧は約9.3cmH₂Oと計算されるが、粒子を全体に10%はなした場合(粒子系全体の体積は33%増大)の負圧は約5.6cmH₂Oとなる。いっぽう立方充填させたまま負圧を約5.6cmH₂Oとするためには約6.3%の含水比が必要である。

実際の土壌では練り返しによる行動単位自体の変形・破壊が主要な要因となってpFの低下又は上昇が起ると考えられる。土壌の行動単位の性質を明らかにしてゆくことは、今後の重要な課題と考えられる。

参 考 文 献

- 1) 山崎不二夫, 須藤清次: 土の工学的挙動, 農土論集14号(1965)
- 2) 竹中肇, 安富六郎: pFの変化と軟化・硬化について, 農土論集14号(1965)

農 業 土 木 学 会 発 行 在 庫 図 書

	頒 価	
日本取入 堰 堤 誌	300円	(送料 150円)
農業土木ハンドブック	6,700円	(送料共) (非会員7,500円)
学会誌総目次(第1巻~第26巻)	200円	(送料 50円)
" (第27巻~第36巻)	250円	(")
機 械 施 工 (農業土木学会選書 1)	1,000円	(送料共) (非会員1,500円)
地域工学をめざして (" 2)	1,000円	(") (非会員1,500円)
八郎瀉報告書	2,000円	(")
Irrigation and Drainage in Japan	2,000円	(")
農業土木工事図譜第2集フィルダム編	4,500円	(") (非会員7,000円)
改訂農業土木標準用語事典	1,500円	(") (非会員2,000円)
土地改良事業計画設計基準改訂版コンクリートダム	500円	(送共)(一括10部以上の場合 480円)
" 海面干拓	1,000円	(")(" 950円)
" フィルダム	2,400円	(")(" 2,280円)
" フィルダム追補	80円	(")
" 水路工(その1)	1,200円	(")(" 1,140円)
" 水路工(その2)	1,900円	(")(" 1,810円)
" 水利アスファルト工(前編)	600円	(")(" 570円)
" " (後編)	700円	(")(" 670円)
" 頭首工	1,000円	(")(" 950円)
" 水温・水質	550円	(")(" 530円)
" 河口改良	400円	(")(" 380円)
" 地スベリ防止事業	500円	(")(" 480円)
" 農道舗装	1,300円	(")(" 1,240円)

上記図書の申込みは、下記をお願いします。

東京都港区新橋5丁目34-4

(社) 農業土木学会