

II-98

2 階床直接汙過における粗大汙材の汙過特性

室蘭工業大学 学生員 上田 浩伸
 室蘭工業大学 正 員 穂積 準
 室蘭工業大学 正 員 吉田 英樹
 室蘭工業大学 学生員 N. B. TOZAN Michel

1. はじめに

筆者らは高濁度原水に対応し得る直接汙過法として粗大汙材一砂2階床直接汙過法を採り上げ、既報^{1~5)}において粗大汙材の濁質抑留能力やその汙過継続時間の延長効果、濁質抑留能力の砂粒径による相違、損失水頭と汙過水濁度の許容限度からみた2階床直接汙過と単床直接汙過の最適砂粒径と最適砂層厚等について報告した。本報告は、粗大汙材に着目し、その濁質除去特性を表す指標である汙過係数を種々の条件下で求め、粗大汙材の汙過特性について検討したものである。

2. 実験装置と方法

実験装置は図-1に示すようである。粗大汙材層の汙過係数を求めるため、汙過装置本体(カラムA)には粗大汙材を層厚15cm、8層に分割充填し、種々の厚さにおける汙過水濁度を測定し得るようにした。汙過筒の直径は7.5cmである。粗大汙材は内径2mm、外径4mm、長さ6mmの塩化ビニルチューブを半円筒状に切断したものをを用いた。粗大汙材の比重は1.12、充填時の空隙率は45%である。実験は直接汙過法によった。濁質として市販のカオリン、凝集剤として硫酸アルミニウムを用い、原水濁度、ALT比及び汙過速度を所定値に調整した後、清水を満した汙過筒内に濁質を流入させる。次いで、所定時間毎に各層からの汙過水を採取し、濁度を測定する。実験は汙過継続時間が24時間経過した時点で終了するものとした。実験終了後は逆流洗浄により汙層を洗浄し、再び実験を行う。なお、2階床直接汙過の実験装置(カラムB、C)、方法は既報²⁾に示したとおりである。

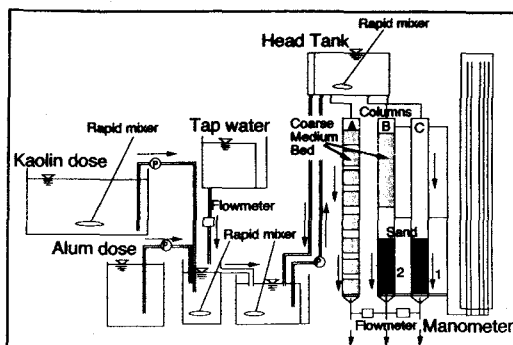


図-1 実験装置概略図

3. 実験結果及び考察

i) 損失水頭の発現からみた粗大汙材層の汙過特性

図-2、3は単床、2階床の汙過水濁度と損失水頭の経時変化を原水濁度20mg/l、ALT比0.05、砂粒径0.71~0.85mm、汙過速度240

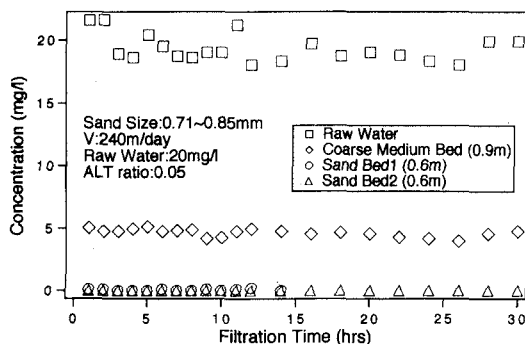


図-2 ろ過水濁度の経時変化

Characteristics of Coarse Media in Two Story Direct Filtration

by Hironobu UEDA, Hitoshi HOZUMI, Hideki YOSHIDA and N. B. TOZAN Michel

m/day の場合を例にとって示したものである。許容損失水頭 2.5 m に達するまでの汙過継続時間は単床汙過（単独砂層）では 14 時間であるが、2 階床汙過（粗大汙材層 + 砂層）では 30 時間で、単床汙過の 2 倍以上にも汙過継続時間が延長される。2 階床汙過では粗大汙材層で原水濁度のほぼ 80 % が除去されるにもかかわらず、この場合の汙過終了時における粗大汙材層の損失水頭は全損失水頭の 5 % にも満たず、10 cm 程度と極めて小さい。このような粗大汙材層の汙過作用により、砂層に流入する濁度が著しく低減され、2 階床の砂層の損失水頭は単床に比べて著しく小さくなり、許容限界値に達するまでの汙過継続時間が大幅に延長される。

