

講 座

衛 生 工 学 特 論 (I)

正 員 工学博士
医学博士 広 瀬 孝 六 郎*

1. 緒 言

衛生工学という言葉をごくでは最も狭義に解して上水道と下水道とだけを取扱い、この方面で終戦後に於ける新技術の動向と之に関する著者の意見とを主に述べる事とする。

衛生工学方面は元来英米に範をとつており、歐洲大陸のものは余り紹介されていなかったで、終戦後と雖も根本的の改革があつたとは思われない。併しアメリカの文献の輸入、直接渡航者の御土産技術等によりかなりの変化が起つて来た事は当然であろう。

2. 上水道の戦災と復旧

土木の各部門中で恐らく上水道程戦災による痛手を蒙つたものは他にあるまい。全国 700 に近い都市上水道中で戦災を受けたものは約 90、北は北海道から南は九州に至る迄あまねく分布している。然も当初の予想と異つて家屋の焼失による給水末端からの漏水が最大戦災であつて、水源には充分の水があり以前と同量の水を送つているにも拘らず、末端からは充分の水が出ないという奇現象を呈した。即ち大部分の水が焼跡又は疎開跡で闇から闇に流れてしまつたのである。その証拠には下水道のある都市では下水が非常に稀薄になり、処理には極めて都合のよい状態になつた。各都市で漏水防止作業として行われたものは次の通りである。第一に鉛管末端の叩き潰し（又は木栓止）が行われたが、之は素人にも容易に行い得る代りに水圧が加わると再び開く恐れがあり、又故意に開いて水を出すものもあり従つて大なる効果が表われなかつた。次に止水栓の閉止が行われたが之は場所の発見も困難であり素人による閉止も難しかつた。その他鉛管の掘上、配水管から分水栓を取外して埋金する等も行われたが、中には再度漏水の原因となるものもあつた。以上の内で比較的効果のあつたのは止水栓閉止であつたが、尙焼残地区と雖も爆弾による震動や長年に亘る維持修繕の不完全の為に、漏水が著しく増した事は各都市共に認めている。最後に残された方法は戦前の漏水防止である。目下多くの戦災都市では已に本格的漏水防止の時期に達しているものと思われる。尙その一として

不良給水栓の修繕も漏水防止に対しては少なからぬ効果を表わすものである。戦災の問題は戦後の上水道としては見逃し得ないので別に新技術ではないが一応記する事としたわけである。

3. 緩速濾過か急速濾過か¹⁾

浄水作業の根幹をなす濾過の内、緩速か急速かについては従来から議論が多かつた。特に急速が建設費の廉い事、敷地の狭くてすむ事等に眩惑されて、日本に於て最近流行の感のあつた事は否めないであろう。然るにアメリカから専門家の来朝を見、その忌憚ない意見をきくに及んで始めて認識を新たにすることが出来たならば、遅過ぎた感みはあるが先ず慶賀すべきであろう。即ち水質と維持管理とに於て日本に急速は必ずしも適当ならずというのである。維持管理は大都市であれば充分とはいかずとも或程度の満足は期待出来る。問題は寧ろ水質の点ではあるまいか。元来清澄なる自然水に恵まれ然も下水道その他による人工的汚染も未だ軽微なのに、何を苦しんで急速を採用するかというのである。殊に水質等は全然考慮せず初から緩速又は急速ときめて設計に取らるる都市のあるのは何といつても不可解である。そこで結論は a) 水質が悪くて緩速では十分に清澄な水を得られない時、b) 大都市で充分の維持管理を行い得る時、こそ急速を採用すべきである。勿論主眼は水質におくべきであつて小都市と雖も水源に恵まれなければ急速を採用せざるを得ないが、その時は維持管理に万全を期すべきであろう。併しこゝに注意すべきは急速が緩速よりも優れた浄水法であるというわけではないので、水質が悪いから止むを得ず採用するといへば一番適切であろう。

4. Flocculators

大阪府営水道では薬品混和池に Flocculators²⁾を 2 列に取付けた。その大要は次の通りである。

直径：3.2m 廻転速度：2.8回/分
円周速度：0.44m/秒
板は上下各 1 枚で巾 20cm、長さ 2.3m

- 1) 緩速濾過は濾過速度 3~5m/日位、急速濾過は同じく 100~150 m/日位であるが、尚後者には予備浄水として薬品沈殿を必要とする。
- 2) 上田隆：大阪府営水道建設工事について、水道協会雑誌、第 177 号、昭和 24 年 7 月、7 頁

