

土木学会第1回年次学術講演會講演

(上下水道之部 No. 3)

上水道に於ける二重濾過の研究

會員 工学博士 島 崎 孝 彦*

序 言

大阪市水道部では昭和4年以來水道に於ける二重濾過の研究に着手し、第1濾池(急速)の濾速を120 m/day及240 m/dayとした場合の試験結果は既に報告したが、尙引き続き濾速を180 m/dayとしての実験を行つたので其の結果に就て説明する。

1. 試験設備並に試験期間と其の試験方法

沈澱池: 内法縦5 m, 横2.42 m, 深さ2.27 mで、横壁に平行して75 cm間に隔壁を設けて水を環流せしめる。池の容量は水深2 mのとき22.654 m³である。

第1濾池(急速): 既設濾池の内部を仕切つて濾過面積を0.556 m²に縮少し、高さ2.62 m, 水深1.27 m, 砂層76 cm(砂は有効径0.7 mm, 均等係数1.64)である。

第2濾池(緩速): 内法方3.28 m, 深さ3 mで砂層は最初76.2 cmにした。濾砂は有効径0.32 mm, 均等係数2.35で、濾過面積は10.76 m²である。

今回の試験は昭和10年5月27日から同11年5月29日迄の間に7回行つたが、故障等もあり實際の試験延日数は272日であつた。濾速は第1濾池180 m/day, 第2濾池9.3 m/dayで、第1濾池洗滌水の速度は61 cm/min, 洗滌時間は約6分である。

表-1.

種 別	濁 度	色 度	カメレオン消費量	細菌数
原 水	10.82	12.49	4.833	2 273.3
沈 澱 水	8.64	10.51	3.861	1 465.8
沈澱効率(%)	19.8	16.4	20.3	34.89

2. 原水及沈澱水の水質

沈澱池の沈澱時間は約5.4時間で、沈澱池内の流速は約4.4 cm/minであつたが、沈澱池前後の水質試験の平均値を示せば、表-1の様である。

表-2.

種 別	濁 度	色 度	カメレオン消費量	細菌数
第1濾池水質總平均	1.72	2.92	2.616	187.2
沈澱水に對する第1濾池濾過効率(%)	80.7	74.7	32.2	85.11

3. 第1濾池の濾過持続時間及其の効率

第1濾池の各回に於ける成績は區々であるが平均値では水温15.1°C, 未濾水の濁度8.3, 落差は最初0.31 m, 最終2.06 m, 濾過持続時間

表-3.

種 別	濁 度	色 度	カメレオン消費量	細菌数
原水に對して(%)	99.57	97.99	63.05	98.78
沈澱水に對して(%)	99.43	97.32	53.67	98.12
第1濾池に對して(%)	96.9	92.4	31.0	89.23

は54時間である。毎回の洗滌水速度は61 cm/min, 洗滌時間約6分であつたから、濾過水量に對する洗滌水量

* 大阪市水道部長 (昭和12年4月10日講演)

の割合は約 0.9% である。又濾過効率は表-2 の通りである。

4. 第 2 濾池の濾過持続日数及其の効率

濾過に供した水の濁度は平均 1.72 度で濾過持続日数は 37 日であつた。又濾過効力發生迄に要した日数は 7 回試験の平均 2.1 日である。表-3 は第 2 濾過の効率を平均値にて示したものである。

5. 凝集剤使用の限界

本試験中沈澱水の濁度が 16~60 度に上昇した場合の第 1 濾過の効率(濁度に就ての)は 50~83.7%, 平均 76.3% である。又沈澱効率は沈澱時間 5.4 時間で凝集剤を加へない場合には平均 19% と看做してよい。今沈澱効率を P_1 , 第 1 濾過効率を P_2 , 沈澱及濾過の兩過程を経た後の効率を F_3 とすれば, $P_3 = P_1 + P_2 - P_1 P_2$ なる關係が成立する。 $P_1 = 0.19$, $P_2 = 0.76$ とすれば,

$$P_3 = 19/100 + 76/100 - 19 \times 76 / (100)^2 = 80\%$$

即ち第 1 濾水の濁度は原水の約 20% に低下するから、之を 10 度以下に喰止めるには原水の濁度が $10/0.2 = 50$ 以上になれば適量の凝集剤を注加せねばならない。

6. 前後 3 期に亘る試験成績の比較

(1) 試験方法及其の成績 概括的に表示すば、表-4, 5, 6 及 7 の通りである。

表-4. 濾速及濾砂の大きさ

試験期別	沈澱時間	第 1 濾池			第 2 濾池		
		濾砂		濾速 m/day	濾砂		濾速 m/day
		有效径	均等係數		有效径	均等係數	
第 1 期	5.4	0.64	1.65	116.4	0.32	2.44	9.0
第 2 期	5.4	1.03	1.27	240.0	0.32	2.44	9.3
第 3 期	5.4	0.70	1.64	180.0	0.32	2.44	9.3

