

細管現象とサイフォンの原理を用いた斜面内の地下水の排水手法の検討

長崎大学工学部 学生会員 ○白石 幸基 長崎大学大学院 正会員 大嶺 聖
 フェロー会員 蔣 宇静 長崎大学大学院 正会員 杉本 知史

1. はじめに

近年、集中豪雨の増加により、土砂災害発生数が増加する傾向にある。土砂災害の対策として、これまでも排水パイプなどを利用して地下水位を低下させる技術が考案されてきた。現在設置されている排水パイプの中には、破損やつまりなどによって、機能していないものも多い。本研究では、簡易的に作製可能なサイフォンホースを作製し、それをを用いた斜面内の地下水の排水効果を室内および現場実験により明らかにする。

2. 導水ホースの原理

本研究では、図1で示した導水ホースを用いて地下水の排水を行うことで、どのような変化が見られるかを調査する。地下水の排水は、サイフォンの原理と導水ホース中のアクリル紐による毛細管現象によって行う。サイフォンの原理は、対象範囲の水が一度無くなると、その対象範囲に水が加えられても作用しない。吸水性の良い紐をホースの中に入れることで、毛細管現象が生じ、紐から垂れた水によりホース内部が満たされることによって、サイフォンの原理を再び働かせることができる。¹⁾

3. 導水ホースの作製

ホースは内径 15mm のものを 50cm、70cm のアクリル紐を 6本、紙おむつから回収した高分子吸収材を 3g、障子紙、ビニル、割れ目のある有孔管、内径 3mm のホース、内径 5mm のホース（排水ホースとして内径 3mm、5mm を用い、ホースの長さは設置する場所によって変更する）を使用する。内径 15mm のホースにはアクリル紐、吸水材を障子紙とビニルで巻いたものを入れる。このとき、アクリル紐と吸水材が直接触れないようにし、ホースの片側から 20cm アクリル紐が出る形にする。アクリル紐が出ている方に有孔管を装着し、反対側に排水ホースを装着する。吸水材は、通常粉のような状態であるが、水と反応すると膨張しジェル状に変化する。膨張することにより、ホース内部が水で満たされやすくなる。有孔管は紐が水のみに触れる状況をつくるために用い、有孔管には、土粒子の侵入を防ぐためにウエスを巻いている。

4. 流量計の作製

流量の測定には、土壌水分計と作製した測定用の容器を用いる。測定容器には 6mm、8mm、10mm の穴を開け、傾けた時に高さの間隔が 2cm になるように設置する。この容器内にデカゴン社の土壌水分計 EC-5 を設置することで、水位の変化を測定することができる。測定された水位と開けられた穴の大きさを以下で式(1)に示しているオリフィスの定理を用いることによって、ホースの排水量を求めることができると考えた。測定容器内部の水位を 0~5cm まで 1cm ごと上げ、それぞれの一分間の流量を測定した。式(1)と比較したところ、式(1)と測定容器の結果には、ほとんど差はない為、オリフィスの定理を用いることによって、ホースの排水量を求めることができると判断した。