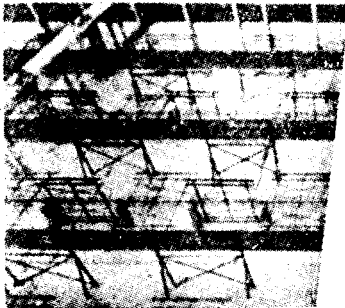
* 東京大学教授、工学部土木工学教室

以上の設備により薬品混和効果がどの程度推進されるかその結果の発表が期待されている。

元来 Flocculators というのはアメリカでは已に十数年前から使われ、筆者³⁾も先年外遊後紹介した事がある。抑々機械的に水を攪拌する装置としては Paddles を有する軸を取付けるが、その軸の方向によつて鉛直型と水平型とに分れる。水平型が所謂 Flocculators での軸の方向が流水に直角か平行かにより更に直角型と平行型とに分ける。直角型を写真-1 に示す。この特長とする所は

写真-1

既存の凝集沈澱池の入口に取付けられる事、又直角型では一旦凝集した微粒子を幾分元に戻して流入水と混ざる事が凝集作用に有効なる事等である。アメリカでは古くからあつた上下流の迂流型を特に Gravity flocculators といひ、本型を Mechanical flocculators といつている。



5. 二重濾過

京都市松ヶ崎浄水場では二重濾過を計画中である。同浄水場では元来緩速濾過を採用し、昭和2年の創設により現在 11 池で 97 400 トン/日の浄水能力を持つているが、之を増補改良せんとするものである。既存設備は沈澱池を欠き濾過池に直結しているが、之は巨大な琵琶湖の自然沈澱を受けた原水である事を理由としている。併し将来果して予備処理を省略してよいかどうかは問題で、水源地区に於ける湖辺都市村落の膨脹と産業の発展とは年々水源の汚染を深め、又琵琶湖水が夥しい浮游生物を含み濾床閉塞を早め濾過膜破壊の危険を来す事は湖水の常とはいへ、早晩問題となるべきものである。こゝに於て登場して来たものが二重濾過であるが、本法は松ヶ崎浄水場の創設当時已に試験濾過池を使つて実験⁴⁾が行われた。即ち同じ条件下に二重濾過と単一緩速濾過との比較を行つている。当時の結論によれば1) 浄水効率の増進、2) 濾過持続期間の延長 3) 濾過面積の縮少の三特長が挙げられている。本法を松ヶ崎に採用せんとする他の理由は、土地面積が単一緩速濾過では拡張に稍々狭隘を感ぜられる事であつて、別に予備濾過池を設けて之を第一濾過

とし従来の緩速濾過を第二とする予定である。かくして建設費及び作業費の節約を計ると共に水質の改善に万全を期せんとしているのである。併し今日の琵琶湖水の汚染は昔日の比ではあるまいから、京都市でも慎重を期して二重濾過と併せて緩速濾過、濾過前塩素処理、急速濾過、沈澱等に関して実験的研究を進めている。筆者は之等の成果が実を結び最も琵琶湖水に適した浄水方法によつて拡張工事の遂行される日の一日も早からん事を祈るものである。

元来二重濾過はイギリスで多く用いられ原水が極めて不良な時、特に鉄又は浮游生物を大量に含む時に適している。普通は第一が粗濾過の意味で粗砂で急速を以つて行ひ、第二は細砂緩速とするものである。其の企図する所は濾過膜生成に不必要な大形又は有害な浮游質は第一濾過で阻止され、第二濾過に至るものは藻類やその他微細な濾過膜生成に必要なもののみであるというのが、イギリス方面の意見である。従つて単一緩速濾過と同面積又は之より小なる面積で濾過効率をあげる事が出来るという。欠点は水頭損失大なる事である。かくの如く已に外国では試験ずみの技術であるから、我国でも格別の躊躇なく受入れてよいものではないかと考えている。尙本邦では大阪市に於ける実験⁵⁾があるが、矢張り実現には至らなかつた。宮北敏夫の氏の研究がある。

