

フィルター設計における目詰まりの考察

中部大学大学院 正会員 杉井俊夫
 中部大学工学部 学生員 神戸知治
 岐阜大学工学部 正会員 神谷浩二
 岐阜大学工学部 正会員 宇野尚雄

1. はじめに

フィルター材の設計の際に問題となる目詰まりに対し、従来はフィルター材と原土材の粒径比といった経験的な値により対策が行われてきた。著者らは目詰まりについて、透水実験結果にフィルターの間隙情報(平均間隙径、間隙径分布)を取り入れ、フィルターの間隙の視点からフィルター層の目詰まりの発生と透水性の低下の割合について検討を行い、従来法との比較も行っている。

2. 従来のフィルター基準

これまでにおけるフィルター基準は、フィルター材とそれに保護される試料(原土材)の粒径加積曲線の関係から幾つか判断されている。各種類別のフィルター基準を表-1に示す。これらの中でフィルター材の目詰まりに大きく係わってくる基準値は D_{15}/d_{85} および D_{50}/d_{50} であり、この基準値を満たせば目詰まりは起こりにくいと判断される。

3. 試料および実験概要

フィルター材(記号F)は均一粒径である砂： F_1 ($U_c=1.05$)、 F_2 ($U_c=1.30$)ならびガラスビーズ： $F_{G0.8}$ ($U_c=1.22$)、 F_{G1} ($U_c=1.60$)、 F_{G2} ($U_c=1.35$)を用いた。原土材(記号B)には長良川シルト： B_{NS} ($U_c=1.95$)を用い、各試料の粒度分布を図-1に示す。図-2に示す透水実験装置にフィルター材と原土材の2試料を所定の乾燥密度 γ_d で試料高さが38mmと32mmになるように均等に詰めセットする。セット後、給水タンクを一定の割合で上昇させることで浸透流を上昇流とし、試料の境界部に接続したピエゾメータから水頭および越流部における単位時間当たりの流量の測定を行う。間隙情報においては、水銀圧入法によりフィルター材の間隙径分布の測定および透気試験からKozeny-Carman式に基づく比表面積 S_v を式(1)から算出し、式(2)により平均間隙径 R を導き出している。

$$S_v = \sqrt{\frac{\rho_w \cdot g \cdot \Delta h_a \cdot A \cdot t}{5 \eta_a \cdot Q \cdot L} \cdot \frac{n^3}{(1-n)^2}} \quad (1)$$

$$R = \frac{4e}{S_v} = \frac{n}{1-n} \cdot \frac{4}{S_v} \quad (2)$$

表-1 各種のフィルター基準^{1) 2) 3)}

| | 深井戸法 | ダム設計基準 | アメリカ農研局 | | |
|-----------------|-------|-----------|------------|----------------------|---------------------|
| | | | 均一粒径のフィルター | 粒子が丸味を帯び粒度分布の良いフィルター | 粒子が角張って粒度分布の良いフィルター |
| D_{15}/d_{15} | > 4 | ≥ 5 | | 12~40 | 6~18 |
| D_{15}/d_{85} | < 4 | ≤ 5 | | | |
| D_{50}/d_{50} | | ≤ 25 | 5~10 | 12~58 | 9~30 |
| D_{60}/D_{10} | | ≤ 20 | | | |

D_{15}/d_{15} : フィルター材の透水性が原土材の透水性より大きくするための基準
 D_{15}/d_{85} , D_{50}/d_{50} : 原土材がフィルター内へ入らないための流入・流出防止基準
 D_{60}/D_{10} : 分離防止基準(フィルター材の均等係数)

(D: フィルター材の各%粒径, d: 原土材の各%粒径)

