

電力中央研究所 正会員 ○秋 元 保
 " 正会員 丸 岡 計

1 ま え が き

自然河川における不定流を解析する場合に、河川形状を河道にそつて細かく分割し、各々の河川断面を忠実に折込んで計算する方法と、河川断面の形状を一様と思われる部分に大きく分割して、その様な水路が連続して河道を形成しているとして計算する方法とがある。前者は河道を細かく分割するため計算が複雑となり、また計算が不安定になりやすい。後者は河川形状の設定、および水路損失の決定が難かしい。ここでは、後者の方法によつて貯水池内の不定流を解析し良好な結果を得たのでこれらの計算方法について報告する。

さきに筆者らは特性曲線法にもとづいた一様断面水路の不定流の計算方法を提案した。⁽¹⁾⁽²⁾この計算方法は流れにおける不連続点の移動を段波現象によつて解析し、それに続く流れを特性曲線法によつて解析して、2つの流れの解法を組合せて波動を解析する方法である。自然河川の不定流を解析するにはこの方法を使つて各断面が一様の水路について解析し、そして断面が異なつた水路と水路の接合部については、第22回年次講演会において報告した断面変化部における不定流の計算方法によつて解析する。⁽³⁾

2 計 算 式

流れの不連続点の移動を考えて、段波の基本式から、長方形断面水路の伝播速度および波の変形は次のようになる。

$$\omega = \left(U + \frac{\Delta U}{2} \right) \pm \left(V + \frac{\Delta V}{2} \right) \text{----- (1)}$$

$$\Delta U \mp 2 \Delta V = 0 \text{----- (2)}$$

ここに、U：流速，V = \sqrt{gH} ：波速， ω ：段波の伝播速度，

上流からの段波に対して、(1)式は正符号，(2)式は負符号をとり，下流からの段波に対して(1)式は負符号，(2)式は正符号をとる。次に段波の伝播したあとの流れに対して，特性曲線方程式は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= (U \pm V) \\ d(U \pm 2V) &= g \left(1 - \frac{n^2 U^2}{R^{4/3}} \right) dt \end{aligned} \right\} \text{----- (3)}$$

一様断面水路の不定流計算は(1)(2)および(3)式によつて計算する。水路断面が変化する部分における計算式は、定常流における水路巾変化部に起る現象を解析し、これが不定流においても適用されるとして導びいた。急拡水路の上下流の断面における運動量方程式および連続方程式を示せば次のようになる。

$$\frac{gB}{2} (h^2 - H^2) = BHU^2 - bh u^2 \text{----- (4)}$$

$$bh u = BHU \text{----- (5)}$$

ここに、h, H：水深，u, U：流速，b, B：水路巾 小文字は上流，大文字は下流側水路の値を示す。上流側の断面の条件から下流に流下した流れの変化を見る(4)(5)式から流速の変化 Δu は次のようになる。

$$\Delta u^2 + (2u - \frac{v^2}{2\beta u})\Delta u + (u^2 - \frac{u^4}{\beta})\Delta u - \frac{(1-\beta^2)}{2\beta}uv^2 = 0 \quad (6)$$

ただし、 $\Delta u < 0$, $\beta = \frac{b}{B}$ とし、 $1 > \beta > 0$ となる。

3次式の根 Δu を求めれば断面変化部での流速の変化量である。また、水深の変化量 Δh を(4)(5)式およびエネルギー方程式から求めて、 $v = \sqrt{gH}$, $\Delta v = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{g}{H}}\Delta h$ の関係を代入すれば波速の変化量は次のようになる。

$$\Delta v = g(i_0 - \frac{r^2 u_0^2}{R_0^{3/4}}) \frac{\Delta x}{2v} - \frac{\beta u \Delta u (u + \Delta u)}{v(u + \Delta u + \beta u)} \quad (7)$$

ここに i_0, u_0, R_0 は断面変化部上下流断面の勾配、流速、径深の平均値、 Δx :断面変化部の上下流断面の距離

(6), (7)式から特性曲線方程式の表示による $\Delta u + 2\Delta v$ の値を求めて、断面変化部の流れの変化を計算する。同様な取扱いにより急拡部の下流側断面の条件より上流側断面の条件を求める計算式が得られる。

$$\Delta u^2 + (2U - \frac{V^2}{2U})\Delta u + (U^2 - V^2)\Delta u + \frac{UV^2}{2}(\beta^2 - 1) = 0 \quad (8)$$

$$\Delta v = g(i_0 - \frac{r^2 u_0^2}{R_0^{3/4}}) \frac{\Delta x}{2V} + \frac{U\Delta u (U + \Delta u)}{V(U + \Delta u + \beta U)} \quad (9)$$

ただし、 $U > \Delta u > 0$, $\beta = \frac{B}{b} > 1$

また縮小断面水路の場合も同様にして求めることができる。その場合に $\beta = \frac{b}{B} > 1$ となり、(6)式の Δu は $u > \Delta u > 0$, また(8)式は $\Delta u < 0$ となる。

(6)(7)式は、上流断面の条件から下流断面の条件が求まり、(8)(9)式は下流断面の条件から上流断面の条件が求まる。以上の計算式から変断面水路の不定流を計算する。

