

土 145

1

1

會 長 講 演

土木學會誌 第十四卷第一號 昭和三年二月

不定流の場合に於ける水位の變動に 伴ふ流速の變化 (昭和三年一月廿一日 土木學會定期總會に於て)

會長 工學博士 市瀨 恭次郎

Changes in Current Velocity caused by Fluctuation of
Water Surface in cases of Unsteady Flow.

By Kyojiro Ichinose, Dr. Eg., President.

内 容 梗 概

本論は主として水路、河川又は海峡に起る不定流の場合に於ける水位の變動に伴ふ流速の變化に關し數理的に論述するものにして、普通定流の場合に於けるものは本論の特種の場合に相當すべきものなりとす。

Synopsis

In this the author discusses the variation of velocity accompanying the changes of water surface in unsteady flows which take place in canals, rivers and straits, and considering those occurring in steady flows as a special case of the same. The discussion is entirely mathematical.

河川又は水路を流るゝ水が定流“steady flow”の状態にあるときの平均流速に基き水位の變動に伴ふ流速の變化を定めむとする著者の試みは其の端を明治 32 年の頃岡山縣備前國兒島灣の開墾事業が旭川其他此の灣に注入する諸川に對し治水上如何なる影響を及ぼすべきかを調査せし當時に發せり。

旭川は岡山縣下三大川の一にして明治 27 年其の下流部の實測をなすと同時に諸所に量水標を設け水位の觀測をなせしと雖も、流量の測定をなせしは僅かに明治 27 年御野量水標附近(河口より約 2 里餘の地點)に於て平水量を、同 30 年 9 月下牧(河口より約 4 里の地點)に於て洪水量を測定せるに過ぎずして、明治 25, 26 兩年の大洪水に於ける洪水量の如き全然之を知るに由なかりし。

河川又は水路が定流の状態にあるときの平均流速と不定流“unsteady flow”期間に於ける水位曲線とに基き水位の變動に伴ふ流速の變化を定むることを得ば、此の種の調査を進むるに當り其の資する所誠に大なるものあるべきを以て、爾來此の方面に向ひ研究を進むるに至れり。

第一節 整正なる水路に起る不定流の場合に於て水位の變動に伴ふ流速の變化 に對し Chezy 氏流速公式の應用(其の一)

整正なる水路を流るゝ水が定流の状態にあるとき

v ; 或る断面に於ける平均流速

d ; 其の断面の動水平均深

s ; 水面勾配

C ; 係數

とすれば,

$$v = C\sqrt{ds} \dots\dots\dots (1)$$

此の形態は Chezy 氏によりて定められたるものにして、整正なる水路を流るゝ水の速度は水面勾配と動水平均深の乘積の平方根に比例することを示し、而して此の事實は今日に至るまで一般に認めらるゝ所なりとす。

假りに此の形態を以て合理的なりとし、而して水の流れが定流の状態を變じ或る瞬間に水位に或る微量の變動を來たし、之に伴ふて d は ∂d , s は ∂s , v は ∂v によりて變化したるとき、假りに係數 C に變化なきものとすれば

$$(v + \partial v)^2 = C^2(d + \partial d)(s + \partial s)$$

此の方程式を解き而して其の數値極微なる $(\partial v)^2$ 及び $\partial d \cdot \partial s$ を除却するときは

$$\partial v = \frac{1}{2} \left\{ \frac{\partial d}{d} + \frac{\partial s}{s} \right\}$$

定流の状態にあるときの水面勾配は水路の 2 個の断面間の水面の落差 h を其の間の距離 l^* にて除したるものなるが故に此の場合に於て

$$d = m \times h$$

とすれば

$$s = \frac{d}{m \times l}$$

によりて示すことを得べく、而して d に ∂d の變動ありたる爲 s に ∂s の變動ありたりとすれば

$$s + \partial s = \frac{d + \partial d}{m \times l}$$

然るに $s = \frac{d}{m \times l}$ なるを以て是等の兩式より

* l を洪水波の波及速度に均しからしむるを理想とす。

$$\frac{s + \partial s}{s} = \frac{d + \partial d}{d}$$

又は $1 + \frac{\partial s}{s} = 1 + \frac{\partial d}{d}$

故に $\frac{\partial s}{s} = \frac{\partial d}{d}$ (2)

結局 $\partial v = v \cdot \frac{\partial d}{d}$ (3)

なる關係を得(土木學會誌第五卷第二號参照)。是故に定流の状態にあるときの動水平均深を d_0 、平均流速を v_0 とし、水位の變動開始より t 時を經過したる瞬間に於ける動水平均深を d_t 、平均流速を v_t とすれば

$$v_t = v_0 + \int_{d_0}^{d_t} \partial v$$

次に方程式 (3) を積分すれば

$$\int \partial v = \int v \cdot \frac{\partial d}{d} = V \int \frac{\partial d}{d} = V \log_e d$$

故に $\int_{d_0}^{d_t} \partial v = V \left\{ \log_e d_t - \log_e d_0 \right\} = V \log_e \left[\frac{d_t}{d_0} \right]$

を得、従つて

$$v_t = v_0 + V \log_e \left[\frac{d_t}{d_0} \right] \dots \dots \dots (4)$$

方程式 (4) の V は v_0 及び v_t の中間に介在するものなるが故に試みに d の變化するに伴ひ水面勾配も亦公式 (2) の關係の下に變化するものとし、Chezy 氏の公式により平均流速の變化を算出し d を横軸とし v の痕線 "Locus" を求むれば、 d の小なる場合にありては此の痕線は横軸に對し稍々張起 "Convex" せる曲線をなすも、 d が其の大きさを増すに従ひ事實上直線をなすを以て

$$V = \frac{1}{2} (v_0 + v_t)$$

なりと見做すも強いて妨げなかるべし、

故に $v_t = v_0 + \frac{1}{2} (v_0 + v_t) \log_e \left[\frac{d_t}{d_0} \right]$

又は $v_t = v_0 \times \left\{ \frac{2 + \log_e \left[\frac{d_t}{d_0} \right]}{2 - \log_e \left[\frac{d_t}{d_0} \right]} \right\} \dots \dots \dots (5)$

