

砂濾過池の濾過機能について

正員 岩井 四郎*

FILTERING FUNCTION OF THE SAND FILTER—BED

(JSCE Jan. 1951)

Shiro Iwai, C.E. Member

Synopsis By this time, the cleaning function of the sand filter-bed has been generally understood to be dependent upon the character of the Schmutzdecke only i, e, the rate of filtration is dependent upon the same one only.

But practically, although there are the natural Schmutzdecke and the artificial one, the characters of the Schmutzdecke are not different so much in each category and therefore the difference of the rate of filtration is due to the physical character of the suspended matter itself to be held by the Schmutzdecke.

The fact that the rate of filtration of the Rapid Sand Filter-bed is very much higher than that of the Slow Sand Filter-bed, is easily and rationally explained by the Author's opinion that the suspended matters coming into the Slow Sand Filter-bed are in their original physical state whereas the suspended matters coming into Rapid one are in the secondary state of flocs of which physical character is very much larger than that of the original matters.

According to the above principle, the fundamental element for deciding the rate of filtration should be the very physical character of the suspended matters coming into the Filter-bed.

緒言 上水道における実用浄化法は砂濾過池を中心とした濾過法が一般である。砂濾過池単独で適用されてもかまわないけれども、総合的な浄化能率をあげるために洗滌と組合せて適用されるのが普通である。従来、濾過法に対する浄化機能の根本理論が不徹底のために、緩速濾過池、急速濾過池の計画、設計ともに因習的に流れ、その運営に誤解を生じがちであつた。これは上水道運営にとつて、その浄化目的が保健衛生にある以上、由々しい問題であり、早急に解決さるべき問題であるにも拘らず、本邦において本質的に究明せんとするこの濾過浄化機能の根本理論の少きを遺憾とするものである。かゝる意味に於て本稿はしばしば耳にする誤解の多い然も重要な問題につき解説を試みたもので、いさゝかでも御参考になれば幸甚である。

1. 濾過膜生成の過程と濾過膜の性能

(1) **自然濾過膜** 原水に何等人為的に化学的な変化を与えず自然のままのできる濾過膜を自然濾過膜といふ、緩速濾過池の濾過膜はこれに属する。原水が砂濾過層を通過すると原水中の浮游物が濾過層によつて抑留除去され、清浄となる理由としては濾過層表面にできる濾過膜の抑留性だけによる説と、濾過層全体に抑留性があるという説とがある。殊に近来は後者の説が強調されている。

この抑留浮游物の種類はいろいろあつて、有機無機

の一般浮游物はもちろん、原生動物、藻類及び細菌もある。抑留浮游物は当初は機械的に砂層表面附近で抑留されたのであるが、抑留中に微生物が主体となつて生物化学作用が起り、一種の粘膜ができる。さらにこの粘膜は質が緻密で吸着力が強く、物理化学作用或は生物化学作用が育生されてくるとついに砂粒全体を包み、所謂膠状被膜 (gelatinous coating) をつくるに至る。

濾過層の深部では砂粒の一角に粘膜ができるかできない程度であるが、浅部では砂粒を全く包む膠質被膜の程度となり、濾過層表面ではさらに各砂粒の膠状被膜を互に密着して層全面にわたつて、砂粒間の間隙を全部粘膜で埋めるばかりでなく、砂層の上にも粘膜をつくり、濾過層表面はまったく膠状の膜を形成してくるに至る。斯かる濾過層の上層部にできる膠状の膜が一般に濾過膜といわれている。濾過層内の汚染度の分布状態を調べればわかることであるが、原水中の浮游物の抑留作用はいわゆる濾過膜だけでなされるのではなく、理論上は濾過層全深にわたると考えるのが妥当であろうが、濾過作業上からいへば、濾過膜生成初期において浮游物が濾過層深部に侵入することを防がねばならない。

