

フィルター材における目詰まり機構

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

1. まえがき

一般に、地下水低下工法、復水工法、薬液注入工法、ダムのフィルター材の設計の際に問題となっている目詰まりに対して、地盤の非均質性ならびに間隙情報（平均間隙径及び間隙径分布）が得られにくいことから、流速、動水勾配、土粒子の粒径等の経験的な値から対策および対応がとられてきた。

そこで本研究は、地盤の浸透に置いて重要かつ地盤破壊の誘因となる目詰まりについて間隙情報（平均間隙径及び間隙径分布）測定結果、フィルター材と原土材の材料条件、流速と動水勾配の関係から目詰まり発生条件について検討を行った。

2. 試料および実験概要

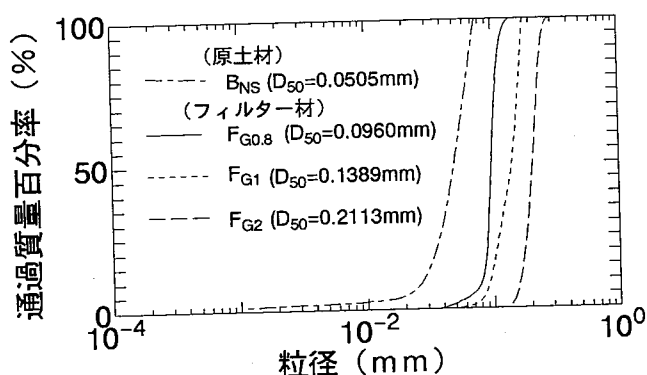


図-1 粒度分布

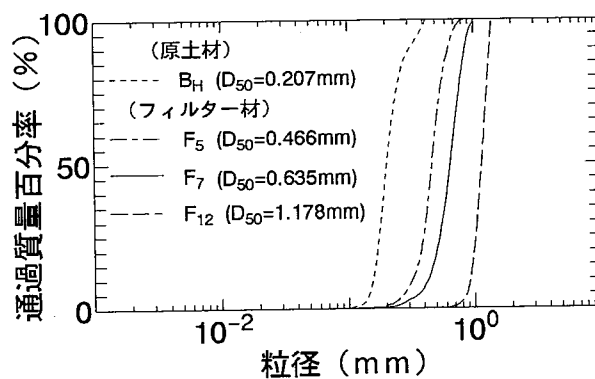


図-2 粒度分布

フィルター材は均一粒径かつ透水性の良い砂を使用し、記号をFとする。なお $F_{G0.8}$, F_{G1} , F_{G2} はガラスビーズである。原土材は記号をBとし、 B_H は豊浦標準砂、 B_{NS} は長良川シルトである。なお、フィルター材 $F_{G0.8}$, F_{G1} , F_{G2} における原土材を B_{NS} 、フィルター材 F_5 , F_7 , F_{12} における原土材を B_H とし粒度分布を図-1, 図-2 に示す。

このフィルター材と原土材の2試料を図-3 に示した透水実験装置に所定の乾燥密度で飽和状態にした後に、試料高さが共に

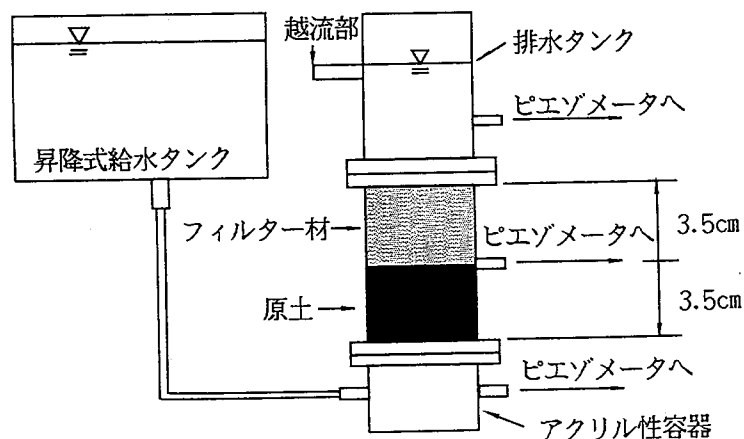


図-3 透水実験装置

Studies on in the clogging of a filter : T.Sugii(Chubu Univ.),T.Uno,K.Kamiya(Gifu Univ)and T.Kambe(Chubu Univ. Graduate Student)