而して此の方程式(5)は C の値に變化なきものとして得たる結果に外ならざるを以て應用の範圍甚だ廣からざるものなりとす。

第二節 整正なる水路に起る不定流の場合に於て水位の變動に伴ふ流速の變化に對し Chezy 氏流速公式の應用(其の二)

定流の状態にあるとき整正なる水路の或る斷面に於ける動水平均深を d_0 、水面勾配を s_0 とし、不定流に移りし瞬間より t 時の間動水平均深が或る理想率を以て d_0 より d_t にまで變化し、之に伴ふて水面勾配が s_0 より s_t にまで變化する場合にありては方程式(2)の關係は存続せらるべきものなり、試みに此の方程式を積分するときは

$$\int_{d_0}^{d_t} \partial s = \frac{s_0}{d_0} \int_{d_0}^{d_t} \partial d = \frac{s_0}{d_0} (d_t - d_0) \dots\dots\dots (6)$$

となり、從つて

$$s_t = s_0 + \int_{d_0}^{d_t} \partial s = s_0 \left(1 + \frac{d_t - d_0}{d_0} \right) = s_0 \times \frac{d_t}{d_0} \dots\dots\dots (7)$$

故に第 t 時に於ける平均流速を v_t とし、係數を C_t とすれば

$$v_t = C_t \sqrt{d_t s_t} \dots\dots\dots (8)$$

を得、而して C_t は d_t 及び s_t の値を知るときは Kutter 氏の公式によりて容易に之を定むることを得べし。

明治 27 年 7 月 31 日より 8 月 22 日に亘り、中田地先 $\left(\frac{35}{26} L \sim \frac{35}{26} R \right)$ に於て利根川の低水流量及び洪水流量を測定し附表第一に示す如き結果を得たり、測定位置は栗橋鐵道橋の稍々上流にありて河道は略整正なりとす。

附表第一によれば最高水位に對する實測水面勾配に基き、公式(6)を適用して他の水位に對する水面勾配を計算したる結果は頗る實測のものに近似せり、又此の期間に於ける最高水位 18.4 尺に對する測定水面勾配 0.000473、動水平均深 14.43 尺、平均流速 5.63 尺(洪水前の斷面積によるもの)に基き、Kutter 氏の n の値を求むれば 0.035 を得、從來同所に於ける實測の結果による低水時の n の數値 0.0275 に比し頗る大なりとす。洪水に當り粗密率の斯く大なるは高水の爲堤外地の全部が浸さるゝによるものなるべきが故に常水位(中田量水標の水位 2.9 尺)及びそれ以下に對する n を 0.030、夫れ以上の水位に對するものを 0.035 とし公式(8)によりて各水位に對する平均流速を求むれば同表中の計算平均流速の欄に示せる如くなりとす。

以上の事實に徴するに若し此の洪水期間に於て C の數値を支配する粗密率 n の値を的確に定むることを得ば、河狀が事實上整正なる限り頗る正確に平均流速を算出し得べしと雖も、

河狀の整正は容易に期待し難きのみならず粗密率 n は常水敷と洪水敷とにより自ら其の數値を異にし之を定むること容易ならざるを遺憾とす（土木學會誌第五卷第二號參照）。

第三節 整正なる水路に起る不定流の場合に於て水位の變動に伴ふ流速の變化に對し Chezy 氏流速公式の應用(其の三)

北上川洪水觀測所に於て大正 6 年 4 月, 6 月, 7 月, 9 月及び 10 月に起りし洪水を觀測し, 水位の變動に伴ふ水面勾配及び流速の變化を實測せり。

試みに高極水位に對する實測水面勾配を基準とし公式 (7) を應用して其の前後に於ける水面勾配を算出し, 是等を實測の結果に對照するに大體に於て水位の上昇期間にありては前者は後者よりも稍々緩にして, 水位の下降期にありては恰も反對の結果を示しつゝあり, 之蓋し動水平均深が或る理想的關係を持続しつゝ變化するときは兩者(計算と實測)互に相接近すべきも, 實際に起る洪水々位曲線は斯く平調のものにあらずして從つて動水平均深の變化も亦不定なるに基くものなる可し。

是故に公式 (7) を實際に應用するに當りては更に一段の修正を加へざるべからず, 而して此の目的を達する爲著者は公式 (6) を修正して次の如き形態となし, 實測の結果と對照して ψ の値を定むべき實驗公式を案出するに努めたり,

$$\int_{d_0}^{d_t} \partial s = \psi \left(\frac{d_t - d_0}{d_0} \right) s_0 \dots\dots\dots (9)$$

北上川洪水觀測所に於ける實測の結果に基き考究せし所によれば, ψ は或る水位に對する水位の數理的變動率 ∂d_t と實際に起る水位の變動率 ∂d_a の比によりて支配せらるゝのみならず, 定流の状態にあるときの動水平均深と高極水位に對するそれとの比にも關係を有し, 結局次の如き形態が最も事實に近き結果を齎らし得べきことを知るに至れり,

$$\psi = 1 \pm \left\{ \left(\frac{d_a}{d_T} \right)^2 \times \sqrt{\frac{\partial d_a}{\partial d_t}} \right\} \dots\dots\dots (10)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \partial d_t = \frac{2.3 \log \left(\frac{d_T}{d_0} \right) \times d_t}{T} \\ d_T; \text{高極水位に對する動水平均深} \\ T; \text{不定流に移りし瞬間より高極水位に達するまでの時間} \end{array} \right.$$

公式中 (+) 印は水位の上昇期間に, (-) 印は其の下降期間に適用すべきものなり, 而して此の關係を公式 (7) に入るときは

$$s_t = s_0 \left\{ 1 + \psi \left(\frac{d_t - d_0}{d_0} \right) \right\} \dots\dots\dots (11)$$

(大正 8 年 4 月土木學會誌第五卷第二號參照)。

第四節 下關海峡に起る潮汐の干満に伴ふ潮流々速の變化

前三節に述べし所は主として Chezy 氏の公式が不定流の場合に如何なる程度にまで適用し得らるべきかを論究したるものなりと雖も、第二節及び第三節にありては公式中に水面勾配を含めるを以て水路が整正ならざる限りは其の得たる結果が不充分なるべきは理の視易き所にして、第一節の場合にありては公式中に水面勾配を含まずと雖も公式の性質上適用の範圍甚だ狭きものなりとす。

