

多層ろ過導入における実証実験と検討事例

(株) ニュージェック 九州支店 赤木 信雄
金子 真也

1. はじめに

我が国の水道は、普及率が97%を超え、高度経済成長期を契機とした面的量的拡大段階から成熟段階にシフトしてきている。しかし一方で、施設の更新、水道水質の向上、災害対策、効率的な経営・運営のあり方など、新たな問題に対処することが緊急の課題となっている。

平成16年6月には厚生労働省より「水道ビジョン」が策定・公表され、現状と将来の見通しを可能な限り定量的に分析、評価し、その結果をもとに今後の水道のあるべき姿について議論し、水道の将来像について共通認識の形成を目指すことが望まれている。安定、安全な水道供給を目指し、施設の更新を「効率的な低い施設を抜本的に見直し、高効率かつ低コストの水道に再構築する絶好の機会」として捉え、効率的な施設更新や再構築が望まれている。

2. 浄水施設

浄水施設は、水質基準に適合した必要量の浄水を安定して供給するために、原水水質悪化時においても、十分その機能が発揮できるものであって、浄水は水質基準の全項目に適合することが必要である。浄水方法は、大別して、塩素消毒のみの方式、緩速ろ過方式、急速ろ過方式、膜ろ過方式、高度処理その他方式の5つの方式に分類される。

我が国における近代水道の目的の第一が感染症の予防であったため、創設期の水道はそのほとんどが普通沈澱・緩速ろ過方式であった。緩速ろ過方式は、運転管理が容易である上、砂層に増殖した微生物群によって水中の浮遊物質だけでなく溶解物質を補足、酸化分解することが可能な浄水方法であるが、ろ過速度が緩いため広大な敷地が必要であった。しかしながら戦後、①浄水場用地の取得が困難になったこと、②水源難から比較的水質の悪い河川も水源にせざるを得なくなり緩速ろ過方式では対応できなくなったこと、③設備の計装化や自動化が進み緩速ろ過方式よりも運転管理が容易になったこと、などにより、新たに築造される浄水場の大部分が急速ろ過方式を採用することとなった。現在、クリプトスポリジウムやトリハロメタンなど様々な水質に対応するため、急速ろ過方式だけでなく、高度処理や膜ろ過の導入も進んでいる。

3. M浄水場におけるろ過池増強計画と実証実験

3-1. 浄水場再編事業とM浄水場の能力増強

A市は、給水人口100万人を超える大規模な水道事業者であるが、水道創設から80年以上が経過し、浄水場、ポンプ場など建設年次が古い施設で老朽化が進行するなど、本格的な維持管理・施設更新の時代を迎えている。これを受けて、A市では、浄水場の再編事業を進めており、M浄水場における能力増強もこの事業の一環として行われている。

また、平成8年に策定された「水道におけるクリプトスポリジウム暫定対策指針」（平成13年一部改正）により、水道を介したクリプトスポリジウムによる感染症発生の対策として、浄水処理の徹底を図るため、水道事業者はろ過池出口の濁度を0.1度以下に維持することなどの対応措置を講ずるこ

となった。現在、A市は、ろ過池出口の濁度を 0.05 度以下となるよう運転管理を行い、濁度管理の徹底を図っている。このため、M浄水場急速ろ過設備においては、当初ろ過速度 145m/日で運転管理を行ってきたが、濁度管理強化対策として、ろ過速度 110m/日程度を最大値として運転管理を行うこととなり、その結果、濁度管理強化対策実施後は浄水能力が減少したため、浄水場再編事業とあわせて、急速ろ過池の能力増強が望まれている。

3-2. M浄水場ろ過池増強検討（多層ろ過の導入）

M浄水場は、図-1に示す浄水処理フローを持つ、急速ろ過方式の浄水場である。原水水源は水利権量ベースで、ダム貯留水が6割、河川表流水が4割で、渇水や小雨等によりダム貯留水に不足が生じる場合に河川表流水を取水するが、基本的に、ダム貯留水が原水の大部分を占めている。