粗大汙材層の低損失水頭下における濁質抑留機構は模式的に図-4 のように考えられる。粗大汙材層の空隙は半円筒状の空隙 A（空隙率 25 %）と、その他の空隙 B（空隙率 20 %）の 2 つからなり、空隙 A のほとんどは損失水頭に影響を及ぼさないポケットを構成している。また、空隙 B の一部も同様のポケットを構成しているものと考えられる。粗大汙材層の濁質抑留は主として空隙 A で進行し、損失水頭は濁質抑留に関係なく汙過継続期間中はほぼ一定の小さな値を示す。

一方、砂層の濁質抑留機構は模式的に図-5 のように考えられる。砂層の空隙は、空隙 B のみからなり、粗大汙材層に比して模式図（図-5）に示すように、数多くの狭窄部が存在する。砂層では濁質抑留に伴い狭窄部の閉塞が起りやすく、空隙 B のポケットが有効に利用されない状態、つまり濁質抑留能力を保持した状態で残存し、その部分への流れは他の狭窄部へ向かう。そのため損失水頭は濁質抑留に伴って著しく増大する。

ii) 粗大汙材層の汙過係数

図-6 は粗大汙材層の汙過水濁度の経時変化を原水濁度 40 mg/l、汙過速度 120 m/day、ALT 比 0.02 の場合を例にとって示したものである。この場合の各汙層深さからの流出濁度は汙過継続期間中変化せず、ほぼ一定であった。

図-7 は図-6 と同一条件下における、深さ方向の濁度変化を種々の汙過継続時間毎に片対数グラフにプ

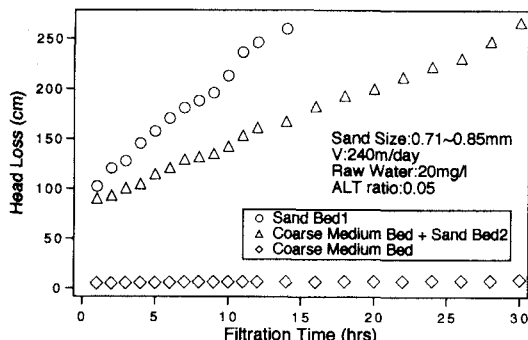


図-3 損失水頭の経時変化

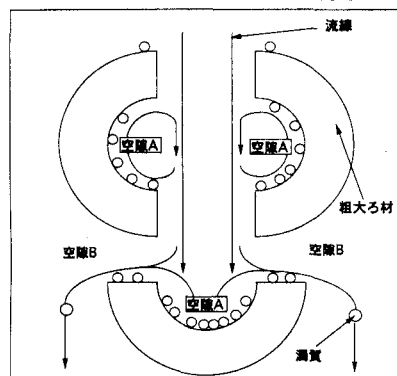


図-4 粗大汙材層の濁質抑留機構の模式図

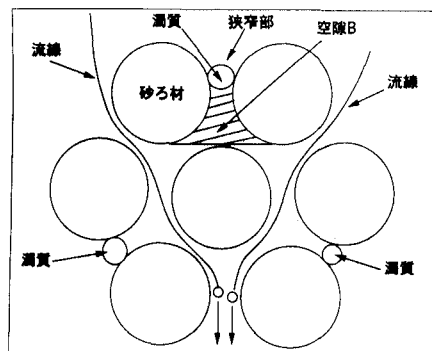


図-5 砂層の濁質抑留の模式図

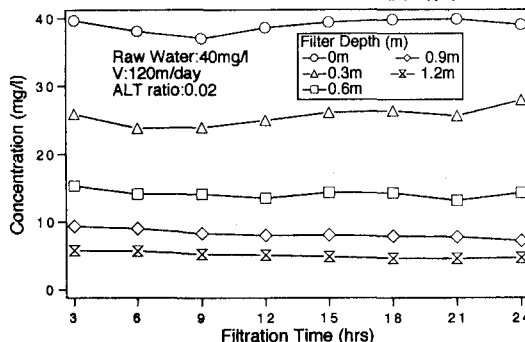


図-6 ろ過水濁度の経時変化

ロットしたものである。深さ方向の濁度変化の片対数プロットは直線近似でき、岩崎の式⁶⁾〔式- (1)、及び式- (2)〕から直接、汙過係数を求めることができる。

$$\frac{dC}{dZ} = -\lambda C \quad (1)$$

$$\ln \frac{C}{C_0} = -\lambda Z \quad (2)$$

ここで、 C : 濁度 (mg/ℓ)、 Z : 汙層厚 (m)、 λ : 汙過係数 ($1/\text{m}$)、 C_0 : 原水濁度 (mg/ℓ)

