

## 傾斜地古墳内での流水に関する考察

登 石 健 三

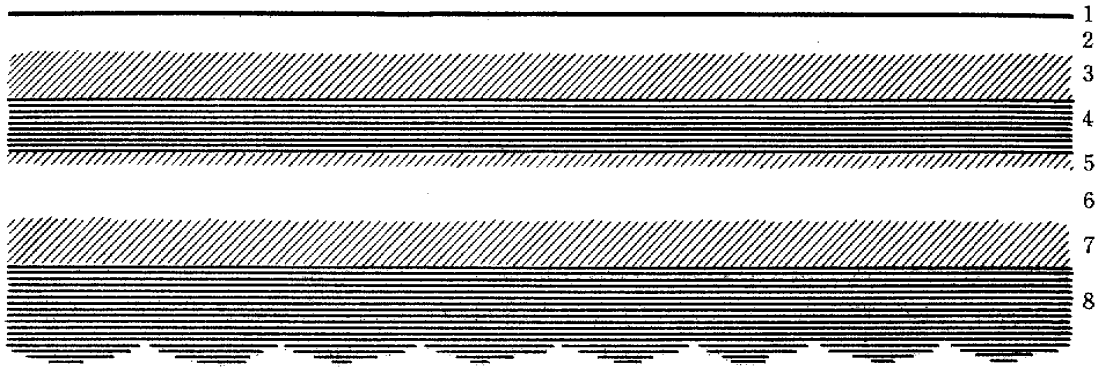
九州あたりの古墳を見て歩くと、色々な傷みがおこっていることが分かるが、そのうちで「無くもがな」と誠に残念なのは人為的な傷みと雨水の侵入によるものである。前者は無知な人間が古墳を住家として壁面を台なしにしてしまったとか、或は全く故意によるいたずらで壁面を汚してしまったとかであり、後者は雨後地下に浸み込んだ水が壁面に添って流下し大事な壁画顔料を流し去るとか、ひどいものになると石積みの構体自体の安定を崩すとかいったことである。最近見た最もひどい例ではドーム型に構築された石積みの一部が膨んで、ドームでなく逆に内方に凸となり今にも崩れそうな状態となっていたが、これは明らかに流水によるドーム構造のゆるみから来ていた。

地下の水の動きといった問題を取り扱っているのは、土質工学の部門であろう。但しその水の動きというのはもっと工学的な大規模なもので、小さい水みちからチョロチョロと流入しているという程度のもを問題とし取扱っている人は稀のように思われる。この辺の問題は何れの学問にも取上げられず、いわば盲点となっているかと思われるが、古墳にとっては極めて大事な問題で、古墳保存に関係する人間は自ら解明し又その対策を樹立しておくべきであろう。但しこれを実験的に調べるにしては、我々にはあまりにも大仕事すぎる。今出来ることは、常識的な水の性質から机上の推理を出来るところまで進めて、それから出てくる対策手段などが実際に役に立てばそれでよいとすることであり、その線以下に推理を進めてみる。

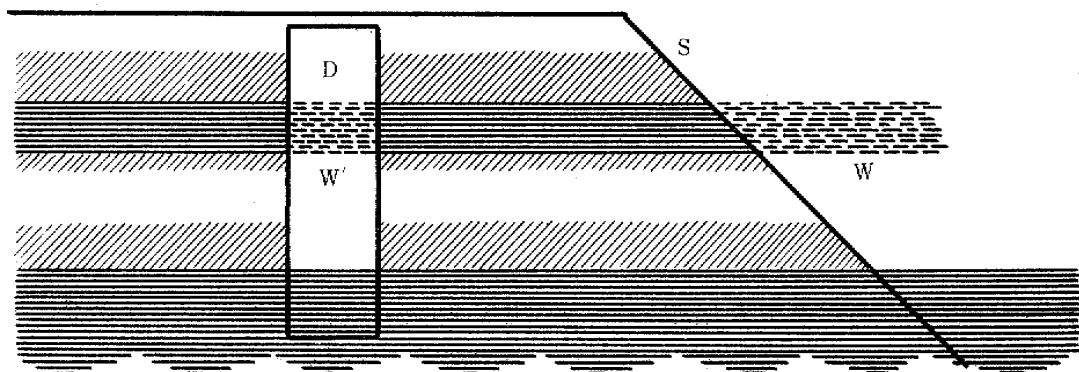
まず全く平坦、且つ水平方向には均質な大地に雨が降ったと仮定しよう。図—1—1 は雨後暫く経った状態を示している。(1)は地表面、(2)は雨の後既に乾いてしまった乾燥した土層、(3)は毛細管現象でしっかりと湿った土層である。但し毛細管中に拘束された水分は自由には移動出来ない。(4)は侵入雨水である自由水で満たされた層、(5)は再び毛細管現象で拘束された水により湿った層、(6)は中間の乾燥土層、(7)はやはり毛細管現象による湿った層であるが、その水分の源は下からの地下水によるもの、(8)は所謂地下水で満たされた層である。日本の気候では、さほど地下深くまで乾くということはないので、(5)と(7)とは中間に乾燥層(6)を介せず、続いて一体となっていることが多いと思われる。又層(3)—(4)—(5)の位置は安定したものではなくて、重力によって自由水層(4)が下降するにつれて下方に移り、最後は(4)と(8)とが連続するまでに至る。

