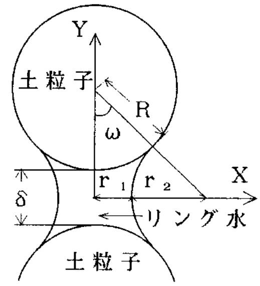
II-257　等球粒子モデル法による リング水の保水効果に関する研究

北見工業大学　正員　中尾隆志
北海道大学　　正員　藤田睦博

１．まえがき　河川流出成分の分離や密度の異なる液体の侵入、拡散問題を取り扱う場合、浸透現象を微視的に取り扱う必要がある。著者らは等球径からなる土粒子モデルを考え、２つの球が完全に接触している場合、土粒子間の接触部分で水の表面張力によりサクションが生じ、保水効果があることを指摘しており、土粒子の径はサクションの大きさに非常に影響を与え、この保水効果は土壌内浸透の時間遅れに大きく影響することを示した[1)]。本報告では実際の土壌が種々の間隙を呈することから土粒子が完全に接触している場合のみならず２球間が離れている場合についても、土粒子の径や土粒子間の距離が保水量にどのような影響を与えるか考察を行ったので報告する。

２．　表面張力のラプラスの式[2)]　土粒子内に水と空気が存在する場合、すなわち不飽和時において土粒子の接合部では水の表面張力によりサクションが発生し、水の一部分はリング水として土粒子接合部で保水される。図－１に示すように土粒子として等球の半径Ｒからなる２つの球を考え、２球がδの距離にあるものとする。リング水の曲率半径を r_1，r_2とし、水と空気との表面張力をσ、また土粒子と水の接触角を０とすると水(P_w)と大気(Pa)の圧力差は式(１)に示される表面張力のラプラスの式[2)]で与えられる。曲率半径 r_1，r_2 は図－１を参考にし、平面三角の性質より、式(２)、(３)となる。



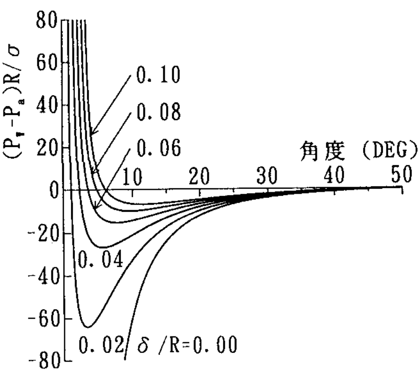
図－１　座標系

$$P_w - P_a = \sigma\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \qquad (1) \qquad r_1 = \frac{R(\sin\omega + \cos\omega - 1) + \Delta(\sin\omega - 1)}{\cos\omega} \qquad (2)$$

$$r_2 = \frac{R(1 - \cos\omega) + \Delta}{\cos\omega} \qquad (3)$$

ここに、$\Delta = \delta/2$

図－２は球間の距離δがδ=0(接触)、Rの0.02,0.04,0.06,0.08,0.10倍離れているとき、式(１)～(３)より得られるP_wとP_aの圧力差とωの関係を示している。P_wとP_aの圧力差はR/σで除することにより無次元化され、温度によるσの変化とＲの影響は取り除いてある。δ/R=0の接触の場合を除き、２球間が非接触の場合、ωが小さな時$P_w - P_a$は正の圧力となり、ωのわずかな増加と共に圧力は急激に減少し、負圧(サクション)となり、その後サクションは０に近づいていく。式(１)よりサクションが０となるのはδ=0の場合、ω=53.13° が得られ、δ/Rの値が大きくなるにつれ、サクションが０となるωの値は増加する。



図－２　ωと$P_w - P_a$の関係

３．　リング水による保水量　サクションによる保水量(Vw) はr_1を半径とする断面積を土粒子とリング水の接触点の範囲で積分することにより次式で与えられる。

$$V_w = 2\pi\left[\{(r_1 + r_2)^2 + r_2^2\}h - \frac{h^3}{3} - (r_1 + r_2)\left\{h\sqrt{r_2^2 - h^2} + r_2^2 \sin^{-1}\left(\frac{h}{r_2}\right)\right\}\right]$$

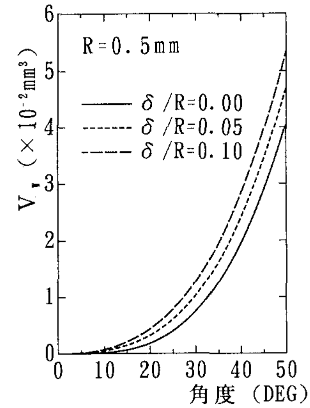
$$-\frac{2}{3}\pi R^3(1 - \cos\omega)^2(2 + \cos\omega) \qquad \text{但し、} h = \Delta + R(1 - \cos\omega) \qquad (4)$$