図-7から、粗大汙材層の汙過係数は汙過継続時間によらず、ほぼ一定で濁質抑留量によって変化しないものと考えられる。

通常の砂汙過における砂層の汙過係数は I V E S⁷⁾ が提唱したように濁質抑留量の増大と共に、すなわち汙過継続時間と共に変化するので砂層の汙過係数、もしくは式- (1)、(2)を実装置の設計に応用することは極めて困難である。それに対し、粗大汙材層の汙過係数は汙過継続期間中一定であるので式- (1)、(2)に基づいた実装置の設計が可能である。

図-8、9はそれぞれ原水濁度 $40 \text{ mg}/\ell$ 、及び $60 \text{ mg}/\ell$ での粗大汙材層の汙過係数を汙過速度別に ALT比に対してプロットしたものである。汙過係数は ALT比の増大と共に増大し、ある ALT比で最大となり、ALT比がそれ以上の過剰注入では汙過係数は減少する。最大の汙過係数の発現する ALT比は汙過速度によっては変化しない。また、粗大汙材の汙過係数は高汙過速度になるにつれて小さくなり、その減少割合はしだいに緩やかになる。

図-10は一定の汙過速度 $120 \text{ m}/\text{day}$ における粗大汙材の汙過係数を原水濁度別に ALT比に対してプロットしたものである。最大の汙過係数が発現する ALT比は原水濁度により異なるが、過剰注入に至るまでの汙過係数と ALT比の関係は原水濁度によらず一定である。

図-11は最大の汙過係数が発現する ALT比と原水濁度の関係を示したものである。この ALT比は原水濁度の増大と共に小さくなり、その減少割合はしだいに緩やかになる。

図-12はそれぞれの原水濁度における最大の汙過

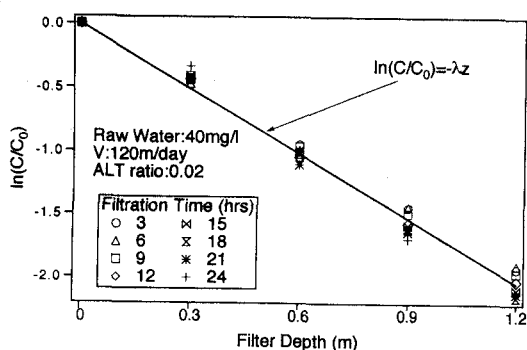


図-7 $\ln(C/C_0)$ とろ層深さの関係

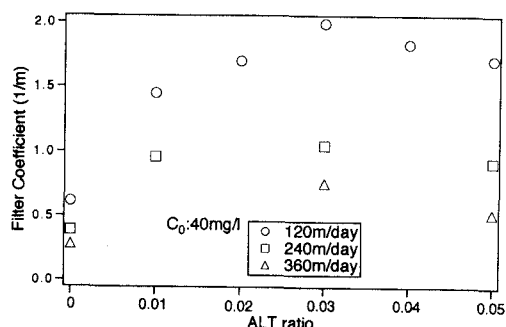


図-8 ろ過係数とALT比の関係 (原水 $40 \text{ mg}/\ell$)

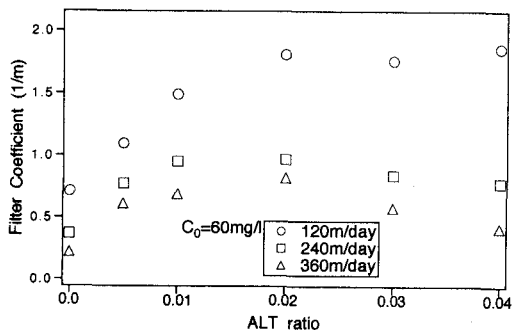


図-9 ろ過係数とALT比の関係 (原水 $60 \text{ mg}/\ell$)