3. 5 cmとなるように均等に透水管に詰めて透水実験を行う。水頭差 0 cmの状態から昇降式給水タンクを一定の割合で上昇させ、越流部における単位時間当たりの流量および各試料の境界部にセットしたピエゾメータにより水頭の測定を行う。間隙情報においては、水銀圧入法により間隙径分布の測定を行った。また、SS-100装置による透気試験測定結果からKozeny-Carman式に基づく比表面積 S_v を算出し、平均間隙径を導き出した。なお比表面積 S_v の算出には式(1)を用い、式(2)により平均間隙径を求めている。

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

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

ここに、

- | | |
|---|--|
| S_v : 比表面積 ($\text{cm}^2 / \text{cm}^3$) | η_a : 空気の粘性係数 ($\text{g} / (\text{cm} \cdot \text{s})$) |
| g : 重力加速度 ($980 \text{ cm} / \text{s}^2$) | L : 試料層厚さ (2 cm) |
| Δh_a : 試料層両端の圧力差 (g / cm^2) | Q : 試料透過空気量 (cm^3) |
| A : 試料層の断面積 (1.986 cm^2) | n : 試料層の間隙率 |
| t : $Q \text{ cm}^3$ の空気量が試料層を透過する
のに要する時間 (s) | e : 間隙比 |
| | R : 平均間隙径 (cm) |

3. 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原土材の粒度関係から、幾つか判断されている。

- ①フィルター材は原土材をフィルター内に流入させない程度の空隙が十分に細くなるような粒度であること。
 - ②原土材よりもフィルター材の透水性が良いこと。
 - ③フィルター材の設置中に分離が生じないこと。
- これらの基準値を表-1に示す。

表-1 フィルター基準

	深井戸工法 ²⁾	ダム設計基準 ³⁾	アメリカ開拓局 ⁴⁾		
			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}		≤ 2.5	5 ~ 10	12 ~ 58	9 ~ 30
D_{60} / D_{10}		≤ 2.0			

(D : フィルター材の各%粒径, d : 原土材の各%粒径)

- 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} : 原土材のフィルターへの流入、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)

なお、今回使用するフィルター材を従来のフィルター基準（ダム設計基準）により評価した結果を表-2、表-3に示す。

表-2 フィルター基準値の算出結果

原土材 フィルター材	B _H			B _{NS}		
	F ₅	F ₇	F ₁₂	F _{G0.8}	F _{G1}	F _{G2}
D ₁₅ /d ₁₅	2.169	2.732	5.914	2.684	3.190	5.358
D ₁₅ /d ₈₅	1.364	1.718	3.719	1.311	1.558	2.617
D ₅₀ /d ₅₀	2.251	3.068	5.691	1.901	2.750	4.184
D ₆₀ /D ₁₀	1.532	1.589	1.261	1.217	1.598	1.345

表-3 フィルター基準検討結果

フィルター材	原土材	透水性	原土材の流入・流出	フィルターとして適切か
F ₅	B _H	不足	流入・流出しない	不適切である
F ₇	B _H	不足	流入・流出しない	不適切である
F ₁₂	B _H	確保	流入・流出しない	適切である
F _{G0.8}	B _{NS}	不足	流入・流出しない	不適切である
F _{G1}	B _{NS}	不足	流入・流出しない	不適切である
F _{G2}	B _{NS}	確保	流入・流出しない	適切である

これより、原土材をB_Hとするフィルター材F₅、F₇、F₁₂においては、どのフィルター材も原土材の流入および流出の危険性はない。透水性においては、F₁₂だけが基準内の透水性を確保しており、F₁₂がフィルター材として適切であった。次に原土材をB_{NS}とするフィルター材F_{G0.8}、F_{G1}、F_{G2}においては、これも同様に、どのフィルター材も原土材の流入および流出の危険性はない。透水性においては、F_{G2}だけが基準内の透水性を確保しており、F_{G2}がフィルター材として適切であった。これをふまえ実験を行った。