もともと濾過膜が十分に発育すれば、この濾過膜だけで原水中の浮游物は実用上差支えない程度に除去できる。すなわち実用上は濾過池の浄化機能は濾過膜であるといえる。

* 建設省都市局水道課長

(2) **人工濾過膜** 原水に凝集剤を加え、化学作用を起させ、この化学作用が主力となつてできる濾過膜を人工濾過膜という。急速濾過池の濾過膜がこれに属する。

凝集剤の種類、注入率及び混和時間、方法がその原水に対して適当であれば、原水中の浮游物の大部分或は全部凝塊に吸着され、原水中に浮游しているものは凝塊だけか或は殆どこれに近い状態となる。

急速濾過池においては、この凝塊の物理化学的作用が主体となつて、自然濾過膜と同様の過程で濾過膜を形成する。

凝塊は濾過池にくる迄に化学作用は終了していると考えられ、人工濾過膜は凝塊が砂層表面近く及び表面上で、物理的に堆積或は吸着してできるものと考えられる。

微生物の生物化学作用の正態については明らかでないが、上水道における濾過膜生成といふ、汚水処理における酸化還元といふ、人工的な化学作用に比べて非常に大なるエネルギーを提供するものゝようである。

したがつて、微生物の生物化学作用を主体とした自然濾過膜に比べて、凝塊の物理的堆積を主体とした人工濾過膜は、その組織も性能もむしろ劣るものと考えられる。

斯く濾過膜の組織も性能も劣るに拘らず、3~5m/dの緩速に比して120m/dの如き急速にて濾過し得る理由は、すなわち浮游物の原形を一次とすれば、これを凝集作用によつて二次浮游物(凝塊)の如く被濾過物を濾過され易い物理的形質をもつたものに変えているからに外ならない。

(3) **濾過膜の性能** 濾過膜の性能とは濾過膜が原水中の浮游物を捕捉抑制する能力をいふ、抑制できる浮游物が微細なほど濾過膜の性能は高く、抑制できる浮游物の最小限度の大きさが大きいほど濾過膜の性能は低いといえる。濾過膜が浮游物を捕捉抑制する能力は濾過速度によつて異なる。すなわち濾過膜の性能は濾過速度と総合的に考えねばならない。濾過速度を特定の濾過速度についていえば、濾過膜の性能はその濾過膜によつて抑制できる浮游物の種類すなわち物理的形質の大小に逆比例してその高低が評価される。こゝでいう物理的形質とは大きさ及び吸着性を意味しており、形の大なるもの及び吸着性の大なるものは物理的形質が大ということである。

したがつて濾過膜の性能は濾過膜を通過し、濾過水中に残留する浮游物の種類すなわち物理的形質の大小によつて定まり、通過浮游物の量には関係がないといえる。特定濾過速度においては特定濾過膜の性能

すなわち抑制される浮游物の物理的形質の最小値は定まる。

この最小値以下の形質をもつ浮游物は濾過水中に残留する。したがつてこの濾過水中に残留する浮游物の量如何は、もともと原水中にこのような微細浮游物がいかほどあるかにかゝっている。つまり濾過水中に残留する浮游物の量は、本質的には原水中の浮游物の総量に関係しているのではなく、実に原水の浮游物中のその物理的形質が特定限度以下である浮游物の量そのものである。したがつて理論上嚴格な意味では、濾過水中に残留する浮游物の絶対量で或は浮游物の抑制除去率で、直ちにその濾過膜の性能を比較判定することは妥当ではない。しかし現実には同一水源においては、原水中にある浮游物の総量は時により変化はあつても、その浮游物中で夫々異なる、ある範囲内にある物理的形質の浮游物の量的割合は大体同じであるとみなされる。すなわち浮游物の総量が多ければ微細なものも多くなり、特定濾過速度においては特定濾過膜で抑制される浮游物の量と濾過膜を通過する浮游物の量的割合、すなわち除去率は、原水中の浮游物の総量の如何にかゝらず大體似たものであるといふことができる。したがつてもしも浮游物除去率が欠ければ、濾過膜の抑制する浮游物の物理的形質の最小限度が低いため抑制除去した量及び割合が多くなつた結果を意味しているのであるから、濾過膜の性質は大であるといふことができる。しかし水源を異にし、したがつて原水中の浮游物の分布状態が著しく異なる場合の濾過膜の性能の比較は、浮游物の除去率をもつてすることは妥当ではない。濾過膜の性能を比較するには、理論上は濾過水中に残留する浮游物の物理的形質の最大値によるべきであるが、これを數的にあらわすことは今のところ不可能である。しかし現実には育成された濾過膜の性能には、今のところ絶対値をもつていふ表わすことが出来ないが、その生成過程が同じである以上大差なきものと取扱つて差支へないと考えられるが、自然濾過膜及び人工濾過膜ともそれぞれ育成された濾過膜の性能は大體同じであるといえる。

