

#

第1項目については、棧型粗度を設置していない状態の単なる底面の粗度効果である。すなわちそれは等流状態であるので、 M_0 はManning則より式(3)で与えられる。よって以後、第2項目についての考察を進めていくものとする。

$$M_0 = \frac{1}{R} \exp \left\{ \frac{\kappa R^{\frac{1}{6}}}{n\sqrt{g}} \right\} \quad (3)$$

3. 2 単一配置実験

(1) 実験結果

実験より、水深および流速は横断方向で大きな変化は観測されなかったで、縦断方向についてのみ考慮する。平均水深および平均流速は縦断方向の平均値を用いる。

単一粗度実験における $Q=0.008 \text{ m}^3/\text{s}$ 時の各 S/k 、勾配毎の平均水深の変化を図-3に示す。 $S/k=10$ 近傍で平均水深が最も高くなっており、これは $S/k=10$ 近傍で最も粗度効果が高いことを示している。この傾向は、 $Q=0.005 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $Q=0.002 \text{ m}^3/\text{s}$ についても同様にみられた。

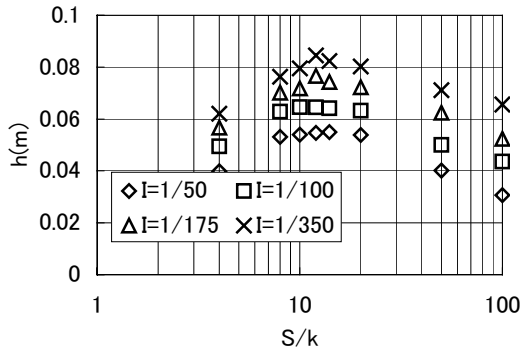


図-3 平均水深の変化($Q=0.008 \text{ m}^3/\text{s}$)

(2) M/M_0 の評価

式(2)と得られた実験値より M/M_0 を算出し、 R/k 毎にプロットしたものが図-4である。図-3より予想されるように S/k が10近傍で棧粗度効果が高いことが伺える。魚道の設計においてはできるだけ粗度効果の高い粗度 k 間隔を採用することが合理的であると考えられるので、粗度効果が高い $S/k=8 \sim 14$ の間で粗度効果の評価を行う。

図-5より S/k が10近傍では M/M_0 値はほぼ同じであるとみなすことができ、 M/M_0 について S/k に依らない実験式(4)が得られた。

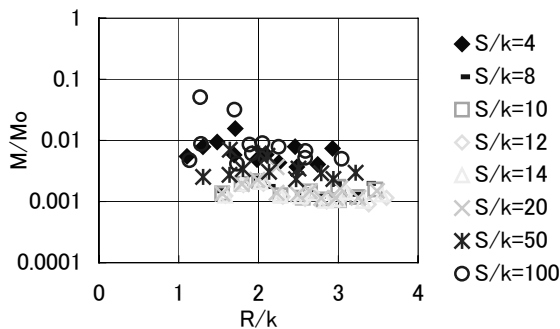


図-4 M/M_0 と R/k の関係

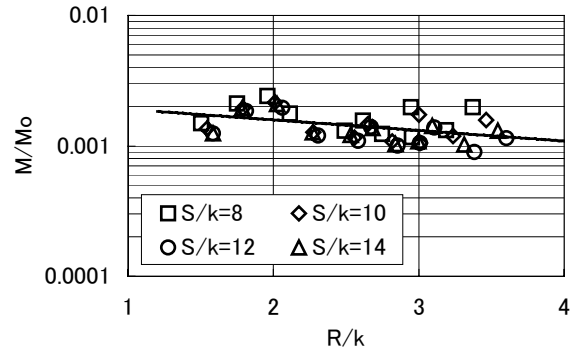


図-5 $M/M_0 - R/k$ ($S/k=8 \sim 14$)

$$\frac{M}{M_0} = 0.0023 \exp \left\{ -0.1868 \left(\frac{R}{k} \right) \right\} \quad (4)$$

(3) 単一配置の抵抗即

以上より、式(4)を式(2)に代入することにより棧型粗度を一様に配置した時の対数抵抗即として実験式(5)が得られた。

$$\frac{u}{u_*} = \frac{R^{\frac{1}{6}}}{n\sqrt{g}} - \frac{1}{\kappa} \ln \left[0.0023 \exp \left\{ -0.1868 \left(\frac{R}{k} \right) \right\} \right] \quad (5)$$

