

流量輸送時間に関する研究

(On the Water Arrival Time in Open Cannel Flows)

東京大学工学部土木工学科 正員 玉井 信行
 農林水産省農業土木試験場 ○岩 崎 和 巳

I. はじめに

近年「限られた水資源」という言葉が使われるように水源はひっばくしつつある。一方水需要者をとりまく社会情勢の変化も大きく、水需要は多様化する傾向にある。このため、用水路系の計画・設計にあたって、従来にもまして水の「有効、適切かつ省力的な制御・配分」が行なえることが強く要求されている。このような中で、現在では需要と供給を結びつけるための用水路系全域にわたる水管理のあり方についての議論が多い。有効な水管理システムを計画するには、まず流通機構における輸送時間に相当する流量の輸送時間を知ることが大切であろう。現状は取水口で用水量を増減した影響がどれ程の時間を要し如何にして目的の分木工やチェック地点に到達するかは、その用水路の管理人の長い経験、いわば現地テストによって知られているのが常である。しかし有効な管理システムを計画するためには、事前に把握することが必要である。

用水路系における流量輸送時間はつぎのように考えることができる。いまある流量 $Qi(m^3/s)$ が流れている定常流況の水路系を考えると、用水の増減後の流況は取水口において $\Delta Q(m^3/s)$ なる流量の増減が行なわれ、最終的には $Qi \pm \Delta Q(m^3/s)$ の流量が定常的に流れることになる。この初めの定常流況から、後の定常流況に至る過渡的な水理現象の発生する時間が、用水到達に要する時間である。この過渡水理現象を知るには、種々の境界条件をあてはめて不定流の基礎方程式を数値積分する方式（数理モデル）が有効である。すなわちこれは水路系を構成する水路、ゲート、サイホン、分木工などの要素を数理モデルに組みあげ、このモデルを用いて演算を実行すること（シミュレーション）によって知ろうとするものである。しかし一般には対象とする水路系であらゆる流量についての不定流シミュレーションを実施することは実用上不可能である。これに対し過渡現象前後の定常水面形を不等流計算から得られた情報をもとに流量輸送時間を推定することができれば、用水管理システムの計画・設計に大きな利益をもたらすと考えられる。ここでは、矩形断面水路における数値実験の結果について検討を加え、用水を増減した前後の定常流況の水路貯留変化量に着目することにより、流量輸送時間を把握できることが明らかとなったので報告する。さらにサイホンを含む複雑な水路状況においても、同じ整理手法が有効であることを示す。

II. 連続の式に基づく考察

1. 特性パラメーター

前述したように、本論文では初期の定常流況から次の定常流況に至る過渡現象を考察の対象としている。ここではこの過渡現象が擬似的な平衡状態を保ちながら進行、すなわち、等流状態が近似的に保たれながら進行すると考え、現象を支配する無次元量を求める。

開水路における連続の式は次式で与えられる。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 A : 通水断面積、 Q : 通過流量、 q : 単位幅・単位時間当りの横流入・流出量、 t : 時間、 x : 水路距離座標である。

いま、一樣水路の区間 Δl の上流端で流量に ΔQ の変化が与えられたものとする。横流入・流出量が存

在する場合にも、結局は流量の変化が下流にどのように伝達されるかを考えるのであるから、上述の場合に含めて考えることができる。 ΔQ の伝播はそれに対応する ΔA が伝播すればよいので、連続の式(1)より

$$\frac{\Delta A}{\Delta t} \sim \frac{\Delta Q}{\Delta \ell}$$

となり、結局

$$T = \frac{\Delta Q \cdot \Delta t}{\Delta A \cdot \Delta \ell} = \frac{\Delta Q \cdot \Delta t}{\Delta V} \dots\dots\dots (2)$$

