

II-50

パイピングの発達過程に関する基礎実験

東北大学工学部 学生員 ○市花 圭一朗
東北大学大学院 正会員 真野 明

1. はじめに

パイピングは地割れの存在や地表面下の流量増加などにより地表面下でパイプが発達し、複雑なパイプネットワークを形成する現象のことである。地滑り跡でパイピングによる穴から湧水があったことが報告されており¹⁾ 地滑り要因のひとつである。また、灌漑地ではパイピングの発達による土中の土砂や栄養塩の流出が問題となると考えられている²⁾。

既存の研究³⁾では降雨に対してのパイプの発達状況を研究している。パイピング発達の要因として、降雨の他に段丘の高低さによって起こる水頭勾配も要因であるとの報告がある²⁾。そこで、本研究では水頭と砂をパラメータとして変えることでパイピングの発達過程がどのように変化するかを二次元の実験装置を製作して調べる。

2. 実験方法

2.1 実験装置

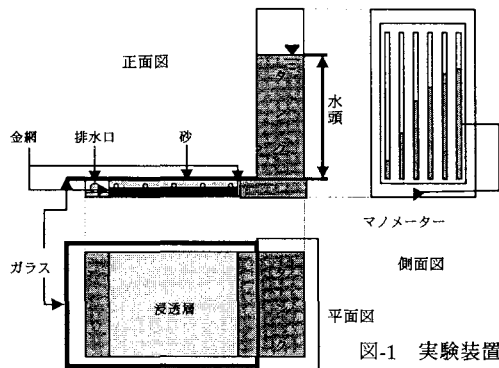


図-1 実験装置

本研究のために、図-1 に示す実験装置を作成した。この装置はヘッドタンク、砂を敷き詰めた浸透層（650mm×431mm×50mm）、排水系、貯水槽、給水系よりなる循環式の装置である。貯水槽よりポンプで水をくみ上げてヘッドタンクに給水する。ヘッドタンクには、水面を一定に保つための排水口が設けてあり、ここから余剰な水は貯水槽に戻される。砂の浸透層を浸透してきた水は排水口を通して排水され、そこで流量の時

間変化を測定する。マンノメーターは砂部分に150mm間隔に5個取り付け、他に基準となるようにタンク側面に1つ取り付ける。また、浸透層を仕切っている金網は、用いる砂によって適宜開き目を変更する。

2.2 砂の特性

土粒子の密度 ρ_s は混合砂で 2.717g/cm^3 、豊浦標準砂で 2.641g/cm^3 となっている。図-2にこ

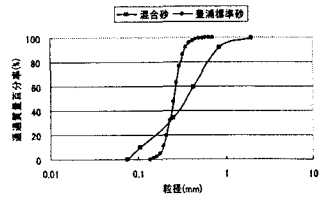


図-2 粒径加積曲線

こで用いた2種類の砂の粒径加積曲線を示す。混合砂は粒径が $75\mu\text{m}$ から 2mm の範囲に分布しており、均一粒径を代表する豊浦標準砂は $135\mu\text{m}$ から $704\mu\text{m}$ の範囲に分布している。混合砂は豊浦標準砂に比べて、粒径分布の広い砂である。

2.3 実験

貯水槽中の水中ポンプのスイッチを入れる時間を開始時間とする。その後、15分後から1時間おきに流量とマンノメーターの変化を計測する。流量は排水口から流出する水が1lになるまでの時間を計測し算出する。マンノメーターは実験装置の底面からの高さを計測する。この作業を10回繰り返す。そして、測定開始してから丸一日経過したデータを取り実験を終わりとする。水頭は15cm刻みで30,45,60,75,90cmの5段階を設定する。

3. 実験結果と考察

3.1 解析方法

測定した流量から浸透層における平均流速を算出する。次にマンノメーターの測定から動水勾配を算出し、それと平均流速からダルシー則を用いて透水係数を算出する。

連続の式 $\dots\dots\dots Q = A \times V$

ダルシー則 $\dots\dots\dots V = k \times i$

注) Q ・・・流量 k ・・・透水係数

A ・・・断面積 i ・・・動水勾配

V ・・・平均流速

3.2 実験結果と考察

流量の時間変化を混合砂は図-3 に豊浦砂は図-4 に示した。これを見て分かる通り、時間が経過するに伴い流量が増加していくことが分かる。流量が増加していくということは、浸透層にて時間とともにパイプ径が大きくな