6. 急速濾過の表面洗滌

之もアメリカでは実施後已に久しく経過している。我国では原水が割合に清浄な為か或は空気併用の為か、免に角従来は実現したものをかきかない。併し泥球の生成による困難等は各地で体験せられ、之が対策には何れも腐心していた。最近我国でも漸く機熟し各地で之が実施に移らんとしている。アメリカでも表面洗滌に関して一定の型が決るという程度には進んでいない様であるが、多くは砂表面より上方で洗滌水を水平管で導いて、之から鉛直下方に 25mm 程度の管を 600mm 間隔位で出し其先端には 4~5 箇の孔を有する Cap が取付けてあつて、砂表面上 100mm 位の所に終つている。洗滌水は鉛直下方及び少し斜下に噴出して、砂表面の濾過膜を破壊するのであるが、其の際砂層下方からも洗滌水を送つて砂層を持ち上げ、上下から洗滌する様である。併しアメリカは多く水のみによる高速度洗滌を採用しているから、我国の空気水併用洗滌又は少

3) 広瀬孝六郎：上水道に於ける薬品と水との混合装置、特に Flocculators に就て、水道協会雑誌、第13号、昭和11年2月、1頁
4) 安田靖一：二重濾過に依る浄水の研究、土木学会誌、第17巻第2号、昭和6年2月

5) 島崎孝彦：上水道に於ける二重濾過試験並に微生物の消長に就いての考案、土木学会誌、第17巻、昭和6年、1085頁及び上水道に於ける二重濾過の実験的考案、同誌、第20巻、昭和9年、177頁、上水道に於ける二重濾過の研究、同誌、第23巻、昭和12年、788頁
6) 宮北敏夫：二重濾過法に就て、水道協会雑誌、第180号、昭和24年、7頁

しく古くなつたといわれる機械的攪拌と水とによる洗滌等とは、充分に比較検討を進める必要がある。

7. 塩素殺菌の強化

次に土木技術とは少しく縁が遠くなるが、水道技術として大きな問題を一、二述べる事とする。第一に塩素殺菌の強化である。厚生省令では以前は注入後10分の残留塩素が0.1~0.2ppmなるべしとあつたが、終戦後之を0.1~0.4ppmと増量した。従つて注入量も之に伴つて増加し各地で相違はあるが、大体2.0ppm位を注入しているのではないかと思われる。何故に増量されたかという点と漏水問題と密接な関係がある。即ち漏水箇所の存在は一旦断水の際は負圧により却つて水が侵入する恐れを生ずる。偶々周囲に汚水が存在する場合には、之が吸引されて更に他に給水される事は実例に乏しくない。此際頼るべきは水の殺菌力で、かくて末端の水も相当量の残留塩素を要求せられる理由が納得出来る。併し後述の様に残留塩素の存在が必ずしも殺菌力を意味しないが、無きに優る事はいう迄もない。元來塩素殺菌の目的とする所は細菌特に病原菌の殺滅である。併し其為の塩素の所要量は水質により異なるもので、不純物があれば塩素が空しく消費されるのみならず、甚しい場合は塩素が残留しても殺菌力の表われない事がある。此辺の機構は尙不明の儘残されているが、現今は残留塩素量を以て標準とするの外なく、厚生省令も此為に上記の通り改正されたのである。

8. 弗化物の功罪

10年以上も前から米獨に於ては弗化物を含む水が生後から10才位迄の小児の歯の珪瑯質形成を害する事が、喧しい問題となつて来た。研究の結果は1.0ppm以上の弗化物を含む水は弗素症を起すといわれ、治療なく一旦生ずれば終生残るので予防の外に方法がない。戦前我国では幸に上水道によるものはなかつたが、井戸水によるものは昭和3年以來鹿児島、兵庫、和歌山の各県下の例が報告されている。アメリカ、ドイツでは上水道による例も多く随分悩まされていた。然るに戦後アメリカの文献によると却つて弗化物の効果が認められて来た。即ち1ppm以下の少量を含んだ水は却つてむし歯を予防するというのである。そこで之を含まない水には少し加えてやつたら、市民の歯牙衛生の為に甚だ宜しいというわけで、人工的に弗化物を水中に注入している所がアメリカでは數十に及んでいる。尤も之に対して一部には反対の声がある様で、それは飲料水以外大部分の水が弗化物の効果を利用されずに浪費される事、水を薬品化して医学的に利用するのは間違である等の理由による。戦後我国でも宝塚附近の上水が弗化物を含む為に問題となつてい