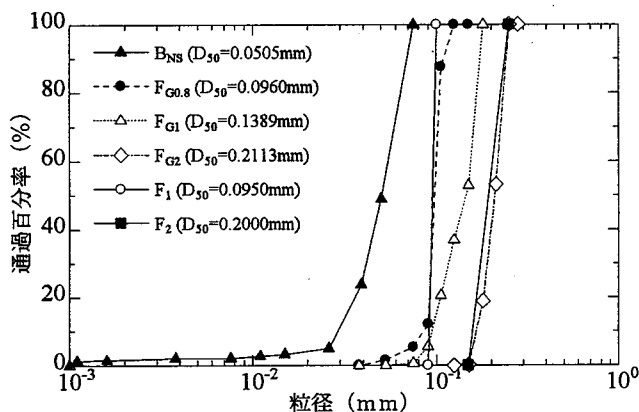


図-1 粒度分布図

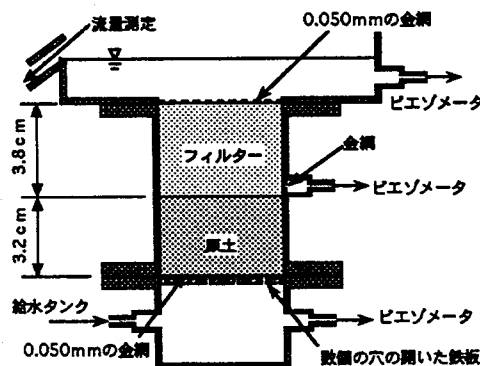


図-2 透水実験装置図

Influence of pore distribution on clogging filter :T. Sugii(Chubu Univ.), T. Uno, K. Kamiya(Gifu Univ.) and T. Kanbe (Chubu Univ. Graduate Student)

ここに、

- S_v : 比表面積 (cm^2/cm^3)
- g : 重力加速度 ($980\text{cm}/\text{s}^2$)
- Δh_a : 試料層両端の圧力差 (g/cm^2)
- A : 試料層の断面積 (1.986cm^2)
- t : $Q\text{cm}^3$ の空気量が試料層を通過するのに要する時間 (s)

- η_a : 空気の粘性係数 ($\text{g}/(\text{cm}\cdot\text{s})$)
- L : 試料層厚さ (2cm)
- Q : 試料透過空気量 (cm^3)
- n : 試料層の間隙率
- e : 間隙比
- R : 平均間隙径 (cm)

4. 透水実験結果

透水実験結果⁵⁾を図-3に示す。縦軸に流速 V 、横軸にフィルターに作用する動水勾配 i をとり、図中の実線ならび破線はフィルターのみでの透水実験で得られた平均透水係数である。なお F_{1A} と F_{2A} は乾燥密度 $\gamma_d=1.50\text{g}/\text{cm}^3$ 、 F_{1B} と F_{2B} は乾燥密度 $\gamma_d=1.45\text{g}/\text{cm}^3$ である。実験結果から $D_{50}=0.095\text{mm}$ である F_{1A} 、 F_{1B} においては透水性の低下が現れていないことが確認できる。それに比べ、 $D_{50}=0.200\text{mm}$ である F_{2A} 、 F_{2B} は原土材の動水勾配が $i_B=14.4$ 、 5.9 と流動可能な状態である限界動水勾配を越えたときに目詰まりが起り、透水性の低下が現れている。なお最終読みでのレイノルズ数が F_{1A} : 0.005 、 F_{1B} : 0.005 、 F_{2A} : 0.031 、 F_{2B} : 0.036 であるため、透水管内の流れは攪乱の影響がない層流であると判断される。フィルターの乾燥密度に視野を向けると、 $\gamma_d=1.50\text{g}/\text{cm}^3$ に比べ $\gamma_d=1.45\text{g}/\text{cm}^3$ は透水性低下が早期に現れており、フィルター密度が小さいほど透水性低下(目詰まり量)が多いと推察される。