(ただし $S/k=8 \sim 14$ の範囲)

3. 3 複合配置実験

(1) 複合配置について

複合配置にすることの利点は、横断的に平均流速を変化させることにより様々な魚種がそれぞれに合った流速場を選んで遡上できることにある。従って、配置する粗度の間隔は、粗度効果の高いものと低いものとの組み合わせが望ましい。この観点より、複合配置実験における粗度指数 S/k は表-2に基づいて実施した。粗度効果が高いものとしては $S/k=10$ を採用する。また、粗度間隔が密である側を領域1、粗である側を領域2とする。

(2) 実験結果

複合配置実験において流速は縦断方向、横断方向に変化、水深は縦断方向で変化はあったが横断方向は大きな変化は観測されなかった。横断方向で流速は図-6、図-7のように観測された。

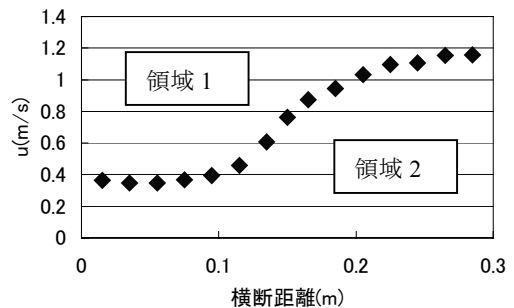
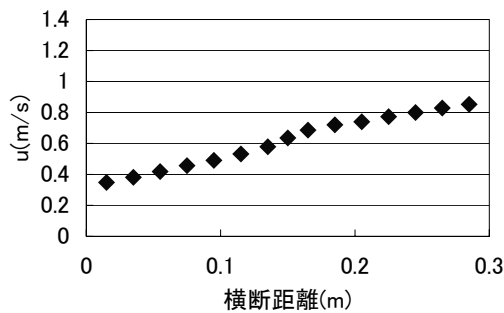


図-6 流速分布($Q=0.008 \text{ m}^3/\text{s}$ $I=1/50$ $S/k=10 \& \infty$)


 図-7 流速分布($Q=0.008 \text{ m}^3/\text{s}$ $I=1/50$ $S/k=10\&40$)

(3) 複合配置における各領域の代表流速

複合配置における領域1、領域2の粗度効果を評価するにあたり、単一配置では横断方向は等しい水深、流速であったため縦断方向の平均値を用いたが、複合配置では流速が横断方向で変化するため単純に流速を定められない。ところで、本実験における水路は0.3mであるが、実際の河幅は当然それよりも広く、このような棧粗度を複合的に配置した場合図-5に見られるような、流速が安定している部分の幅がより大きくなると推定される。従って各領域での代表流速は横断方向で平均したものよりも、安定部分の流速を用いた方が良好であると考えられる。そこで本研究では領域毎の代表流速をやや強引ではあるが、左岸側から4点、右岸側から4点の平均値を安定部分の流速とみなし、各領域の代表流速として解析を行った。

(4) M/M_0 の評価

上記の方法により定めた代表流速を用いて、各領域の M/M_0 を算出し単一配置と同様にプロットするしたものが図-8、図-9である。横軸は径深 R のかわりに水深 h を用い、 h/k とした。

領域1における粗度効果は図-8に示したように領域2の粗度指数 S_2/k に依らず、単一配置におけるそれとほぼ同様の値を示した。従って領域1の M/M_0 は式(4)における R を h で置き換えたもので表現できるといえる。

領域2における粗度効果は図-9に示した通りである。単一配置と同様、粗度間隔が広くなるにつれ粗度効果が低くなるという傾向がみられるが、その大きさは単一配置時に比べ低くなっている。従って領域2における M/M_0 について評価しなければならない。