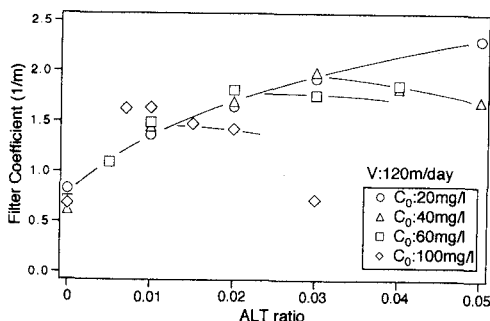


図-10 ろ過係数とALT比の関係 ($V: 120 \text{ m}/\text{day}$)

係数をろ過速度別にプロットしたものである。最大ろ過係数は原水濁度の増大と共に小さくなり、その減少割合はしだいに緩やかになり、ほぼ一定となる。また、最大ろ過係数は、図-8、9と同様に高ろ過速度になるにつれて小さくなり、その減少割合はしだいに緩やかになる。

iii) 粗大ろ材層における既抑留濁質の剥離

図-13は粗大ろ材層のろ過水濁度の経時変化を原水濁度100mg/ℓ、ろ過速度360m/day、ALT比0.01の場合を例にとって示したものである。この場合の各ろ層深さからの流出濁度はろ過継続9時間まではほぼ一定で、その後急激に上昇し、ろ過継続12時間以降再び一定値となり、ろ過前期、後期の2群の濁度分布を示す。ろ過後期の濁度上昇は、既抑留濁質の剥離によるものと考えられる。本実験で剥離の生じたケースは、ろ過速度360m/day、原水濁度60mg/ℓ以上で、凝集剤注入量が最大のろ過係数を与えるALT比付近の場合である。

図-14は図-13と同一条件下における深さ方向の濁度変化を種々のろ過継続時間毎に片対数グラフにプロットしたものである。深さ方向の濁度変化の片対数プロットはろ過の前期と後期の2つの直線で近似できる。この結果より、式-(1)、及び式-(2)のろ過方程式は既抑留濁質の剥離項を付加して次のように表すことができる。

$$\begin{aligned} \frac{dC}{dZ} &= -\lambda C + \phi(\sigma) \\ &= -\lambda C + \lambda' C \\ &= -(\lambda - \lambda') C \end{aligned} \tag{3}$$

$$\ln \frac{C}{C_0} = -(\lambda - \lambda') Z \tag{4}$$

ここで、 $\phi(\sigma)$: 剥離関数 (mg/ℓ/m)、 σ : 濁質抑留量 (mg/mg)、 λ' : 剥離係数 (1/m)
 $\lambda - \lambda'$: 剥離現象を考慮したみかけのろ過係数 (1/m)