明治 40 年度より同 43 年度に亘り下關海峡航路整理の前提として潮流に關し稍々大規模の測量を開始し、海峡の隨所に自記驗潮機を設置し潮汐の干満を記録すると同時に之に伴ふ潮流の變化を測定せし外深淺測量をも併せ行ひたり。

下關海峡は日本海を瀬戸内海に聯絡する水道にして明神鼻に於ける幅員僅かに 300 間を超えず、此の狭窄部を西に過ぎ水道は直ちに兩側に展開し其の南側に凹入せる部分を門司港とし北側に灣入せる部分を下關港とす。此の部分を過ぎ水道は彦島の介在によりて 2 派に岐れ、島の南側を流るゝは所謂本水道にして大瀬戸と稱し其の北側を流るゝを小瀬戸と唱ふ。大瀬戸は大體に其の方向を西南に取り豊前國大里沖より赤阪沖に於て大彎曲をなし殆んど北方に向ひつゝ六連島の南方に於て小瀬戸と共に日本海に通ず。彼の彦島の西北角をなせる南風泊は六連諸島と相對して海峡の西口をなし、豊前國部埼は滿珠島と相對して其の東口を占め、而して東口より西口に至る海峡の延長約 12.5 哩、水深は明神鼻の最狹部に於て中等潮位以下 90 尺、幅員は廣き部分にありても尙 30 尺乃至 60 尺なりとす。

或る限局されたる水面が一道の水路によりて海に通ずる場合にありては此の水路に起る潮流は潮位の變動率に密接なる關係を有し、中等潮位附近に急にして干満兩潮位に接近するに従ひ次第に緩和さるゝと雖も、下關海峡の如き場合にありては潮流は干満兩潮位に急にして中等潮位に接近するに従ひ次第に緩となり潮位の變動率には何等關係を有せず、主として瀬戸内海と日本海との潮位の差に支配せられつゝあり。

海峡によりて聯絡せらるゝ 2 個の海面に於ける潮汐の干満が其の時刻を同ふするのみならず其の干満の差が兩者互に一致するときは海峡に起る潮流は、海峡の長さが頗る大なる等の特種の場合を除き、其の速度甚だ微弱なるべきも、是等兩海面に於ける潮程が其の大きを異にする場合又は假令兩海面の潮程は同一なるも其の干満時刻を異にする場合にありては潮流の發達頗る顯著なるものあり。

下關海峡に於ける實測の結果によれば潮流は大體に於て中等潮位に於て靜止し、潮位が中等潮位よりも高き間は東口より西口に向つて流れ、其の低き間は反對に西口より東口に向つて流れつゝあるのみならず干満兩潮位に於て其の最大値を顯出しつゝあり。

潮波が陸地によりて局限せられたる海面に進入するに當りては著しく其の波及速度を減殺

せらるゝものにして、九州の南端沖合より對馬水道に向つて波及する潮波が下關海峽の西口なる南風泊に達するまでには相當の時間を要し、爲に同所に於ける潮候時（某地點の潮候時とは月が其の地點の子午線に達したる時刻と其の地點の高潮時との間に存する時間を云ふ）は $10^{\text{時}} 15.36^{\text{分}}$ にして、豊後水道に進入する潮波が佐賀ノ關狹窄部を経て下關海峽の東口なる部埼に達するにも相當の時間を要し同所に於ける潮候時は $9^{\text{時}} 4.76^{\text{分}}$ なりとす。

又此の潮波が下關海峽に進入するや尙著しく其の波及速度を減じ、明神鼻に於ける潮候時 $9^{\text{時}} 19^{\text{分}}$ 、彦島の南端弟子待に於けるもの $9^{\text{時}} 42.12^{\text{分}}$ 、田ノ首に於けるもの $9^{\text{時}} 48.18^{\text{分}}$ 、同島の西南端福浦に於けるもの $9^{\text{時}} 59.24^{\text{分}}$ なりとす。

下關海峽の潮曲線は海上平穩なるときは極めて單調にして大體に於て正弦曲線をなすものと見ることを得べく、二重潮 “double tide” の如き複雑なる形態のものにあらず。潮程 “tidal range” は明神鼻に最大にして西口に向ふに従ひ次第に其の大きさを減じつゝあり。其の他潮候時の關係より之を見るに此の海峽の潮波は東口即ち瀬戸内海より西口即ち玄海灘に向つて波及しつゝありと知るべく、而して其の波及速度の海峽内に於ける著しき減殺は潮流出現の因をなしつゝありと知るべし。

明治 41 年度より翌年度に亘り海峽の潮流を測定せしこと 1,000 餘回に及べりと雖も弟子待と田ノ首に自記驗潮機を設置せしは明治 42 年 5 月にして、而して其の以後に於ける潮流の測定は主として與次兵衛礁（先年既に除礁を了へたり）以西に於て施行せられたり、試みに潮流速度の變化を驗潮記錄に對照するに潮流は概ね中等潮位に於て其の方向を轉換するのみならず干満兩潮位に於て最大値を顯出し、其の速度は自ら中等潮位に對する潮位の高さによりて支配せられつゝありとす。

- 是故に v_m ; 全水深に對する潮流の平均流速
- h ; 中等潮位に對する潮位の高さ
- D ; 此の潮位に對する水深
- K ; 流速係數

とし Chezy 氏の流速公式に因み潮流の速度は中等潮位に對する潮位の高さ h と此の潮位に對する水深 D との乘積の平方根に比例するものとすれば

$$v_m = K \sqrt{D \cdot h} \dots \dots \dots (12)$$

浮竿によりて測定せし潮流速度を流向に沿へる垂直面の全水深に對する平均流速 v_m に換算するには便宜フラシス氏の公式を使用したり。斯の如くして得たる v_m の數値を公式(12)に當て依りて K を算出し、就中外海靜穩にして海峽に於ける潮流の方向轉換が中等潮位に近く起りし場合及び之に準すべき場合を擇み、 \sqrt{h} を横軸に取り、 K を縦軸とし圖に配置せしに K の變化は簡短に一次方程式によりて示すことを得。是故に基點 ‘origin’ に於け