M浄水場では、 ①浄水場再編事業に伴う能力増強

②濁度管理強化対策に伴う能力低下（ろ過速度 145→110m/日）

に対応するため、既存の急速ろ過池を、砂のみを用いた単層ろ過から、アンスラサイトと砂を用いた多層ろ過を導入することにより、機能の低下を起こすことなく、ろ過速度を増加させ、能力増強を図る計画が進められている。

M浄水場の既存のろ過池3池を用いて、7ヶ月間の実証実験を実施し、多層ろ過の性能・能力、安全性、安定性、経済性について、検討を行った。

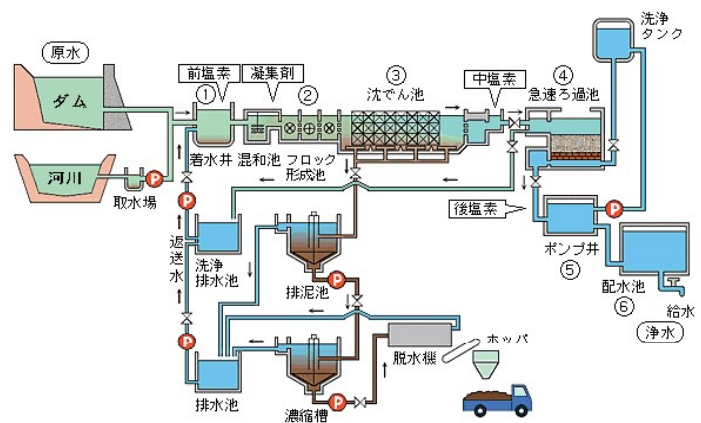


図-1 M浄水場の浄水処理フロー

3-3. M浄水場ろ過池実証実験概要

①ろ過池のろ材入替え

実証実験では、既存の12池内3池を使用し、そのうち2池は単層ろ過から多層ろ過への変更を図り、図-2に示すようにアンスラサイトへの置換を行った。

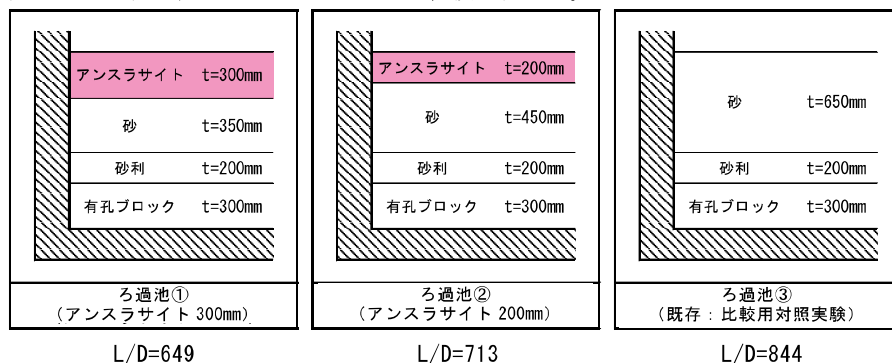


図-2 実験を行う層厚

※L/D:ろ層厚とろ材粒径の関係。
一般的にL/D>800で安全といわれている。

アンスラサイト(比重 1.4~1.6)とは、無煙炭を破碎して粒状にしたもので、比重が砂(比重 2.57~2.67)に比べて小さく、上層に軽くて粗いアンスラサイト、下層に重くて細かい砂を敷くことで、逆流洗浄を行っても水流方向に粗粒から細粒となる逆粒度層構成を保つことが可能であることから、多層ろ過に適し、多く利用されている。(図-3 参照)