さて今この平坦地に図—1—2 に示したような斜面Sと、縦穴Dとを作ってみる。この地形で猶地中水分の分布が、図—1—2 に示したような水平層を保つためには、それぞれの空間に点線で示した水の層W、W'が存在することが必要である。これは(4)層内で横の水圧がつり合うための必要条件で説明の要もあるまい。ところがこのような水の層W、W'は空間に存在することは出来ないから、水平方向の水圧の平衡は保たれず、層(4)中の水は自らの水圧により、S・Dそれぞれの壁面を通して土中から外へ滲出することになる。その結果S・D壁面近傍の自由水層(4)の上限面は降下し図—1—3 のような分布となるであろう。何れにしても斜面S、縦穴Dには滲出水が流れる。斜面Sの滲出水は雨後一時的に見られる山の斜面の湧き水であり、D内での滲出は今問題としている古墳内での壁面流水という好ましからぬ現象となる。

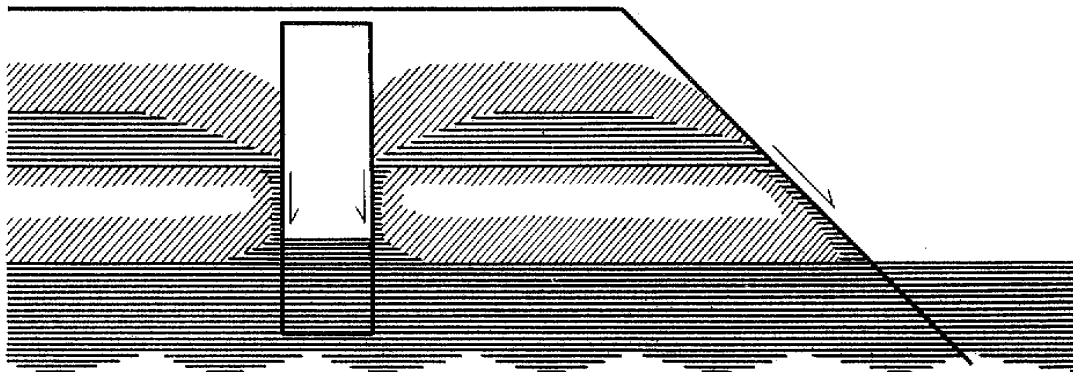
ところが縦穴Dにおけるこの効果は逆にこれを利用することが可能である。上述のように縦



図—1—1



図—1—2



図—1—3 地中を降下する雨水の行動

Behavior of rain water intruded under ground

地中に侵入した雨水は、平坦地では一様に降下するが、地中に空間が存在するとき又は地表に傾斜面があるときは、これらはまわりの降下自由水を呼び集めて自己表面上に添って流下させる働きをする。

穴は周囲の地中降下雨水を集めて下方に落とす役目をするのであるから、これを滲出水があつては困る穴のまわりに別に作ってやり(図—2)、下端に水抜きドレイン $\theta$ を備えておけば、今まで古墳内にむしろ吸い込まれていた降下雨水を逆に吸い取って、古墳内の滲出水を減らすことが可能である。勿論このとき縦穴  $D_1 \cdot D_2 \cdots D_n \cdots$  の上限の高さ、配置の場所など地質地形と関係があろうが、一般的に言えば上限は古墳天井より高く、下限は床より低く、古墳のま

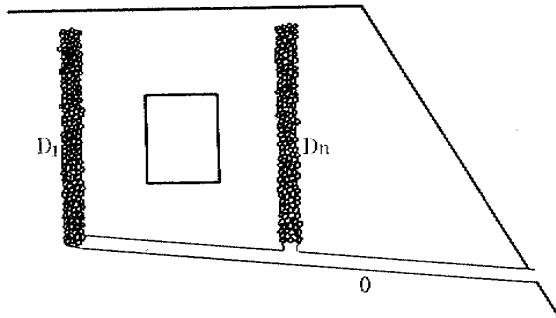


図-2 縦穴による地中降下水量の調節  
Control of underground descending water by ditches  
縦穴には小石をつめ、ドレイン0は各縦穴の底につながる。