が、過渡現象の特性を表現する1つの無次元量となる。

ここに、 ΔV は流量の増減に伴う水路内貯留量の変化である。

2. 初期伝達開始時間

初期等流水深として h_1 をもつ流れに流量の増加 ΔQ が行われ、最終の定常流況の等流水深が h_2 となる場合を考える。このとき上流端における流量増加の擾乱が距離 ℓ_s だけ離れた地点へ最初に伝達される時間 t_0 は次式で与えられる。

$$t_0 = \ell_s / (v_1 + \sqrt{gh_1}) \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 v_1 は初期流況における平均流速であり、擾乱の伝播速度は流速と波速の和と考える。

単位幅を対象としてマニング則を適用すると、 ΔQ と水深変化の関係が次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \Delta Q &= n^{-1} I^{1/2} (h_2^{3/2} - h_1^{3/2}) \\ &\simeq n^{-1} I^{1/2} \left\{ h_1^{3/2} \left[1 + \frac{5}{3} \left(\frac{\Delta h}{h_1} \right) \right] - h_1^{3/2} \right\} = \frac{5}{3} v_1 \Delta h \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

ここに、 $\Delta h = h_2 - h_1$ であり、 $h_1 \gg \Delta h$ と考える。また、 $\Delta V = \ell_s \cdot \Delta h$ であるので、これらの関係を式(2)に代入すると、初期伝達開始時間に関する無次元量 T_0 は次のように、初期定常流況のフルード数 Fr_1 によって示されることがわかる。ここに $Fr_1 = v_1 / \sqrt{gh_1}$ である。

$$T_0 = t_0 / \left(\frac{\Delta V}{\Delta Q} \right) = \frac{5/3}{1 + \sqrt{gh_1}/v_1} = \frac{1.667}{1 + Fr_1^{-1}} \dots\dots\dots (5)$$

3. 全量到達時間

上流端で与えられた ΔQ の変化が下流側 ℓ_s の距離にまで完全に及ぶ時間、すなわち、用水の到達時間 t_∞ につき考察する。ここで、水路の幾何学的な性状は次式で与えられるものとする。

$$AR^{2/3} = A^p \dots\dots\dots (6)$$

マニングの公式を適用すると $Q = kA^p$ と書くことができ、次式を得る。

$$\Delta Q = p \cdot v \cdot \Delta A \dots\dots\dots (7)$$

ここに、 v は平均流速である。また、流量の輸送時間を考えるときの代表速度を v とすれば($\Delta h/h \rightarrow 0$ の極限を考えれば、 v としては初期流況の平均流速 v_1 を取ればよい)、次式が得られる。

$$\Delta V = \ell_s \cdot \Delta A = v \cdot \Delta t \cdot \Delta A \dots\dots\dots (8)$$

式(7)、(8)を式(2)に代入すれば、全量到達時間に対する無次元時間 T_∞ は次式で与えられる。

$$T_\infty = \frac{p \cdot v \cdot \Delta A \cdot \Delta t}{v \cdot \Delta t \cdot \Delta A} = p \dots\dots\dots (9)$$

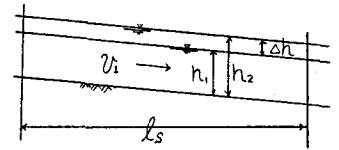


Fig 1 等流の記号説明

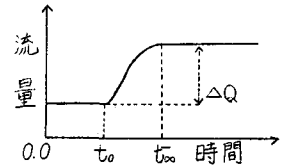
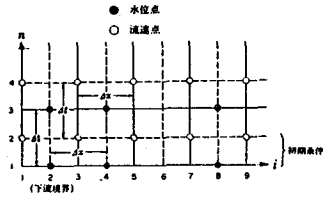


Fig 2 用水到達状況

式(9)における p はKleitz-Seddonの公式に現れる係数と同じで、波速と平均流速との比を表わす。したがって、等流近似の下に得られた無次元の流量到達時間は、Table 1のようになる。一般の形状に対しては、式(6)の関係に基づいて指数 p を決定すればよい。

Table-1. 各種断面形に対する無次元流量到達時間
(マニング則)

水路断面形状	$T_{\infty}(=p)$
長方形	5/3
三角形	4/3
広放物線	13/9



III. 過渡水理現象の解析に用いる数理モデル手法の概要¹⁾

Fig 3. 演算格子

擬似定常状態に達する理論的な考察を前項で行ったが、これが現実を生ずる水路の種々の状況に対して、どの程度正確に現象を表現できるかの検証を数理モデルによる数値実験により行なう。