抑留量

0

10

20

30

40

50

60

単層ろ過

多層ろ過

サイトスラ

砂層

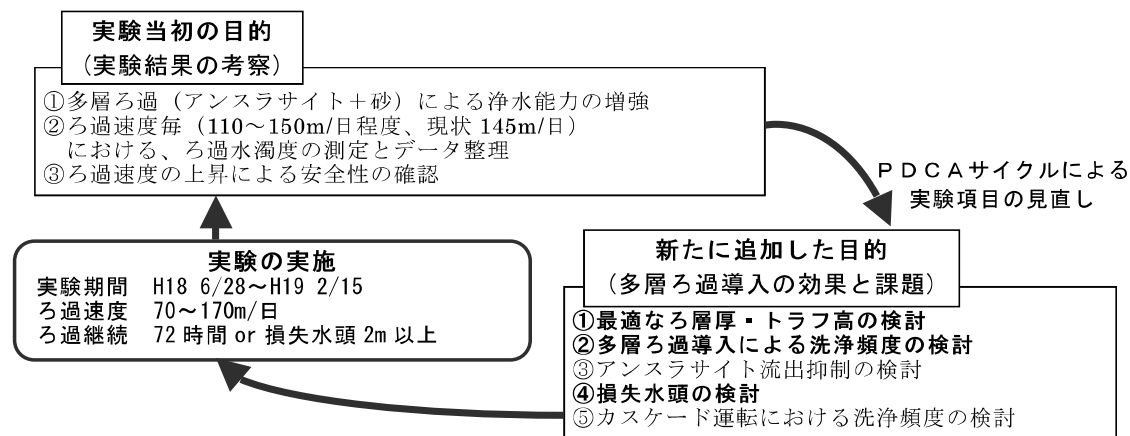
ろ層を単層から多層にすることにより、二層で濁質を補食し、抑留効果が向上する。

図-3 多層ろ過池の濁質抑留分布
(水道施設設計・解説 抜粋)

実験を行うろ過池 3 池の流出側に微粒子カウンターを各 3 台設置して、5 分毎の濁度、粒子数の計測を行った。(表-1 参照)

データ	項目	内 容	測定頻度	入手先
微粒子 カウンター	実験ろ過池の 出口濁度	濁度、粒子数(0.5～1.0μm, 1～3μm, 3～7μm, 7～12μm, 12～15μm, 15μm～)	5分毎	データロガ
水質日報	気象	気温、雨量、日照量	1時間毎	浄水場職員
	原水	温度、濁度、pH、アルカリ度、電気導率、UV	〃	〃
	着水井	濁度、pH	〃	〃
	ブロック形成池	pH	〃	〃
	ろ過池入口	濁度、pH	〃	〃
	ろ過池出口	濁度(透過光、I-*)、pH、残塩	〃	〃
浄水処理日報	原水渠水位		1時間毎	浄水場職員
	ろ過池損失水頭	ろ過池No. 1～No. 12 (No. 1～No. 3)	〃	〃
	ろ過池流量	ろ過池No. 1～No. 12 (No. 1～No. 3)	〃	〃
	総ろ過流量		〃	〃
ろ過池 使用状況表	洗浄日時	ろ過池No. 1～No. 12 (No. 1～No. 3)	—	浄水場職員
	開度	ろ過池No. 1～No. 12 (No. 1～No. 3)	—	〃
	ろ過継続時間	ろ過池No. 1～No. 12 (No. 1～No. 3)	—	〃

本実証実験は、多層ろ過導入における浄水能力の増強について、その性能・能力、安全性、安定性を実証するものである。しかしながら、多層ろ過技術は今日において、ある程度安全性や能力増強が実証されて、実際に多くの浄水場で採用されている技術である。本実証実験において、安全性や安定性の検証だけでなく、M 浄水場での採用を視野に入れて、実験を実施しながら、課題や問題点を抽出し、PDCA サイクルによるスパイラルアップを行いながら、実験に新たな目的を随時付加させ、実験の継続を行った。