には日本ではこんな乾燥中間層は実際は無かろうと言った。今回は簡単のため、この層の存在を省略する。斜面に降った雨は或程度表面を流下するから、下の部分ほど表面からの水の供給は多くなる。斜面が無限に広がり、雨も無限の広さに一様に降れば、この上下の差はおこり得べくもないが、山には必ず頂と谷とがあるので、水の流下の影響は必ず出てきて上述のことが正しくなる。従って地中侵入雨水の分布は図-3の如くなるであろう。乾いた土層は中間と同じく地表においても省略した。

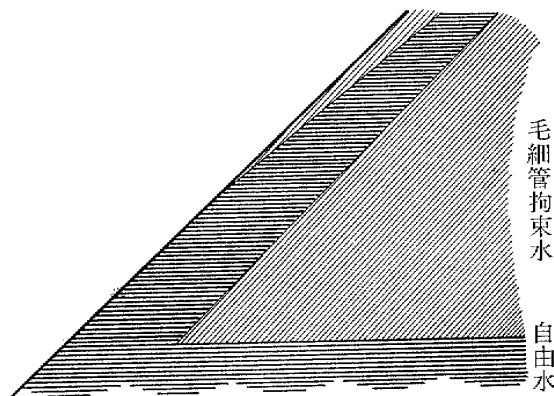


図-3 傾斜地における地中降下水の分布  
Distribution of underground descending water under inclined surface  
雨後暫くしてからの地中降下自由水の有様を示す。

わりに何本か分散して配置することがよい効果を生むと思われる。又実際には、中空穴は対圧強がないので、内部は小石で満たすことがよく、これでも降下雨水捕集装置としての効果は同じである。このときは鉛直縦穴でなく傾斜穴にでも出来るので、古墳上にかぶさるように上部を曲げて設置することも出来、地下雨水コントロールにはもっと便利であろう。

次に平坦な地表でなくて、傾斜面に雨が降った場合を考える。先の平坦地の場合には中間に乾燥した層を考え、図にも示したが、後

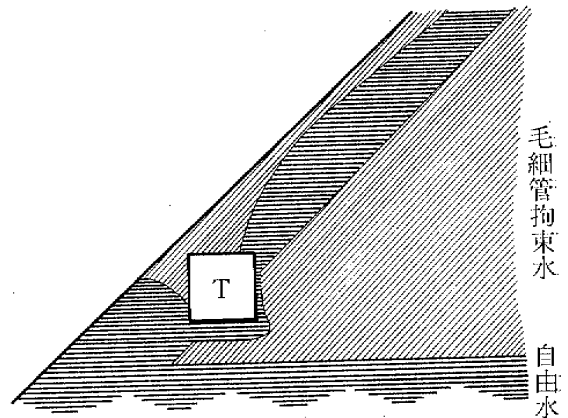


図-4 傾斜面下に空間がある場合  
The case in which there is a hollow under the inclined surface  
このとき空間は地中降下自由水を呼び込む。

図-4に示したように、斜面近くにTのような空間が存在すると、これはやはり降下雨水の捕集効果を示すので、図のように穴の上の自由水域上限は下り、更に右側高い方の自由水はこの穴目標に下ってくる。地下真下にしみ込む動きがにおいとき、例えば一般によくそうであるように、心土が密であるとか、又は心が岩盤であるような場合、右上の地下雨水は長い時間図のような状態を保ち、穴への流入を続ける。言い代えればこの穴はそれより上に降り地下にしみ入った雨水を殆んど全部引き受けて、自己中を通過さすことになる。この自由水を含んだ地層は穴から斜上に大きい範囲に延びている場合が多いから、穴の壁面からしみ出す水は雨後何日も続く可能性が強い。実際傾斜地古墳を見て封土が薄いにかかわらず、雨後数日後でも流下水が見られる例が多いが、その理由は上述のものであろう。傾斜地古墳でなく、封土がそれ自体単独の小山をなす円墳などでは、先に述べたような斜上に延びる大きい自由水の供給源が存

在し得ないし、又周囲は全部斜面で最初に述べたように、土中の水はむしろ斜面から外へ滲み出す傾向をもつので、雨後何時までも古墳内に水が流入するようなことはない。しかし円墳でも半径が大きく封土の厚いものになると、古墳の穴より上に存在する自由水からなる流入水供給源はかなり大きくなるので、雨後数日流水が断えない例はいくらでも在る。