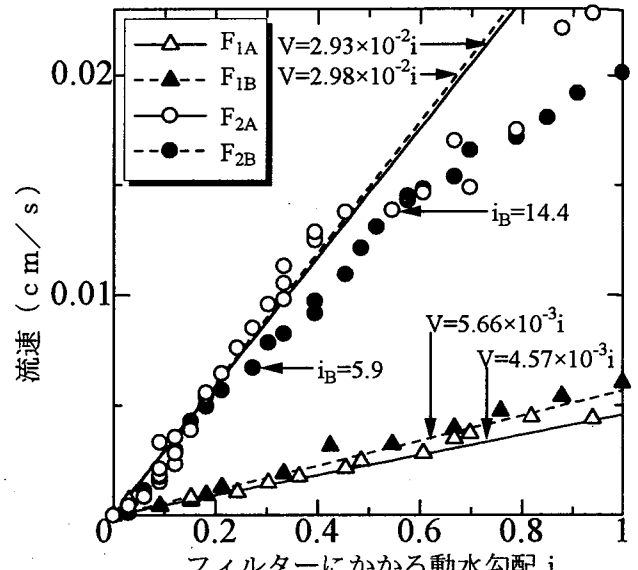
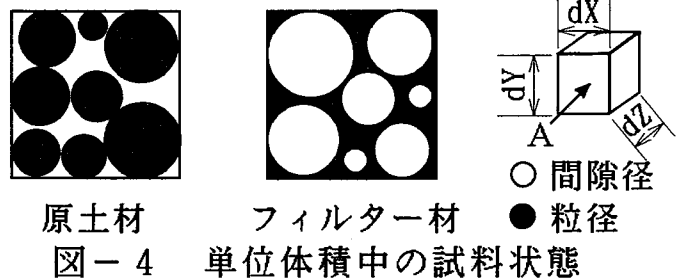


図-3 透水性低下の比較

5. 流入可能率

目詰まりの発生の有無を評価するため、フィルター材の間隙径分布と原土材の粒度分布とから考えてみる。図-4は各試料の単位体積をA方向から見たもので、左は原土材の粒子モデル、右はフィルター材の間隙径モデルを表している。この各試料の単位体積当たりに含まれるそれぞれの径の体積含有率を図-5、図-6に示す。なお図-5は透水実験において目詰まりが起こった F_{2A} の場合、図-6は目詰まりが起こらなかった F_{1A} の場合である。図-5において、上図は一定間隔でとったフィルター材の間隙径と原土材の粒径の体積含有率の分布図を示し、下図はその体積含有率を累積した分布図である。上図において、両分布図が重なり合った部分をメッシュで示すと、このメッシュ部分の原土の粒径はその部分におけるフィルターの間隙径内へ流入する可能性がある原土量と考えられる。またB部分の原土の粒径は、これよりも径の大きいA部分のフィルターの間隙が存在する場合にA部分に相当する量のB部分の原土材がフィルター間隙内へ流入すると考えられる。そこで、AとBのどちらか小さい面積部分とメッシュ部分の合計を透水管断面当たりの『流入可能率』⁶⁾と呼ぶことにする。なお、この流入可能率は上図の横座標交点と下図の縦座標から求められ、流入可能率の最大値はフィルターの間隙率と等しくなる。フィルター材ごとに流入可能率の



原土材 フィルター材
図-4 単位体積中の試料状態

またB部分の原土の粒径は、これよりも径の大きいA部分のフィルターの間隙が存在する場合にA部分に相当する量のB部分の原土材がフィルター間隙内へ流入すると考えられる。そこで、AとBのどちらか小さい面積部分とメッシュ部分の合計を透水管断面当たりの『流入可能率』⁶⁾と呼ぶことにする。なお、この流入可能率は上図の横座標交点と下図の縦座標から求められ、流入可能率の最大値はフィルターの間隙率と等しくなる。フィルター材ごとに流入可能率の