4-2. 実験結果の考察

①ろ過水濁度

ろ過水濁度は、原水水質、時期による変動はあるものの、その最大値はA市の管理基準内(濁度 0.05 以下)であった。標準偏差の「平均+2σ(約 95%値)」は濁度 0.025 以下であった。ろ過速度 150m/日、170m/日の実験においても良好な結果が得られたことから、多層ろ過の導入により、管理基準内の濁度管理(濁度 0.05 以下)が可能であることがわかった。(図-4、5、6 参照)

ろ過水濁度：多層ろ過導入によりろ過水濁度の徹底管理が図れる。

②濁質の漏出

原水水質の悪化及び排水処理施設からの返送水の影響による濁質の漏出が見られるが、多層ろ過と単層ろ過の差異は少なく、ろ過水濁度において安全な範囲内である。ただし、ろ過速度 150m/日において、損失水頭 2.0m を超えたあたりから捕捉限界による濁質の漏出と想定される濁度の上昇が確認されており、ろ過継続時間等の運転管理において注意する必要がある。(図-5 参照)

濁質の漏出：多層ろ過導入により濁質の漏出は抑制される。

③損失水頭

単層ろ過に比べて差圧上昇が極めて小さく、損失水頭の上昇が抑制され、ろ過継続時間の延長が期待できる。また、水質悪化時の損失水頭上昇への影響も少ない。(図-4、5、6 参照)

損失水頭：損失水頭の上昇が抑制され、ろ過継続時間の延長が期待できる。

くろ過池①(アンスラ 300mm+砂 350mm)：実験期間中のろ過速度、損失水頭、ろ過水濁度の関係

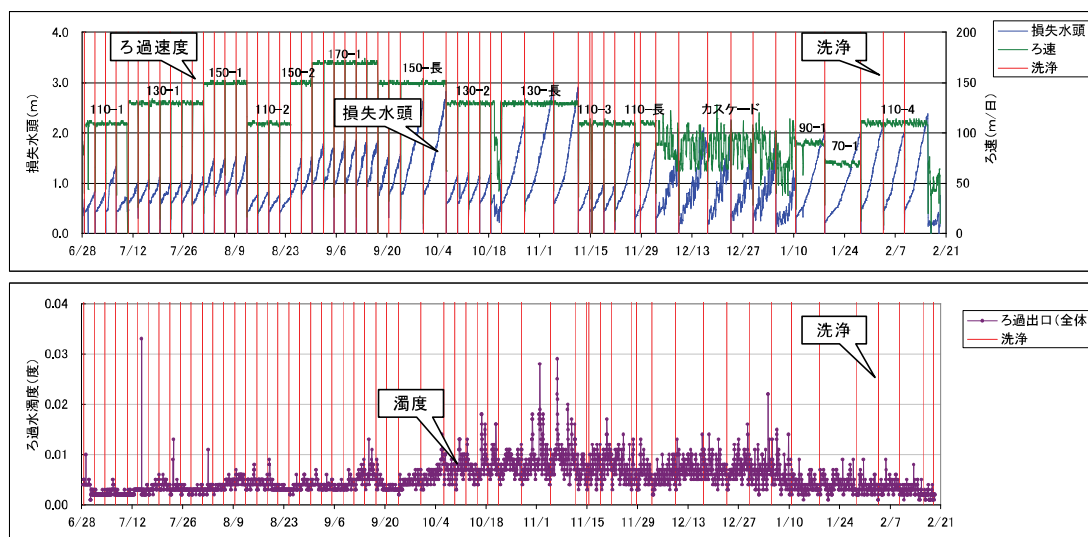
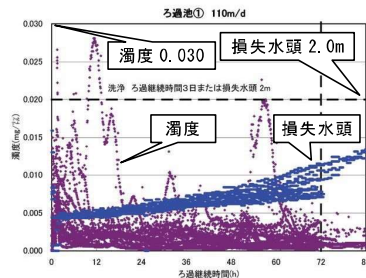