さて傾斜地古墳に長時間に亘って滲み入る水の水源が斜上に延びていると、如何なることがおこるであろうか。斜面下の土は完全に一樣であることはあり得ない。水の滲み込みの流れに対して、多少とも抵抗の大きい所、小さい所があるであろう。このとき水は勿論容易な所を多く流れる。水の流れは小粒子の粘土などを流し去るので、その部の抵抗は更に小となってゆく。このようにして出来てゆくのが水みちである。水みちは古墳の穴の何れの点かを起点として、水の動きとは逆に、次第に上へと延びてゆくであろう。従って古墳内の滲出水は時代が経つにつれて多くなる一方であり、流れる場所は定まってくる。流水の状態が良くなることは考えられず、時代と共に悪くなる一方である。実際にこのように水みちの出来てしまった古墳で、その水みちの土の様子を見ると、砂や砂利が残っているというのではなく、鼻くそ位に丸まった粘土の粒が残り、これをつないでいた微細な粘土が流れ去ったといった感じの水みちが多いのである。水みち内の力学的な抵抗力はどうであろうか。勿論つなぎを失った粘土粒の集りであるから、砂と同じく、剪断強度は期待出来ない。このみちを水が流れているとき、圧縮強度は水の強度が出るかといえば、そうはいかない。完全に密閉された水は大きい圧縮強度を持つが、開口を古墳内に開いた水みちの圧縮強度は0に近いであろう。古墳がドーム式石積みである場合、この石積裏を密につめていた土の一部に、このような圧縮・剪断強度ともに弱い部分が出来るといことは、その部の石積みにガタゆるみが出る結果となる。石積壁の各の石は廻転させ易くなり、又古墳内方へでなく、外方すなわち土の方へ押し動かすことが容易となる。しかし一旦或部にガタがおこれば、ドームとしての平衡はくずれてゆるみが生じ、その部に隣る上の部分などは、逆に古墳内方に向かって膨むということが次に起こってくるのである。内部に向かい凸となったような石積みドームは既に充分危険とみるべきで、何時崩れるか分からないものと言えよう。このような古墳の石積みドームは根本的に直すとなれば積み直さざるを得ないであろう。積み直しによって水みちの古墳に近い部分は一時断たれるかもしれない。しかし、この場合水みちの上の部分はそのまま残っているので、新しく古墳側から出来る水みちが結局はこの切られた古い水みちと連結することになる。何故ならこのときも又水の動きは全体として抵抗の小さい道すじに片寄ってゆくからである。古墳石積みドームを積み直すならば、必ずこれと共に、既に千年以上もかかって出来ている水みちを切断してやる工事を施すべきである。さもないと何回石積みを繰返しても、やがて又崩壊がおこるであろう。

水みち切断の一つの案をのべてみよう。これにはやはり先にのべた縦穴の水捕集効果を利用すればよい。古墳穴本体に工事の影響が及ばない程度のやや上手に、縦の砂利壁を入れるのである。勿論この砂利壁は図—5—2の平面図に見られるように、かなりの横幅を持ち、あらゆる上手側水みちにひっかかるようなものでなくてはならず、又底にはドレイン0を備えて、集めた水を古墳に影響せぬ場所へ流すことが必要である。

砂利層は砂利の大きさ別に何層かで構成し、最も外側では水みち内に残った粘土粒がその層内へ流入することを止める位に、充分小さい砂利から出来ていなければならない。砂利の各塊が完全な球であるとする、相隣る層の石塊の径の比は大體6：1以下でなくてはならないことになる。

この水みち遮断層も又その深さなどを適当に選ばねばならない。このような遮断層は、それより上手に降る雨の流入をほぼ遮断することは間違いないが、もしその最下端が地下水の水位よ