る K の値を α とし、 K の痕線が横軸に對してなせる角の正切を β とすれば

$$K = \alpha + \beta \sqrt{h} \dots \dots \dots (13)$$

となり、随つて

$$\begin{cases} V; \text{或る潮位に對する全断面の平均流速} \\ d; \text{同潮位に於ける同断面の動水平均深} \end{cases}$$

とすれば此の潮位に對する h は此の断面の全幅を通じて不變なるを以て

$$V = K \sqrt{d \cdot h} = (\alpha + \beta \sqrt{h}) \sqrt{d \cdot h} \dots \dots \dots (14)$$

(大正 10 年 10 月土木學會誌第七卷第五號参照)。

第五節 潮汐の感及區域以外に起る河川の洪水の場合に前節論旨の適用

前節に述ぶるが如く下關海峽の潮流は中等潮位に對する潮位の高と其の瞬間に於ける動水平均深との乗積の平方根に比例しつゝあり、而して若し此の事實が潮汐の感及區域以外に起る河川の洪水の場合にも保有さるゝものなる時は單に或る基線上の水位の高と其の水位に對する動水平均深とによりて流速の變化を定むることを得べく、随つて Chezy 氏の公式中に含める水面勾配を全然除外するを得べし。

北上川洪水觀測所は潮汐の感及區域以外に屬するを以て流れは常に一の方向にのみ限られつゝあり、而して流速は自ら水位の變動に伴ふ水頭及び水深の變化によりて支配さるべきは勿論なるべく、従つて下關海峽の潮流に關し研究上得たる所のものは又自ら北上川洪水の場合にも適用し得べき道理なりとす。

凡そ流速は水深の平方根に比例するが故に若し水深が次第に減少しつゝ終に河底に一致するときは此の機會に於て流速は自ら零となるべし、而して前節に述べし所によれば下關海峽に起る潮流は中等潮位に於て一旦靜止するを以て彼此相對照するに北上川の場合に於ける基面即ち河底は恰も下關海峽の中等潮位に相當すべく、従つて北上川に於ける基面に對する水位の高さ〔公式 (14) の h 〕は河底より計りたる水深に外ならざるべし。

宮城縣登米郡玉山に設置せる北上川洪水觀測所に於て大正 6 年 4 月、7 月及び 10 月の洪水、同年 6 月及び 9 月の中水、同年 7、8 兩月に於ける低水に際し實測して得たる全断面の平均流速、河底より計りたる水位の高さ、動水平均深の各數値を公式 (14) に當て係數 K の値を求め第一集團(大正 6 年 7、8 兩月の低水時に屬するもの)、第二集團(同年 9 月の中水に屬するもの)、第三集團(同年 6 月の中水に屬するもの)、第四集團(同年 4 月、7 月及び 10 月の洪水に屬するもの)に分類し各別に K の平均値を求むれば第一集團を除き他の集團に屬するものは互に相等しくして 0.225 乃至 0.226 となり、尙ほ大體に於て水位上昇期に屬する K は平均値よりも大にして其の下降期に屬するものは平均値よりも小なりとす、又低水時

に於ける緩流の測定をなすに當り流速器を使用せし爲實際のものよりも稍々小なる結果を齎らし K の數値を稍々低く導くの嫌あるを以て、試みに平均流速が 1 尺 3, 4 寸に達せし場合を取り K の平均値を求むれば 0.234 となり、他の集團に屬する各平均値に接近するを見る。

此の事實に徴するに此の斷面に於ける流速係數 K は水深の如何に拘らず一定不變なりと云ふことを得べく、而して係數 K の數値を定むべき公式(13)が此の條件を充たすには $\beta=0$ なるを要し、結局

$$K = \alpha = 0.225$$

となり公式(14)は次の形態となるべし、

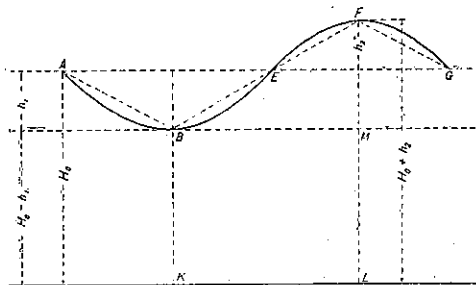
$$V = K \sqrt{d \cdot h} = \alpha \sqrt{d \cdot h} \dots\dots\dots (15)$$

是故に河川が定流の状態を保存するとき或る斷面に於ける平均流速を可及的正確に測定し、之に基き α の數値を定むることを得ば其の斷面に於ける洪水水位曲線と實測斷面により水位の變動に伴ふ流速及び流量の變化を算定することを得べし。

前節に述べし所の下關海峽にありては中等潮位に對する水面の高さ h は其の最大値に達するときと雖も海峽の水深に比し頗る小にして干潮位に際しても尙ほ相當の水深を存するに反し、本節に述ぶる所の北上川洪水觀測地點にありては基面上水位の高さ h は常に水深に一致し其の結果として水深が零となる機會に於て流速も亦零となる狀況にあり、而して是等の場合に付き能く考察するに係數 K を左右すべき α と β との間に自ら或る一定の關係を有し、而して此の關係は自ら基面上水位の高さと其の水位に對する水深との割合に密接なる關係を有するが如し。

試みに水の流れが其の方向を轉換すべき基準水面を AEH とし、 $ABEFG$ を水位曲線とし、水路の底部を通ずる水平線を KL とし、
(第一圖参照)

第一圖



- h_1 : 水位が基準水面以下に降下する最大値
- h_2 : 水位が基準水面以上に上昇する最大値
- H_0 : 基準水面に對する水深

とすれば水位曲線の全振幅は $h_1 + h_2$ なり、

而して前段に述ぶるが如く h_1 が H_0 よりも小なる場合には流速は假令ひ其の方向を異にするも B と F に於て最大値を現はし、 A, E, G に近づくに従ひ次第に減少しつゝ水位曲線が其の方向を變ずる點即ち “Point of inflexion” に於て零となると同時に流れの方向を轉換すること恰も下關海峽に於けるが如くなるべく、而して潮汐の感及區域以外に起る河川の不定流