ったり、パイプ本数が増加し複雑化したことによって水が流れやすくなったためと考えられる。つまりパイピングが時間とともに発達していると考えられる。

図-5~7 は砂にかかる透水係数と水頭の関係をそれぞれ 0.25h, 5.25h, 24.25h の時間で混合砂について示した。同じように豊浦砂については図-8~10 に示す。浸透層を4分割して上流から順に k_1, k_2, k_3, k_4 とする。

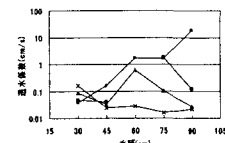


図-5 透水係数と水頭の関係(混合砂・0.25h)

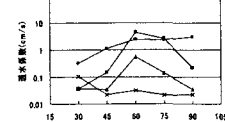


図-6 透水係数と水頭の関係(混合砂・5.25h)

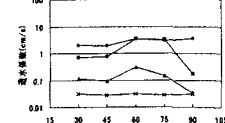


図-7 透水係数と水頭の関係(混合砂・24.25h)

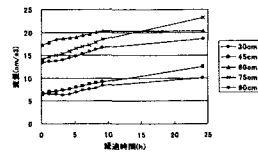


図-3 流量の時間変化(混合砂)

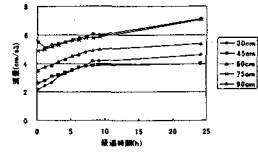


図-4 流量の時間変化(豊浦砂)

図-8 透水係数と水頭の関係(豊浦砂・0.25h)

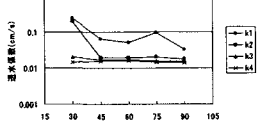


図-9 透水係数と水頭の関係(豊浦砂・5.25h)

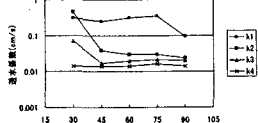


図-10 透水係数と水頭の関係(豊浦砂・24.25h)

透水試験で求められた透水係数は混合砂で 3.9×10^{-3} cm/s, 豊浦砂で 1.0×10^{-3} cm/s である。図-5 を見ると、どの水頭においても $k_1 \sim k_4$ は初期透水係数をそれぞれ 10 倍以上超えているのに対し、図-8 を見ると、初期透水係数と $k_1 \sim k_4$ とほぼ変わらないことが分かる。混合砂は開始 15 分間にパイピングが大きく発達して、豊浦砂は開始してからすぐにはパイピングが発達し難いことが分かる。これは豊浦砂が混合砂と比べて均一粒径で、密に詰まっているために粒子が混合砂に

比べて移動し難いためと考えられる。

図-6 と 9 を見ると時間経過に伴い、混合砂は低い水頭時でも上・中流部で透水係数が大きくなっているのに対し、豊浦砂では上流部でしか大きくない。混合砂がどの時間帯でも水頭 60cm をピークにして 75cm, 90cm と $k_2 \cdot k_3$ が減少していくこと理由は水頭が大きいと砂を運ぶ力が大きいために上流部からの細粒分が中流部により多く移動し、中流部が密になったためパイピングが発達し難いと考えられる。

図-7 と 10 を見ると最終的にはどちらの砂も k_1 が大きくなっていることから最上流部ではパイピングが発達していることが分かる。しかし、豊浦砂の水頭 90cm では他の水頭に比べて透水係数が小さい。これは他の水頭では中・下流部で密になっているように水頭 90cm ではそれが上流部にも同じ現象が起こったためと考えられる。最下流部では k_4 は測定開始時と変わっていないので、パイピングは発達しづらいことが分かる。

砂の特性によるパイピングの発達の違いは初期透水係数からの伸び率から混合砂の方が均一粒径砂(豊浦砂)に比べてパイピングが発達しやすいことが分かる。

4. まとめ

- 混合粒径砂の方が均一粒径砂に比べてパイピングが発達しやすい。
- 上流部では最終的には水頭に関係なく発達する。
- 水頭が大きいと細粒分を運ぶ力が大きくなるが、逆に上流部から流れてきた細粒分が中流部に滞りやすい。
- 最下流では水頭・経過時間によらずば一定であることからパイピングはほとんど発達しない。

参考文献

- 1) 梅村順・森芳信: 福島県南部で発生した土砂災害, 1998 年南東北・北関東の集中豪雨災害に関する調査研究, pp.182-196, 1999.
- 2) José M. García-Ruiz・Teodoro Lasanta・Francisco Alberto: Soil erosion by piping in irrigated fields, Geomorphology 20, pp.269-278, 1997.
- 3) 古田智弘・田村俊和・森脇 寛: 斜面での降雨-流出過程と土層の透水性との関係—降雨装置下での実験と自然斜面での観測—, 東北地域災害科学研究, 第 39 巻, pp.201-206, 2003.