4. 透水実験における目詰まり発生の有無

透水実験の結果を図-4～図-6に示す。横軸にはフィルター材に作用する動水勾配をとり、縦軸には流速を示す。なお、図中の*i*はその時点での原土材に作用する動水

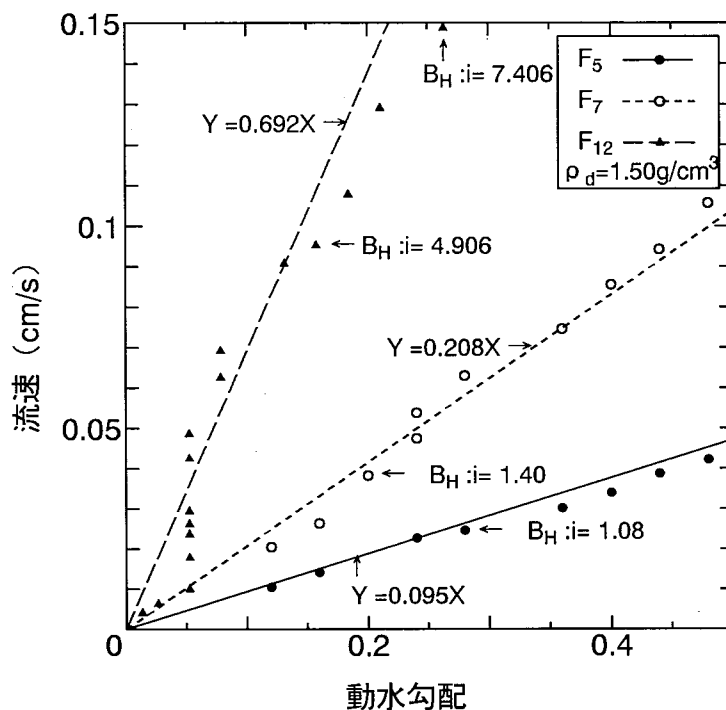


図-4 各フィルター材の透水性低下の比較

勾配を、実線と破線の傾きは透水係数低下以前の平均透水係数を示している。

原土材が B_H の場合、図-4より、 F_5 、 F_7 はあまり透水性の低下が現れず、原土材の流出も確認できなかった。それに対し、 F_{12} は初期において動水勾配のばらつきが確認されるが、原土材の動水勾配が1より大きい ($i > 1$) ときに、フィルター材の透水性が低下しているのが確認できる。

次に原土材が B_{NS} の場合、図-5より、 $F_{G0.8}$ は透水性の低下が確認できない。しかし、実験中においてフィルター内を流れ出た水が変色（濁る）したため、原土材がフィルター内へ侵入したものと考えられるが、透水性を低下させるまでには至らなかった。一方、 F_{G1} 、 F_{G2} は原土材の動水勾配が1より大きい ($i > 1$) ときに、透水性の低下が確認できる。また、これらもフィルター内を流れ出た水が変色したため、原土材がフィルター内へ侵入したと考えられる。これより、原土材の動水勾配が流動可能な状態である限界動水勾配を越えてから、目詰まりが起り、透水性が低下するものと考えられる。すなわち負荷する動水勾配（流速）の大きさが目詰まりに影響することを示している。

一方、フィルター材の乾燥密度に視点をおいてみると、図-6より、乾燥密度が小さいほど透水性の低下が著しいことがわかる。よって、同じ粒度分布の試料であっても、密度の違いが目詰まり状況に影響を与えていると考えられる。