図-4 実験概要（ろ過速度、洗浄時期、損失水頭の変化）

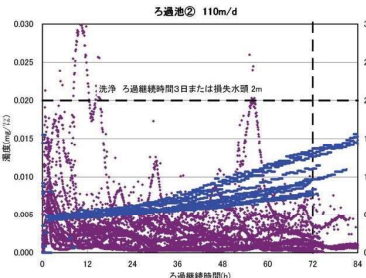
くろ過池①～③：ろ過継続時間と損失水頭、濁度の関係＞

(実験終了条件：ろ過継続時間を 72 時間、もしくは、損失水頭 2m 程度)

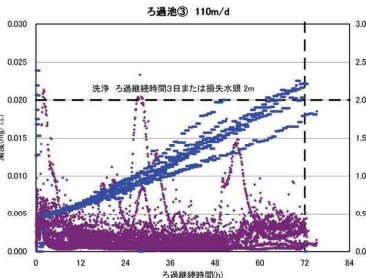
110m/日 ろ過池① (アスラ 300mm+砂 350mm)



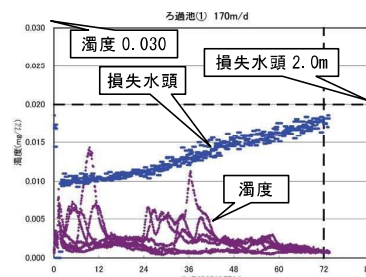
ろ過池② (アスラ 200mm+砂 450mm)



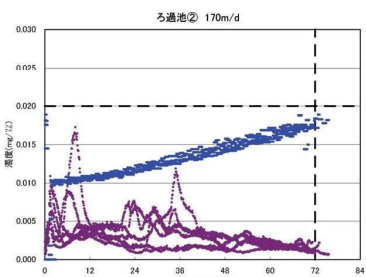
ろ過池③ (砂 650mm)



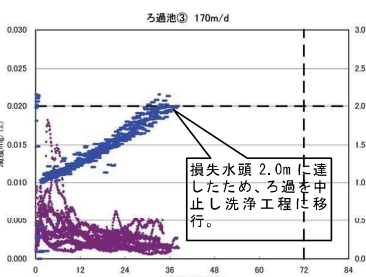
170m/日 ろ過池① (アスラ 300mm+砂 350mm)



ろ過池② (アスラ 200mm+砂 450mm)



ろ過池③ (砂 650mm)

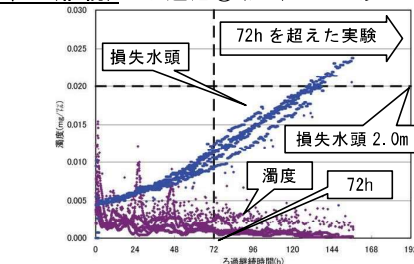


図－5 ろ過継続時間と損失水頭、濁度の関係

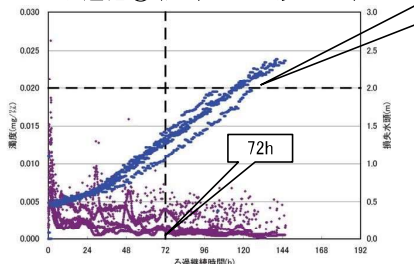
くろ過池①～③：ろ過継続時間と損失水頭、濁度の関係＞

(実験終了条件：損失水頭 2.5m 程度、かつ、濁質の流出がない範囲)

110m/日(継続) ろ過池① (アスラ 300mm+砂 350mm)



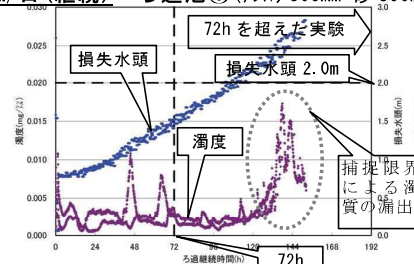
ろ過池② (アスラ 200mm+砂 450mm)