表-5. 各期水質試験成績

試験期別	原水				沈澱水				第 1 濾水				第 2 濾水			
	濁度	色度	カメレオン消費量	細菌	濁度	色度	カメレオン消費量	細菌	濁度	色度	カメレオン消費量	細菌	濁度	色度	カメレオン消費量	細菌
第 1 期	9.8	5.4	4.485	3223.3	8.2	4.96	3.866	1411.8	0.78	0.56	2.503	217.1	0.011	0.016	1.938	35.7
第 2 期	10.24	9.96	4.077	1809.2	8.23	8.34	3.415	1204.0	4.42	4.85	2.610	755.4	6.15	0.29	1.525	55.9
第 3 期	10.82	12.49	4.833	2273.3	8.64	10.51	3.861	1465.8	1.72	2.92	2.616	187.2	0.06	0.31	1.779	14.9

表-6. 沈澱及濾過効率

試験期別	沈澱効率				第 1 濾過効率				第 2 濾過効率				全効率			
	濁度	色度	カメレオン消費量	細菌	濁度	色度	カメレオン消費量	細菌	濁度	色度	カメレオン消費量	細菌	濁度	色度	カメレオン消費量	細菌
第 1 期	15.75	12.95	13.02	57.86	90.47	90.28	34.83	78.99	98.19	98.68	22.84	75.11	99.75	99.78	55.66	97.73
第 2 期	19.50	15.15	14.68	32.95	47.53	45.73	22.22	37.59	97.83	96.23	39.99	86.97	99.08	98.03	60.38	93.53
第 3 期	19.80	16.4	20.3	34.89	80.7	74.7	32.2	85.11	96.9	92.4	31.0	89.23	99.57	97.99	63.05	98.78

表-7. 落差及濾過持続時間其の他

試験期別	第 1 濾池				第 2 濾池			
	落差 (m)		濾過持続時間	洗滌水量 (%)	落差 (m)		濾過持続日数	濾過効力發生迄に要した日数
	最初	最終			最初	最終		
第 1 期	0.22	2.14	65.0	1.15	0.15	0.87	40.6	6.5
第 2 期	0.29	1.82	98.5	0.31	0.24	0.88	15.0	1.9
第 3 期	0.31	2.06	54.0	0.90	0.11	0.80	37.0	2.1

備考 洗滌水量は洗滌に要した水量を濾過水量で除した尚である。

以上に依り考察すれば原水の性状及沈澱効率は大同小異であるが、第 1 濾池の持続時間は第 2 期が最も長い。此の時間は濾速が大でも濾砂が粗であれば短縮しないであらう。其の代り濾過効率は低下する。即ち第 2 期の第 1 濾水は遜色を示して居る。第 1 濾水の良否は第 2 濾池の持続日數に影響を及ぼすことは明かで、該日數が第 1 期に於て最も長く、第 2 期に於て最も短いのは第 1 濾過効率を反映せるものである。第 2 濾水に於ても幾分の相違はあるが、此の程度なれば最後に鹽素殺菌を行ふ場合には敢て問題とするに足らない。

(2) 所要濾過面積に就て 實際の設計には種々の條件を考慮すべきであるが、今濾過持続時間、濾層掃除に依る休止時間及第 1 濾池洗滌水量の 3 因子を考慮に入れて所要濾過面積を計算すれば次の通りである。

(a) 第 1 濾池 濾速を x m/hr, 濾過持続時間を T 時間, 砂層洗滌に依る休止時間を t 時間, 單位濾過面積に對する毎回所要の洗滌水量を q m³, 濾池の所要水量を Q m³, 所要濾過面積を A m² とすれば, A m² で T 時間に濾過せねばならない水量は $\{Q(T+t)+qA\}$ m³ となる。

$$\text{即ち } AxT = Q(T+t) + qA, \quad \therefore A = \{Q(T+t) + qA\} / xT$$

濾過水量に對する洗滌水量の比を w とすれば,

$$w = qA / AxT = q / xT, \quad \therefore A = \{Q(T+t) + AwxT\} / xT = Q(T+t) / xT(1-w) \dots \dots \dots (1)$$

各期試験に於ける夫々の値を (1) 式に代入すれば、(但し洗滌に依る濾過休止時間は 0.5 時間である)

$$\text{第 1 期試験の場合 } A_1 = 24Q \times 65.5 \times 100 / 116.4 \times 65 \times 98.8 \doteq 24Q \times 0.0088,$$

$$\text{第 2 期 同上 } A_2 = 24Q \times 99 \times 100 / 240 \times 98.5 \times 99.7 \doteq 24Q \times 0.0047,$$

$$\text{第 3 期 同上 } A_3 = 24Q \times 54.5 \times 100 / 180 \times 54 \times 99.1 \doteq 24Q \times 0.0056$$

