

佐賀大学理工学部 正員 渡辺 訓甫
〃 〃 荒木 宏之

1. まえがき 河床波上の流れは、河床波と水流との相互作用が複雑で、従来多くの研究がはされながらもかわらず、まだ未解決の問題が多く残されている。特に、河床波の crest 下流部に形成される wake は、流れに大きな影響を及ぼしており、このことが、さらに現象を複雑にしている。本報は、二次元 dune をモデル化した三角粗度を用いて、底面に形成される wake の特性を明らかにするとともに、河床波に働く圧力抵抗との関連性について実験的に考察を加えたものである。

2. 実験概要 水路は長さ 6 m、幅 30 cm で、用いた粗度は波高 $H=2$ cm、波形勾配 $H/L=1/5$ 、及び、 $H=1$ cm、 $H/L=1/10, 1/15, 1/20, 1/30, 1/40$ である。実験は、三角波を水路全長に敷きつめて、水深・波高比 $h/H \approx 5$ として行われ、wake 長、底面圧力分布の他に一波長間の水面形、沿直流速分布が同時に測定されている。また wake 長に関しては、連続粗度で H/L を変えた場合、及び、単一粗度で下流側水位を漸次変化させた場合についても測定されている。

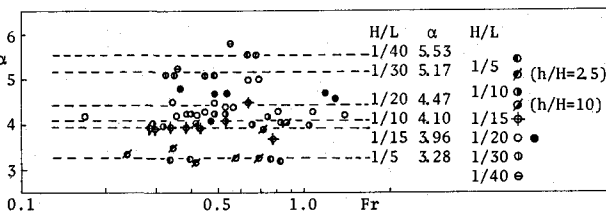


図-1

3. wake 長 図-1 は連続粗度の wake 長 lw と波高の比 $\alpha = lw/H$ を Fr 数に対してプロットしたものでこれから明らかなように、 α は Fr や H/L には無関係で H/L のみに支配されていると言える。 H/L と α の関係を示したのが図-2(a)で、連続粗度の wake 長は、 H/L が大きくなるにつれて、破線で示されるように波高の 6 倍から 3 倍程度まで漸やかに減少していくことがわかる。X印は浅型粗度の場合(上野)⁽¹⁾で、傾向としては液状粗度と同じである。 α の値が若干大きいのは粗度形状の違いであると思われる。図-3 は、単一粗度の α と山の断面におけるフルード数 Fr_c との関係を示したものである。

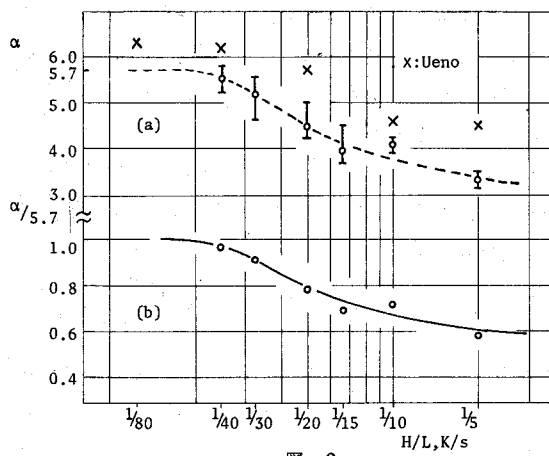


図-2

$Fr_c < 0.55$ の場合、 $H/L=1/5$ を除いて H/L には無関係に一定値 $\alpha \approx 5.7$ となるが、この領域は常流遷移で粗度近傍の水位がほぼ一定の流れである。一方、 $Fr_c > 0.55$ では α は若干増大してピークを経た後、 H/L の影響が顕著に現われて急激に減少していく。以上のことは今本⁽²⁾による実験結果と同じ傾向で、特に常流遷移の場合、同様の値 $\alpha \approx 5.7$ となっている。また、図-2 にあいて、 $H/L < 1/40$ になると $\alpha \approx 5.7$ に近づいていると考え合わせると、次のようなことが言える。すなわち、連続した三角粗度で H/L が小さい場合の wake 長は、常流遷移流れの段落下流部、または単一三角粗度の wake 長に相当しており、 H/L が大きくなると粗度の相互干渉によって wake 長は、単一粗度の場合に比べて徐々に小さくなっていく。図-2(b)はこの様子を

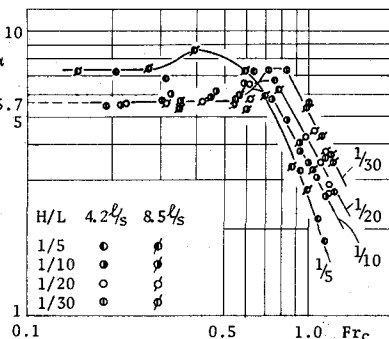


図-3

示したもので、 $H/L = 1/10$ ぐらい劇的に減少しているのがわかる。

4. 圧力抵抗 今、河床波の基部に於て x 軸、それと垂直に y 軸をとり、高さ y における背面と前面との圧力差を Δp とすると、圧力抵抗は、

$$D = \int_0^H \Delta p dy = \frac{1}{2} \rho C U_0^2 H \quad (1)$$

で与えられる。ここに、 C ；圧力抵抗係数、 U_0 ；河床波にあたる代表流速である。沿直流速分布の測定結果によると、平均河床から測ってほぼ $1.5H$ の高さに流速分布に折点が現われ、そこまでが河床粗度が惹起する乱れの卓越した、いわゆる粗度層となっている。抵抗は主としてこの粗度層の流れに支配されるから、ここでは、 U_0 として次式で定義される流速を用いる。

$$U_0/U_* = 8.5 + 5.75 \log_{10} \frac{1.5H}{k_s} \quad (k_s: \text{相当粗度}) \quad (2)$$