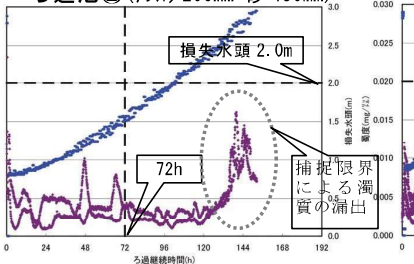
72h 以上のろ過運転が可能。
→ 洗浄頻度の見直し

カスケード運転とは、ろ過流量(ろ過速度)を固定しない運転。
平均ろ過速度：82m/日
最大ろ過速度：128m/日
カスケード運転：12/5～1/8

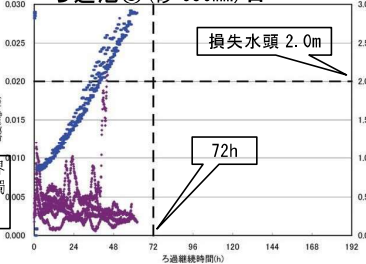
150m/日(継続) ろ過池① (アスラ 300mm+砂 350mm)



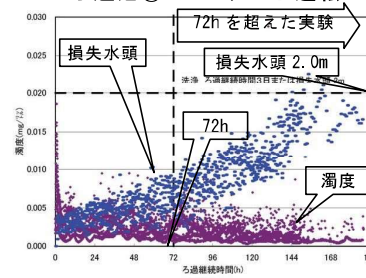
ろ過池② (アスラ 200mm+砂 450mm)



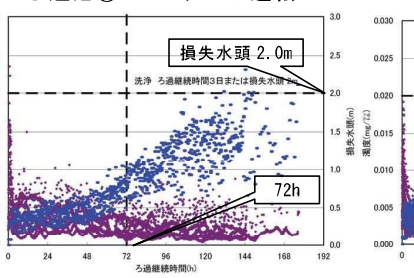
ろ過池③ (砂 650mm) 日



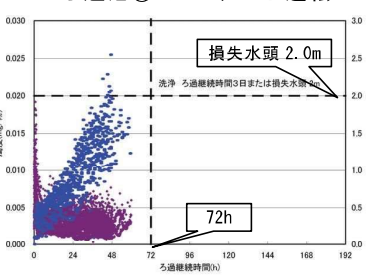
ろ過池① カスケード運転



ろ過池② カスケード運転



ろ過池③ カスケード運転



図－6 ろ過継続時間と損失水頭、濁度の関係 (ろ過継続)

4-3. 多層ろ過導入の効果と課題

①最適なる層厚・トラフ高の設定

最適なる層厚は、他の浄水場における事例やろ層厚とろ材粒径の関係（L/D）を参考にして、設定を行った。
また、最適なトラフ高は、他の浄水場における事例、本実験におけるアンスラサイトの流出状況を踏まえて、設定を行った。

最適なる層厚・トラフ高の設定

	既存	多層ろ過導入
アンスラサイト層	—	250mm
砂層	650mm	500mm
ろ層合計	650mm	750mm
L/D	844	810
トラフ高	600mm	700mm