3 実測結果との比較

図-1 貯水池略図

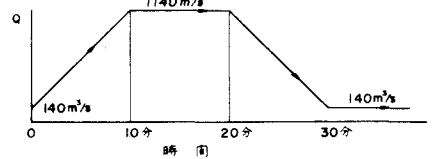
図-1に示す貯水池において不定流の実測を行なった。



この実測にもとづいて、これをデジタル

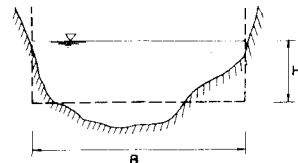
計算機によつて解析し、その結果を実測結果と比較検討を行なった。貯水池の長さは約1.2kmで下流端はダムによつて約1.6m堰上げられダム式の発電所がある。また上流端にはB発電所がある。いまBダムより図-2に示すようなゲート放流を行なつて、そのときの水位変化を図-1の測点6ヶ所で測定した。なお下流のAダムは放流を行わず、そのためBダムからの放流はA貯水池に貯溜される。

図-2 上流ダム放流量



貯水池の形状を長方形水路に置換するため図-3のように貯水池の各横断面の水面巾を水路巾にとり、水深 h を断面積 A に等しい長方形水路になるよう $h = A/B$ として求めると、谷点の水路巾 B と水深 h は図-4に示すようになる。この河床勾配と水路巾をある程度平均化して水路巾が一様水路にすると図-4の点線のようになる。その結果水路勾配は上流から下流まで

図-3 河川断面置換図



$i = 1/800$ となつた。水路巾は下流端から3.6kmまでを150m, 3.3kmから7.2kmまでを205m, 7.2

Kmから1.2 Kmまでを105 m
の長方形水路となつた。

水路形状を長方形断面水路
に置換した場合に、水路の摩
擦損失は、もとの水路の水面
勾配と等しくなるような仮想
的な粗度係数を求める必要が
ある。いま長方形断面に置換
した水路について粗度係数 n
を0.025, 0.050, 0.075のそ
れぞれの場合の不定流を計算

した。すなわち図-2の流量が貯水池に流入したときの不定流をデジタル計算機によつて計算した結果は図-5のようになつた。

貯水池の上流側測点No.1と下流側の測点No.6で実測結果と比較すると $n=0.025$ の計算結果はNo.1の水位上昇は小さくNo.6の水位上昇が大きくなり、 $n=0.075$ の計算結果はその反対となつている。このことよりもつとも適当な粗度係数は $n=0.050$ より多少小さな $n=0.040$ と推定された。

粗度係数 $n=0.040$ として長方形断面水路の不定流計算を行なつた。格子間隔は上流部は100 m, 中流部は150 m 下流部は180 mで96分割した。実時間2時間の計算が約8分間の計算時間であつた。なおこの計算では上流からの放流量の変化が急激であるため格子間隔が細くなつたが洪水波のような流量変化がゆるい場合は格子間隔はあらく計算時間も短かくすることができる。

計算結果は図-6に水位変化および流量変化を点線で示した。実測した水位変化(実線)と比較してほぼ満足する結果が得られた。

4 む す び

自然河川の不定流を特性曲線法によつて解析し、水路形状の設定、水路摩擦損失の評価について実測結果とも一致し、この計算方法の妥当性が証明された。

- 参考文献 (1) 秋元, 「特性曲線法による不定流の新計算法」 電研所報 Vol.13, No.5, 6
 (2) 秋元, 丸岡 「ダム放流操による貯水波内における不定流解析」電研報告 No.6801
 (3) 秋元, 丸岡 「開水路の断面変化部における段波の水理解析」第22回年次学術講演会
 (4) 秋元, 丸岡 「開水路の水路巾変化部における不定流の解析」電研報告 No.67075

図-4 水路断面の長方形断面置換図

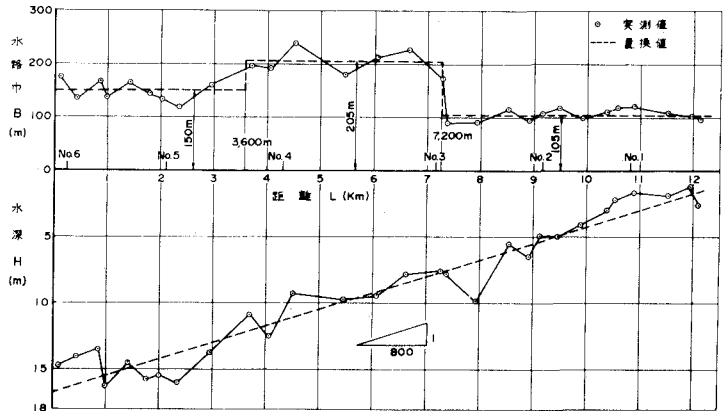


図-5 粗度係数による水位変化の比較

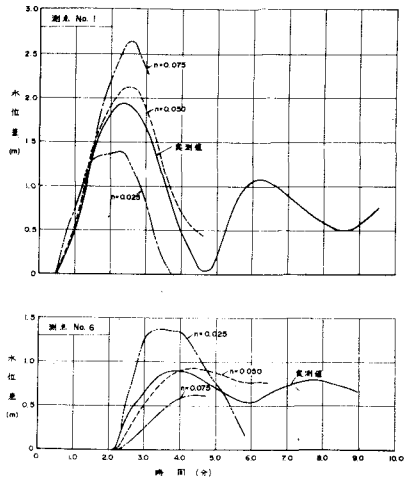


図-6 実測結果と計算結果との比較