実験の結果、従来のフィルター基準による原土材の流入および流出しないという評価は過小評価になる危険性があると示された。

5. 間隙径と粒度分布との関係

次にフィルター材の間隙径と原土材の粒径を比較するため、水銀圧入法及び透気試験によりフィルター材の間隙径分布と平均間隙径を測定した。

図-7は F_{G2} の間隙径と B_{NS} の粒径の関係をわかり易くするため、フィルター材と原土材のみかけ

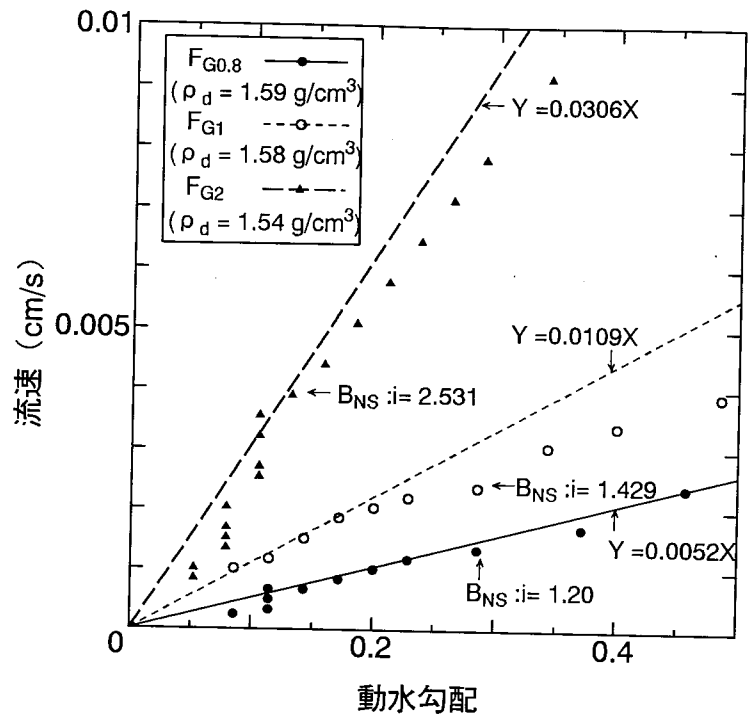


図-5 各フィルター材の透水性の比較

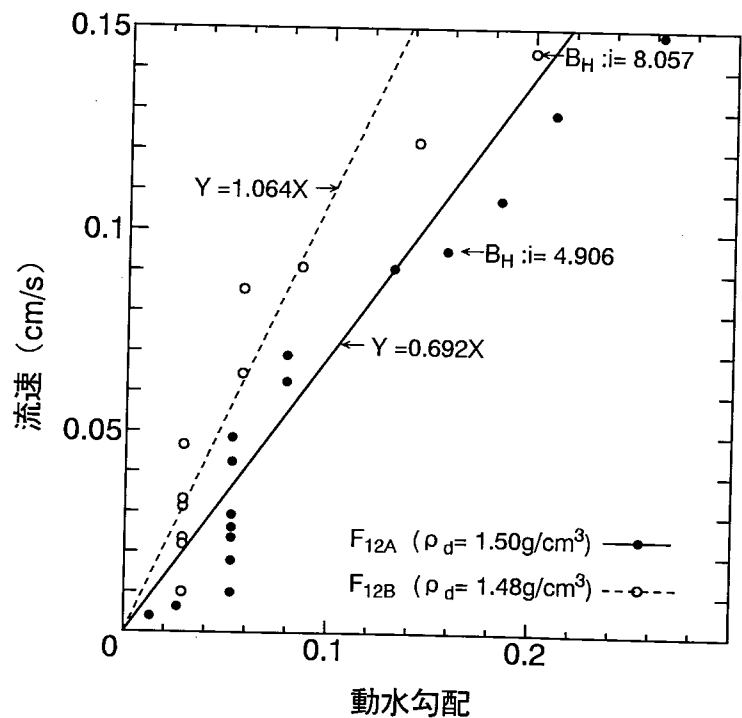


図-6 乾燥密度における透水性低下の比較

【論文集の訂正】 講演番号14: 題目「フィルター材における目詰まり機構」(杉井他)

