

## 第三会場

## 副題

## 土中の水分の挙動に関する問題

## 概略・総評

早稲田大学理工学部教授・工博 森 麟

ここには6編の研究発表があったが、内容的に大別すると土の吸着水、毛管水について取扱ったものと土中の重力水の挙動に関するものの2種類になる。前者に関するものは4編、すなわち岩田：土中水の熱力学的考察、中村：土の毛管浸透とその意義、植下：土中水の熱力学的取り扱い、久野・飯竹：土の締固めに寄与する含有水分の性質について、以上がそれである。後者に属するものは久保田：締固め土の間ゲキ水の移動、尾崎：地盤沈下と地下水位、の2編である。

土の吸着水、毛管水に関して取扱ったもののうち、岩田の研究は農業土壌学の分野では比較的盛んな土中水分についての熱力学的な考え方をさらに深く展開して、毛管水、吸着水のミクロ的な性質とその挙動について熱力学的な立場からある程度定量的に示した見解の紹介と自己の考察を述べている。このような土粒子の界面状態や吸着水の性状を詳しく研究することは、土の挙動を正確に理解するうえには重要なことである。この方面の研究はその性質上粘土科学の分野で行なわれているが、土質工学の分野にもある程度波及のきざしが見えてきているようである。

植下は温度が一樣かつ一定で水分の移動が一切停止している平衡土層中に存在する自由水、毛管水、吸着水、水蒸気のポテンシャルについて熱力学的な立場からの統一的な取扱い方を啓蒙的に解説している。このなかで従来、土中水の  $pF$  表示のもつ熱力学的な意味を十分に理解しないで使用していることに対する注意を強くうながしている。すなわち土中水の圧力を理論的に  $pF$  表示できるのは、その圧力がその水分のもつ自由エネルギーに等しい位置エネルギーに相当する場合に限定される。これを満足するのは土粒子の影響圏外にある自由水と毛管水だけで、しかも平衡状態にあるものだけである。また吸着水の場合の  $pF$  表示は負圧でなく、土の間ゲキ内にあって吸着水と平衡している水蒸気圧によって示される自由エネルギーに等しい位置エネルギーを意味していることを強調した。また Croney のいうサクションについて説明し、このなかの  $\alpha P$  の項の考え方について多少の検討がなされた。しかし十分な結論に達せず、ポテン

シャルの大きさとしてはサクションの値をとるべきか、間ゲキ水の負圧をとるべきかまだ検討の余地が残されたように思う。

中村の研究は土中に存在する毛管の状態を全体的に連続飽水している Capillary 状態、部分的な連続飽和セルと連続飽気セルが混在している funicular 状態、および水分が少なくなって飽気セルばかりになっている film 状態の3つに分け、さらに土を外気に接している開放系と外気からシャ断されている密閉系の2つに分類し、このなかにおける開放系と密閉系の funicular 状態の浸透すなわち開放系負圧毛管浸透と密閉系負圧毛管浸透の2つについて詳細に論じた。開放系負圧毛管浸透として上層土の透水係数を下層土より大きくして表面から水がタン水せずにただちに下降浸透させた場合を主にとり上げ、その下降流量に対する毛管水の負圧、含水量、流速に対する関係などを求めた。また密閉系負圧毛管浸透として、開放系とは逆に上層土の透水係数を下層土より小さくし、表面にタン水させて下方に浸透させた場合について論じているが、この場合は土中の封入空気の放出、吸収が生じ、これが毛管水の負圧、流量に影響のあることなどを示した。

久野・飯竹の研究は自然含水比の高い火山灰質粘性土において、土の締固め曲線が試料土の初期含水量比によりいちじるしく変化する現象から、土の締固めに寄与する水分の性格とそれが全体の含有水とどのような関係にあるかを調査したもので、土の締固め特性を論ずる基礎的な研究である。このなかで湿潤土の水分のうち一時間約 264,000 g の遠心力を作用させたとき分離した水を自由水、土中の残留水を非自由水とし、これらを用いて種々の土について各種の初期含水量で求めた締固め曲線を整理してつぎのことを明らかにしている。非自由水と土粒子を固体部とみなし、自由水分量含水量とみなして締固め曲線をえがくと、普通の表示法では初期含水量により大きく相違する関東ロームなども、その曲線はほとんど一本になってくる。またこのようにして種々土質の異なる土の締固め曲線をえがいてみると、砂を除いて非常によく一致することから、締固めに寄与する水分は自由