なほ濾過膜の性能は前述の如く、濾過速度と密接な関係がある。濾過膜の性能は、濾過膜を通過する浮游物中の物理的形質の最大値によつて表わされ、通過する浮游物の量で表わされるのでないが、濾過速度を大にすると、その最大値は大となり、濾過速度を小にすればその最大値は小となる。すなわち濾過膜の性能は、たゞ濾過速度との関係においては、濾過速度をかえるとその濾過速度に逆比例して間接的に濾過膜の性能は上下する。したがつて濾過膜の性能の絶対値は知

ることができなくても、特定濾過速度における濾過膜の性能を判定することによつて間接的に濾過膜の絶対性能を知ることになり、また実用上はそれで十分である。すなわち実用上濾過膜の性能についていう場合は、必ず特定濾過速度においてという条件が必要である。

2. 濾過効果

上水道における濾過の目的は濾過によつて原水中の浮游物を捕捉抑留し、濾過水中に残留する浮游物を皆無或は恕限内におさめることである。したがつて濾過にとつては濾過の成績、すなわち濾過効果如何が重要なことである。今濾過するも濾過水中に残留する浮游物の絶対量を濾過残量という言葉をもつて表わすとすれば、濾過残量が小なる程、濾過効果はよいのであるから、濾過にとつて重要なことは濾過残量如何であつて、濾過膜の性能如何ではない。もちろん濾過膜の性能が大であれば濾過残量は比較的小となるが、その絶対量が恕限度以上では困る。濾過膜の性能が小であつても濾過残量が恕限度内にあれば差支えない。

したがつて、原水中に浮游物がもともと多く、特定濾過速度において、濾過膜を通過する濾過残量が多い時には、濾過速度を落して間接的に濾過膜の性能を増大して、抑留浮游物の物理的形質を下げて、抑留浮游物の量を増し、濾過残量を恕限度以内まで減ずる方法を講ぜねばならない。

反対に原水中に微細な浮游物が少く、或は浮游物が何かの原因で形が変えられ（例へば凝集作用によつて二次浮游物の形になつたもの）濾過残量が少いか全然無い時は濾過残量が現れ始める迄、或はその濾過残量が恕限度に達する迄濾過膜の性能を下げるとかまた濾過速度を増大して間接に濾過膜の性能を下げてよい。急速濾過機能の本質はこゝにあることは人工濾過膜のところでも述べた通りである。

細菌に対する濾過試験は、従来あまりすつきりした結果がでていないのであるが、これは全く細菌の二次的混入及び検水の取扱いなどによるものであつて、実験結果で明瞭に示すことは困難であるとしても、濾過効果については他の浮游物と同様にいうことができる。

3. 特定浮游物と最大許容濾過速度

濾過池の浄化機能は濾過膜の浮游物を捕捉抑留する方によつてゐるが、浄化目的の程度に応じて濾過速度には最高限度があることになる。浄化機能の本質だけからいへば濾過速度はこの最高限度までとれるのである。今特定の浮游物について考えると、その量の多少にかゝらず、これを抑留するための濾過性能即ち最大許容濾過速度は同一と考えられる。しかし濾過膜はその

