

礫分を含む粗粒土の透水性と内部浸食発生に関する考察

岐阜大学工学部 正会員 神谷 浩二
 岐阜大学大学院 学生会員 ○波田野達大
 岐阜大学工学部 正会員 小島 悠揮

1. まえがき

河川堤防には遮水機能を期待するが、礫分を多く含んだ土質材料で構成された堤体がみられ、洪水時に堤体漏水・内部浸食の発生が懸念される^{1), 2)}。本報告は、粗粒土の室内透水試験に基づき、粒度の礫分含有率に着目して飽和透水係数や内部浸食発生との関連を基礎的に考察したものである。

2. 粗粒土の透水係数

(1) **透水試験**： 定水位透水試験によって飽和試料層の透水係数 k (m/s) を求めた。試料層は直径が $\phi 10\text{cm}$ (断面積 $A = 78.54\text{cm}^2$) で長さ L が 10cm の円柱体である。試料層の上下端に全水頭差 Δh_T (cm) を与えて鉛直下向きに透水させ、そのときの透水流量 Q (cm^3/s) を測定して、ダルシー則によって透水係数 $k = (Q/A)/(\Delta h_T/L) \times 1/100$ を求めた。

試料には、図1に示すように、7種類(試料A, B, C, D, E, F, G)の粒度のものを用いた。図1には後述3.の内部浸食に関する透水試験で用いた2種類の試料①と②の粒度を併記した。なお、試料B~F, 試料①と②は、砂質土の試料Aと礫質土の試料Gの両者を混合して用意したものである。表1は、試料A~Gおよび試料①と②のそれぞれについて、細粒分, 砂分, 礫分に区別したときの各構成成分の含有率, 締固め試験(A-a法)で得られた最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm^3) と最適含水比 w_{opt} (%), 透水試験時の試料層の間隙率 n を示したものである。

透水試験では、各試料の締固め度が90%になるように充填して作製した飽和試料層に対し

て、動水勾配 $i (= \Delta h_T/L)$ が 0.12, 0.24, 0.36, 0.48, 0.60 のものを20分程度の間隔で段階的に与え、それぞれの動水勾配のときの透水流量を測定した。そして、動水勾配と透水流量の関係を描き、上記のダルシー則による式を用いてフィッティングさせることによって透水係数を求めた。

(2) **礫分含有率と透水係数**： 図2は、試料A~Gについて透水係数 k の値を表1の礫分の含有率との関係で示したものであり、後述3.の試料①と②に対する透水試験で得られた透水係数の値を併せて示した。なお、図2の透水係数の値は水温が15°Cに対するものである(透水試験時の水温は7~15°Cの範囲であった)。また、図中には後述する平均間隙径 R の値を示した。礫分含有率が0~30%程度の範囲では透水係数は $10^{-6} \sim 10^{-5} \text{m/s}$ の1オーダーの範囲にある。一方、30%~60%程度の範囲では、 $10^{-5} \sim 10^{-3} \text{m/s}$ 程度の2オーダーの範囲にあり、藤倉ら²⁾が示したように礫分含有率の増加に伴い透水係数はより大きくなる。即ち、礫分含有率が30%程度を超える範囲では、礫分のような大きめの土粒子部分が、透水係数を顕著に増加させるような大きめの間隙部分を形成していることが想像され、以下に考察する。

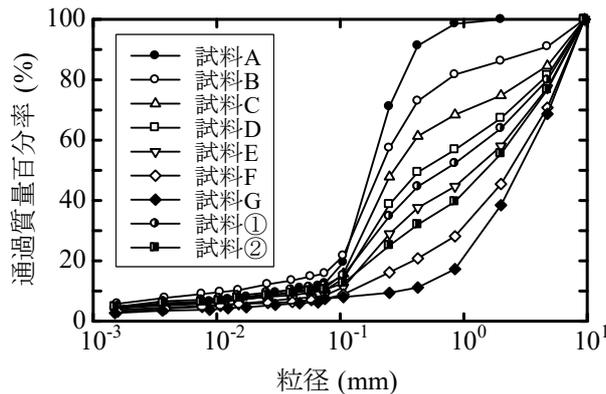


図1 試料の粒度

表1 試料の各構成成分と締固め特性, 試料層の間隙率

試料	細粒分 (%)	砂分 (%)	礫分 (%)	ρ_{dmax} (g/cm^3)	w_{opt} (%)	n
A	12.5	87.5	0.0	1.751	16.2	0.415
B	15.8	70.4	13.8	1.892	13.2	0.364
C	11.0	63.8	25.2	1.955	12.8	0.341
D	10.2	57.1	32.7	2.005	11.1	0.326
E	8.5	49.5	42.0	2.106	9.0	0.289
F	7.4	38.1	54.5	2.073	9.8	0.295
G	7.5	30.9	61.6	2.010	12.4	0.314
①	11.8	52.1	36.1	2.075	9.9	0.298
②	10.5	45.0	44.5	2.085	6.8	0.290

キーワード 礫分, 粒度, 透水係数, 内部浸食

連絡先 住所: 〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1 Tel&Fax: 058-293-2421

