

1. はじめに

現在提案されている準二次元解析法は、河道断面を横断形状、樹木群植生あるいは粗度の状況から、複数の断面に分割し、その分割断面内を流下する流れの平均流速の大きさを、分割断面ごとに求める方法である。一方、不等流の縦断水位の計算には、「縦断方向に鉛直壁面状」に存在する樹木群の流水抵抗を、河床摩擦損失に加えて与えることにより、運動量式から水面形を求める計算式を示したものである。

筆者は、同式の数値計算結果に違和感を覚え、まず、運動方程式右辺の値の水理量による変化を調べ（文献2）、さらに、運動方程式左辺の値の変化を検討（文献3）し、エネルギー式標準逐次計算法を提案した。その後、新しい計算式—井上式—が提案されたので（文献4）、ここではその式形を紹介し、数値計算を実施し、井上式は、エネルギー式標準逐次計算方法と、傾向的に一致することを示す。

2. 従来の考え方

横断流速分布の計算には種々考え方があるが、準二次元解析法のそれは次のようである。

$$\frac{n_i^2 u_i^2}{R_i^{1/3}} S_{bi} + \frac{\sum_{ji} (\tau'_{ji} S'_{wji})}{\rho g} + \frac{\sum_{ji} (\tau_{ji} S_{wji})}{\rho g} = A_i I \cdot \cdot (1) \quad \frac{\tau_r}{\rho g R} = \frac{1}{\rho g A} \sum_i \left( \frac{\rho g n_i^2 u_i^2 S_{bi}}{R_i^{1/3}} + \sum_{ji} (\tau_{ji} S_{wji}) \right) \cdot \cdot (2)$$

記号の意味は文献1) 参照、また下流側1断面の水理量は既知であり、上流側2断面の未知水理量を求める。縦断水位計算は次式による。(H:水位、Q:全流量、A:全河積)

$$\left( H + \frac{1}{gA} \int u^2 dA \right)_2 - \left( H + \frac{1}{gA} \int u^2 dA \right)_1 = \frac{\Delta x}{2} \left\{ \left[ \frac{\tau_r}{\rho g R} \right]_1 + \left[ \frac{\tau_r}{\rho g R} \right]_2 \right\} \cdot \cdot \cdot (3)$$

3. エネルギー式標準逐次計算式 (x:下流に正、α:エネルギー補正係数、u<sub>1</sub>:分布流速、v:断面平均流速)

$$\alpha = \frac{1}{A} \iint \left( \frac{u_1}{v} \right)^3 dA \cdot \cdot \cdot (4) \quad \frac{d}{dx} \left( H + \frac{\alpha v^2}{2g} \right) = -I_e \left( = -\frac{\tau_r}{\rho g R} \right) \cdot \cdot \cdot (5)$$

$$\left( H + \frac{\alpha v^2}{2g} \right)_2 - \left( H + \frac{\alpha v^2}{2g} \right)_1 = \frac{\Delta x}{2} ([I_e]_1 + [I_e]_2) \cdot \cdot \cdot (6)$$

4. 新しい標準逐次計算式 (運動式由来) 井上の式

井上は、著者宛て私信(平成27年(2015年)7月21日付け)で、運動式より誘導の次式を提案された。原文には、誘導過程が記されているが、ここでは省略し、結果のみ示す。(β:運動量補正係数)

$$\beta = \frac{1}{A} \iint \left( \frac{u_1}{v} \right)^2 dA \cdot \cdot \cdot (7) \quad \frac{d}{dx} \left( H + \frac{\beta Q^2}{2gA^2} \right) = -I_e \cdot \cdot \cdot (8)$$

$$\left( H + \frac{\beta Q^2}{2gA^2} \right)_2 - \left( H + \frac{\beta Q^2}{2gA^2} \right)_1 = \frac{\Delta x}{2} \left\{ \left[ \frac{\tau_r}{\rho g R} \right]_1 + \left[ \frac{\tau_r}{\rho g R} \right]_2 \right\} \cdot \cdot \cdot (9)$$

5. 数値計算による比較

(3)、(6)及び(9)各式について縦断水位計算結果を比較した。使用した断面特性は二つの人工河川で、一つは樹木群が存在する河川断面特性、他は樹木群が存在しない断面特性である。計算に使用したソフトは、縦断水位の打ち切り誤差0.5mm、横断流速分布に関わる流量の収束誤差(数値計算の合計流量と計算条件流量の比)は、0.01%(いずれも公称)である。図-1は、全体20断面で、途中9, 10, 11, 12断面に樹木群がある。図-2は、樹木群のない断面である。それぞれの代表的な断面例を図-3、図-4に示すが、合わせて、計算水位のほか、分割断面内の平均流速の大きさなども示している。

さて、(6)及び(9)式との計算結果はほぼ同様な、傾向の似た縦断水位となるので、両式の水位差

は  $\alpha$  と  $\beta$  との差に起因すると考えられる。これに対して (3) 式による計算結果は受け入れ難いように思える。従って今後の準二次元解析は (6) 式や (9) 式による標準逐次計算法を推奨すべきであろう。