1. 基礎方程式と演算格子

ここで用いた開水路の一方向流についての運動方程式を(10)式に示す。連続方程式は前出の(1)式である。

$$\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{g} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{v^2}{2} \right) + S + \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{n^2 |v|}{R^{4/3}} v = 0 \quad (10)$$

ここに、 g ：重力の加速度、 v ：流速、 S ：水路勾配、 h ：水深、 n ：粗度係数である。

この基礎方程式を中村・白石の方法によって差分式に展開し、距離および時間について数値積分を行ない流速、水深を求める。このための演算格子は水深点と流速点とをFig 3に示すように縦軸(n 軸)と横軸(i 軸)上で、それぞれ $\Delta t/2$ 、 $\Delta x/2$ ずつずらした千鳥状配置の格子に構成している。演算の進行は、 $n=1$ 軸上偶数点の既知水位と、 $n=2$ 軸上奇数点の既知流速が $(t+\Delta t/2)-(t-\Delta t/2)=\Delta t$ 時間、すなわち、 $n=1$ から $n=3$ 軸まで継続するものとして、連続方程式を用いて $n=3$ 軸上偶数点の水位が Δt 時間、 $n=4$ 軸まで継続するとして、運動方程式を用いて $n=4$ 軸上奇数点の流速値を求める。

2. 差分式

(10)式に示した運動方程式の各項について、差分中心を($i, n-1$)点とし、一次中心差分をとると次式となる。ここで $S, R, v, |v|$ については平均化あるいは代表値を示すものである。また Z は水路断面の最深点の標高を示す。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} &= \frac{n v_i - n_{-2} v_i}{\Delta t} \\ \frac{\partial h}{\partial x} &= \frac{n_{-1} h_{i+1} - n_{-1} h_{i-1}}{\Delta x} \\ \frac{\partial v^2}{\partial x} &= \frac{n_{-2} v_{i+2}^2 - n_{-2} v_{i-2}^2}{2 \cdot \Delta x} \\ S &= \frac{Z_{i+1} - Z_{i-1}}{\Delta x} \\ R &= \frac{n_{-1} h_{i+1} + n_{-1} h_{i-1}}{2} \\ v &= \frac{n v_i + n_{-2} v_i}{2} \\ |v| &= |n_{-2} v_i| \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

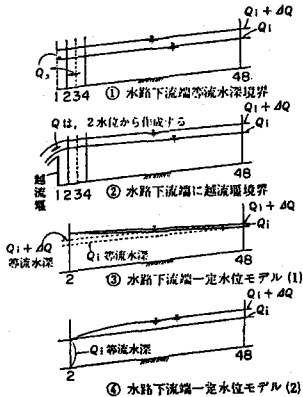


Fig 4 境界条件の違いによる到達前後の定常水面形

(1) 式に示した連続方程式の各項については差分中心を $(i, n-1)$ 点とし、水深点である i 点の水面幅を W_2 、流積を A_2 で示し、 $i-2$ 地点で W_1, A_1 、 $i+2$ 地点で W_3, A_3 とすると、(12) 式に示すものを用いる。

$$\frac{\partial A}{\partial t} = (\text{水面幅}) \cdot \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{1}{4} \left(3W_2 + \frac{W_1+W_3}{2} \right) \left(\frac{n h_i - n_2 h_i}{\Delta t} \right) \dots\dots\dots 2)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = \left(\frac{1}{\Delta x} \frac{A_2+A_3}{2} n_{-1} v_{i+1} - \frac{A_1+A_2}{2} n_{-1} v_{i-1} \right)$$

この数理モデルの検証を、電力中央研究所で行なわれた段波の実験例により行い、良好な結果を得ている。

IV. 水路下流端境界条件の影響に関する数理モデルによる検討³⁾

1. 水路下流端境界条件の分類

用水路では、用水を増加あるいは減少させる場合、分水工の型式により、分水点で水位変動が許される場合と許されない場合との2種類の流況が発生する。さらに、分水工の機能等を勘案すると、Fig 4に示す4種類のパターンに分類できる。

