第II部門　　数値計算による合成粗度法の検討

大阪大学工学部　　学生員　○手東　理志
大阪大学工学研究科　正会員　　玉井　昌宏

1．はじめに

粗度係数は，治水計画において最も重要であり，かつ極めて不確実なパラメータである．模型実験によっても，あるいは推定洪水流量と洪水痕跡線から算定することによっても，実河川の粗度係数を精度良く推定することは難しい．開水路乱流に関する研究が精力的に実施されてきたが，粗度係数に注目した研究は意外に少ない．ここでは，数値計算により複断面形状河川の粗度係数を求めることで，合成粗度法の有効性について検討する．

2．方法

数値計算には，CHAM 社 3 次元汎用熱流体解析ソフト PHOENIX Ver3.6 を用いる．乱流モデルには標準 k-ε モデルを，固定境界の境界条件には表－1 のような対数則を選択した．開水路等流を簡単に模擬するために，上面を slip 条件とした閉じた水路において計算を行なった．上流端より流量を与え，上下流端間の圧力差によって河床抵抗，粗度係数を算出した．上面境界は対称境界となっている．幅 60cm，水深 30cm の矩形断面と，幅 30cm，水深 30cm の矩形低水路と幅 15cm，水深 15cm の矩形高水敷の左右対称形の複断面を仮定する．

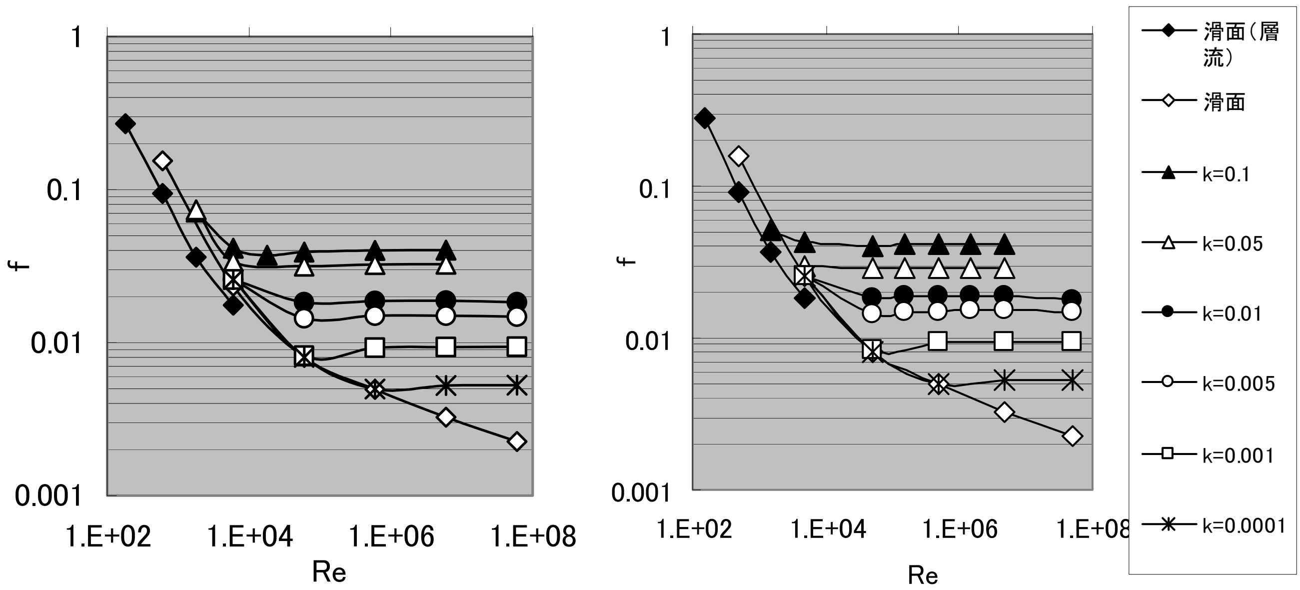
表－１　固定境界の境界条件

$U^+ = U/U_\tau = \ln(8.6y^+)/\kappa$，　$k = U\tau^2/C_\mu^{0.5}$，　$\varepsilon = C_\mu^{0.75}k^{1.5}/(\kappa y)$

ここに，U^+：無次元速度，y^+：無次元距離，U (m/s)：流速，U_τ (m/s)：摩擦速度，κ：Karman 定数(=0.41)，$C_\mu = 0.09$，k (m2/s2)：乱れエネルギー，ε：乱れの散逸率である．

3．Friction factor diagram の作成

PHOENIX の計算パフォーマンスを確認するために，粗度高さと流速を変化させて，図－１のように，Friction factor diagram を作図した．参考のために層流条件と滑面乱流条件の計算結果についても併せて示している．



