

II-241 跳水内部の流速特性におよぼす粗度の効果

日本大学理工学部 正員 栗津 清蔵  
 日本大学理工学部 正員 大津 岩夫  
 日本大学 大学院 学生員 〇工藤 芳昭

1) 2) 3) 4)

跳水内部の流速特性におよぼす粗度の効果については、不明点が多い。ここでは、跳水内部の流速および乱れ特性におよぼす粗度の効果について検討を加えた。

**実験** 最初に、滑面水路でゲート直下から自由跳水を形成させ、内部の流速を測定した。なお、跳水長 $L_j$ は、 $\bar{U}_m$ の減衰状況から定める。この場合、流速分布が相似となり、壁面噴流と類似な傾向が認められる範囲は、 $(0.1 \sim 0.2) L_j \leq x \leq (0.6 \sim 0.7) L_j$ である。次に、この範囲に正方形断面の粗度を $\lambda_k = 10$ (図-1)で設置し、滑面水路で形成させた自由跳水と同一な射流条件のもとで、内部の流速の測定を $(0.8 \sim 0.9) \leq x/L_j \leq 3.0$ の領域で行った。なお、L.D.V.(レーザー Doppler 流速計) およびピトー管を用い、水路中央面での流速を測定した。

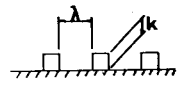


Fig. 1

**平均最大流速**

$$\bar{U}_m / V_1 = f(x/h_1, F_1) \quad (1)$$

各断面での平均最大流速 $\bar{U}_m$ の測定値を式(1)の関係で整理すると、図-2のように示される。 $\bar{U}_m$ の減衰に対する粗度の影響は、ほとんど認められない。

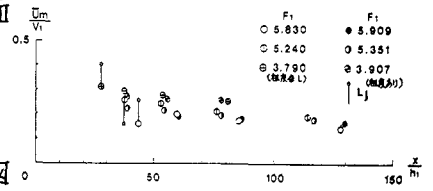


Fig. 2

**瞬間最大流速**

$$U_m / V_1 = f(x/h_1, F_1) \quad (2)$$

各断面での瞬間最大流速 $U_m$ の測定値を式(2)の関係で整理すると、図-3のように示される。 $x = 1.4 L_j$ より下流において、 $U_m$ の減少は、非常にゆるやかになる。また、粗度によって $U_m$ が減少していることが認められる。

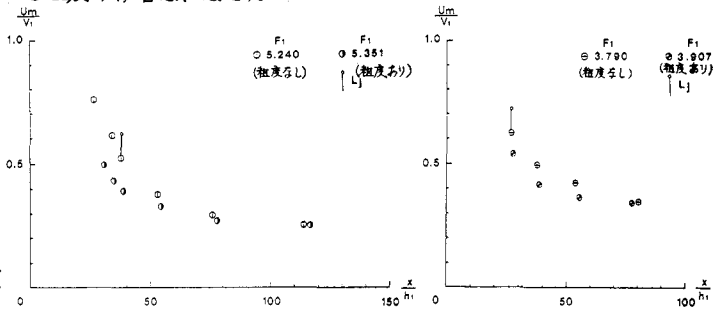


Fig. 3-1

Fig. 3-2

**瞬間最大底面流速**

$$(U_b)_m / V_1 = f(x/h_1, F_1) \quad (3)$$

各断面での瞬間最大底面流速 $(U_b)_m$ の測定値を式(3)の関係で整理すると、図-4のように示される。粗度によって、 $(U_b)_m$ が減少していることが認められる。