図-15は粗大ろ材層のろ過係数の経時変化の模式図である。粗大ろ材層のろ過係数はろ過初期からはほぼ一定でろ過の進行に伴い、濁質抑留量がある値に達し

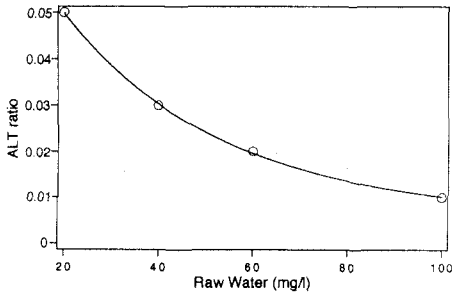


図-11 各原水濁度で最大のろ過係数を得るALT比

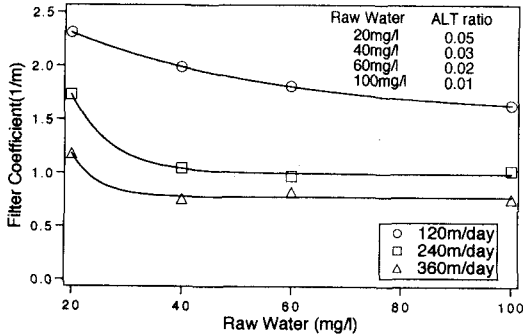


図-12 各原水濁度における最大のろ過係数

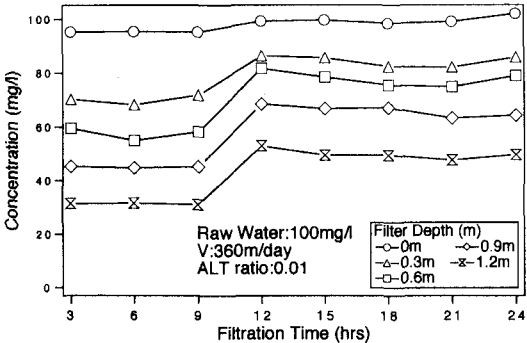


図-13 ろ過水濁度の経時変化

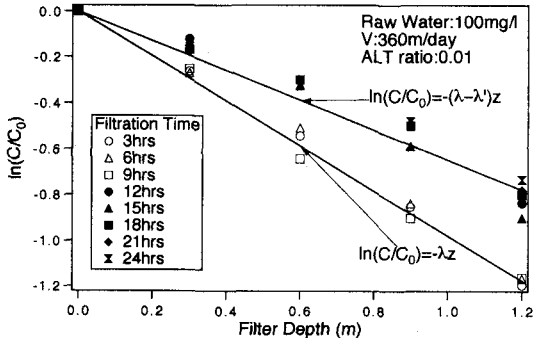


図-14 $\ln(C/C_0)$ とろ層深さの関係

た時点で急激な剥離が生じ、これによって一定の濁度上昇がもたらされ、滲過後期の滲過係数はみかけ上、小さくなる。低滲過速度、低原水濁度の場合は流入濁質量は小さいため、滲過継続24時間では剥離はほとんど生じていないものと考えられる。

図-16は滲過速度が360m/dayで剥離の生じない滲過継続時間をALT比に対してプロットしたものである。原水濁度が60、100mg/lいずれの場合も、この滲過継続時間は滲過係数が最大となるALT比、それぞれ0.02、0.01で最も短くなる。これは最大の滲過係数を得るALT比付近では、凝集効率が良好なため濁質フロックの粗大化により滲層の濁質抑留体積が大きく、他の条件より剥離現象が生じやすいためであると考えられる。

図-17は図-16と同一条件下での、前期と後期の滲過係数をALT比に対してプロットしたものである。後期の滲過係数は前期に比して、原水濁度が60mg/lの時は16%～33%、原水濁度が100mg/lの時は24%～34%程度減少し、原水濁度が大きいほど滲過係数に大幅な変化が生じる。なお、前節で示した滲過係数は、滲過継続24時間における平均値である。

図-18、19は剥離現象のある場合の、それぞれ原水濁度60、及び100mg/lの滲過前期と後期の流出濁度と滲層厚の関係をALT比別に示したものである。粗大滲材層厚を0.9mとすると、滲過水濁度は前期と後期では原水濁度が60mg/lの場合は、ALT比0.02で3.6mg/l(13%)～ALT比0.03で7.5mg/l(24%)、原水濁度が100mg/lの場合では、ALT比0.007で9.3mg/l(20%)～ALT比0.01で14.4mg/l(35%)程度異なる。滲過係数の変化による前期と後期の流出濁度の差は滲層が厚くなれば無視し得るほど小さくなるが、通常用いられるであろう粗大滲材層の滲層厚1m程度では、この条件では流出濁度の差が大きく無視できない。