るときが、之を弗化物を含まない水で稀釈して1ppm以下として供給するならば、それこそ禍を転じて福とする所以で甚だ面白いと思われるが、その為には附近に充分の稀釈水が存在しなければならない。又京都市では人工的に弗化物を注入しようとの論があつたが、其後実施されずに中止された様である。注入方法や量の調節等に相当に高度の技術を要すると思われるから、我国に実施するのは早計であらう。弗化物注入の問題は過去に於て甲状腺腫予防の為に沃化物を上水に加えた歴史と酷似している。甲状腺腫が水の罪に帰せられたのは欧米では古い事であり、又之が當を得ているか否かに問題は残るが、水と食物中に沃素の欠乏せる地方に多い病氣である事は確実の様である。又沃素の少量を与える事によつて本病が予防できる事も分つていたので、飲料水に少量の沃化ナトリウムを加える事によつて沃素を補給しようとした。そして此方法はアメリカで10数年前から実行に移されたが、現在は恐らく止めているのではあるまいか。其反対理由は上記弗化物注入に対するものと同様である。中には上水の塩素殺菌に匹敵するものとして推奨する人もあるが、之は少しく当らない。それは上水道による伝染病予防は塩素による外に方法がないが、弗化物や沃化物を供給する為には或いは菓子として或いは食塩として他の方法がある。弗化物は菌に塗布する事も出来る。かゝる意味で筆者も弗化物の上水注入には賛成し難い。

9. 分流式か合流式か⁷⁾

下水道に移ると先ず排除方式として分流式と合流式とがある。両式の優劣については今こゝで繰返そうとは思わない。又世界的に見る時ハツキリとは云いきれないが、合流式の方が余計用いられているだろう。我国も其例にもれず合流式が大部分を占め、分流式は岐阜市と高野町の2つ位のものであらう。併し東京都、京都市、下関市等では一部に分流式を用い、両者併用という形をとつている。勿論我国の現状は降雨量比較的大なるにも拘らず雨水渠さえない都市の多い事、又地下埋設物との関係も立遅れた下水道としては2渠の設置を許さない状態にある事等の特殊事情は存在する。終戦後我国下水道普及方策として、水道協会は分流式の採用をすすめているのは注目すべき傾向である。その考え方は在来の排水施設でまがりなりにも雨水排除の行われている都市では強いて断面の大きな合流式を採用しなくても分流式によつて汚水渠を新設すればよかるう。そうすれば建設費も節約されて下水道が普及するであらうというにある。ドイツでも分流式を

7) 雨水を別に導くのを分流式といひ、雨水と其他の下水とを全部一緒に導くのを合流式といふ。雨水以外の下水としては、家庭下水、工場下水等がある。

採用すべき地方的条件として次の様にあげている。

- a) 下水処理に際し下水をポンプ使用の必要ある場合
 - b) 雨水は短い渠で近くの水中に導く可能性ある場合
 - c) 既存の雨水を導くに適した水路が、下水処理場から離れている場合
 - d) 雨水を地上で又は一部地上で導かれる場合
 - e) 広い街路又は歩道の場合
 - f) 衛生上の理由から雨水溢流を避け度い場合
- 併し結局両式の選択は建設費と維持費との合計の廉いものとなると結論しているが、分流式の選択根拠に水道協会の考え方と一脈共通点のあるのは興味深い。ドイツの下水道の統計は少し古いものであるが、表1の通りである。之によると分流式は合流式よりも少く又屎尿運搬が尙残っている事が分る。併し当時已に下水道が1000以上もある事は羨しい限りである。

表1—1 ドイツ都市の下水排除方式

分流式（一部には合流式もある）	約 250
合流式（ " 分 " ）	" 660
併用式（一部は分流式、一部は合流式）	" 110
一部丈に下水渠あり	" 180
屎尿運搬	" 260