2. 数値実験モデルの概要と実験例

この数値実験は、水路幅 $B = 30\text{m}$ 、距離差分 $\Delta x = 400\text{m}$ 、底勾配 $i = 1/4000$ 矩形断面水路で行った。水路長さとしては、2400、4800、7200、9600m の4種について検討し、水路粗度係数は $n = 0.015$ とした。また時間差分は、 $\Delta t = 5.0^{\text{sec}}$ とした。水路長 9600m の場合のモデル系統図を示すと Fig 5 である。

演算は下流端境界条件分類に従った4グループに加え、水路長さについても4種に分け、さらにはつぎに述べる流量変化をも与えた64ケースについて実施した。演算の初期定常流量は $60.0(\text{m}^3/\text{s})$ を与えた。流量増減については、初期流量 $60.0(\text{m}^3/\text{s})$ に対し、増加量を $15.0(\text{m}^3/\text{s})$ 、 $5.0(\text{m}^3/\text{s})$ の2種、減少量を $30.0(\text{m}^3/\text{s})$ 、 $5.0(\text{m}^3/\text{s})$ の2種とした。この流量増加および減少は、あたかもポンプの急な運転と停止のように瞬時に与えている。

3. 不等流計算からの情報との比較

用水増減前後の不等流計算からの情報としては、つぎの諸量を考える。まず変化前の状況からは、水路長さ全般にわたる Δx 毎の流速および水深のそれぞれの平均値 $\tilde{v}_b, \tilde{h}_b$ が得られ、つぎに変化後の状況から同様に流速および水深の平均値 $\tilde{v}_e, \tilde{h}_e$ が求められ、また前後の水面形から計算される貯留変化量 ΔV も求めることができる。これらの値と増減流量 ΔQ からつぎに示す3種の時間が算出できる。水路長さ ℓ_s は流入点から用水増減観測点(モデル地点番号 $\#3$)までの距離である。

① 波速に基づく特性時間

$$T_h = \frac{\ell_s}{\tilde{v}_b + \sqrt{g \tilde{h}_b}} \dots\dots\dots (13)$$

② 貯留変化に基づく特性時間

$$T_c = \frac{\Delta V}{\Delta Q} \dots\dots\dots (14)$$

③ 平均流速に基づく特性時間

$$T_m = \ell_s / \left(\frac{\tilde{v}_b + \tilde{v}_e}{2} \right) \dots\dots\dots (15)$$

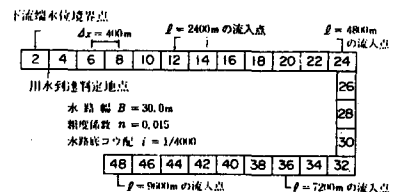


Fig 5 数値モデル系統図

演算結果からモデル下流端 $\#2$ の境界条件設定点から、 $\Delta x/2$ 上流 $\#3$ 地点の流量変化を図示し、上述の3種の時間との対比を行った。代表事例を Fig 6, Fig 7 に示す。

