

礫質な河川堤防を対象にした長時間透水に伴う細粒子移動現象と透水性変化

岐阜大学大学院 学生会員 ○日下部 裕紀

岐阜大学工学部 正会員 神谷 浩二

岐阜大学工学部 正会員 小島 悠揮

1. **まえがき**： 扇状地などの河川堤防では、透水性の高い礫質土などによって構成される場合がみられ、洪水時には堤体の浸透が比較的短時間で進行するとともに、浸透流によって特に小さめの土粒子が移動・流失する現象が懸念され、これによって土粒子骨格構造を不安定化させたりすることが予想される。本報告では、礫質土を対象にした一次元下向き流れの長時間の透水試験を実施して、粒度特性による土粒子移動の発生条件について検討し、また土粒子移動が透水性変化に与える影響を分析した。

2. 鉛直一次元透水試験に基づいた土粒子移動現象の観察

(1) 透水試験の装置と方法： 図1に概要を示

した装置を用いて定水位透水試験を実施した。装置は、試料層(内径 $\phi 0.1\text{m}$ 、高さ 0.1m の円柱)を作製するための試料容器(アクリル製)、試料層に水位差を与える給水・排水タンク、流量 $Q(\text{m}^3/\text{s})$ を測定する流量計、試料層に生じる全水頭差 $\Delta h(\text{m})$ を測定する差圧計によって構成される。また、試料層底面に設置したナイロンメッシュの開孔径は 0.063mm であり、多孔板は直径 $\phi 3\text{mm}$ 程度の孔が多く開いた厚さ 8mm のアクリル板である。試料容器に湿潤試料を所定の乾燥密度に充填した後、試料層底面から排水タンクによってゆっくりと

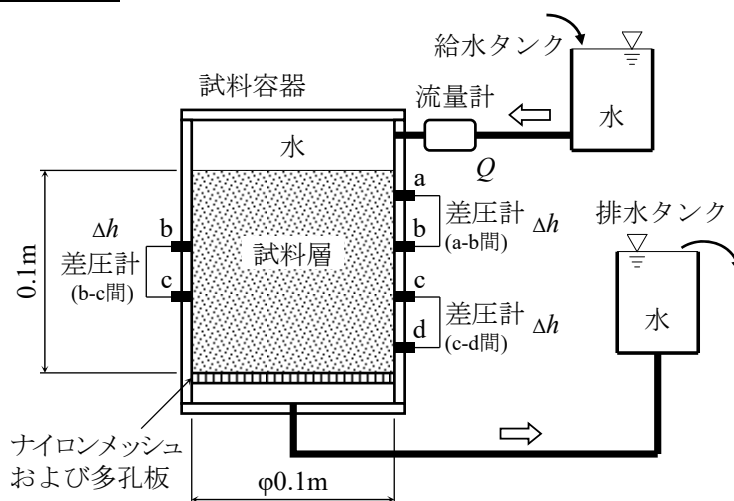


図1 定水位透水試験装置の概要

浸水飽和させる。そして、給水タンクと排水タンクの水位差を一定に保ちながら与えて鉛直下向き流れで透水させた。透水時には、図1のa-b間(資料上面からの深さ $z = 12.5 \sim 37.5\text{mm}$ 区間)、b-c間($z = 37.5 \sim 62.5\text{mm}$ 区間)、c-d間($z = 62.5 \sim 87.5\text{mm}$ 区間)の全水頭差 $\Delta h(\text{m})$ 、流量 Q のそれぞれの経時変化を測定した。

(2) **試料とケース**： 試料には、図2に粒度を示した礫質土A, B, C, Dの4種類を用いた。図2には、水分法¹⁾によって推定した間隙径分布を重ね合わせて示した。この間隙径分布は、保水性試験(水頭法)で求めた

水分特性曲線の飽和度 $S_r(\%)$ を累積間隙体積百分率 $V_r(\%)$ に変換し、圧力水頭 $|h_p|(\text{m})$ を間隙径 $d_m(\text{mm})$ に変換して求めたものである¹⁾。そして、試料層は、締固め度が90%になるように乾燥密度を設定して作製した(礫質土Aでは間隙率 $n = 0.309$, Bでは $n = 0.336$, Cでは $n = 0.358$, Dでは $n = 0.411$ である)。透水試験では、試料層全体の動水勾配が0.4程度になるように一定の水位差を与え、96hr(=5760min)の間に連続して透水させた。試験用水には水道水を用いた。なお、各試料についてそれぞれ2回の透水試験を実施した。