図-7, 図-12, 表-4および6枚目めの文章上から4行目~8行目の訂正のため差し替えます。

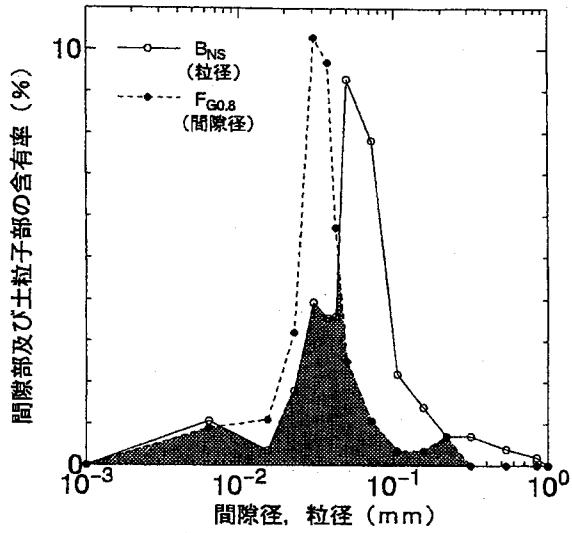


図-7 フィルターの間隙部と原土の土粒子部の割合比較

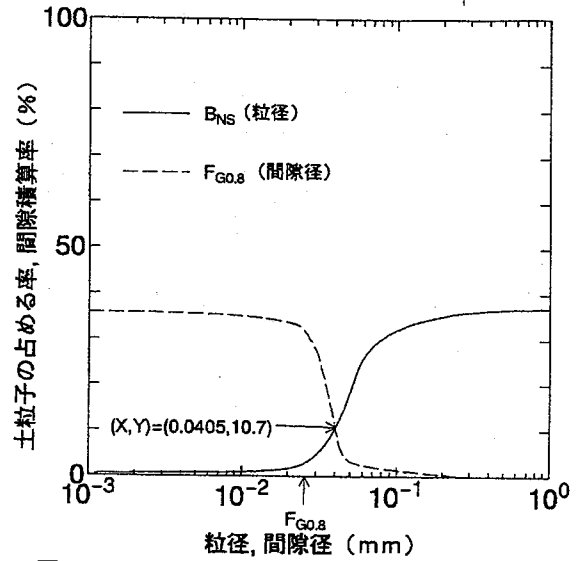


図-8 フィルター材の間隙径と原土材の粒径の関係

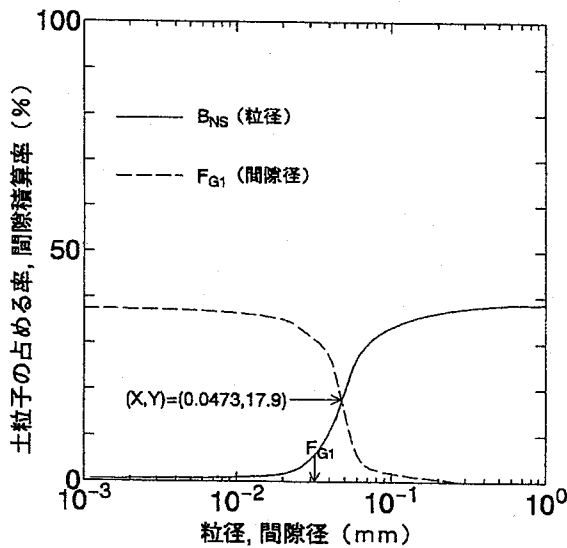


図-9 フィルター材の間隙径と原土材の粒径の関係

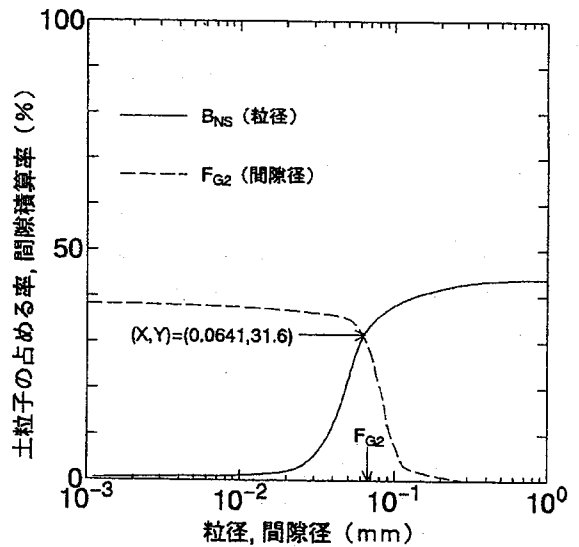


図-10 フィルター材の間隙径と原土材の粒径の関係

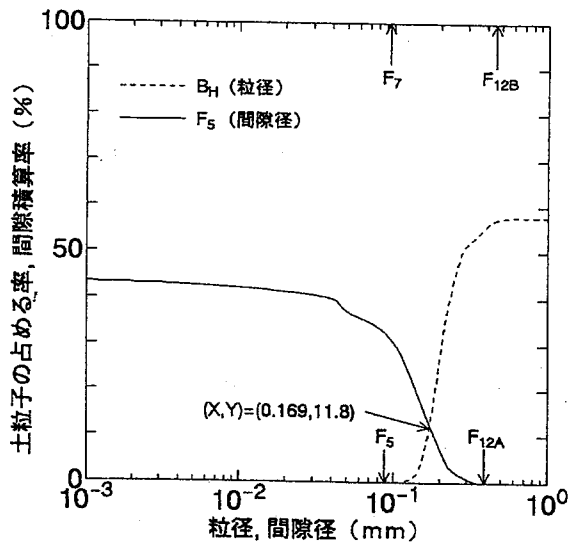


図-11 フィルター材の間隙径と原土材の粒径の関係

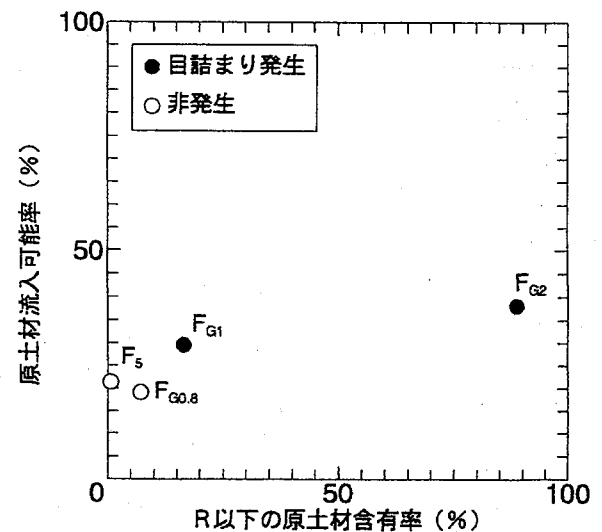


図-12 R以下の原土材含有率における流入可能量

表-4 平均間隙径以下の原土材の含有率

フィルター材	原土材	平均間隙径 R (μm)	R以下の原土材の 含有率 (%)	フィルター内流 入可能率 (%)	透水実験によ る目詰まり
F ₅	B _H	87.8	0.6	21.4	×
F ₇		93.9	1.5	-	×
F _{12A}		389.0	98.2	-	○
F _{12B}		485.0	100.0	-	○
F _{G0.8}	B _{NS}	25.5	7.1	19.1	×
F _{G1}		32.1	16.5	29.7	○
F _{G2}		66.8	88.8	38.3	○

(○：目詰まり発生， ×：目詰まりなし)

の接触断面（透水管断面）におけるフィルター間隙部及び原土の土粒子部の割合を粒径、間隙径に対して示したものである。ここで、フィルター材へ流入する可能性があるのは、図中のハッチで示した面積部分の原土材であることがいえ、これを透水管断面当たりの流入可能率とよぶことにする。