討　　議

第24卷第3號　昭和13年3月

各種断面形狀下水渠の共通勾配式に就て

（第23卷第10號所載）

會員　淺　野　　好*

北澤教授の標題に關する論文は其の着想極めて面白きこと且下水渠の種々なる斷面形狀に對して諸水理量計算の勞苦には均しく敬意を表するものなるが茲に論文一讀後に於ける感想を述べさせて頂く。

1. 分流式に於ては流量最大時に於ける流深時を標準として勾配を設計して可ならんも合流式に是を適用せば連續旱天時に於て汚物の固着を生ずる虞なきか。又若し合流式に適用するとしても流量小なる場合に汚物泥塵の沈澱附着を防ぐために水理と不利なる矩形，方形等を選び此の水理量を平均して得たる著者の公式には自ら使用上の制限があると云はねばならない。

2. 下水渠に如何なる公式を使用すべきかは尙研究の餘地ある問題であると思はれる。著者の使用されたるマンニング，フォルヒハイマー，ヘーズン・ウォリアムス，タットン4公式は悉く指數公式なるが其の成立の歷史を見ても前2式は開水路に後2式は形狀の一定せる管水路に使用して有利なりと考へる。著者の計算せられたる表-15, 16, 17, 18 を眺むるときにヘーズン・ウォリアムス公式を使用せる勾配式の算定係數の平均が他の3式の場合に比して著しく異ることは是を證明するものではなからうか。尤もタットン式は元來管水路に對する公式なるも著者の採用されたる流速係數値によりてマンニング公式と略同形となり得たもので其の結果表-18 が表-15 と略一致せるは何等怪しむに足りない。

著者　會員　北　澤　貞　吉**

標題の拙文に對して會員淺野教授の御討議を戴き，前文に補足し得るの機會を與へられたことを感謝します。以下順次御答へいたします。

1. 流量最大の場合の水深時を標準として勾配式を作製したのは，稀釋度を普通行はれてゐる程度に取れば，大体沈澱を防止し得るに近い流速を發生し得ると見たからである。卽ち稀釋度は世界の諸例を通覽するに 3~6 倍であるが，本邦では東京市，名古屋市，豐橋市，福岡市が 3 倍，大阪市，京都市が 4 倍であつて，先づ3~4倍が本邦に於ける現行程度と見てよいから，此の程度で晴天時流速を算出して見ると次の如くなる。

今円形渠をとつて見るに，其の Q_{max} 時の流水斷面積は本誌第 11 號 (3.1) 式に示す如く，使用した 4 種の流速公式を通じて $A=3.06\,r^2$ となるから，稀釋度を 4 倍と大きな方をとれば，晴天時流量の流積は $\frac{1}{4}A=0.765\,r^2$ となり，これだけの流積が張る中心角度 ω は次式から算定出來る。

---

* 南滿洲工業專門学校教授　工学士

** 熊本高等工業学校教授　工学士

$$\frac{1}{2}r^2(\omega-\sin\omega)=0.765\,r^2$$

又は

$$\omega-\sin\omega=1.530$$

本式に挿入法を行へば，$\omega=131°$ の時此の關係を滿し得る。此の角度に相當する流深，徑深，流速等は算式を以て算出することも出來るが，水理特性曲線図を作製してあれば，それを利用すると簡單に得られる。之は多くの下水工学書や水力学書にもあるが，失禮ながら拙著“下水工学”改版 p. 85 の第 23 図を使用することを許して戴けば，該図から 0.31 H なる流深を得る（茲に H：滿管流深)。此の値は嚴密にいへば，流深が減じただけ流速が減ずるから $Q/4$ 時には之よりも更に流深は大となるべきも，今は之を其の儘とするとする。然らば其の流速は上記特性曲線図より滿管流速の 74％ で，Q_{max} 時の流速は同じく 113％ であるから，懸案時の流速は Q_{max} 時の夫れの

$$1.13\times0.74=0.836 \quad 即ち \quad 83.6\%$$

となる。依つて標準流速を 1 m/sec とすれば 0.84 m/sec，最小流速の 0.6 m/sec のものでも $0.6\times0.636=0.50$ m/sec に止まる。

若し又外國に行はれる最大稀釋度 6 倍を取るとすれば，晴天時の流積は

$$\frac{A}{6}=0.51\,r^2=\frac{1}{2}r^2(\omega-\sin\omega)$$

之が成立する如き ω の値は 111°40′ である。之に對応する流深は前同樣にして 0.225 H で，流速は滿管時の 60％ となる。故に Q_{max} 時の

$$1.13\times0.6=0.678 \quad 即ち \quad 67.8\%$$

となる。之に於て $v_s=1$ m/sec なるものは 0.68 m/sec に，$v_{min}=0.6$ m/sec なるものは $0.6\times0.678=0.41$ m/sec となる。

上記 0.5 m/sec とか 0.4 m/sec といふ流速では，沈澱を防止するには充分とは言ひ得ないが，拙著總說にも述べた樣に Burdick 氏は v_{min} を 0.45 m/sec 迄認め，Metcalf & Eddy 兩氏も 0.5 m/sec 迄を是認して居る狀態であるから，本邦現行の稀釋度 4 倍迄ならば先づ不都合はなく，更に外國例の 6 倍とするも表-1 に示した如く豌豆大の砂粒までは移動し得るから，幾分の沈澱を生ずる程度となり無理に使つて使へないことはないかと考へられる。而して若し著者の所謂標準勾配式を使用するならば，此の憂は全然無い筈である。著者が標準，最大，最小の 3 種の勾配式を作製したのは，字義にも明かな如く標準勾配を標準として普通は用ひて戴き度く，其の他のものは特別止むを得ない場合に於ては如何なる程度まで最小，最大が許されるかの限度として提示したものであることに御留意願ひ度いものである。