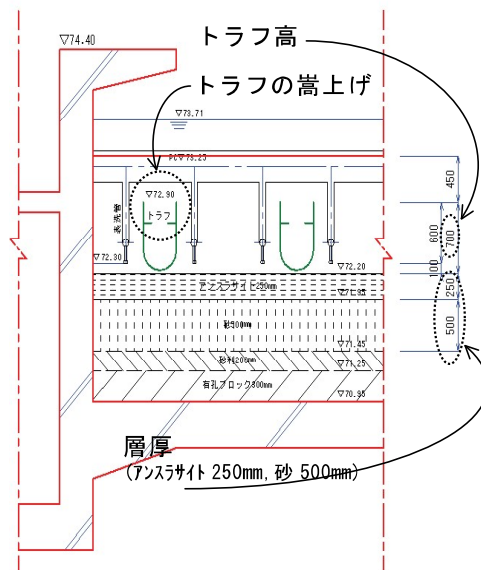


表-2 ろ層厚とトラフ高の設定

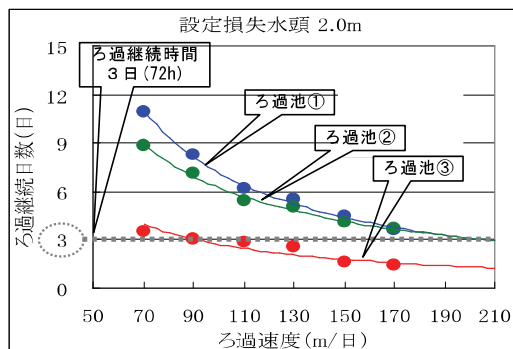
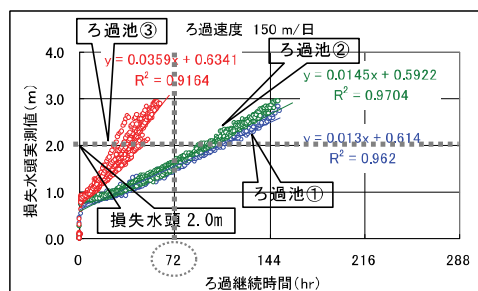
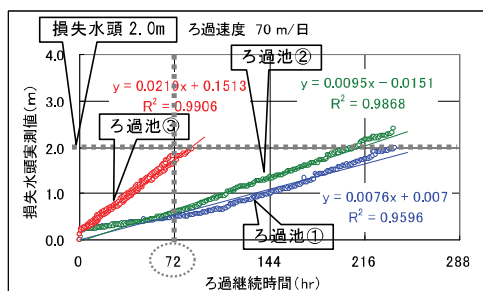
単位：mm

		採用	指針など	M浄水場実験			A市事例		他都市事例				
				ろ過池③ (既存)	ろ過池①	ろ過池②	事例 1	事例 2	事例 3	事例 4	事例 5	事例 6	事例 7
層厚	アンスラサイト	250	—	0	300	200	200	250	300	200	200	300	450
	砂	500	—	650	350	450	400	480	450	450	400	500	300
	計	750	—	650	650	650	600	730	750	650	600	800	750
L/D		810	800以上	844	649	713	629	761	821	687	697	865	940
トラフ高		700	500～700	600	600	600	700	600	900	600	850	1000	600