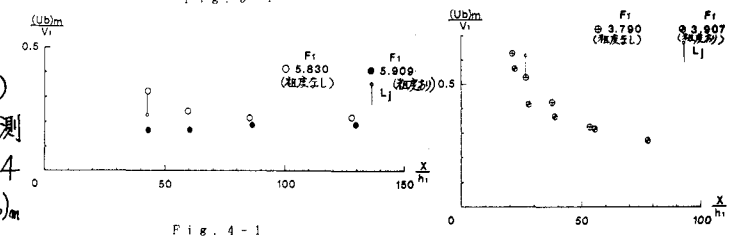


Fig. 4-1

Fig. 4-2

**最大乱れ強さ**

$$(\sqrt{v^2})_m / V_1 = f(x/h_1, F_1) \quad (4)$$

各断面での最大乱れ強さ $(\sqrt{v^2})_m$ の測定値を式(4)の関係で整理すると、図-5のように示される。滑面の場合、 $(\sqrt{v^2})_m$ が減衰するための距離は長い

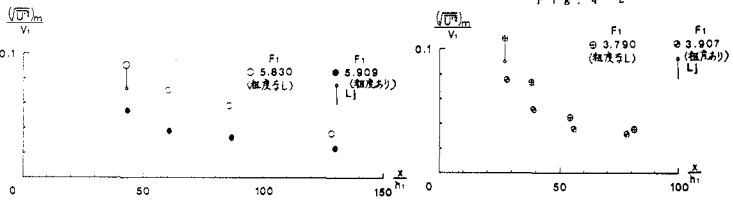


Fig. 5-1

Fig. 5-2

が、粗度によってこの距離は短くなることと認められる。

底面乱れ強さ

$$\sqrt{U_b^2}/V_i = f(\alpha/h_i, F_1) \quad (5)$$

各断面の底面乱れ強さ $\sqrt{U_b^2}$ の測定値を式

(5)の関係で整理すると、図-6のように示される。粗度によって、 $\sqrt{U_b^2}$ が減少していることが認められ、減衰が完了する断面が、粗度の影響によって、上流側へ移っていることが確認される。

跳水によるエネルギー損失

$0 \leq x \leq L_j$  (領域D)において、平均流のエネルギー方程式を適用すると、式(6) (平均流の粘性応力に関する項と検査面におけるRe応力による仕事は無視する)で示され、変動流のエネルギー方程式を適用すると式(7) (拡散項、圧力変動項は、無視する)で示される。

$$\alpha_1 V_i^2/2g + \lambda_1 h_1 = \alpha_2 V_j^2/2g + \lambda_2 h_2 + [-\overline{w} \alpha \int_0^h \rho (\overline{u^2} - \overline{v^2}) \frac{\partial u}{\partial x} + \rho \overline{u} \overline{v} (\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial x})] dw \quad (6)$$

$$Pro. = Dis. + Con. \quad (7)$$

ここに、Pro. ≡ 式(6)の右辺第3項 (Turbulence Production)

$$Dis. = \overline{w} \alpha \int_0^h \mu (\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial x^2}) \frac{\partial u}{\partial x} dw \quad (Dissipation)$$

$$Con. = \overline{w} \alpha \int_0^h \rho \overline{u} \overline{v} B dy \quad (Convection) \quad \text{ただし、} \nabla^2 = \sqrt{U^2 + V^2 + W^2}$$

$$\text{式(6),(7)から } (\alpha = 0, L_j \text{ では、} \alpha_1 = \alpha_2 = 1, \lambda_1 = \lambda_2 = 1), H_1 = H_2 + (Dis. + Con.) \quad (8)$$

$$\text{式(8)から } 100 = [Dis./ (H_1 - H_2) + Con./ (H_1 - H_2)] \times 100 [\%] \quad (9)$$

$\overline{w} \approx 2 \overline{u}$ として、Con.の値を測定値から求め、式(9)の他項と比較すると、表-1が得られる。Con./ (H<sub>1</sub>-H<sub>2</sub>)×100

は他の項に比較して小さく、 $0 \leq x \leq L_j$ において、乱流のエネルギーの大部分が粘性によって消失していることが示される。また、エネルギー損失に対する粗度の効果が認められる。さらに、 $x \geq L_j$ における各断面の