図－３はR=0.5mmの場合のωとリング水の保水量の関係をδ/Rをパラメータとして示している。図から明

らかなようにリング水の保水量はωの増加と共に急激に増加し、またδが大となるとV_wも大きい値を示すことがわかる。ところでωは0°以上の値すべてをとるとは限らない。式(2),(3)よりリング水を形成する条件として$r_1 \geqq 0$，$r_2 > 0$より、リング水を形成するωの範囲は

$$\cos\omega < 1+\frac{\Delta}{R}, \quad \tan\frac{\omega}{2} \geqq \frac{\Delta/R}{2+\Delta/R} \tag{5}$$

を満足する必要がある。図－４は球の半径Rを0.5,0.25,0.125mmと変化させたときのV_wとサクションをσ=0.00742kgf/m(20℃)とした場合について示している。同一のV_wでも粒径が小さくなるにつれ、サクションは減少し、いずれの場合でもV_wの増加と共にサクションは急激に減少する。図－５はσを図－４と同様の値としたとき、R=0.5mmの場合のV_wとP_w-P_aの関係を示している。図－２に示したようにP_w-P_aはωが小さな時δ/Rの値により正圧になったり、負圧になったりするため同一の V_wでもδ/Rにより正圧を示す場合（非接触時のみ）と負圧を示す場合がある。

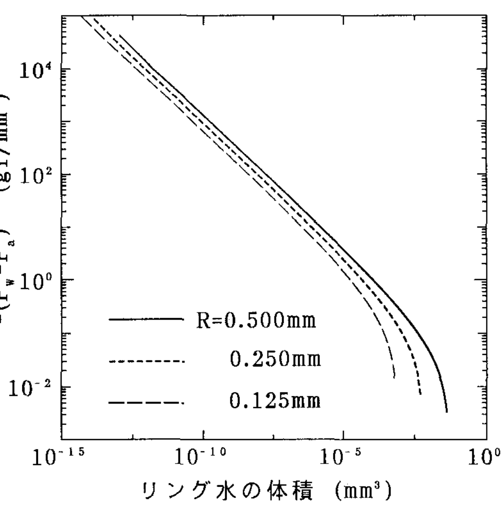


図－３　ωとV_wの関係

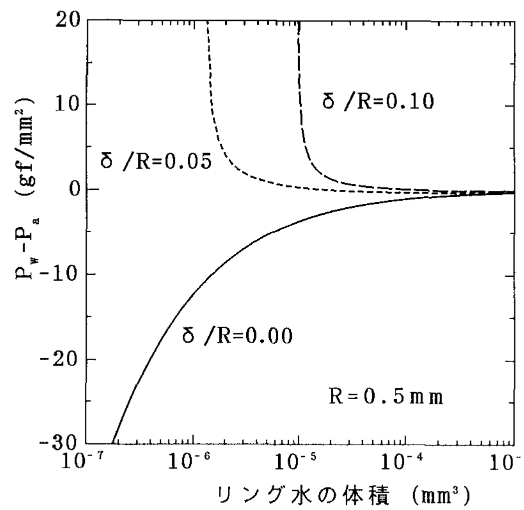
４．まとめ　本研究で得られた結果を要約すると以下のようになる。
1)同一の球径では、ωが大になると、V_wは急激に増加する。また、このとき同一のωではδが大になるとV_wも大となる。　2)δ＝0の接触時の場合、V_wの増加と共にサクションは急激に減少し、同一のV_wに対し、Rが大となるとサクションも大となる。　3)δ≠0の非接触の場合、小さなV_wの時にはP_w-P_aは正圧となり、V_wの増加と共にP_w-P_aは急激に減少し負圧となる。また、このとき同一のV_wでもP_w-P_aはδ/Rにより大きく変化する。

《参考文献》

1)中尾隆志，藤田睦博：等球粒子モデルを用いた不飽和浸透流の微視的解析，土木学会北海道支部論文報告集，1992.
2)Gili,J.A. and Alonso,E.E:Discontinuous numerical model for partially saturated soils at low saturation,Numerical Methods in Geomechanics,1988.



図－４　V_wとサクションの関係（δ＝0）



図－５　V_wとP_w-P_aの関係（δ≠0）