なおこの面積（流入可能率）は図-7の粒径と間隙径の交点（X座標値）を積算した分布図（図-8）にあてはめ、そのときのY座標値から求めたものである。そこでF_{G1}、F_{G2}、F₅についても同様に図-9、10、11に示し、透水管断面当たりの流入可能量を求めた。また、フィルター材の平均間隙径以下の原土材の含有量を原土材の粒度分布より求めた。矢印は透気試験により求めた平均間隙径の位置を示す。なおF_{12A}、F_{12B}は透水係数から求めた平均間隙径である。

両者の結果とその透水試験の目詰まりによる透水性低下の有無を表-4及び図-12に示す。この図表より、流入可能率及び平均間隙径以下の原土材の含有量がある一定値を超えると目詰まりの可能性が高いことが得られており、間隙径と粒径の関係が目詰まりに多大な影響をもつことがわかる。

6. あとがき

本実験で得られた知見を以下にまとめる。

- 1) フィルター材の透水性の低下（目詰まり）は、原土材の動水勾配が限界動水勾配に達した後に発生しており、負荷する動水勾配（流速）の大きさが目詰まりに影響する。
- 2) フィルター材が同じ粒度分布であっても、密度が小さいほど透水性の低下が著しい。
- 3) 粒度のみによる評価は過小評価になる危険性がある。
- 4) 透水管断面当たりの流入可能率及び平均間隙径以下の原土材の含有量が多いほど目詰まりが起こる可能性が高い。

今後、原土材のフィルターへの流入量と透水係数の低下率（目詰まりの程度）との関係について検討を進めていく予定である。

【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) 宇野尚雄・杉井俊夫・神谷浩二：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No.469/Ⅲ-23，pp.25-34,1993
- 5) 杉井俊夫・神戸知治：間隙情報からみたフィルター評価，土木学会中部支部研究発表会概要集，pp.335~336
- 6) 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講演集（発表予定），1995