前報の結果から、

$$D/whH = f(H/L, F_r) = \frac{1}{2} F_r^2 g(H/L) \quad (3)$$

とみると、 $U_0 = rV$ (V ；平均流速) として、抵抗係数は、

$$C = D / \frac{1}{2} \rho U_0^2 H = r^2 g(H/L) \quad (4)$$

となる。このことは、Vanoni⁽⁴⁾らが人工的に固定した河床波上での実験から、与えられた水深に対しては流速を変えても圧力係数の分布曲線が変わらないと述べていることと一致している。また r は H/h だけでなく変化するが、本実験においては $H/h \approx 0.2$ であるから、結局 C は、 H/L のみの関数と考えられる。このように、抵抗が H/L の関数であり、しかも、前報で示したように、 H/L が大きい程抵抗が小さくなるのは、河床波の一部が上流の河床波によって遮蔽され、 H/L によ

る割合が異なるからと考えられる。ここでは、この遮蔽の効果を、wake 長と波長の比 $S = \alpha H/L$ (遮蔽率) によって表現してみる。前述のように α は H/L の関数であり、 H/L が小さい時 $\alpha \approx 5.7$ であることから、 S は図-4 に示されるように H/L が小さいところで $S = 5.7(H/L)$ の線に漸近するような曲線で表わされる。図-5 に C と S との関係を示す。散らばりはかなり大きいが遮蔽効果は $H/L \leq 1/20$ で顕著に変化しており、 H/L が大きい程 C は小さく、ほぼ $C = 0.08 S^{-2/3}$ が成立する。ところで、図-2 に示されるように $H/L \leq 0.015$ では、粗度の interference の影響は皆無であるから、式で $H/L = 0.015$ とした $C \approx 0.4$ は単一三角波の抵抗係数とみなして良いであろう。従って河床波の抵抗係数は、 $S \leq 0.09$ では単一粗度の場合と同様に 0.4 程度であり、 S が大きくなると図のように減少していくものと思われる。一方、 $H/L \geq 1/20$ ($S \geq 0.22$) になると、 C はほぼ一定値をとり遮蔽効果は一定になるようである。以上のことから U_0 を refer させた抵抗係数 C に対して平均的には次式、

$$\begin{aligned} C &= 0.4 & (S \leq 0.09) \\ &= 0.08 S^{-2/3} & (0.09 \leq S \leq 0.22) \\ &= 0.22 & (S \geq 0.22) \end{aligned} \quad (5)$$

が得られる。図の散らばりは、底面圧力の測定値に動圧の他に、水面波による静水圧が入っていること、 r が H/h だけでなく変化していること、及び抵抗自体が小さいために実験誤差が大きいことなどによるものと思われる。

最後に、本研究を進めるに際し、終始熱心な御指導をいただいた九州大学の橋本一郎教授に深く感謝致します。

<参考文献> (1) 上野鉄男；京大防災研年報、第17号B、昭49、(2) 今本博健・藤井良啓；京大防災研年報、第18号B、昭50、

(3) 渡辺 基木；第33回年講、昭53、(4) Vanoni, V.A., Hwang, L.S.; Proc. ASCE, Vol. 93, HY3, 1967.

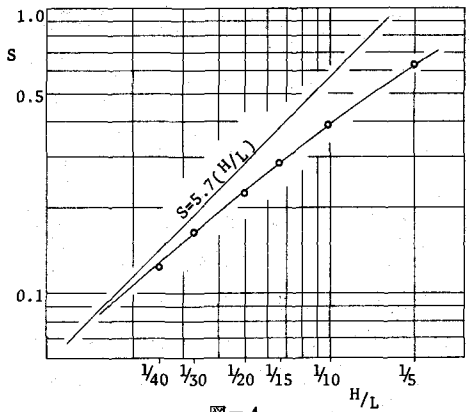


図-4

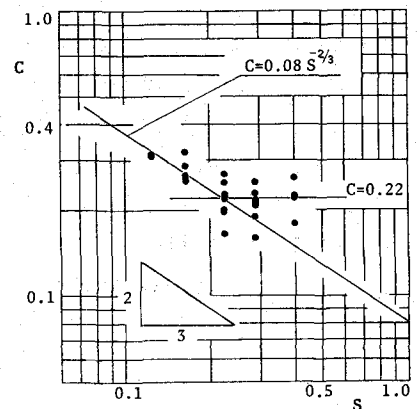


図-5