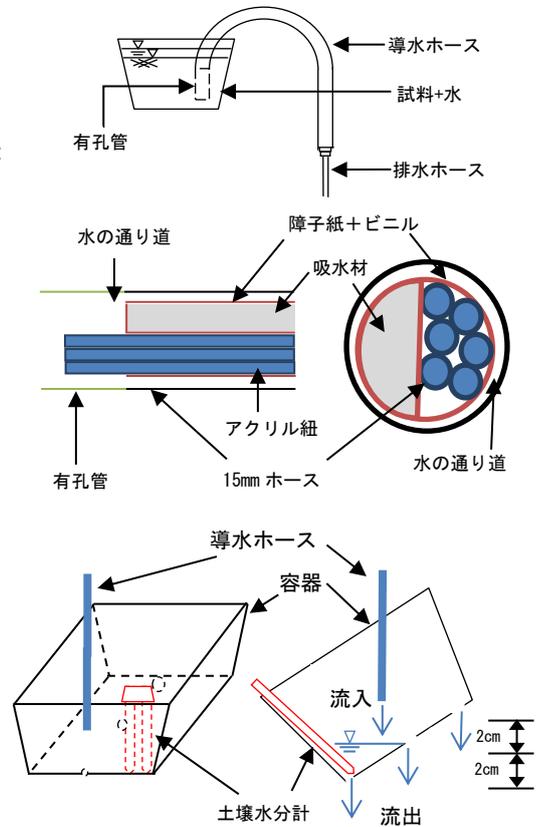


図2 測定容器

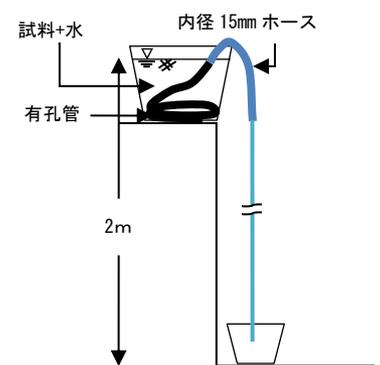


図3 室内実験の様子

$$Q = CA\sqrt{2gH} \quad (1)$$

ここで、Q：流量 (cm³/sec), g：重力加速度 (980cm/sec²), H：孔中心から水面までの高さ(cm), C：流量係数, r：孔の半径(cm), A：孔の断面積(cm²)である。

5. 室内実験

図3は室内実験の様子を表している。水のみ、豊浦砂と水、まさ土と水の入ったバケツを用意し、それぞれに導水ホースを入れて排水を行い、それぞれの1分間での流量を測定する。流量の測定は、サイフォン現象が生じてから行う。

実験1 有孔管の長さの違いによる流量測定

バケツ内部の有孔管の長さを変え、有孔管内部の水量を増やした場合の流量の変化を調べる。長い有孔管は図3のような形でバケツ内に挿入する。表1の実験結果より、水のみ、豊浦砂、まさ土の場合を同じ長さの有孔管で比較する。豊浦砂は、排水量が水より319g/min少なく、まさ土に関してはサイフォン現象が起こらなかった。これは、まさ土は他の二つに比べ水が伝わるにくく、有孔管内部に水が溜まりにくかったからだと考えられる。さらに、有孔管の長さが長いほど流量が大きくなっていることが確認できる。有孔管が長い方が管内部の水量が多い為、常に一定量の水の排水が可能になる。管内部に存在する水の量が少なすぎると、気泡ができやすくなり、サイフォン現象が起こりにくくなると考えられる。

実験2 水頭差の違いによる流量測定

バケツの設置高さを変更して流量の変化を調べる。有孔管の長さを75cmとし、高さを2mから8mに上げて実験を行った。表1と表2を比較すると、高さが高くなるほど流量が多くなっている。

6. 現場実験

実験3 導水ホースによる地下水の排水実験

長崎自動車道で湧水が見られるのり面に対して水平に穴を開け、導水ホースを設置して流量を測定する。この実験では、2本のホースを設置した。有孔管は室内実験同様に図4のような形で土中に挿入する。このときホースの設置高さは12.3mである。降雨無い時の流量の違いを比べる。このとき排水ホースは装着しない場合と装着した場合の値の違いを調べる。排水ホースがないときは20g/minで、装着した状態では170g/minであった。

図5は排水量と雨量の関係を表したものである。図5のグラフ

の排水量の最大値は596g/minである。このときの降雨量は約1mm/10minであった。ここから降雨直後に排水量は急激に増加していることが確認できる。また、今回は、降雨量の少ない時期の測定であったが、降雨量が多い時期に測定すれば、さらに排水量は増加するのではないかと考えられる。

7. おわりに

今回作製した導水ホースで、人の手を加えずにサイフォン現象を作用させることが可能であることが確認できた。現場実験では、降雨後に排水量が多くなることが確認でき、さらに有孔管の長さを長くすることで排水量が増加すると考えられる。今後はホースの機能の向上が求められる。

参考文献

¹⁾(有)ミヤモト工業 導水ホースの開発：<http://www.ookubo.zaqr.jp>

表1 実験1 (高さ2m) 結果

	有孔管の長さ(cm)	流量(g/min)
水のみ	10	447
豊浦砂	10	128
	25	389
	50	376
	75	408
まさ土	10	0
	25	0
	50	181
	75	276

表2 実験2 (高さ8m) 結果

	有孔管の長さ(cm)	流量(g/min)
水のみ	75	941
まさ土	75	557



図4 現場実験の様子

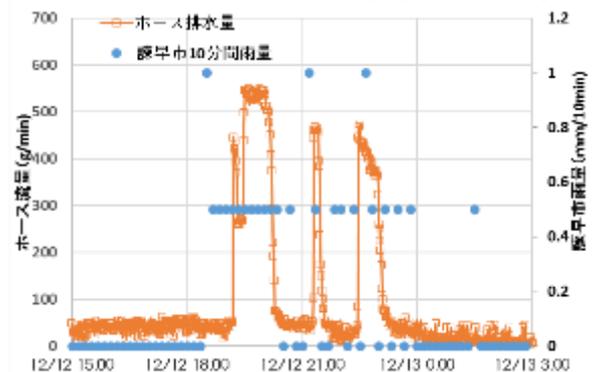


図5 実験3 (現場) 結果