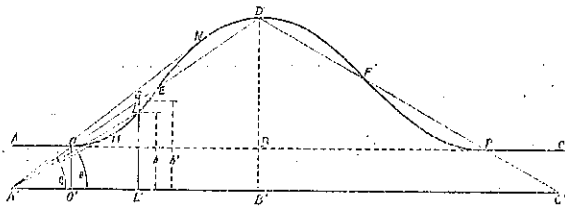
恰も KL が AEG に一致する特種の場合として論じ得べきものなりとす。

(大正10年10月土木學會誌第七卷第五號参照)

第六節 不定流の場合に於ける流速係數 K の變化

第二圖中 $A'B'C'$ を水路の或断面の底部を通ずる水平線とし、 $AOLNDFPC$ を此の水路に起りし不定流を自記量水器によりて記録されたる水位曲線(時を横軸とし水位を縦軸とす)

第二圖



とす。此の圖によれば水位が一定せる期間即ち A より O に至るの間流れは定流の状態にありしが O に於て不定流に移り或る時間の後最高水位 D に達し、夫れより水位は漸次に下降しつゝ P に於て再び定流の状態に復せることを示せり。試みに圖中

D, O の兩點を通じて直線を劃し之を延伸して川底を通ずる水平線 $A'B'C'$ に A' に於て交叉せしめ、此の斜線 DOA' と水平線とによりてなせる角を θ_0 とすれば、 θ_0 の變化せざる限りは $\tan \theta_0$ の値は不變なり、而して水位が O より D に移るの間流速係數 K_0 (定流の状態にあるときの係數) が其の儘存する爲には K_0 は自ら $\tan \theta_0$ に比例せざるべからず、故に f を或る乘數 “multiplier” とすれば

$$K_0 = f \cdot \tan \theta_0 \dots\dots\dots (16)$$

而して此の條件を具備する爲には水位が一定率により OE 線上に移動することを要するは勿論、流れに及ぼす水路内面の抵抗力は水位の變動に伴ふ水深の變化するに拘らず常に同一なりとの假りの條件を附加するを要す。

然るに水路又は河川に起る不定流の場合に於ける水位の變動は概ね不定にして、現に北上川に於ける洪水觀測の結果によれば水位の昇降の不定なるに伴ひ流速係數 K も亦自ら或る程度の變化を免れざることを事實に示しつゝありとす。

前段に述ぶるが如く水位が一の階段より次の階段に達するまで K_0 が不變なる爲には水位は終始一定率を以て變動することを要し、其の結果として θ_0 又は $\tan \theta_0$ は不變なりとの條件を具備せざるべからずとの結論に達すると同時に若し此の期間に於て θ が終始變化を免れざる場合にありては流速係數 K も亦直接之に比例して相當の變化を受くるものなりとの肯定をなすことを得べし、此故に第二圖に示せる水位曲線上の一點 D を通じて斜線 LA' 及び垂線 LI' を劃し、後者を延伸して DA' に G に於て交叉せしめ LAI' なる角を θ とし、 K を流速係數とすれば

$$K=f \cdot \tan \theta \dots\dots\dots(17)$$

となり、従つて是等兩公式より次の關係を得

$$\frac{K}{K_0} = \frac{f \cdot \tan \theta}{f \cdot \tan \theta_0} = \frac{LL'}{GL'}$$

然るに LL' 及び GL' は何れも水路断面の底部より計りたる實際の水深と想定水深とを示すものなるを以て LL' を h にて、 GL' を h' にて示せば

$$K = K_0 \times \frac{h}{h'} \dots\dots\dots(18)$$

以上論述する所によれば水位が O より E (水位曲線と斜線 DA' との交叉點) に向ひ次第に上昇するに従ひ K は次第に其の數値を増大すと雖も、水位曲線が斜線 DA' の下に存在する限りは $K < K_0$ にして E 點に於て始めて $K = K_0$ となり、水位が尙ほ次第に上昇しつゝ水位曲線が斜線 OD の上位を占むる間は $K > K_0$ にして、而して高極水位 D に於て $h = h'$ となるの關係上 $K = K_0$ となる譯合なりとす。

要するに水位の變動開始後水位曲線が斜線 OD に E に於て交叉するまでは K は常に K_0 よりも小にして、 A' を通ずる斜線が M 點に於て水位曲線に接觸するに當り $\tan \theta$ は其の最小値に達すると同時に K の數値も亦最小となり、 E より高極水位 D に達するの間 K は常に K_0 よりも大にして、 A' を通ずる斜線が N 點に於て水位曲線に接觸するに當り $\tan \theta$ は其の最大値を顯出すると同時に K の數値も亦最大となるべし。

因に云ふ、北上川に於ける實測の結果によれば水位が N より D に移るの間にありては K は次第に K_0 に接近するにも拘らず實際の流速は公式によりて得たるものよりも稍々大にして、従つて實際の K の數値は公式によりて得たるものよりも稍々大なる傾向を有せり、之蓋し次の如き諸原因の綜合作用に基くものなるべし。

- (1) 浅き水路 (Shallow channel) にありては流れに反抗する水路内面の摩擦の影響は頗る顯著なりと雖も、水深を増すに従ひ其の影響は次第に輕減さるゝものなるも、本論に於ては之を考慮しあらざること。
- (2) 水深の増加による流速の増大に伴ひ水路の底敷は或る程度にまで浚掘せられ、之によりて水深を増し爲に流速に影響し従つて K の數値を増すべきも、本論に於ては此の點を考慮しあらざること。
- (3) 浮竿の流下速度に基き其の垂直面の平均流速を算出するに當り修正上多少の誤差あるを免れざること。

水位の下降期にありても其の上昇期に於けると同様の順序方法によりて水位の變動に伴ふ流速係數 K の變化を定むることを得べく、而して此の場合にありては流れが定流に復せし時