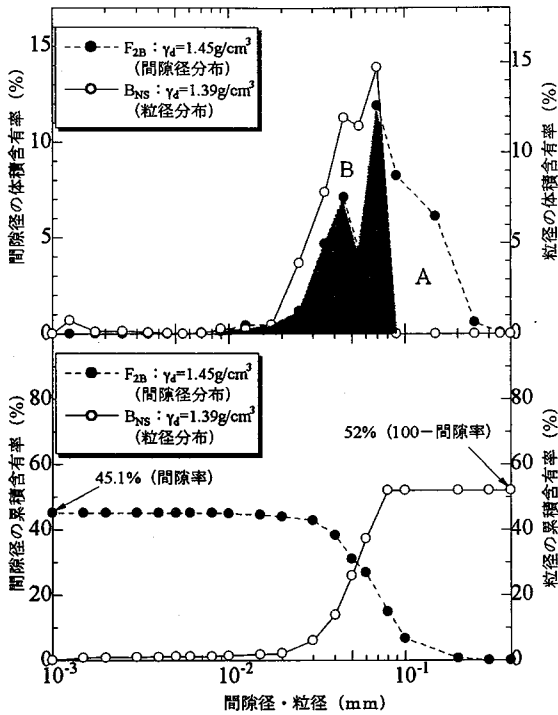


図-5 間隙部と土粒子部の体積割合

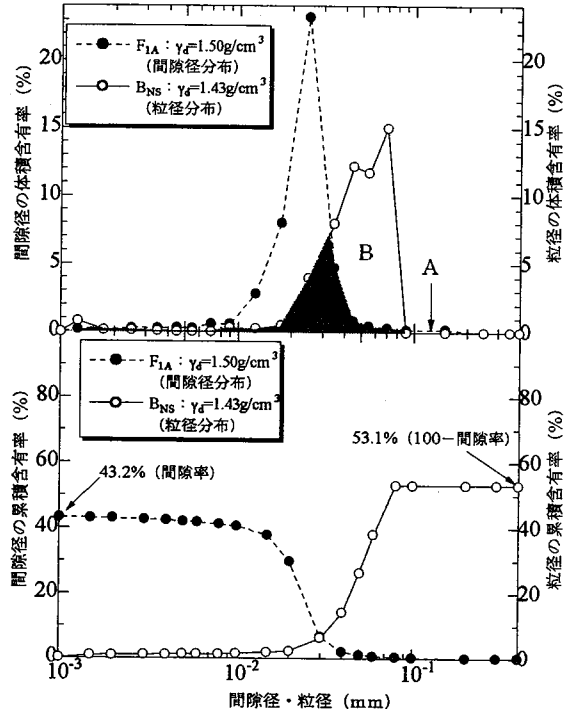


図-6 間隙部と土粒子部の体積割合

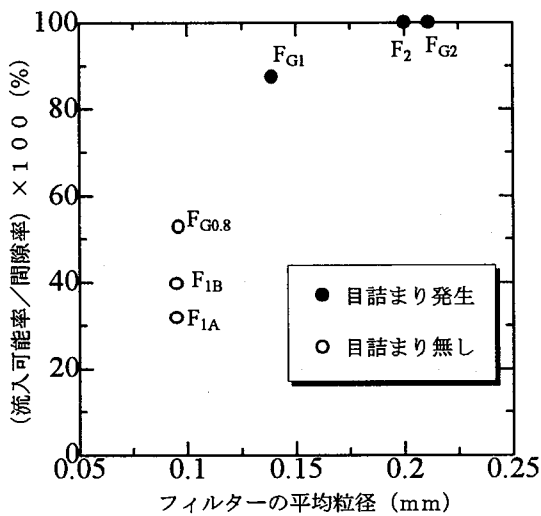


図-7 流入可能率と平均粒径の関係

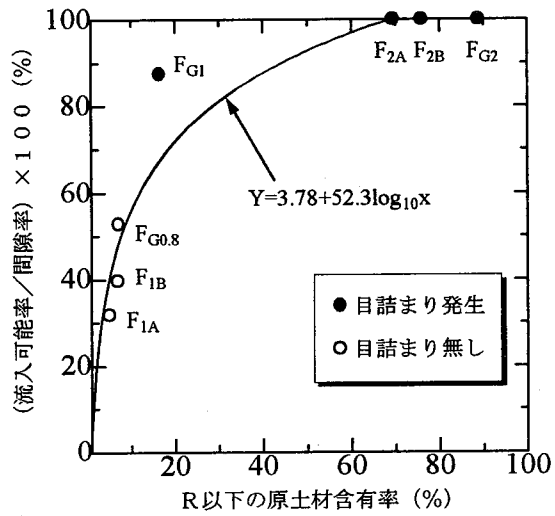


図-8 Rから見た目詰まり傾向 (B_{NS})