円形渠以外の管渠は，構築材料の節約及施工の關係上直徑 60 cm 以上の中，大管渠でなくては使用されず，從つて幹線又は準幹線にのみ応用されるので，流速の狀態も上記よりは寧ろよく，悪くても大体上記程度に納まるものと考へることが出來る。故に合流式下水渠に對しても $v_s=1$ m/sec，$v_{min}=0.6$ m/sec として立論したのは是認され得ると考へられる。勿論將來發展を豫想して，現在僅少の下水量しか存しない所に設けた管渠に對しては，自ら別問題である。

唯々沈澱，磨損等の問題を別として，20 種の斷面形狀渠に共通な勾配式をとの野望を抱いた點には，今から考へて少々無理がありはしないかとも思はれる。即ち図-34～37 に於て，標準最大，最小勾配式の各群に大分上下へ離れたものが出來て居るが，之を一緒にしないで少くも上下各 2 線宛計 4 種だけは除外したらば如何かとも考へ

られる。併し平均値には之等上下に離れたものが互に消し合ふので大差はないから，最後の結果なる共通勾配式は依然として同一のものとなる。故に之を利用されるについて，平均線から餘りに離れた種類の管渠は注意して用ひられ度く，或は平均線即ち共通勾配式でなくて，其の管渠獨特の勾配式を表-15～18 から抽出して使用されたらばよいと思ふ。其の他の管渠に對して及大局的に勾配を論ずる場合などには，矢張り其の價値を失はないと信じて居る次第である。

2. 下水渠に如何なる流速公式か適するかは，御説の通り今のところ未だ定まつては居ない。著者が指數公式のみ採用したのは，他式では流速係數 ζ 内に或者には徑深 R が，又他のものには勾配とか其の他の項が入つて來て，管渠の勾配を

$$i=\frac{1}{C r^{m/k}},\quad 玆に\ \ r:渠半徑 \cdots\cdots(2)$$

の樣な半徑の單一乘冪の關係には表はし得ず，從つて實用上の價値が減ずると考へたからである。此の (2) 式の樣な簡單な形となすことは，作図上に於ても非常に便利である。

現今下水道方面に多く用ひられて居る公式は，獨逸ではクッターの簡易公式，英國ではマンニング式又は其の定數を少しく變じたのみの Crimp and Bruges の公式 ($n=0.012$ に變じたのみ)，歐洲大陸ではフォルヒハイマー式，米國ではまちまちであるがクッターの公式，マンニング式又はヘーズン・ウォリアムス式等が用ひられゐるやうである。而してクッターの公式は複雜なので，之を改良してフォルヒハイマー式となしたことは，其の成立過程[1]を見ても解る。從つてクッター式は本式に包含されたと見ても差支へない。尙ほ Darcy の公式とか，Weisbach の公式，或は Bazin の公式等も用ひられないでもないが，大勢は指數公式の使用に傾いてゐる樣である。何れが最適であるかは比較實驗を行つて見なくては判らないが，相當の精度を有し且つ使用に至便であるといふ點では，著者は指數公式を最上位に置くことに躊躇しない 1 人である。

次に著者の使用した 4 種の指數公式の優劣であるが，之は實驗して見る機會を得ないので，何れもコンクリート渠に對して一般に用ひられて居る粗度係數を其の儘用ひたのであるが，同一コンクリート渠に對して實驗して定數を定めた後に算出すれば，もつとよい結果を得たかも知れない。特にヘーズン・ウォリアムス式のみが御説の如く大分飛び離れた結果を得たのは，一般に用ひられる $\zeta=110$ とすることが，マンニング式及フォルヒハイマー式に於て $\zeta=1/0.013$，タットン式で $\zeta=77$ としたものと對應する値なるやは，檢討の餘地が充分あると思ふ。筆者はタットン式の $\zeta=77$ を著者がマ式，フ式に合はせるやうに選定したから，あの樣に近似する結果を得たかの如く論ぜられたが，あれはコンクリート渠に對して普通用ひられて居る係數を採つたに過ぎない。其の他英國で上記の如く，コンクリート渠の粗度係數をクッターの指定値 $n=0.013$ とせずして，0.012 を用ひて英單位にて前者で $\zeta=\frac{1.486}{n}=114$ となるのを 124 としたのみの差異あるに拘らず，之を特に Crimp and Bruges の公式と命名して，現今廣く使用されて居るといふのにも，英國のコンクリートが獨逸其の他大陸のものと異るものであるか，或は同一でも其の樣に變更した方が實狀に適するのか等は，比較的近似値を出すマ式，フ式，タ式の 3 式に對しても檢討を要することかと考へられる。此の如き實驗を基礎とする檢討の後に作製すれば，勾配式も更に近似の値を得はしないかと考へられる。之等の點に就ては更に他日に讓り度い。

---

(1) Philipp Forchheimer: Der Durchfluß des Wassers durch Röhren und Gräben insbesondere durch Werkgräben großer Abmessungen. 1923.