機則ち第二圖中の P 點を通じて斜線 DP を劃し、此の斜線と實際の水位曲線との關係を考慮し、之によりて水位の低落に伴ふ係數 K の變化を定むべきものなりとす。

附圖第一乃至第五は大正 6 年 4 月、6 月、7 月、9 月及び 10 月に起りし北上川の洪水を登米郡玉山洪水觀測所に於て記録したる水位曲線にして、附圖中實線にて示せる部分は觀測所に於て實測したるもの、其の他は上流水越に設置しある量水標及び其の下流登米町に設置しある自記量水器の記録により挿入法 “Interpolation method” により作製したるものなり、又附表第二乃至第六は各觀測時刻に於ける其の斷面の平均流速及び其の時刻に於ける實際の水位及び想定水位を是等の附圖より摘出し、而して此の斷面の定流時期に於ける流速係數 K_0 を 0.225 とし、是等の數値を公式 (18) に當てはめ K_1 の數値を求め、是等を實測によりて得たる平均流速水深及び動水平均深により算出したる實際の流速係數 K に對照し以て本論の眞値を卜したるものなり。

是等の事例に徴するに大正 6 年 4 月 (附表第二) 及び 6 月 (附表第三) の洪水にありては K_1 は K に對し 1.1 倍に達し其の間に稍々大なる差異を見ると雖も、同年 7 月 (附表第四)、9 月 (附表第五) 及び 10 月 (附表第六) の洪水にありては前者は後者に對し夫れ々々 1.024、0.995、及び 0.960 の割合を占め何れも良好なる成績を示し、而して 5 回の洪水觀測に於ける平均は前者は後者に對し 1.038 なりとす。

公式 (15) の形態を見るに其の右項は單に或る水位に對する水路底敷よりの水深及び此の水位に對する當該斷面の動水平均深に關係を有するのみにして水面勾配には何等の關係を存せざるを以て、本論の他の場合に於けるが如く水路が或る長さに亘り數理的に又は少なくとも實際的に整正なりとの條件を具備するの必要を認めざるなり、而して此の公式によりて得たる結果を實際に最も近からしむる爲には觀測地點に於ける斷面の測量を精密に行ひ、水位の一定せる場合を選び屢々流速の測定をなし、之によりて係數 K_0 の數値を定むるは勿論、一朝洪水に際しては此の地點に設置せる自記量水器によりて正確に水位の變化を記録し、尙ほ能ふべくむば洪水期間を通じて流勢の洗掘作用に伴ふ斷面の變化を測定することを要す。

〔完〕

附表第一

明治二十七年中田地先=於實測の利根川低水及洪水流速及水面勾配

Table with columns: 測定方法 (Measurement Method), 断面 (Cross-section), 水深 (Water Depth), 流速 (Flow Velocity), 水面勾配 (Water Surface Slope), 係数 (Coefficient), etc.

丁標 26 の通水断面=於實測ス

低水時=1.20, 2.00, 3.00, 4.00, 5.00, 6.00, 7.00, 8.00, 9.00, 10.00, 11.00, 12.00, 13.00, 14.00, 15.00, 16.00, 17.00, 18.00, 19.00, 20.00, 21.00, 22.00, 23.00, 24.00, 25.00, 26.00, 27.00, 28.00, 29.00, 30.00, 31.00, 32.00, 33.00, 34.00, 35.00, 36.00, 37.00, 38.00, 39.00, 40.00, 41.00, 42.00, 43.00, 44.00, 45.00, 46.00, 47.00, 48.00, 49.00, 50.00, 51.00, 52.00, 53.00, 54.00, 55.00, 56.00, 57.00, 58.00, 59.00, 60.00, 61.00, 62.00, 63.00, 64.00, 65.00, 66.00, 67.00, 68.00, 69.00, 70.00, 71.00, 72.00, 73.00, 74.00, 75.00, 76.00, 77.00, 78.00, 79.00, 80.00, 81.00, 82.00, 83.00, 84.00, 85.00, 86.00, 87.00, 88.00, 89.00, 90.00, 91.00, 92.00, 93.00, 94.00, 95.00, 96.00, 97.00, 98.00, 99.00, 100.00

取道 海流センター各球, 速度の測定は各球に属する断面を定めて各断面の平均流速を求め、従来此断面に於て實測上得た(割算)平均流速=0.85x(各断面流速)にて算定ス

附表第二

大正六年四月北上川洪水=於て流速係数Kの變化

Table showing flow velocity coefficient K changes for the Utsunomiya River flood in April 1927, including columns for date, time, water depth, velocity, and K values.

附表第三

大正六年六月北上川洪水=於て流速係数Kの變化

Table showing flow velocity coefficient K changes for the Utsunomiya River flood in June 1927, including columns for date, time, water depth, velocity, and K values.

附表第四

大正六年七月北上川洪水=於て流速係数Kの變化

Table showing flow velocity coefficient K changes for the Utsunomiya River flood in July 1927, including columns for date, time, water depth, velocity, and K values.