最大値が異なる問題为了避免のため、流入可能率をフィルターごとの間隙率で割って整理を行ったものを図-7に示す。これより、流入可能率が全体の約80%以上と大きい試料において目詰まりが発生していることがわかり、目詰まり発生に流入可能率が大きく起因していると言える。

しかし、流入可能率を求めるには水銀圧入法の特別な試験を必要とするため、より簡便な透気試験から得られる平均間隙径を求め、平均間隙径以下の原土材含有率と流入可能率の関係を図-8、透水性低下の比率と流入可能率の関係を図-9に示す。なお平均間隙径以下の原土材含有率は図-1の粒度分布により求められている図-8より、平均間隙径以下の原土材含有率が約20%と大きい場合に目詰まり発生の可能性が高く、平均間隙径以下の

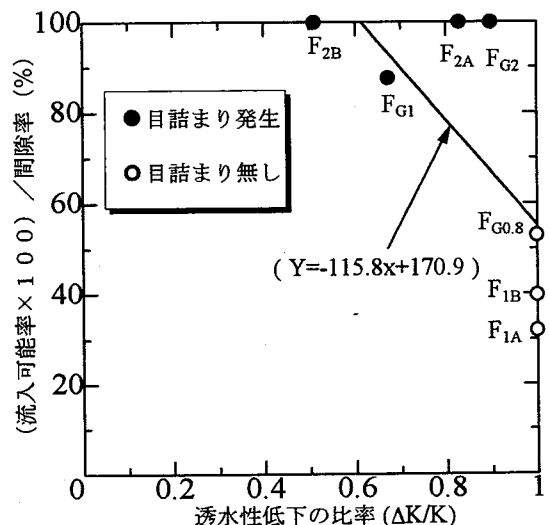


図-9 流入可能率から見た透水性低下傾向

原土材含有率と流入可能率の間には相関性があると考えられる。一方、図-9の透水性低下の比率をみると、 F_{2A} 、 F_{G2} は流入可能率が全体の100%に対し、透水性低下の程度が小さい結果となっているため、フィルター内に一端流入した原土材の流出量を考慮する必要があると考えられる。

6. 仮想粒度分布モデル

原土材の粒度分布の違いから流入可能率がどう変化するか考えるため、原土材の粒度分布を想定する。想定する原土材の粒度分布は均等係数 U_c が異なった4種類($U_c=1.3$ 、 $U_c=1.7$ 、 $U_c=1.9$ 、 $U_c=2.2$)を仮定し、各均等係数別に粒度分布を平行移動させ粒径範囲の異なったものを6種類ずつ用意した。そのうち均等係数 $U_c=1.9$ の粒度分布図を図-10、均等係数 $U_c=1.3$ を図-11に示す。これらの粒度分布と組み合わせるフィルター材を F_{2A} と F_{G1} とし、均等係数別からみた流入可能率と粒径比の関係図を図-12に示す。これより、フィルター材と原土材の均等係数比が $U_{CF} > U_{CB}$ ほど従来の粒径比の基準に近い傾向を示すが、原土材の均等係数がフィルター材の均等係数よりも大きいほど粒径比による基準は流入可能率から判断して危険サイドになる傾向が現れている。さらに、図-7より、流入可能率が約80%以上で目詰まりが発生していることから、粒径比 $D_{15}/d_{85} < 2.5$ に入った場合に目詰まりが発生するものと考えられ、従来の基準 $D_{15}/d_{85} < 4$ であっても目詰まりが発生しうることが推察された。