（a）矩形断面　　（b）複断面

図－１　Fricition Factor Diagram

Satoshi TEZUKA and Masahiro TAMAI

円管の一般的な Friction factor diagram と類似した分布特性を示しており，図示した計算条件内では，有意な計算となっていることが確認される．粗度係数を断面内で一様に与える場合には，断面形状による差異は小さい．

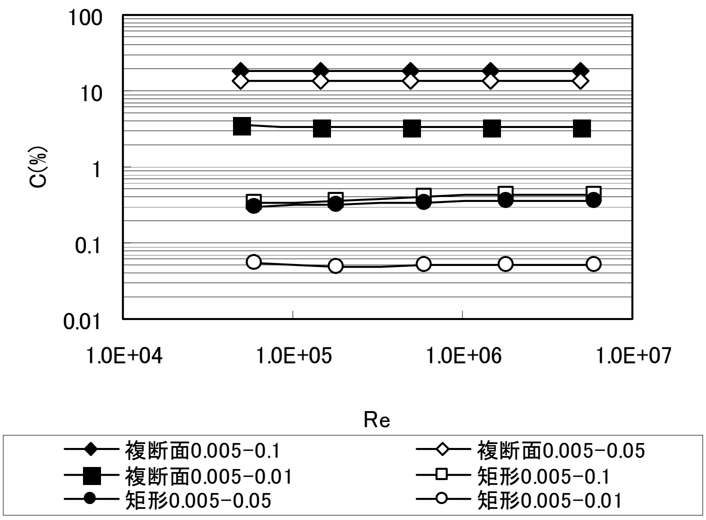
４．合成粗度法の検討

次に，断面内で粗度高さを変化させることによって，マニュアルに従って計算した合成粗度との間の差異について検討する．矩形断面においては河床と側壁の間で異なる粗度高さを，複断面では低水路と高水敷の間で異なる粗度高さを採用する．合成粗度係数と計算された粗度係数の差異は $C=100(n_S-n_C)/n_S$ によって評価される．ここに，n_S ：数値計算によって算出した粗度，n_C ：合成粗度式によって算出した粗度係数である．矩形断面においては底面と側壁に異なる粗度高さを設定し，複断面においては，低水路と高水敷の間で異なる粗度高さを設定して，粗度係数を計算した．一方，合成粗度の計算には，断面内で粗度を一様とした場合に求められた粗度係数を用いた．例えば，複断面の場合には，粗度高さを $k=0.005(m)$ で $n=0.02$ ， $k=0.1(m)$ で $n=0.032$ と計算された．矩形断面と複断面の合成粗度 n_C 計算には，それぞれ（1）式と（2）式を用いた．

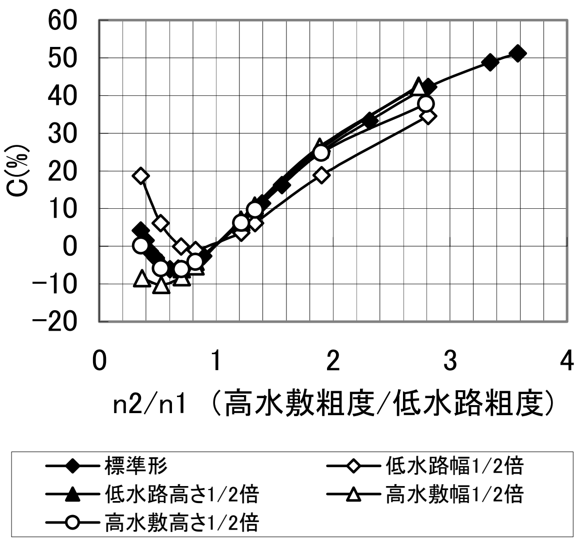
$$n_C=\left(\frac{\Sigma S_i n_i^{\frac{3}{2}}}{S}\right)^{\frac{2}{3}} \quad \cdot\cdot\cdot(1), \qquad n_C=\frac{R^{\frac{2}{3}}\Sigma A_i}{\Sigma \dfrac{1}{n_i}R_i^{\frac{2}{3}}A_i} \quad \cdot\cdot\cdot(2)$$

ここに，S,R,A はそれぞれ潤辺長，径深，断面積であり，添字のないものは断面全体，添字ｉは，分割した断面の番号である．

図－２に，粗度係数の組み合わせとレイノルズ数に C (%)の変化を示している．総じて，矩形断面の場合には C 値は小さい．複断面の場合には，与えられた条件内では，合成粗度法が最大で 18%程度の過小評価となった．



図－２　合成粗度法の検討



図－３　断面形状による差異

図－３は，粗度係数の比率とＣ複断面の断面形状を変化させた場合の結果を示している．図中の標準形というのは既述の複断面形のことであり，それから低水路や高水敷の形状を変化させている．低水路粗度係数と高水敷粗度係数が一致する場合には，$C=0$ となる．合成粗度法は，相対的に高水敷粗度係数が大きく場合には過小評価，高水敷粗度係数が小さい場合には過大評価する傾向にある．