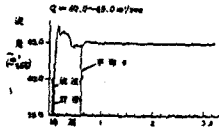


Fig. 6(1)-定水位境界で
 $L_s = 2400m$ の場合

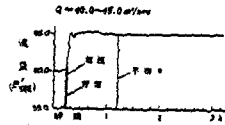


Fig. 6(2)-定水位境界で
 $L_s = 4800m$ の場合

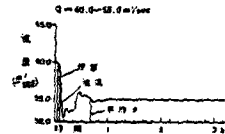


Fig. 7(1)-定水位境界で
 $L_s = 2400m$ の場合

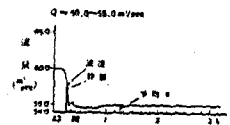


Fig. 7(2)-定水位境界で
 $L_s = 4800m$ の場合

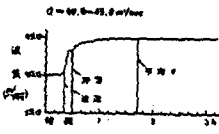


Fig. 6(3)-定水位境界で
 $L_s = 7200m$ の場合

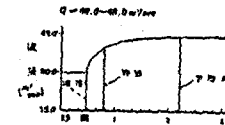


Fig. 6(4)-定水位境界で
 $L_s = 9600m$ の場合

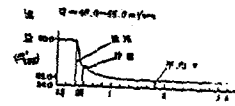


Fig. 7(3)-定水位境界で
 $L_s = 7200m$ の場合

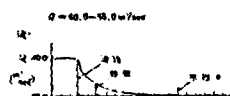


Fig. 7(4)-定水位境界で
 $L_s = 9600m$ の場合

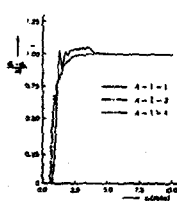


Fig. 8(1)-定水位境界グループ
で15.0%増加した場合

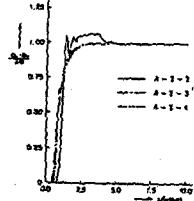


Fig. 8(2)-定水位境界グループ
で5.0%増加した場合

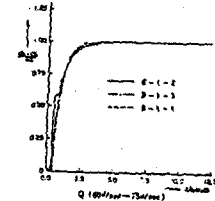


Fig. 9(1)-定水位境界グループで
15.0%増加した場合

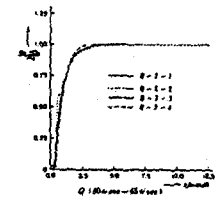


Fig. 9(2)-定水位境界グループで
5.0%増加した場合

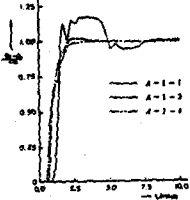


Fig. 8(3)-定水位境界グループ
で30.0%減少した場合

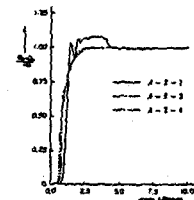


Fig. 8(4)-定水位境界グループ
で5.0%減少した場合

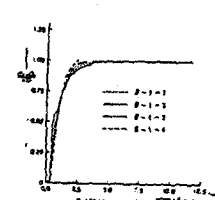


Fig. 9(3)-定水位境界グループで
30.0%減少した場合

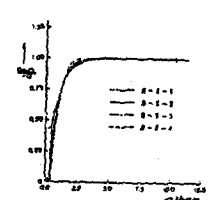


Fig. 9(4)-定水位境界グループで
5.0%減少した場合

4. 流量到達状況曲線の無次元表示

ここで各到達変化状況を示す曲線に、水路長さあるいは増減量の大きさがどのように影響を与えているかを検討するため、つぎのような無次元化を行った。流量変化は、増減流量 ΔQ と時間 t での到達量の比をとる。そして時間については、貯留変化による時間 T_0 で時間 t を無次元化する。この結果のうちいくつかを図示すれば Fig 8、Fig 9 である。また各グループ全てを示すと Fig 10 である。検討結果を要約するとつぎのとおりである。

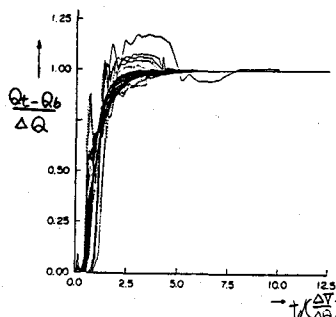


Fig 10 全演算ケースの用水到達状況の無次元表示

① 各種の境界条件下における流量到達の立ち上がる時間は、初期定常流況から求めた平均流速と波速の合計値で距離を除した値よりも小さめな値である。しかしこの違いは、波速を $\sqrt{gh\tilde{b}}$ なる計算値で代表させたとしても大きな誤差はないと判断される程度である。

② 貯留変化量に着目した時間と波速に基づく時間の関係は、堰上げの程度を示す指標と考えられ、次式に示す範囲では、流量到達状況は波速に基づく時間で急激に立ち上がり、かなりな振動を伴いながら収束する。したがってこの場合は波速に基づく時間で到着するといつて良い。

$$\frac{\Delta V}{\Delta Q} \leq \frac{\ell_s}{\tilde{v}_b + \sqrt{gh\tilde{b}}} \quad (16)$$