※ 他都市事例は、「水道維持管理指針」の表-5.6.4多層ろ過池の実施例を参照。

②多層ろ過導入による洗浄頻度の検討

多層ろ過の導入により、損失水頭の増加率が単層ろ過に比べて緩やかになることにより、損失水頭の上昇が抑制され、洗浄頻度の低減が期待できる。



ろ過速度110m/日における洗浄頻度

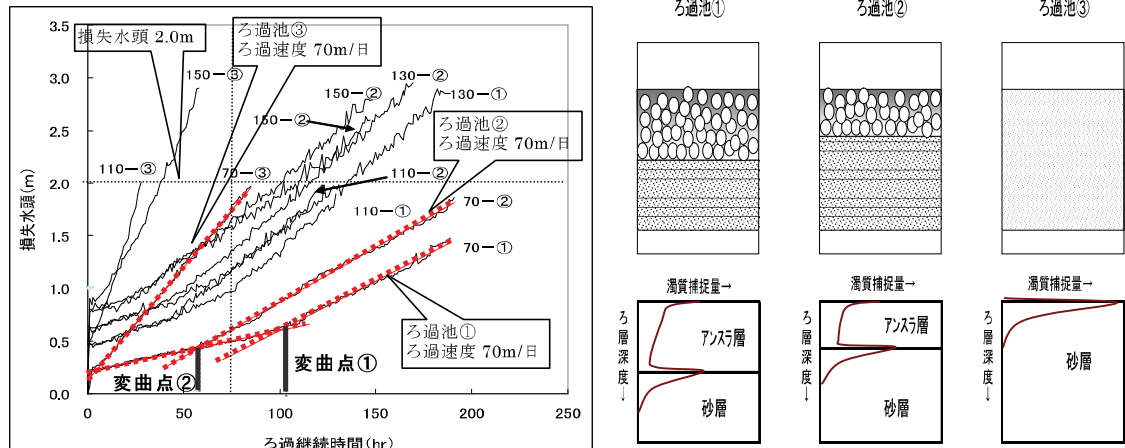
ろ過継続時間		ろ過池①	ろ過池②	ろ過池③ (既存)
層厚	アンスラサイト	300mm	200mm	
	砂	350mm	450mm	650mm
ろ過継続時間		6.1日	5.4日	2.8日
年間の洗浄回数		60回/年	68回/年	130回/年
洗浄費用		279,000円/年	316,200円/年	604,500円/年
12池当たりの 洗浄費用低減効果		3,906千円/年	3,460千円/年	0千円/年

※ 1回当たりの洗浄費用は4,650円/回とする。

図-7 洗浄頻度の低減効果

③損失水頭の検討

各ろ過池について、ろ過継続時間と損失水頭の関係を図－８に示す。単層ろ過池（ろ過池③）ではほぼ直線の関係であるが、多層ろ過池（ろ過池①②）では損失水頭増加率に変曲点が見られる。この傾向は、低速であるろ過速度 70m/日で顕著に見られ、ろ過池①では 100 時間、ろ過池②では 60 時間付近に変曲点があることがわかる。



図－８ ろ過継続時間と損失水頭の関係（多層ろ過の濁質の補食）

５．終わりに

実証実験によって、実際のろ過池を利用した多層ろ過の安全性、安定性の実証をすることができた。それに加えて、多層ろ過導入における洗浄頻度の低減効果（ろ過継続時間の延伸）だけでなく、アンスラサイトの流出抑制、カスケード運転における洗浄頻度の設定方法など、新たな課題や検討すべき事項が明らかとなった。

実験当初の目的：多層ろ過による能力増強、ろ過速度の上昇による安全性の確認

- ろ過水濁度の安定性、濁質の流出の安全性が確認できた。

→M 浄水場で多層ろ過導入による能力増強が可能である。

〔 浄水場再編事業に伴う能力増強の推進、濁度管理強化対策に伴う能力低下対策が可能となった。〕

新たに追加した目的：最適なる層厚・トラフ高、多層ろ過による洗浄頻度、アンスラサイト流出抑制。

- 最適なる層厚・トラフ高の設定（アンスラサイト流出抑制）

→M 浄水場で多層ろ過導入におけるろ過池の軽微な改造（トラフ改良）が必要。

- 多層ろ過による洗浄頻度の見直し

→多層ろ過導入により、能力増強だけでなく、洗浄頻度の低減も期待できる。

〔 ろ過継続時間が 3 日 (72h)→6 日程度となり、年間の洗浄階数が 130 回→60 回程度となるため、1 年間の洗浄費用約 3,900 千円の低減が期待できる。〕

我が国の水道事業において、急速ろ過方式は広く普及し、数多く水道事業体で採用されている浄水処理方式である。本格的な少子高齢化社会の到来に向けて、浄水能力の増強、複数の浄水場の再編成、老朽化施設の更新、水道水質の安定を目指す上で、既存のろ過池を大きな改良をすることなく、処理能力の増強や処理水の水質的安定が期待できる、多層ろ過の導入は時代のニーズに合致した最適急速ろ過池の改造であると言える。

参考図書：水道施設設計指針（日本水道協会）、水道維持管理指針（日本水道協会）