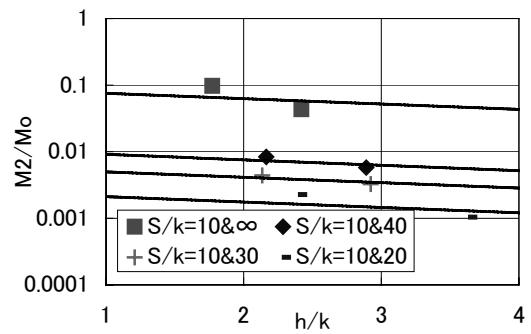
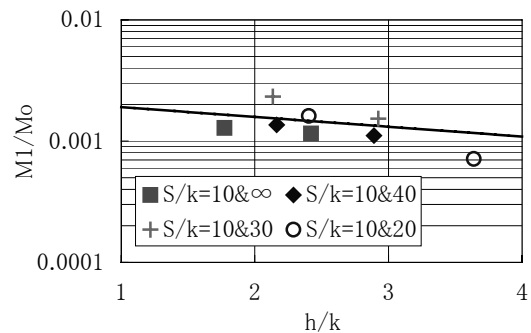
図-9より各近似曲線の傾きが領域1のそれと等しいとして、切片が各 S_2/k によって変化しているとする、 S_2/k をパラメータとして実験式(6)が得られた。

$$\frac{M_2}{M_0} = 0.0006 \exp \left\{ 0.0721 \left(\frac{S_2}{k} \right) - 0.1868 \left(\frac{h}{k} \right) \right\} \quad (6)$$

(ただし $S_1/k=10$ の場合)

(5) 複合配置の抵抗則

以上より棧型粗度を複合的に配置したときの抵抗則は、粗度指数を $S_1/k=10$ に固定した領域1では式(5)において径深 R を h に置き換えた式で与えることができ、領域2


 図-8 領域1における M/M_0 と h/k の関係

 図-9 領域2における M/M_0 と h/k の関係

では式(6)を式(2)に代入した式(7)を得ることが出来た。

$$\frac{u_2}{u_*} = \frac{h^{1/6}}{n\sqrt{g}} - \frac{1}{\kappa} \ln \left[0.0006 \exp \left\{ 0.0721 \left(\frac{S_2}{k} \right) - 0.1868 \left(\frac{h}{k} \right) \right\} \right] \quad (7)$$

(ただし $S_1/k=10$ の場合)

以上の実験式を用いて、実験式から得られる流速と実測値との比較を行う。図-10および図-11に示されるように実験式は、各領域の代表流域を再現することができるといえる。

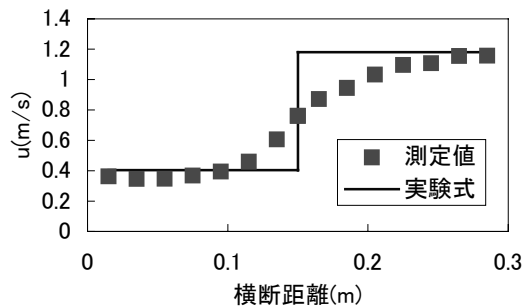


図-10 実測値と実験式との比較

($Q=0.008 \text{ m}^3/\text{s}$ $I=1/50$ $S/k=10\&\infty$)

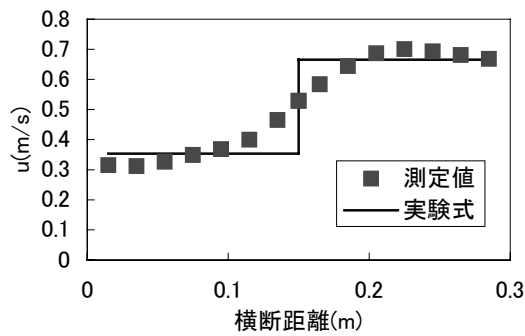


図-11 実測値と実験式との比較
($Q=0.005 \text{ m}^3/\text{s}$ $I=1/50$ $S/k=10\&40$)

3. 4 振幅

(1) 縦断方向の変化

魚道の設計を考える際、設計される水深および流速は対象とされる魚種が遡上できるものでなければならない。これまでは縦断方向に平均した数値を用いて解析してきたが、実際には図-12に示すように縦断方向に周期 S の変化が観測された。従って、より適した魚道を設計するためにはその振幅も考慮すべきだと考えられる。