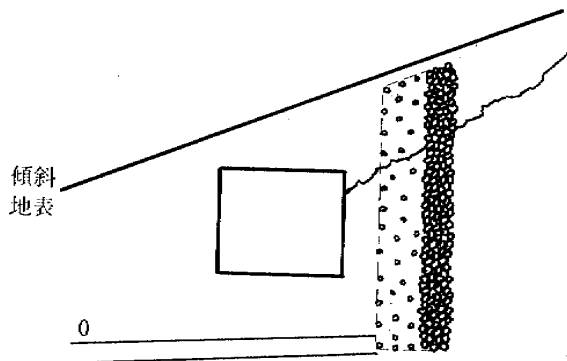


図-5-1

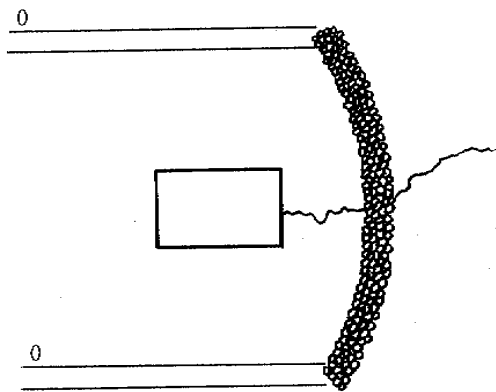


図-5-2 水みち遮断法

A device to cut the water path  
穴の上手に遮断縦穴をもうけ受けた水をドレインで下手に流す

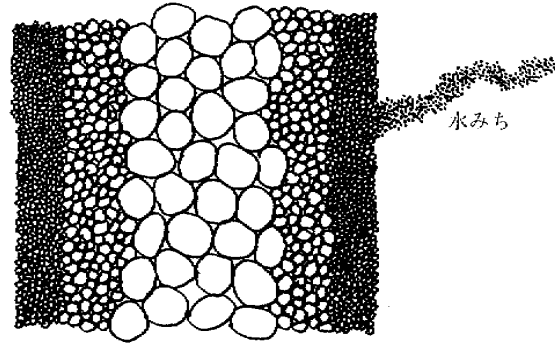


図-6 水みち遮断層の構造

construction of the water path cutting ditch

大きさの異なる石で何層かにし、最も外側は水みち中に残った粘土粒を入り込ませぬ程度に細かい小石でなくてはならぬ

り下まで延びているとするなら、それは地下水の水位までも下げてしまうこととなる。そしてその結果、古墳内は乾きすぎるといふ事態に至る可能性も考えられる。要するにこの場合は古墳穴近傍への横からの水の補給は殆んどなくなるので、古墳に対する降下雨水の影響は真直ぐ上から下ってくるもののみによることになる。地下水位が低く、かつ干天が続くときには土の表面からの乾き、すなわち毛細管拘束の水分の喪失は次第に土中深く

まで及んでゆき、その結果上述の可能性を一応考えさせるのである。しかし実際にはその乾きの層が、地中深く古墳の穴の在る深さまで及ぶことは、我国ではまずおこらないであろう。それは砂漠の状態であって、日本のような多雨地域では考えられないことである。そして穴のまわりが、毛細管現象で拘束された水分で湿った土により囲まれている限り、穴の中の空気の相対湿度は Thomson の法則によって、これと見合った比較的高いものが現出され、乾燥して困るという状態は起こらぬと考えるもよいと思われる。

### Résumé

Kenzo TOISHI: Discussion on running water within ancient tombs in inclined grounds

Since the water which exudes out of and flows down the surface of walls of ancient tombs is greatly troublesome in the conservation of the tombs, any persons who take charge of conserving them should research into and understand the behaviors of rain water which has sunk into the ground. However, as it is impossible for us to conduct experiments in such a large scale as in practice, we might consider it to be satisfactory that we try, by using certain hypothesis, to attain a solution and that the solution derived from the discussion will be proved to be useful in practice.

The rain water which hits the surface of completely horizontal and homogeneous ground will pass through the surface, and then will evenly flow down through the earth to finally join with the underground water. However, some voids in the earth or some inclined areas of the surface of the ground, if they are present, will serve to collect the water passing through their area and direct it down along the surface of the wall in which they are located. Though this is a highly undesirable phenomenon, we can make positive use of it. If some long ditches would have been around the cave of the tomb, it would be possible to collect the water, which is naturally to be collected within the cave, into the ditches and then cause it to flow downwards with the result of preventing water from flowing into the cave. The ditches can be conveniently filled with pebbles and should be provided with drains.

Within the cave of the tomb in an inclined ground, the water would continue to flow for a long time after raining because the rain fall in the places above the cave would gather together into the cave. Since the gathered water would make its path in the least resistant place over a long period of time, the state of the running water would increasingly worsen. Even if some part of the water path would be blocked, the rest could be interconnected to make the water path again.

It is believed, consequently, that the best measure against the destructive water paths is to provide a cutting zone acting as a ditch in a place above the cave to cut them off so as to allow the water to flow down through it and to let the water leave it through a drain at a level below the bottom of the cave. The cutting zone should be filled with a composite layer of pebbles in which the nearer the center of the layer, the larger the size of the pebbles, and it should have an adequate depth so as not to change the level of the underground water.