生成初期より時間的経過と共に稠密度も増し、浮游物の抑留性能も或程度増大してゆくものとみてよい。したがつて同一種の浮游物に対する許容濾過速度も濾過作業の進むにつれて大にすることができるわけである。実際問題としては濾過速度を変化させることは好ましくなく、また急激なる変化は濾過膜の均等性を破り、或は濾過膜の一部を破壊する虞れがある。且又実用上濾過作業の進行とともに、増大する濾過性能に応じて濾過速度を理論的に増大するということは不可能である。結局濾過膜が濾過効力を發揮し始めた直後の許容濾過速度が許容平均濾過速度となる。すなわち砂濾過池においては、許容濾過速度は濾過池に入つてくる浮游物の種類によつて異なるが、同一種類の浮游物にたいしては、その量のいかににかゝらず大体同一とみなされる。同じようなことは最大許容濾過速度についてもいわれ、特定浮游物に対してはその量いかににかゝらず最大許容濾過速度は大體同一とみなすことができる。

4. 濾過効果と濾過速度との関係

濾過浄化の目的から、濾過残量を一定限度内に納め、濾過効果を一定限度以上にするためには、濾過速度は特定されず、原水の如何によつては更に速度を下げ、間接に濾過膜の性能を増大し、濾過膜通過の浮游物種類を少くし、したがつて濾過残量を少くする方法をとらねばならず、また逆に濾過速度をあげ間接に濾過膜の性能を減退させても、濾過残量はその限度内に納まることもある。つまり原則的にいへば、濾過残量を一定限度内に納め、一定の濾過効果を得るためには、原水によつて許容濾過速度は異つてくる。すなわち同一原水については、濾過残量は濾過速度に比例して、速度が小になる程濾過残量は小となつてくるが、実際に平常は濾過残量は恕限度内にあり、よく濾過効果を保つていた濾過池が原水が降雨のために非常に濁した場合に、急に濾過効果がおち、濾過残量が大きくなる結果、濾過水に濁色度が残るといふ事実は上述のことを裏書している。

実用上の濾過効果は、現行の濁色度或は細菌検査方法の範囲内で、濁色度或は細菌数を零とすれば十分であると、これを以つて実用上総ての浮游物を抑留除去したとみなしている。この時の濾過残量が実用上の許容濾過残量であり、その時濾過は許容濾過効果を示し、その時の濾過速度が許容濾過速度である。この許容濾過残量は現行の濁色度判定法では見掛上零となる。一般に原水が濾過を必要とする場合に、その水源が貯水池、河川表流水、或は伏流水、井水であつても、平常状態では濾過残量をいわゆる見掛上零にする

ための許容濾過速度は似てくる。また同一水源でも、浮游物の変化の範囲は大体定ついても、水質は刻々変化しているから、これらの変化にそなえて或程度の安全度をとることも、許容濾過速度が似てくる一原因となる。

5. 濾過速度選定上の原則的要素

濾過法において濾過池の最大許容濾過速度を如何に定めるかは重要な基礎事項である。濾過速度選定については、浄化機能の本質だけからいえば、原水を浄化する目的が達せられる範囲において最大なる濾過速度、いわゆる最大許容濾過速度をとればよい。しかし実用上は単に原水の浄化という水質上の問題以外に、濾過能率という経済上の問題も考えに入れねばならない。