10. 雨水流出量の算出方法

従来から合理的方法と実験公式による方法とがある事は周知の通りである。外国でも両法が行われているが、アメリカでは合理的方法の一として Zone method 又は Time contour analysis という甚だ精密な方法⁸⁾を案出しており、ドイツでは専ら遅滞図による図解法⁹⁾によつて居る様である。アメリカの方法は徒らに精密を追うのみで果して実状に即しているか否か疑問があり、ドイツの図解法は一目瞭然ではあるが、雨の継続時間が異なるに従つて一々遅滞図を書かねばならない煩雑さがあるので矢張り実用には縁遠い様である。我国では合理的方法と実験公式による方法とが各地で採用され、然も実験公式は殆んど Bürkli-Ziegeer 公式に限られている。全国で見ると東京を中心とした前法と名古屋を中心とした後法との2派に分れて、互に自らの方法を正しいとして争つている傾向の見えるのは甚だ遺憾である。筆者等は先程此両方法の比較を試み発表¹⁰⁾した事があるが、要するに両方法の結果雨水流出量にはかなりの相違が認められ、特に平坦で大面積地に於て差は甚しく、時に合理的方法によるものが他の2倍以上にも達し、勾配 $40/1,000$ 以上の場合は大体両方法によるものが等しくなる事が分つた。そうすると

何れかの方法に誤りがあるか、両方共に間違いかという事になり、両方が併立存在するのは甚だおかし。実験公式による法ではスイスの Zürich で作られた Bürkli-Ziegler 公式をそのまま、日本に適用している点に、又1時間継続の降雨量のみを考へている点に明かに欠点があるが、然らば合理的方法は如何というに下流側の断面は長時間継続の降雨強度小なる雨により決定されるから、短時間の降雨強度大なる雨によつて決定された上流側の断面は下流側断面が満流に近い時には余裕がある事になる。此点は己に先年板倉誠氏¹¹⁾によつて指摘されているが、其対策計算法も同氏によつて提案されている。之の一般的解決策が見出されるならばこゝに真の意味の合理的方法が確立するのではないかと思われる。米元晋一氏¹²⁾の合理的及実験公式両法比較研究がある。

尚滞水池¹³⁾は専らドイツに於て20世紀の始以來研究され、諸都市で実施して工費を節約しているが、之を用いても此問題の解決の助けとなるのではないかと考えられる。滞水池というのは合流渠又は分流式雨水渠に設けるものであるが、雨水流出量は非常な変化を示すものであつて、合流渠では例えば満流の場合は晴天時下水量の50~100倍にも達する事がある。分流式雨水渠に於ても最大雨水流出量は平均流出量の数倍に達する。もし之等の渠を最大の量に対して設計しないとしても、年に数回位の比較的長時間丈、必要とする程度の大断面は与えなければならぬ。もし渠内を流下する雨水流出量の一部を溜めて雨が終つてから徐々に少量宛流出する事ができるならば、下流の渠は非常に荷が軽くなる。一時間に貯える雨水流出量が大なる程下流の断面は小でよい。かゝる装置を滞水池と名づけている。其為には実在の池、盆地、谷等も利用できるが建物の密集した地区では多くは地下に池を作らねばならない。滞水池底が下流下水渠に対して自然流下で出口を有すると都合がよいが、そうでなければ溜められた水量をポンプで上げなければならぬ。滞水池の欠点は水が静止の状態になる為浮遊質が沈澱する事で、之は適当な方法で除去しなければならぬ。溜めた水量は洗滌の為に利用される。連絡を適当にすれば下流側下水渠の大部分を此方法で完全に洗滌し得る。以上が概略であるが本邦では殆んど例を見ない。ドイツでは Altona, Berlin, Bonn, Brühl, Darmstadt, Duisburg-Hamborn, Durlach 等数十の都市で実施済みである。

昭和24年、第172号、17頁

- 11) 板倉誠:雨水流量の抑留, 水道協会雑誌, 昭和11年, 第36号 49頁
- 12) 米元晋一:合理公式がビュルクリー公式か, 水道協会雑誌, 第191号, 昭和25年9月, 12頁
- 13) 広瀬孝六郎:下水道学, 150頁

8) 広瀬孝六郎: 下水道学, 83頁

9) 広瀬孝六郎: 下水道学, 92頁

10) 広瀬孝六郎, 徳平淳: 雨水流出量計算方法の比較 水道協会雑誌,