〔正六年度誌第十四卷第一附録表〕

20回) 204.62 / 202.4

附表第五

大正六年九月北上川洪水=カナル流速係數K變化

月	日	時刻	基面(尺)上水		水深	動水		平均流速(實測)	係數K	γ	係數(假測)	K/K	備考		
			實際	想定		α	√α								
9	5	午後	8	53	18.240	8.35	11.940	1.325	1.155	8.90	2.21	22.3	.958	基面上川底(最低部)高=2.30 α=川底(最低部)計測水深 h=川底(最低部)計測穩定水深 $j = \frac{h}{L}$ $K_1 = \alpha \times j = .225 \times j$ $K = \frac{v}{\sqrt{gh}}$	
			9	55	18.240	8.55	11.64	1.225	1.109	2.17	21.7	.950	.977		
			10	39	18.350	20.07	12.05	1.277	1.130	8.273	1.040	2.48	23.7		.944
			11	30	20.180	20.57	12.89	1.327	1.153	11.20	1.120	2.63	23.9		.971
			12	30	20.400	20.65	13.10	1.335	1.157	11.41	1.121	2.58	21.0		.981
			13	40	20.570	20.70	13.27	1.340	1.160	11.58	1.123	2.60	22.5		.990
			14	23	20.720	20.80	13.42	1.350	1.165	12.10	1.125	2.60	22.3		.994
			15	48	21.250	21.02	13.95	1.372	1.176	12.17	1.127	2.40	10.7		.229
			16	30	21.420	21.70	14.52	1.440	1.197	12.18	1.128	2.27	10.8		.227
			17	50	21.720	21.78	14.52	1.448	1.197	12.18	1.128	2.77	21.8		.226
			18	53	21.780	21.72	14.48	1.442	1.194	12.65	1.128	2.80	22.1		.226
			19	25	21.420	21.50	14.12	1.420	1.188	12.30	1.128	2.78	22.4		.224
			20	3	21.350	21.42	14.05	1.412	1.188	12.24	1.128	2.77	22.4		.224
			21	59	21.070	21.30	13.77	1.400	1.183	12.00	1.127	2.14	9.8		.222
22	53	20.970	21.22	13.69	1.392	1.179	11.92	1.127	2.55	21.4	.221				
23	7	20.800	21.13	13.50	1.383	1.176	11.84	1.127	2.61	21.2	.220				
												(1.00) .220			
												.995			

附表第六

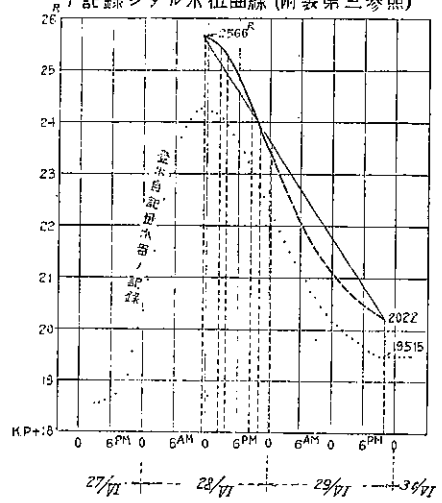
大正六年十月北上川洪水=カナル流速係數K變化

月	日	時刻	基面(尺)上水		水深	動水		平均流速(實測)	係數K	γ	係數(假測)	K/K	備考		
			實際	想定		α	√α								
10	1	午後	7	55	23.52	2.75	17.70	1.875	1.370	15.12	3.224	.219	.937	基面上川底(最低部)高=2.30 α=川底(最低部)計測水深 h=川底(最低部)計測穩定水深 $j = \frac{h}{L}$ $K_1 = \alpha \times j = .225 \times j$ $K = \frac{v}{\sqrt{gh}}$	
			10	50	23.45	2.74	21.17	2.010	1.434	18.94	4.441	.254	1.053		.237
			11	5	23.45	2.735	22.35	2.055	1.439	20.05	5.130	.256	1.089		.245
			12	5	23.55	2.820	23.15	2.270	1.490	20.91	5.448	.270	1.112		.250
			13	30	23.57	2.870	24.27	2.440	1.527	21.87	5.832	.271	1.134		.255
			14	30	23.17	2.895	24.87	2.175	1.475	20.23	5.041	.270	1.143		.257
			15	39	23.44	2.945	25.04	2.215	1.488	22.87	5.813	.254	1.144		.257
			16	35	23.34	2.925	24.14	2.275	1.510	23.64	5.443	.240	1.145		.258
			17	7	23.52	2.935	24.22	2.305	1.518	23.71	5.421	.237	1.138		.254
			18	15	23.27	2.945	24.27	2.415	1.538	24.41	5.534	.227	1.117		.251
			19	10	23.55	2.920	24.70	2.280	1.500	23.15	5.170	.242	1.071		.241
			20	49	23.24	2.970	24.40	2.274	1.500	25.38	6.328	.250	1.058		.239
			21	2	23.34	2.940	24.80	2.307	1.518	25.64	6.222	.237	1.047		.234
			22	48	23.43	2.940	24.73	2.210	1.500	25.51	6.444	.237	1.039		.234
			23	5	23.44	2.914	24.14	2.215	1.500	25.52	6.216	.243	1.034		.233
			24	52	23.52	2.940	24.22	2.210	1.500	23.21	5.559	.247	1.004		.224
			25	30	23.52	2.945	24.22	2.215	1.500	23.21	5.559	.247	1.002		.224
			26	45	23.40	2.940	24.10	2.210	1.500	23.11	5.577	.235	1.011		.228
			27	41	23.14	2.930	24.70	2.290	1.524	25.24	6.383	.253	1.046		.224
			28	9	23.45	2.950	24.20	2.227	1.500	24.57	5.779	.227	.998		.225
29	41	23.02	2.925	24.75	2.189	1.492	24.17	5.472	.235	.991	.223				
30	57	23.27	2.925	24.68	2.245	1.500	23.02	5.045	.219	.963	.217				
31	49	23.00	2.945	24.70	2.115	1.469	22.29	4.779	.210	.945	.213				
3	午後	32	30.80	33.05	23.50	2.575	1.603	24.15	6.677	.213	.973	.205			
		4	16	27.15	32.60	25.30	1.777	1.333	20.05	4.439	.221	.893	.199		
		7	52	27.66	32.40	25.10	1.747	1.320	19.50	4.340	.223	.897	.200		
		10	47	28.11	31.85	24.10	1.641	1.280	18.59	4.127	.222	.844	.190		
		5	59	27.44	31.40	24.30	1.601	1.264	18.76	3.859	.220	.829	.187		
		2	40	27.99	31.35	24.05	1.570	1.252	18.64	3.664	.200	.818	.184		
3	29	26.78	31.60	23.70	1.541	1.233	18.09	3.509	.197	.822	.185				
												3000) 28.806			
												.840			

(土木學會誌第十四卷第一號附録)