濾過速度が早くなれば、濾過量は多くなるが、一面濾過膜の閉塞が早くなり、濾過持続時間は短くなる。したがつて濾過速度が早い程濾過層の削り取り或は洗滌が頻繁となり、濾過作業を休む時間が多くなり、また維持経費も増してくる。濾過能率いゝかえれば、水の製造単価は必ずしも濾過速度が早い程有利であるとはいわれぬ。このため、実用上はそれぞれ、原水個々の実用許容濾過速度ともいうべきものがあるべきで、この値は必ずしも浄化機能の本質だけからみた最大許容濾過速度のそれと一致するとは限らない。しかしこの実用上の許容濾過速度は濾過膜の浄化機能の本質をはなれ、これに関係のない作業上の要素を含んでおり、実際に実地について実験せねば求められぬものである。もちろん実用許容濾過速度は最大許容濾過速度を基準として求められ、これより大となることはない。かく考えれば濾過速度を選定するにはまず原則的に最大許容濾過速度を定めねばならない。したがつて濾過速度選定上の原則的要素とは、最大許容濾過速度選定上の原則的要素ともいうことができ、濾過機能の本質上の観点だけから、浄化目的に達する範囲内で最大濾過速度を左右する要素である。

砂濾過池においては、濾過膜の最大許容浮游物抑留性能度は、特定種の浮游物にたいしては一定であるとみなしてよい。したがつて濾過速度は濾過膜が育成し、濾過効力を発揮する以上は、濾過膜の性質によつて勘案されるものではなく、捕捉抑留せんとする被濾過物の性質すなわち被濾過物の種類によつて異つてくるものなのである。しかも濾過浄化の目的は除去率の如き浮游物の除去割合を云々するためではなく、たとえ浮游物は少くとも、これを除去する必要がある以上は、その絶対量を減少或は零にすることである。

たとえ僅かでも除去せんとする或る種類の浮游物が

ある以上、この浮游物を抑留除去するためには、その種の浮游物に対する許容濾過速度以内で濾過しなければならない。すなわち同一種の浮游物に対しては、これを抑留除去するためには被濾過物の量の多少にかゝらず許容濾過速度は同一であるべきである。わが国では濾過法が採用されて以来、濾過速度の取扱いには非常に慎重であつて、軽々に前例を変更すべきではないとされてきた。このことは因習的で一見非科学的であるが、多少非能率な場合はあるかも知れないが浄化の目的からいえば安全で、特に濾過法があまり研究されない範囲ではむしろ望ましいことがある。しかるに近來濾過速度に対する考え方がやゝ慎重を欠いて來た憾みがある。すなわち単に水質が概括的によいからといつて、水質のどんな点がよいかを根拠とせず、簡単に濾過速度を増大しようとしている傾向がある。

例えば細菌が少くて、水質が比較的よいとみられる場合がある。この場合でも濾過浄化の程度を細菌除去まで目的とするときは、除去すべき細菌がたとえ僅かでも存在する以上は、これを捕捉除去するためには、細菌が多数ある場合と同程度の濾過速度を保たねばならないのである。細菌数が比較的少いからといつてこれだけで濾過速度を増大することはできない。他の浮游物についても同様のことがいえる。原水中に存在する浮游物がその種類からみて変化のあるときはじめて濾過速度は変化できるものである。従来はともすれば原水中に存在する浮游物の量をもつて、比較されがらで浮游物の種類の比較が等閑視される傾向にあつた。

「濾過効果と濾過速度との関係」の項にて述べた如く、濾過速度は、濾過効果すなわち濾過残量如何によつて変化されねばならない。すなわち濾過残量が限度以上であると、濾過速度を更に下げて、濾過膜の性能を間接に増大し、抑留浮游物の最小物理的形質を下げて、抑留浮游物の種類したがつて量を増し、濾過残量を減ぜねばならない。そうすると浮游物の量もまた濾過速度を決定する要素の如く見える。しかし濾過残量が濾過速度に関係があるということになり、浮游物の量如何によつては濾過速度をかえねばならぬことになるが、その際濾過速度を決定するものは、濾過残量を少くするため抑留目標として下げた最小物理的形質を有する浮游物の種類であつてその量そのものではない。結論として濾過速度を決定する原則的要素は、原水の浮游物中どの程度の物理的形質のものまで抑留するかという抑留除去せんとする物理的形質の最小な浮游物の種類であつて量ではないといふことができる。

(昭.25.8.28)