③ (16) 式以外の条件では流量に関する無次元量 $(Qt - Qb) / \Delta Q$ と時間に対する $t / (\Delta V / \Delta Q)$ の無次元量で整理すると、ほぼ同一の曲線パターンを示すことがわかった。よってこの無次元曲線の近似式を求め、これを用いて流量到達状況を推定できる。

V. 初期流況の相違の影響に関する数理モデルによる検討

1. 初期定常流況のフルード数の相違の影響

水路底勾配が同一の場合にフルード数に大きな影響を与えるのは粗度係数 n であるから、この値が 0.010、0.015、0.025 の 3 ケースについて数値実験を行った。用いた数理モデルは勾配 $i = 1/2000$ 、水路幅 $B = 30$ m、距離差分 $\Delta x = 200$ m、水路長 $\ell = 4800$ m である。境界条件は、上流端で流量境界、下流端では等流水深による水位境界である。無次元表示の結果と諸条件を Fig. 11 に示す。

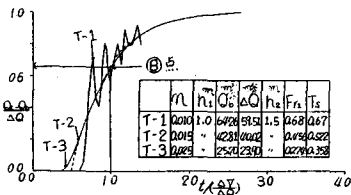


Fig. 11 フルード数の相違の影響

2. 初期定常流況の等流水深の相違の影響

前節は同一の初期等流水深で粗度係数が異なった場合についての数値実験である。これに対し、ここでは、同じ水路条件で粗度係数のみを $n = 0.015$ とし、初期等流水深の異なった場合の実験を行った。実施したケースから無次元表示した結果を細かな条件と共に Fig. 12 に示す。また水量増減に関する結果を Fig. 13 に示す。

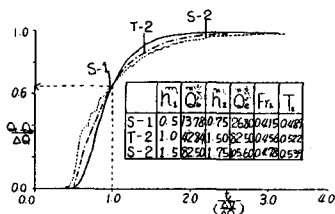


Fig. 12 等流水深の相違の影響

3. 水路勾配の影響

本節では水路勾配について検討を加える。粗度係数を $n = 0.015$ とし、初期水深を 1.5 m で、 $\Delta h = 0.25$ m に相当する流量を増加させた。水路勾配は、 $1/1000$ 、 $1/2000$ 、 $1/3000$ 、 $1/4000$ の 4 種である。無次元表示した

結果を Fig. 14 に示す。

VI. 流量到達状況の推定法の提案

1. 推定式の提案

ここでは理論式と数値実験に基づく経験式による2つの方法を提案する。

① 等流の場合の理論式

II章で示したように、全水量の到達点の座標は理論的に $(5/3, 1.0)$ となり、立ち上がり点については $(1.667/(1 + Fr_1^{-1}), 0.0)$ を求められた。ここでは、この2点をもとに横軸が1.0となる縦軸の値をつぎのように求める。すなわち、Fig. 15において、横軸が1.0までの四角形の面積は貯留変化量 ΔV に等しいわけであるから、 $\Delta AB'D$ と $\Delta EB'C'$ を等しいとおくことにより、所要のB'の縦座標位置を求めることができる。いまB'点の座標を $(1.0, x')$ とすれば、 x' は次式で求められることが導ける。

$$x' = \frac{2}{5} \{ Fr_1 + 1 \} \dots\dots\dots (17)$$

以上述べた $AB'C'$ の3点間を直線で近似することにより、等流境界で、 $\Delta h \ll h_1$ の場合には、初期流況のフルード数 Fr_1 から推定することができる。