水分であることを示した。ここで問題になるものとして土中水分を自由水と非自由水に区別する遠心力を砂でも粘土でも同一値にとっていることがよいかどうかということおよび単なる遠心分離では熱力学的観点から残留水分（非自由水）の性格は不明確で、理論的には遠心力の作用時間などによって異なる不安定なものではないかという2点である。後者は前者にも深い関連をもつ根本問題で、このような方法は従来より農業土壌方面の研究に使用されており、また土の物理試験のなかの遠心含水当量試験にも重大な影響をもっている。この会場における討論の主題となった。土中水分の性状を示すのに熱力学的な尺度である pF 値が用いられ、この pF 値を遠心分離法で測定する場合には、それが正しい意味の pF 値であるためには理論的につぎのようにしなければならない。すなわち試料土中の水分はある厚さをもつ毛管体を通して自由水面と連絡しており、これがある大きさの遠心力の場において平衡状態に達したものでないと、その試料土水分のポテンシャルを正確に求めることができないということである。ポテンシャルは自由水面から試料中心までの高さで遠心加速度に関係し、次式で示される値をもつ。

$$h = \frac{\omega^2}{2g} (r_1^2 - r_0^2) \dots \dots \dots (1)$$

ここに  $\omega$  : 回転角速度

$r_0$  : 回転中心より自由水面までの距離

$r_1$  : 回転中心より試料中心までの距離

$g$  : 重力加速度

したがって、土中の残留水は  $\log h$  に当たる pF 値をもつ。従来より農業土壌方面で行なわれている方法は単に土をグーチルツボに入れて一定の遠心力を一定時間かけるだけであるので、自由水面の存在が明らかでなく、あったとしても不安定なものである。このため遠心分離後の土中残留水のポテンシャルを正確に測定することは上式からみて不可能ということになる。従来の方法ではポテンシャルの値として次のようにとっている。

$$h = \frac{\omega^2}{2g} r_0^2 \dots \dots \dots (2)$$

上式では (1) 式の  $r_1$  がないので理論的不備であり、久野、飯竹の場合も (2) 式によっているので、その値を pF 値とすることは正しくないのではあるまいかということになる。以上のような植下の発言に対し、岩田、中村は理論的には上述のことは正しいが、従来の方法の1つの救済的な考え方として、グーチルツボの底に敷いてあるコシ紙の所に水が集まるので、ここを自由水面と考え、回転中心よりここまでを  $r_1$  とし、試料中心までの距離を  $r_0$  とし (1) 式を用いて土中残留水のポテンシ

ヤルを求める方法が説明された。しかしコシ紙面を自由水面とすることができるといふかはかなり大きな問題点である。また土の物理試験法に規格化されている遠心含水当量試験もグーチルツボを用いて自由水面はとくに与えていないので、このままの方法で遠心含水当量を求めることは、時間的不安定なものを測定することになり、その物理的な意味の裏付けが困難となる。一方 (1) 式による方法は装置が大規模になるし、遠心力作用時間も長くなって、実用上の問題点がある。これらの点が改良されれば当然 (1) 式による装置で測定すべきものと考えられる。さて久野、飯竹の求めた遠心分離後の土中残留水の pF 4.1 は前記の理由からそのまま使用することはできないことになるが、それが相当する正確な pF 値を何らかの方法で推定できれば一応問題を解決できそうである。

土の重力水の挙動に関係ある2編の発表論文のうち久保田は締固め土の間ゲキ中の透水状況を試験体中に任意の間ゲキ水圧が与えられるような透水試験機を用いて調査しているが、その主な結果はつぎのようなものである。締固め土中にあるエントラップエアーが透水係数に影響するが、同じ動水コウ配では土の間ゲキ水圧を高くするほどエアーが水に溶解して少なくなるので、飽和度は高くなり、透水性がよくなる。このように間ゲキ圧を高くし、動水コウ配はあまり大きくしないで透水を行なう方法が土の構造を乱さずに試料土の飽和度を高くし、またこの間ゲキ水圧を下げて空気分離はごくわずかで高い飽和度が保てることなどを調べている。

尾崎は東京江東地区の地盤沈下の問題をとり上げ、最近揚水規制の結果得られた種々の地下水位と沈下量とのデータを用いて両者の関連性を求めようとしたものである。地盤沈下をおこす土層は上部 50 m 位までのチュウ積層のほかにその下の深さ 60 m~140 m 位までの洪積層にもおよんでおり、後者の沈下量がかなり大きくでている。地下水位と沈下速度との間にはかなりの関連性が見とめられ、水位が回復すると沈下速度は小さくなっている。しかし地区内に残っている多層揚水の工業用深井戸と東京周辺に多くなった深井戸の影響があるので、水位と沈下量の関係は正確につかめない。このような影響のないと思われる都内山手地区低地チュウ積層内に生じた地盤沈下を調査した結果、かなり参考になる情報が得られている。すなわち水位が 11 m に回復すると沈下が休止し、水位の回復に先立って沈下量が減退してゆくということである。このようなデータの集積などにより地盤沈下のメカニズムの解明や沈下量の予測など重要な問題の速やかな解決が望まれる。