7. おわりに

ここで使用したフィルター材は均一粒径の試料であるため、今後、広い粒度分布を持ったフィルター材に対する検討と目詰まり程度について検討する予定である。

【参考文献】

- 1) 土木学会編：新体系土木工学 ダムの施工，pp. 264～265，1980
- 2) 土木工学基礎叢書2：透水-設計へのアプローチ，pp. 101～103，1976
- 3) 土木学会編：新体系土木工学 ダムの設計，pp. 180～182，1980
- 4) 宇野・杉井・神谷：比表面積に基づく土粒子物性と透水性・透気性の考察，土木学会論文集Ⅲ，No. 469/Ⅲ-23，pp. 25～34，1993
- 5) 杉井・宇野・神戸：フィルター材の目詰まりに関する一考察，第30回土質工学研究発表会，pp. 1831～1832，1995
- 6) T. SUGII・T. UNO・T. KANBE：EVALUATION OF FILTER CONSIDERING INFORMATION ABOUT PORE SIZE，Int' l Conf. on GEOFILTER' 96，1996

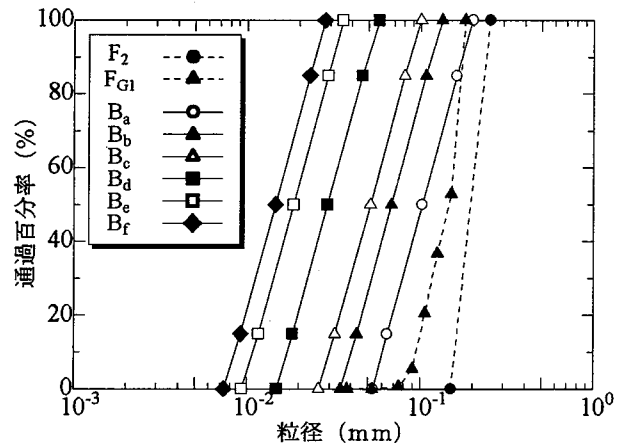


図-10 粒度分布図 ($U_c=1.9$)

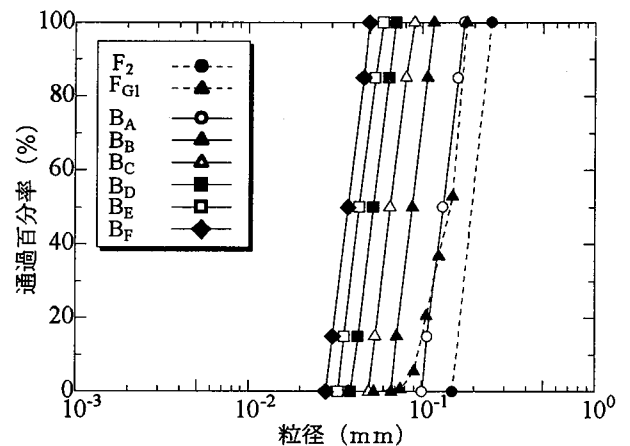


図-11 粒度分布図 ($U_c=1.3$)

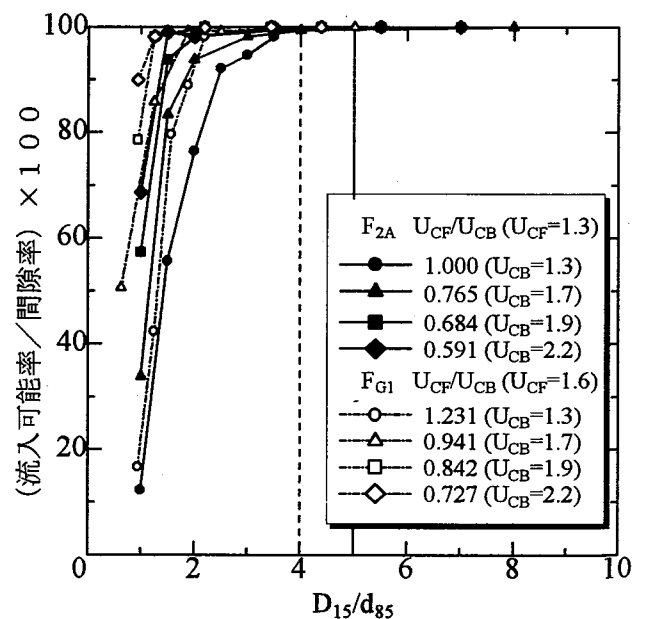


図-12 均等係数比別による粒径比評価と流入可能率との関係