## 6. 結論

(6) あるいは (9) 式の採用は問題が少ないと考えられるが、実河川での計算例を増やすことが何よりも大切であろう。エネルギー式、運動式の問題も、自然と慣用的な使い方が定着すると考えられるし、準二次元解析法の応用が広がり、河道水理や河道計画への新しい知見が現れるのではないかと期待

しています。無論、その限界はある程度見えている。この報文をまとめるにあたり、井上の式変形を含む新誘導式、井上式、の存在は大きい。準二次元解析法の正解を提示してくれたからである。ここに謝意を表したい。参考文献 1) 河道計画検討の手引き、(財) 国土技術研究センター、平成 15 年 2 月第 2 刷、2) 馬場洋二：準二次元不等流計算法の境界混合係数・樹木群伐採効果の数値実験、第 67 回(平成 27 年度) 土木学会中国支部研究発表会発表概要集、平成 27 年 5 月 23 日、(公益) 土木学会中国支部、3) 馬場洋二：エネルギー式標準逐次計算による準二次元不等流計算法、第 70 回年次学術講演会講演概要集、平成 27 年 9 月、(公益) 土木学会、4) 井上和也：(タイトル無し) 2015 年 7 月 21 日付けメール添付資料(馬場洋二宛)

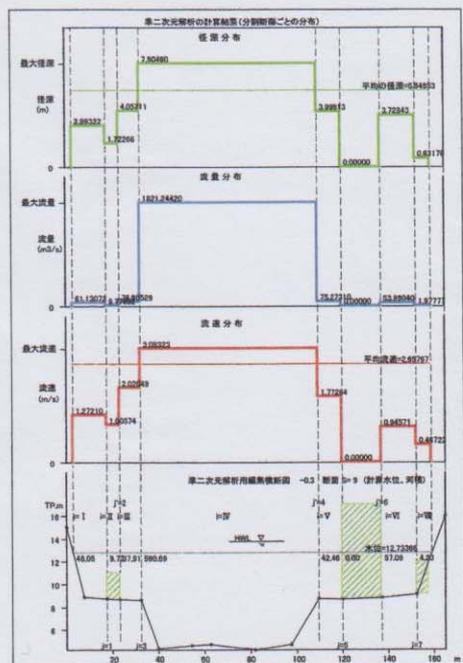
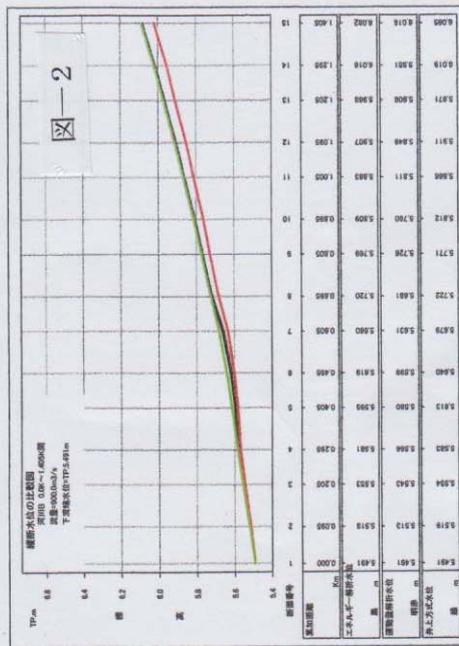
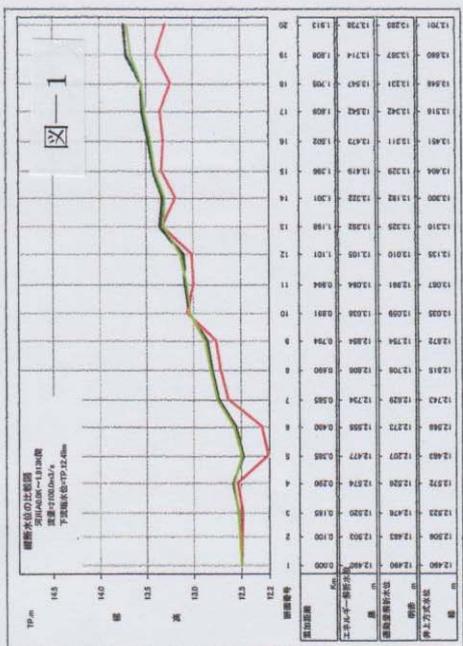


図-3

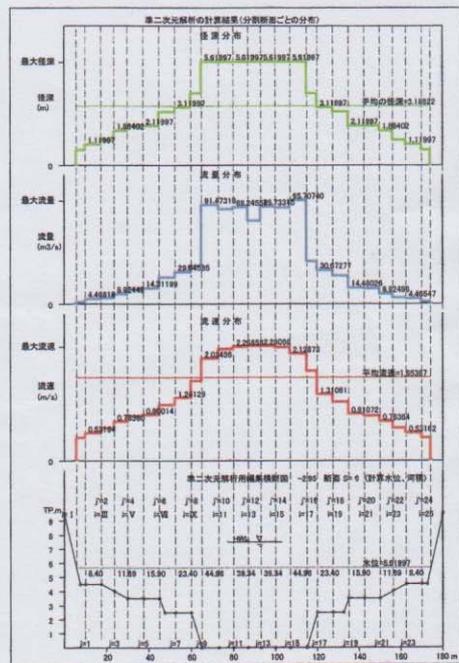


図-4