4. まとめ

2階床直接滲過における粗大滲材層の低損失水頭下における濁質抑留機構と滲過継続時間延長効果、並び

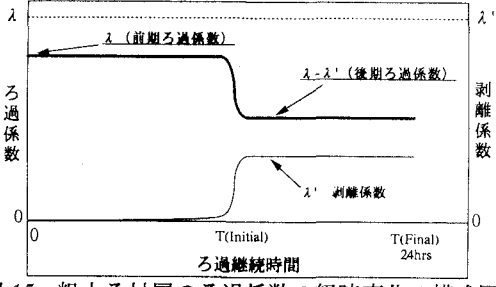


図-15 粗大材層のろ過係数の経時変化の模式図

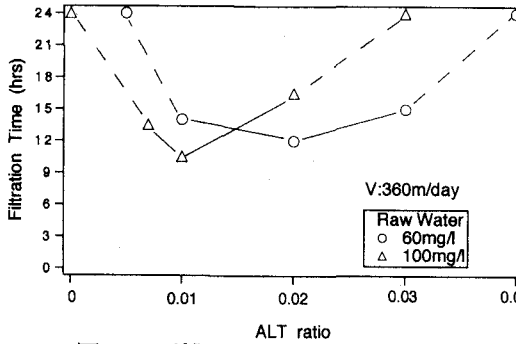


図-16 剥離の生じないろ過継続時間

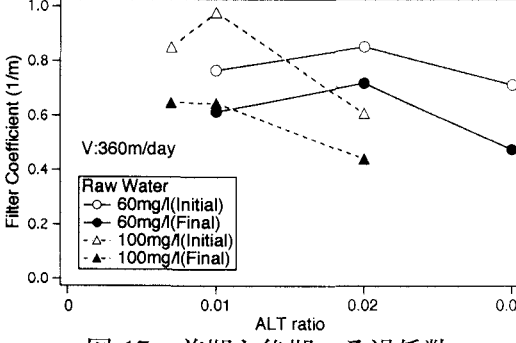


図-17 前期と後期のろ過係数

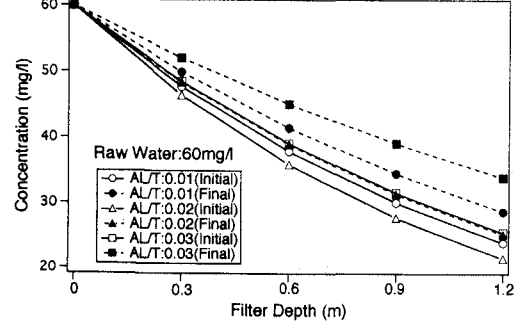


図-18 前期と後期のろ過水濁度(原水60mg/l)

に粗大汙材層の汙過係数、及び粗大汙材層における既抑留濁質の剥離について検討を加え以下の結果を得た。

(i) 粗大汙材層の損失水頭がその極めて高い濁質除去特性に比して極めて小さいのは、主に損失水頭の発生しない部分への濁質抑留が進行するためである。このような粗大汙材層の汙過作用により2階床汙過の汙過継続時間は単床汙過に比して著しく延長される。

(ii) 粗大汙材層の汙過係数はあるAL/T比で最大となり、汙過速度の増大と共に汙過係数は小さくなる。

(iii) 最大の汙過係数を得るAL/T比は原水濁度の上昇に伴い減少し、その時の汙過係数も小さくなる。また、最大の汙過係数を得るAL/T比は汙過速度によって変化しない。

(iv) 粗大汙材層では高汙過速度(360m/day以上)、高原水濁度(60mg/l以上)の場合、ある凝集条件下で既抑留濁質の剥離が生じる。

(v) 粗大汙材層の汙過係数は濁質抑留量によって変化しない。剥離現象のある場合は、汙過の前期と後期で汙過係数が異なる。

(vi) 粗大汙材層の濁質抑留モデルを提示した。

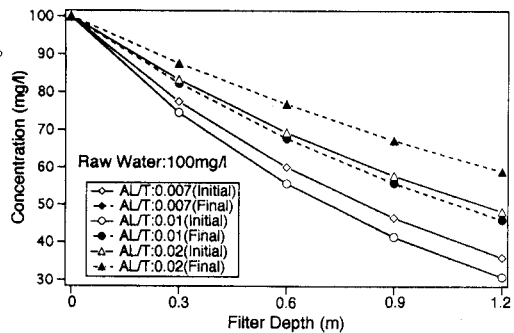


図-19 前期と後期のろ過水濁度(原水100mg/l)

参考文献

- 1) 上田浩伸、穂積準、吉田英樹：2階床直接汙過に関する基礎的研究、土木学会第47回年次学術講演会、p. 864 (平成4. 9)
- 2) 上田浩伸、穂積準、吉田英樹：2階床直接汙過における最適砂粒径、土木学会支部論文報告集、第49号、p. 667 (平成5. 2)
- 3) 上田浩伸、穂積準、吉田英樹、N. B. TOZAN MICHEL：2階床直接汙過における最適砂層厚、土木学会第48回年次学術講演会、p. 1240 (平成5. 9)
- 4) N' GUESSAN BI TOZAN Michel, Hitoshi HOZUMI, Hideki YOSIDA, Hironobu UEDA: CHARACTERISTICS OF A DUAL-MEDIA FILTER IN DIRECT FILTRATION PROCESS, The 49th Annual Conference of JSCE-Hokkaido branch, 02.93
- 5) N' GUESSAN BI TOZAN Michel, Hitoshi HOZUMI, Hideki YOSIDA, Hironobu UEDA: Evaluation of Filter Coefficient of Coarse Media in Direct Filtration Process, The 44th Annual Conference of Japan Water Works Association, 05.93
- 6) IWASAKI, T.: Some notes on sand filtration, JAWWA:29:1591:1937
- 7) IVES, K. J.: The scientific basis of filtration, ASI, Noordhoff-Leyden-1975