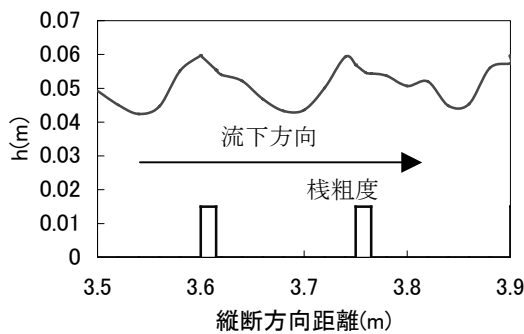


図-12 縦断方向水面形
($Q=0.005 \text{ m}^3/\text{s}$ $S/k=10$ $I=1/50$)

(2) 最低水深の推定

魚種が遡上できる魚道を設計するためには縦断方向における最低水深あるいは最高流速を推定する必要がある。ここでは単一配置時の水深について、最低水深を $h_{\min}$ 、平均水深を h_m としたときの $h_{\min} / h_m$ について $S/k=8\sim14$ の範囲で評価を行った。

$h_{\min} / h_m$ は実験より、粗度効果がほぼ等しい $S/k=8\sim14$ の範囲であっても、粗度指数 S/k が大きくなるほど、また、勾配 I が大きくなるほど低くなる傾向が見られた。また、図-13より、その値や傾向は流量が変化してもほぼ同様のものではあった。図-14は $h_{\min} / h_m$ を S/k 毎にプロットしたものである。実験値より $h_{\min} / h_m$ は S/k と I の関数であり、 $h_{\min} / h_m$ に関して次の実験式(8)が得られた。

$$\frac{h_{\min}}{h_m} = \exp \left\{ -0.7925I \left(\frac{S}{k} \right) \right\} \quad (8)$$

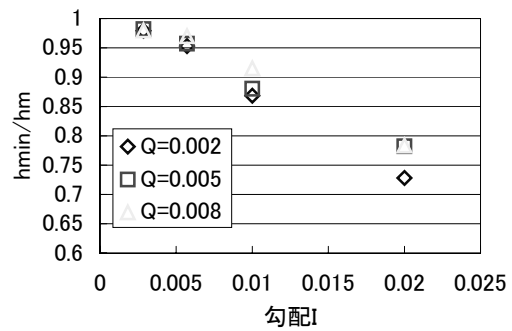


図-13 $h_{\min} / h_m$ と勾配 I の関係($S/k=14$)

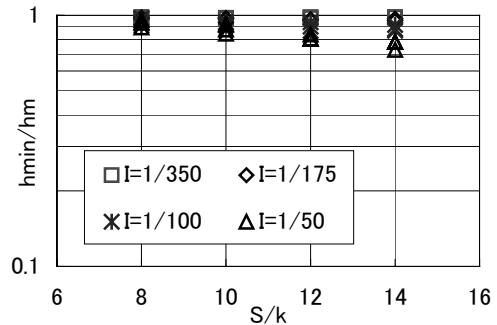


図-14 $h_{\min} / h_m$ と S/k の関係

以上より、 $h_{\min} / h_m$ の予測が可能となった。魚道の設計においては、水深変化は小さい方が適しているので変化が著しい急勾配河床の際には S/k を小さくすることが望まれる。また、流況によっては最低水深よりも(栈粗度直上水深-栈粗度高さ)のほうが低くなってしまう場合も予想されるのでその場合、魚道設計の際に目標とされる水深を式(8)より補正した後、さらに栈粗度高さを加えてやることでより安全面の設計をすることができる。

4. おわりに

以上の解析より、単一配置および複合配置における粗度効果について評価をすることができた。また単一配置における縦断方向の水深変化についての推測も可能となった。今後は、複合配置における縦断方向の変化についての考察を単一配置での方法と同様に進める事と、実際に魚道を設計する際事前に与えられる諸量(流量、勾配、川幅等)と変化させることのできる諸量(粗度間隔、栈粗度の高さ)から対象とする魚類が遡上できる水深、流速場を設計する方法について研究を進めていくものとする。

参考文献

- 1) 足立昭平：人工粗度の実験的研究、土木学会論文集、第104号、pp.33-44、1964
- 2) 丹羽雄一郎、黒木幹男：複合粗度の水理特性と全断面魚道への適用、北海道支部論文報告集、第58号、pp.414-417、2002
- 3) 水理公式集平成11年版、pp.87-88,214、1999