

建設省土木研究所	正員	浅野富夫
建設省土木研究所	正員	福岡捷二
建設省土木研究所	正員	加賀谷均
建設省土木研究所	正員	林 正男

**1 はじめに** 狭窄部が連続した河道は、縦断方向に断面変化が著しく、しかも流速も大きいため、不等流計算にあたっては、断面変化に伴う流速分布の変化を十分取入れて検討する必要がある。とくに、急拡・急縮が連続する変断面河道の一次元解析においては、エネルギー補正係数の値がその計算精度を支配することになる。この問題については、従来よりいくつかの検討が行われている<sup>1), 2), 3)</sup>が、急拡あるいは急縮部が一箇所に限定されており、急拡・急縮が連続しているという観点からの検討はなされていない。本報では、急拡・急縮が連続した狭窄部河道を対象として、 $\alpha$ の場所的变化を考慮した不等流計算法を提案する。

**2 基礎式** 基礎式としては、 $\alpha$ の場所的变化を考慮した一次元不等流式を用いる。

$$-i + \frac{dh}{dx} + \frac{d}{dx} \left( \frac{\alpha v^2}{2g} \right) + \frac{n^2 Q^2}{A^2 R^{4/3}} = 0 \cdots (1) \quad \alpha = \frac{1}{A} \int_A \left( \frac{u}{v} \right)^3 dA \cdots (2)$$

ここに、 $i$ ：河床勾配、 $h$ ：水深、 $x$ ：距離、 $v$ ：断面平均流速、 $\alpha$ ：エネルギー補正係数、 $g$ ：重力加速度、 $n$ ：マンニングの粗度係数、 $Q$ ：流量、 $A$ ：河積、 $R$ ：径深、 $u$ ：局所的平均流速である。

本文では、常流・射流が混在する流れについて林・石川・須賀<sup>4)</sup>が提案した方法に加えて、 $\alpha$ の縦断变化を考慮した不等流計算を行う。

**3 エネルギー補正係数 $\alpha$**  狭窄部が連続した河道模型を用いた実験において、各断面内の15~20点で局所的平均流速の測定を行い、式(2)を用いて $\alpha$ を算定した。区間 $x_u$ 、 $x_l$ の上流側断面 $x_u$ のエネルギー補正係数を $\alpha_u$ 、下流側断面 $x_l$ のエネルギー補正係数を $\alpha_l$ とし、これを河積比 $A_l/A_u$ に対して図示すると、それぞれ、図-1及び図-2のようになる。なお、図示にあたって、無次元化区間長 $\Delta x/B$  ( $\Delta x$ ：区間 $x_u$ 、 $x_l$ の長さ、 $B$ ：平均水面幅)が $0.5 < \Delta x/B < 5$ の範囲内において、 $\alpha_u$ 及び $\alpha_l$ は $\Delta x/B$ の値にあまり影響されないため、 $\Delta x/B$ の値による区別は行わないこととし、また $\alpha_u$ の算定に際しては断面 $x_u$ より上流側の区間が比較的一様な断面での流速測定値が、また $\alpha_l$ については断面 $x_l$ より下流側の区間が比較的一様なものがそれぞれ選定されている。実線は、今本ら<sup>2)</sup>による $\alpha_u$ 及び $\alpha_l$ の変動の範囲を考慮して、 $\alpha_u$ 、 $\alpha_l$ の妥当な値を定めたものである。

**4 狭窄部が連続した河道への適用** 狭窄部が連続した河道に、図-1及び図-2に示された $\alpha_u$ 、 $\alpha_l$ を適用する場合、図-3に示される隣り合う3断面における急拡・急縮の接続条件により、対象断面 $i$ における $\alpha_i$ は、上流側区間の断面変化による影響と下流側区間の断面変化による影響とのうちより大きな影響を受ける断面変化により記述されるものとする。すなわち、断面 $i$ を下流側断面とする上流側区間 $i+1$ 、 $i$ の河積比 $A_i/A_{i+1}$ により定められる下流側断面 $i$ の $\alpha_{l,i}$ 、あるいは断面 $i$ を上流側断面とする下流側区間 $i$ 、 $i-1$ の $A_{i-1}/A_i$ より定められる $\alpha_{u,i}$ のうち、大きい $\alpha$ により $\alpha_i$ が規定されるものとする。いま、河積 $A_{i+1}$ 、 $A_i$ 、 $A_{i-1}$ の大小関係を図-3のように分類すると、各分類ごとに $\alpha_i$ は以下のように与えられる。

- (1) 急縮・急縮の場合 ( $A_{i+1} > A_i > A_{i-1}$ ) :  $\alpha_i = \text{Max} \{ \alpha_{u,i}, \alpha_{l,i} \}$
- (2) 急拡・急拡の場合 ( $A_{i+1} < A_i < A_{i-1}$ ) :  $\alpha_i = \alpha_{l,i}$
- (3) 急縮・急拡の場合 ( $A_{i+1} > A_i < A_{i-1}$ ) :  $\alpha_i = \alpha_{l,i}$
- (4) 急拡・急縮の場合 ( $A_{i+1} < A_i > A_{i-1}$ ) :  $\alpha_i = \text{Max} \{ \alpha_{u,i}, \alpha_{l,i} \}$