Kozeny-Carman 式に基づく、透水係数 k と平均間隙径 R (mm)は次式(1)によって関係付けられる³⁾。

$$k = \frac{\gamma_w}{80\eta_w} n \left(\frac{R}{10^3} \right)^2 \quad (1)$$

ここで、 γ_w (kN/m³)は水の単位体積重量、 η_w (Pa·s)は水の粘性係数である。図2の試料A～Gと試料①、②の透水係数の値をそれぞれ用いて式(1)により算出した平均間隙径 R の値を礫分含有率との関係によって図2に重ね合わせて示した。平均間隙径は、礫分含有率が0～30%程度の範囲では0.005～0.017mmの範囲、30～60%程度の範囲では0.017～0.14mmの範囲にあり、礫分が30%程度を超えると礫分含有率の増加に伴い平均間隙径がより大きくなる傾向にある。間隙径の分布頻度を今後調べる必要があるが、礫分含有率が30%程度を超える範囲では、比較的大きめの間隙部分が多く形成された間隙構造に変化していると考えられる。

3. 礫分含有率による内部浸食の発生可能性

(1)内部浸食に関する透水試験： 透水力によって特に小さな土粒子が移動・流失する内部浸食の発生への礫分含有率の影響を検討するため、飽和試料層の上下端に全水頭差を与え鉛直上向きに透水させる試験を実施した。この透水試験では、上述2.と同様、締固め度90%で作製した試料層に対して、動水勾配が0.12, 0.24, 0.36, 0.48, 0.60, 0.97のものを20分程度の間隔で段階的に与え、各動水勾配のときの透水流量を測定した。その後、動水勾配を0.97に一定に保ち透水させ、24hr放置後の透水流量を測定した。試料には、上述の図1や表1に示した試料①と②を用いた。

(2)礫分含有率と内部浸食： 図3は、上述3.(1)の透水試験

で得られた動水勾配 i と透水流量 Q の関係を示したものである。試料①では、図3に破線で示したように段階的に与えた動水勾配に比例して透水流量が増加し、動水勾配が0.97のとき24hr放置しても透水流量は殆ど変化しなかった。それに対して、試料②では、動水勾配と透水流量に比例関係が認められたが、24hr後には透水流量は約2倍に増大している、試料層から小さな土粒子が流失した形跡が確認された。段階的に動水勾配を増加させたときには土粒子の流失等が観察されなかった。即ち、試料②のように礫分含有率が40%程度を超えた場合には、比較的大きな動水勾配で長時間の透水が生じたとき、内部浸食が進行する可能性が示唆される。なお、図2の試料①と②の透水係数の値は、図3に破線で示した関係に基づいて整理して求めたものである。

4. あとがき

本報告は、礫分を多く含んだ堤体材料の内部浸食の発生可能性等を検討するため、透水試験に基づいて粒度の特に礫分を指標としたときの透水性や内部浸食発生可能性を基礎的に考察した。その結果、礫分含有率が30%程度を超える範囲ではその含有率の増加に伴い透水係数が増大するような関係にあること、40%程度を超える場合には内部浸食の発生が予想されることなどが得られた。

謝辞：本研究は公益財団法人河川財団の河川基金助成事業の補助を受けた。ここに記して謝意を表す。

【参考文献】 1)宇野尚雄, 笠井雅広, 岩崎好規, 藤原照幸：堤体の土質柱状図にある粒度の表現法とその活用, 第4回河川堤防技術シンポジウム講演概要集, pp.37-40, 2016. 2)藤倉裕介, 國生剛治：砂礫の浸透破壊と透水係数に及ぼす粒度の影響, 土木学会論文集, No.687/III-56, pp.27-36, 2001. 3)宇野尚雄, 杉井俊夫, 神谷浩二：比表面積測定に基づく土粒子物性と透気性・透水性の考察, 土木学会論文集, No.469/III-23, pp.25-34, 1993.

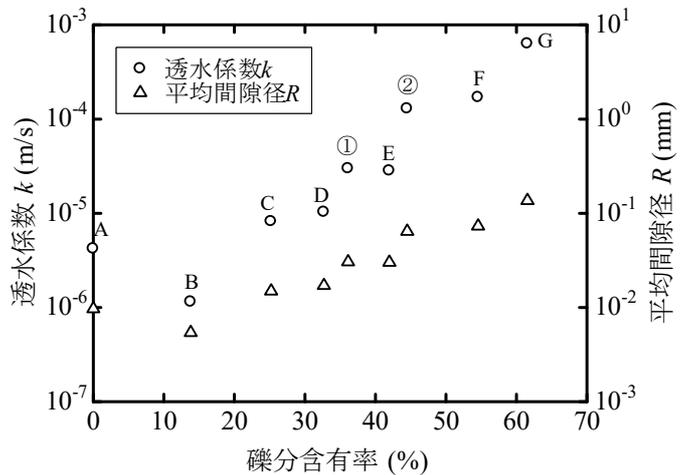


図2 礫分含有率と透水係数, 平均間隙径

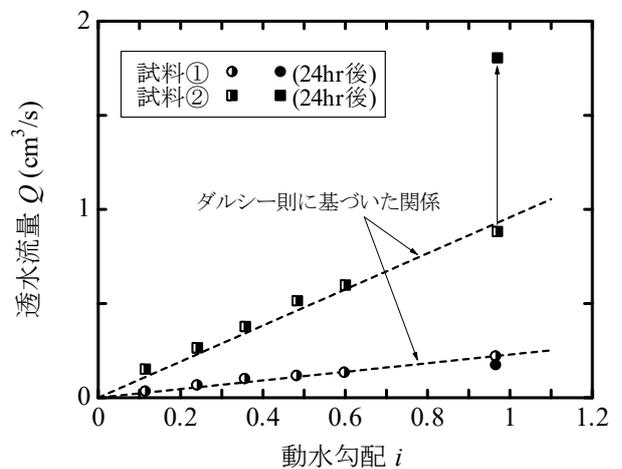


図3 動水勾配と流速