となる。即ち所要面積は第 1 期が最大で、第 2 期が最小である。

(b) 第 2 濾池 濾速を y m/day, 持続日數を D 日, 砂層掃除に依る休止日數を d 日とする。第 1 濾池の洗滌水は第 2 濾池で濾過したものであるから、第 2 濾池の計算には此の水量を加算せねばならない。前の場合と同じく毎時 Q m³ を必要とすれば、 $(D+d)$ 日間に要する水量は $24Q(D+d)$ m³ で、第 1 濾池の洗滌水量は $24Aq(D+d)/(T+t)$ m³ である。 D 日間に是等の水量を濾過するに要する第 2 濾池の面積を B m² とすれば、

$$ByD = 24(D+d)\{Q + Aq/(T+t)\},$$

$$\therefore B = 24(D+d)\{Q + Aq/(T+t)\} / yD \dots \dots \dots (2)$$

$$\text{然るに } Aq = AxTw = \{Q(T+t) / xT(1-w)\} xTw = Q(T+t)w / (1-w) \dots \dots \dots (3)$$

$$\therefore B = 24(D+d)\{Q + Q(T+t)w / (T+t)(1-w)\} / yD = 24Q(D+d) / yD(1-w) \dots \dots \dots (4)$$

各期試験に於ける夫々の値を (4) 式に代入すれば、

$$\text{第 1 期試験の場合 } B_1 = 24Q(40.6+2) \times 100 / 9 \times 40.6 \times 98.8 \doteq 24Q \times 0.1179,$$

$$\text{第 2 期 同上 } B_2 = 24Q(15+2) \times 100 / 9.3 \times 15 \times 99.7 \doteq 24Q \times 0.1221,$$

$$\text{第 3 期 同上 } B_3 = 24Q(37+2) \times 100 / 9.3 \times 37 \times 99.1 \doteq 24Q \times 0.1144$$

即ち第 2 濾池の所要面積は第 2 期が最大で、第 3 期が最小である。

(c) 第 1 及第 2 兩濾池の面積を合計すれば、

$$A_1 + B_1 = 24Q(0.0088 + 0.1179) = 24Q \times 0.1267,$$

$$A_2 + B_2 = 24Q(0.0047 + 0.1221) = 24Q \times 0.1268,$$

$$A_3 + B_3 = 24Q(0.0056 + 0.1144) = 24Q \times 0.1200.$$

即ち第 3 期が最小で、第 1 及第 2 期は同じである。

(3) 3種試験方法の優劣 以上の試験の範囲内で優劣の標準となる點は濾池の能率及第2濾水の良否であるが、第2濾水は大差なく殊に鹽素殺菌を行ふ場合は殆ど問題とする必要がないので、茲に検討すべきは濾池の能率即ち所要面積の大小である。元來第1及第2兩濾池は相俟つて濾過の1体系を成すものであるから、能率判定には総合的能力を検討すべきで兩濾池の面積の和が小なる程能率的である。即ち第3期の方法で濾過するのが最も能率的だと言ひ得る。

7. 原水濁濁時に於ける2重濾過の能率

原水濁濁時には掃除時間の短い急速濾過の方が緩速濾過よりも能率的であることは既に報告された處である。2重濾過に在つても緩急兩池から成つて居る場合は、濁濁時に適量の凝集劑を使用すれば平時と同じ第1濾水を得られるから第2濾池の運用に異常を來さない。この場合第1濾池の掃除回数は増加するが毎回の洗滌時間は短いので、濾過能率に及ぼす影響は單一急速濾過に於けると同様輕微である。

8. 結 語

以上を要約すれば、如上の水質に對し2重濾過を行ふ場合は第3期試験の如く沈澱時間を5.4時間とし、第1濾池は濾砂有效径0.7mm、均等係數1.64、濾速を180m/dayとし、第2濾池の濾速を9.3m/dayとするが適當である。實驗の結果に依れば第1濾池の持続時間は平均54時間となり、濾水に對する洗滌水量の割合は約0.9%で、第2濾池の持続日数は平均37日となる。而して各過程を経た後の水質は上記の通りであつて、第1濾水の濁度を10度以下に喰ひ止める爲には原水の濁度が50度以上になれば適量の凝集劑を注加せねばならない。斯くすれば原水が濁濁しても濾過能率に及ぼす影響は輕微である。

(註：本文の詳細に就ては土木學會誌第23卷第8號を参照されたい)