② 数値モデルに基づく直線近似式

擬定常状態を対象とした場合の理論的な流量到達状況の推定法を前項において述べた。これと数値モデルによる計算結果とを比較し、より実情に即した経験則へと発展させる。流量変化の初期伝達点はほぼ予測通りである。しかし、 $T=1.0$ における流量到達度は理論においては初期フルード数の関数であるが数値実験結果によると、この値は種々の場合に対し2/3であり、ほぼ定数と考えられる。したがって、理論式をこの点に関して修正し、Fig. 15におけるB点の座標を $(1.0, 2/3)$ とする。全流量到達時点は前項と同じく Fig. 15 において ΔABD と ΔBEC との面積が等しくなるという原則で定める。C点の座標を $(x, 1.0)$ とすれば、 x の値は次式で求められる。

$$x = 3.0 - 1.0 Fr_1 / \{ 3 (Fr_1 + 1) \} \dots\dots\dots (18)$$

以上の検討は、初期定常流況が等流で、しかも $h_1 \gg \Delta h$ の場合である。それ以外の条件の場合には、立ち上がり点の座標は、 $(Th/Tc, 0.0)$ となり、縦軸の値が1.0になる点は、同様に、 $(3.0 - 2.0 \cdot Th/Tc, 1.0)$ となる。ここで Th, Tc は前出の(13), (14)式から求める。この2つの点と $(1.0, 2/3)$ の3点を結ぶ推定式を作ることができる。つぎに、ここで提案した2つの方法による推定値と数値実験値とを比べると Fig. 16 である。理論値による推定式で x'

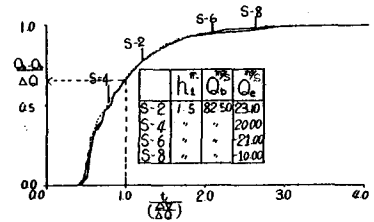


Fig. 13 水量増減の影響

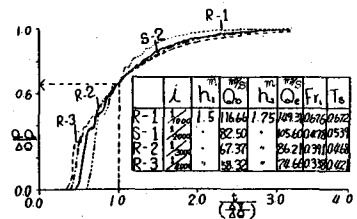


Fig. 14 水路勾配の影響

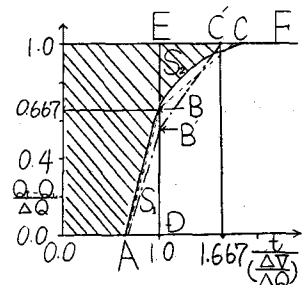


Fig. 15 無次元表示曲線の概要

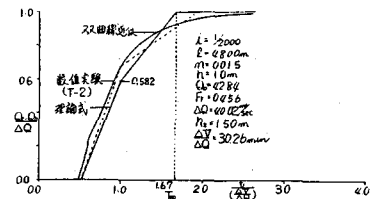


Fig. 16 数値実験値と推定式との比較

は0.582であり、実験値2/3と比べると小さめであるが、これは不定流の効果であろうと推察される。

Table - 2 検証に用いる数値実験条件

ケース名	i	n	$Qb(m^3/s)$	$\Delta Q(m^3/s)$	$v_1(m/s)$	$\bar{h}b(m)$	Fr_1	備 考
Q-1	1/2000	0.015	42.84	39.66	1.267	1.102	0.386	下流端 $h = 1.5$ mに維持
Q-1 ⁽¹⁾	1/1500	0.015	49.47	17.02	1.649	1.00	0.527	下流端等流水深境界
Q-1 ⁽²⁾				-15.10				

2. 推定法の検証

前節で水量到達状況の推定法として2種の方法を提案した。ここではTable-2に示すケースについて推定式による予測値と数値実験結果を比較し、算定方式の妥当性を示す。結果の図のみ示すと、Fig. 17、Fig. 18、Fig. 19となり堰上げの影響を受けている場合、等流で増加あるいは減少があった場合についても、ほぼ満足できる結果である。

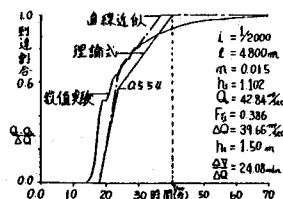


Fig. 17 Q-1ケースにおける比較

Ⅶ サイホンを含む水路系における水量到達状況の検討⁴⁾

1. サイホンを1ヶ所含む水路系

数値モデルは、Fig. 20に縦断面図を示すもので底勾配 $i = 1/2000$ 、水路幅 $B = 10$ m、 $\Delta x = 200$ m、水路長 $\ell = 4800$ m、粗度係数 $n = 0.015$ で途中に直径 $D = 3.0$ m、粗度係数 $n = 0.015$ 、円形断面のサイホンを含んでいる。境界条件は上流端で流量、下流端では一定水位を維持する。サイホン長さ $\ell = 100$ mと600mについて、演算を行った結果を無次元表示すればFig. 21となり、開水路と同様の整理手法が有効である。