いま、実験水位が明らかな連続した狭窄部を有する模型河道を対象として、 $\alpha$ の場所的变化を考慮した不等流計算を行うと以下のようである。まず、各断面の河積が不明なため、 $\alpha=1.10$ に固定して種々の粗度係

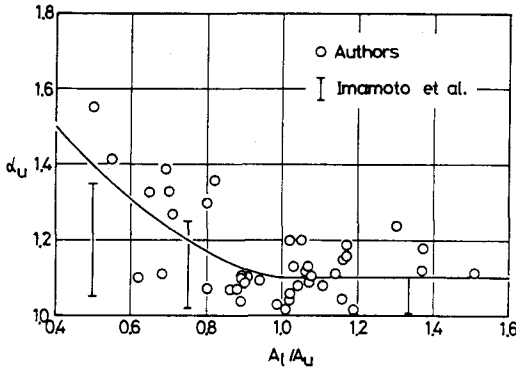


図-1 上流側断面のエネルギー補正係数

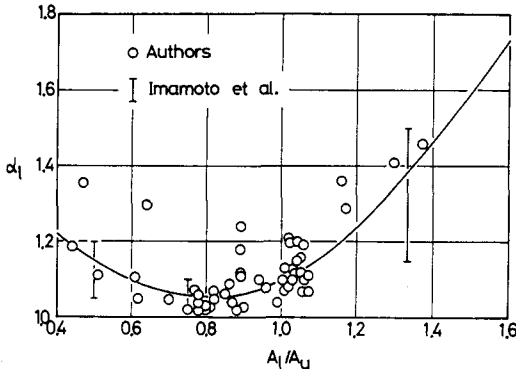


図-2 下流側断面のエネルギー補正係数

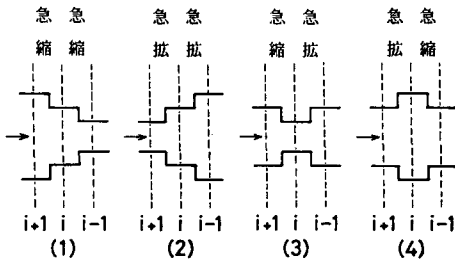


図-3 急拡・急縮の接続の分類

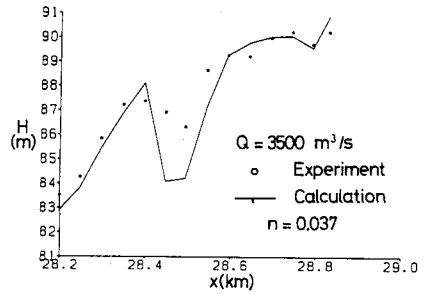


図-4 不等流計算 ( $\alpha=1.10$ )

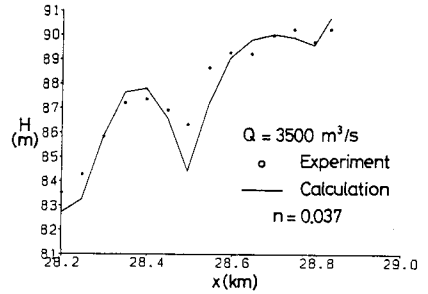


図-5 不等流計算(断面変化を考慮した $\alpha$ )

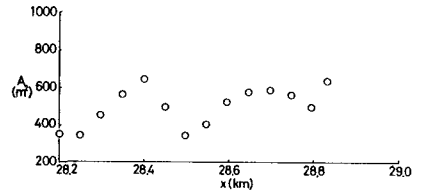


図-6 河積

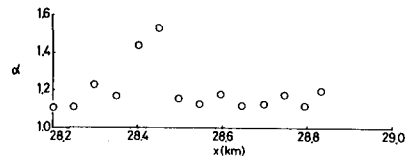


図-7 エネルギー補正係数

数  $n$  について不等流計算を行い、最小二乗誤差  $\varepsilon (= \sqrt{(\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \dots + \varepsilon_m^2) / m}$ ,  $\varepsilon_i$ : 断面  $i$  における実験水位と計算水位との差) が最小となるように最適粗度係数  $n$  を選定する。つぎに、先の計算から得られた河積比に基づき、図-1及び図-2を用いて各断面の  $\alpha_i$  を設定して再び計算を行う。各断面において、計算で与えた  $\alpha$  と計算結果から河積比を利用して得られる  $\alpha$  とが一致するまで、このような手順を繰り返すことにより、計算精度の向上が期待される。図-5は、 $\alpha$  を場所的に変化させた場合の一例であって、 $\alpha=1.10$ とした図-4に較べ、実験値をより適確に表していることが確認される。なお、図-6及び図-7は、それぞれ、最終的に得られた河積  $A$  及びエネルギー補正係数  $\alpha$  である。

**5 おわりに** 本報では、 $\alpha$  の場所的变化特性を考慮した不等流計算を模型河道に適用したが、この方法は現地河道にも適用される。ただし、図-1及び図-2に示される  $\alpha_u$ ,  $\alpha_l$  の値は、河道模型実験結果より得られたものであり、その信頼性を向上させるためには、さらに資料の蓄積が必要である。

〈参考文献〉 1) 玉井・三国: 第30回年講, 2) 今本・藤井・藤井: 京大防災研究所年報, 20B-2, 3) 福岡・角田・鈴木・半沢: 土木学会論文集, 第363号/II-4, 4) 林・石川・須賀: 第38回年講.