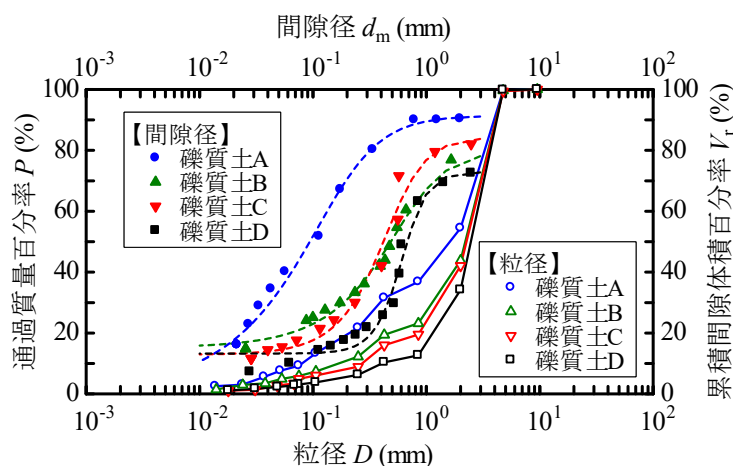


図2 試料の粒度と間隙径分布

3. 土粒子移動による透水性変化

(1) **透水係数の経時変化**： 図3は、全水頭差を測定した a-d の全区間について、全水頭差と流量の値を用いてダルシー則に従って算出した透水係数 k (m/s) (水温 15°C の場合に換算) の経時変化を示したものである (各試料で 2 回の透水試験の内の 1 回を例示)。礫質土 A と礫質土 C では、透水係数は時間経過に伴い若干増減するがほぼ横ばいの変化にある。これに対して、礫質土 B と礫質土 D では、透水開始後に 1440min までの間で透水係数が徐々に低下し、初期の透水係数の値に対して透水終了時のもの 1/20 程度の大きさに至った。即ち、礫質土 B, D では、透水の継続によって間隙径が減少するなどの間隙構造の変化が生じたことが想像される。

(2) **透水に伴う土粒子移動現象**： 上述の図3において透水係数の低下量が顕著であった礫質土 B, D の場合について、透水試験時の試料層の側面を観察すると、写真1(礫質土 D の場合) に示すように、透水開始時に比べると透水終了後には比較的小さめの土粒子が間隙内で堆積して、その様子が筋状に現れた。上述の透水係数の減少は、小さめの土粒子の移動によって間隙が狭くなったりしたことによって考えられる。なお、移動しやすい土粒子の粒径等は不明である。

(3) **粒度と土粒子移動**： 土粒子の移動は、ある大きさの間隙径よりも小さな粒径の土粒子 (特に移動可能な不安定構造にある土粒子) の存在割合が影響すると考えられる。本報告では、水分法による間隙径分布のうち小さめの間隙径として d_{mp} (mm) を求めた。この d_{mp} は、図2の間隙径分布の小さめ方で曲率が最大になるときの間隙径に対応する¹⁾。図4は、透水開始時の初期の透水係数 k の値 (土粒子移動とそれによる間隙構造変化がないと仮定) を d_{mp} に対して示したものである。 k は d_{mp} と相関が認められ (相関係数は 0.99)、 d_{mp} は透水に寄与する間隙部分の代表径とみることも可能である。さて、図2において、 d_{mp} と粒度を比較すると、 d_{mp} に相当する粒径の含有率は礫質土 A, B, C, D の順に 2.6%, 8.3%, 7.5%, 8.7% であり、即ち、 d_{mp} 相当粒径含有率が 8% 程度を超えるとときに土粒子移動と透水性低下が著しくなるようである。

4. **あとがき**： 本報告では、礫質土を対象にして、長時間の透水が継続したときの土粒子移動の現象を観察するとともに、その移動に伴う透水性への影響などを考察した。その結果、土粒子移動によって間隙内に目詰り・堆積が生じ、透水係数が 1/20 程度に低下する場合があることなどが得られた。

【参考文献】 1) 宇野尚雄, 神谷浩二, 田中宏路: 「空気圧入法」と「水分法」による砂の間隙径分布, 土木学会論文集, No.603/III-44, pp.35-44, 1998.

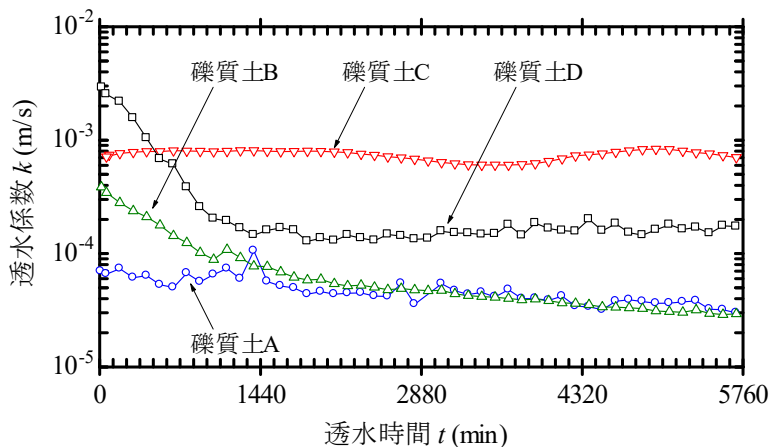


図3 透水係数の経時変化



写真1 透水終了時の試料層(側面)の様子

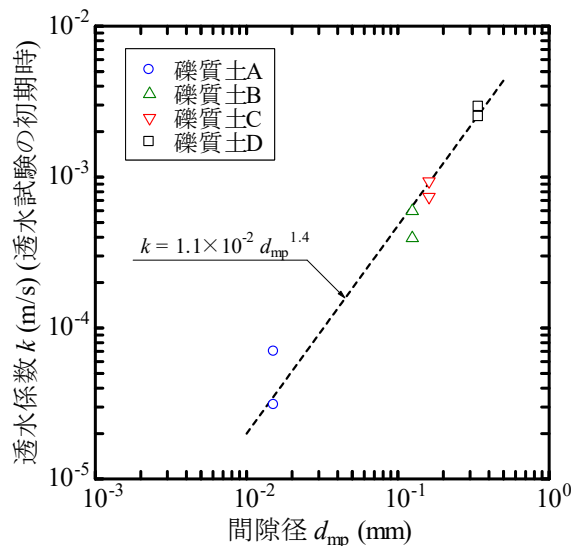


図4 間隙径 d_{mp} と透水係数