2. サイホンを2ヶ所含む水路系

前節と同様の水路条件および境界条件の与え方で、サイホンを2ヶ所 (Fig. 20の地点番号19と35) 設けた場合についての検討を行った。結果をFig. 21に示す。

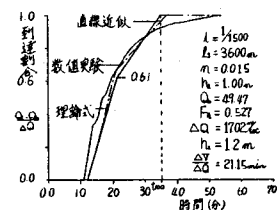


Fig. 18 Q-2(1)ケースにおける比較

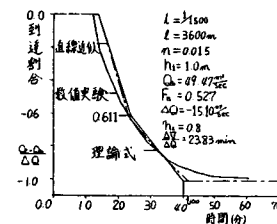


Fig. 19 Q-2(2)ケースにおける比較

Ⅷ 結 言

用水増減に伴う到達状況を知るため数値実験を行いその結果、到達状況は大きく2つに分けられ、その指標としては、(13)、(14)式の比を考えればよいことを示した。この Th/Tc の値が1.0より大きな場合は、波速に基づく時間で急激に立ちあがる。つぎに Th/Tc の値が1.0より小さい場合には、貯留変化量に着目した無次元化により、ほぼ同一の曲線で示されることを示し、近似式を示した。さらに、 $h_1 \gg \Delta h$ でかつ等流の場合には、曲線の立ち上がり点は、初期定常流況のフルード数で示され、また全量到達点は波速と平均流速の比として示されることを示した。また水路の途中に設けられ

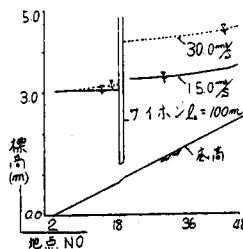


Fig. 20 サイホンを1ヶ所含むモデルの縦断面図

る構造物のうち固定的で水面形に大きな影響を与えるサイホンに着目した検討においても、開水路と同様の処理手法が有効であることが明らかとなった。さらに矩型断面以外の台形断面、標準馬テイ型断面についても同様の推定法が成立することを確めている。

謝 辞

本論文をまとめるにあたり、東京大学農学部緒形博之教授、工学部高橋裕教授、農林水産省農業土木試験場白石英彦室長から多大の助言を得ました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 岩崎和己(1975)「用水システムの教理モデルによるシミュレーション手法について」、農士学会誌、43巻7号、P432~438
- 2) 秋元保・丸岡計・浅和三越(1968)「ダム放流操作による貯水池内における不定流解析」、電力中研技研報告、NO68001、P1~60
- 3) 白石英彦・岩崎和己・伊藤善一(1977)「幹線開水路系における用水管理の形態とその機能解析」、農士試報告、第15号、P1~47
- 4) 岩崎和己・白石英彦(1978)「農業用水路における用水到達時間の検討(その2)」、53年度農士学会大会講演要旨集、P32~33

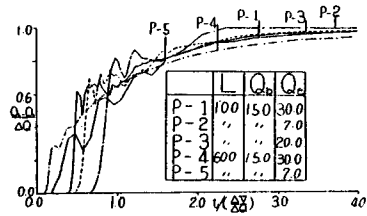


Fig. 21 サイホン1ヶ所を含む水路系での用水到達状況

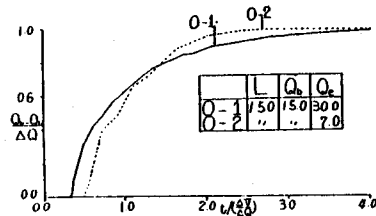


Fig. 22 サイホン2ヶ所を含む水路系での用水到達状況