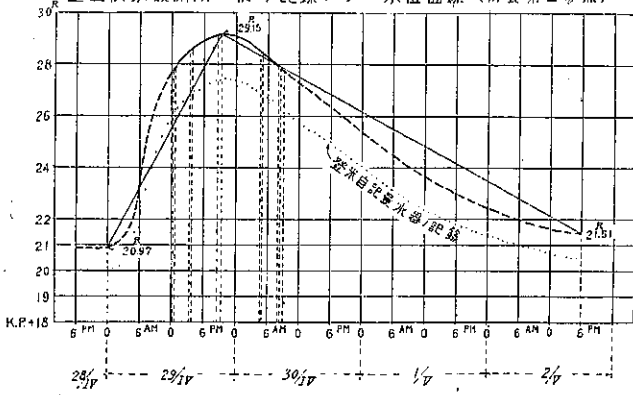
附圖 第二

大正六年六月二十七日ヨリ同月二十九日
ニ至ル北上川ノ洪水ヲ玉山洪水観測所ニ於
テ記録シタル水位曲線 (附表第三参照)



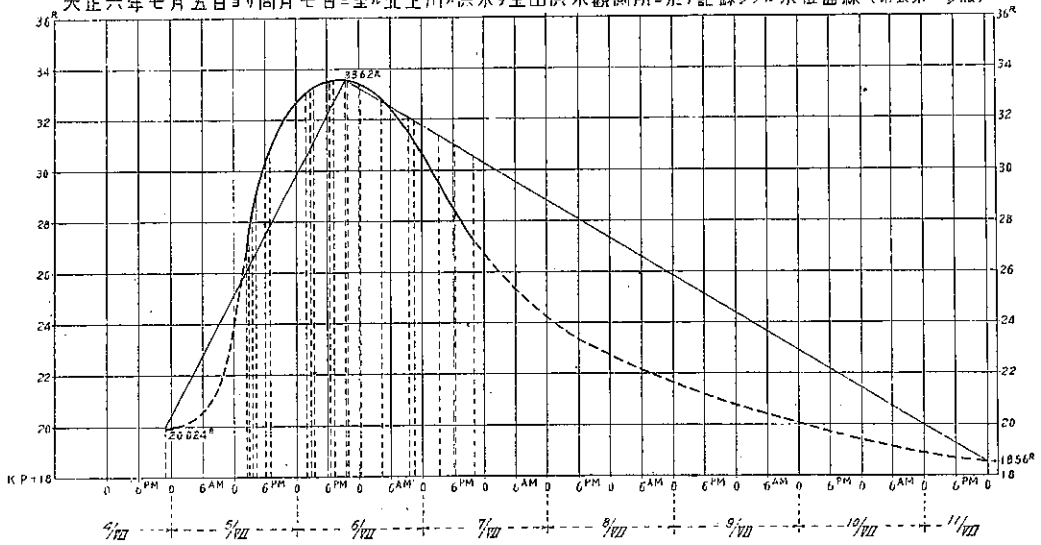
附圖 第一

大正六年四月二十九日ヨリ五月二日ニ至ル北上川ノ洪水ヲ
玉山洪水観測所ニ於テ記録シタル水位曲線 (附表第二参照)



附圖 第三

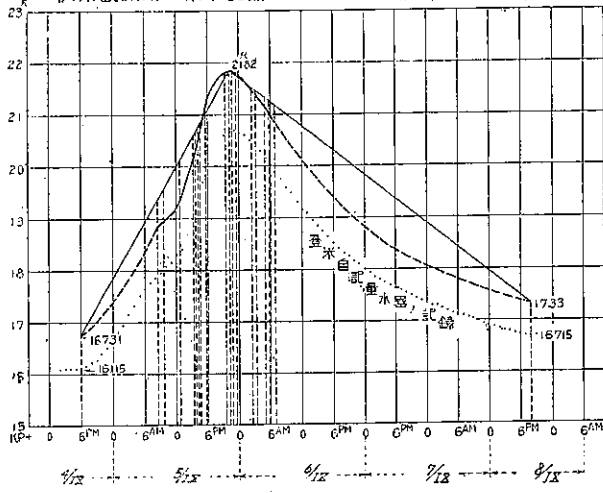
大正六年七月五日ヨリ同月七日ニ至ル北上川ノ洪水ヲ玉山洪水観測所ニ於テ記録シタル水位曲線 (附表第四参照)



土木學會誌第十四卷第一號附圖(三)

附圖第四

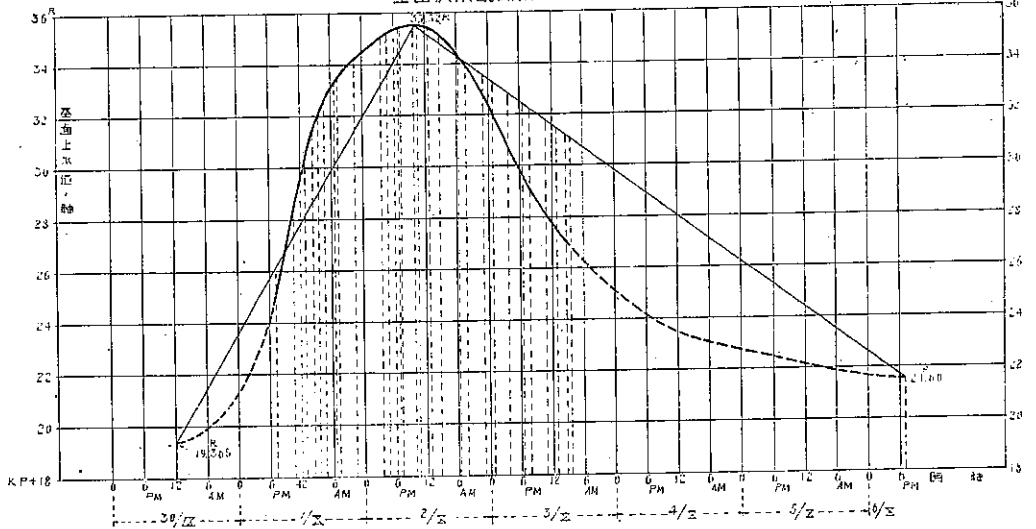
大正六年九月四日ヨリ同月八日ニ至ル北上川ノ洪水ヲ玉山
洪水觀測所ニ於テ記録シタル水位曲線 (附表第五參照)



附圖第五

大正六年十月北上川洪水水位曲線
玉山洪水觀測所ニ於テ記録ス

(附表第六參照)



(土木學會誌第十四卷第一號附圖)