Con. =  $\overline{w} \alpha \int_0^h \rho \overline{u} \overline{v} B dy$  を求め、図-9に示す。これより、粗度を設置すると、跳水によるエネルギー損失を完了するための長さが、さらに減少することが理解される。

注1)

自由跳水終端 ( $x = L_j$ ) は、最大平均流速  $U_m$  の大きさが流下方向にほとんど変化しなくなる断面とする。

注2)

ここでは、L.D.V計測により求められた流速の頻度分布のうち最右端の流速値を  $U_m$  としている。

注3)

底面は  $y = 4 \text{ mm}$  の位置

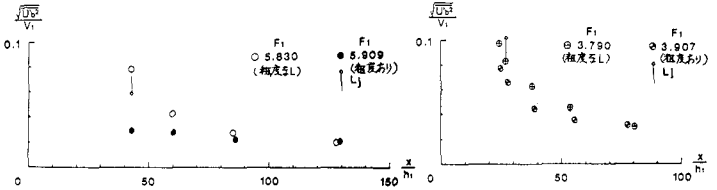


Fig. 6-1

Fig. 6-2

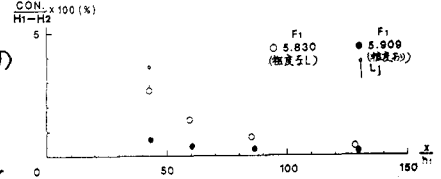


Fig. 7-1

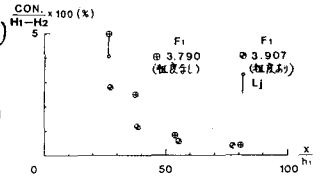


Fig. 7-2

TABLE 1

	F1	CON. / (H <sub>1</sub> -H <sub>2</sub> ) × 100 (%)	DIS. / (H <sub>1</sub> -H <sub>2</sub> ) × 100 (%)
粗度なし	5.8 — 6.0	3	97
	3.7 — 4.0	5	95
粗度あり	5.8 — 6.0	0.5	99.5
	3.7 — 4.0	3	97

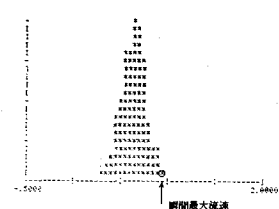
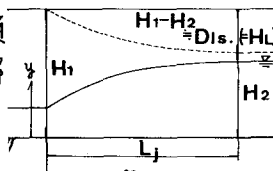


図9: 底面乱れ強さの測定値  
 図10: 粗度を付けない場合の最大水深断面における流速  
 図11: 粗度を付けた場合  
 図12: 水深測定における流速  
 図13: 流速測定における流速  
 図14: 流速測定における流速  
 図15: 流速測定における流速  
 図16: 流速測定における流速  
 図17: 流速測定における流速  
 図18: 流速測定における流速  
 図19: 流速測定における流速  
 図20: 流速測定における流速  
 図21: 流速測定における流速  
 図22: 流速測定における流速  
 図23: 流速測定における流速  
 図24: 流速測定における流速  
 図25: 流速測定における流速  
 図26: 流速測定における流速  
 図27: 流速測定における流速  
 図28: 流速測定における流速  
 図29: 流速測定における流速  
 図30: 流速測定における流速  
 図31: 流速測定における流速  
 図32: 流速測定における流速  
 図33: 流速測定における流速  
 図34: 流速測定における流速  
 図35: 流速測定における流速  
 図36: 流速測定における流速  
 図37: 流速測定における流速  
 図38: 流速測定における流速  
 図39: 流速測定における流速  
 図40: 流速測定における流速  
 図41: 流速測定における流速  
 図42: 流速測定における流速  
 図43: 流速測定における流速  
 図44: 流速測定における流速  
 図45: 流速測定における流速  
 図46: 流速測定における流速  
 図47: 流速測定における流速  
 図48: 流速測定における流速  
 図49: 流速測定における流速  
 図50: 流速測定における流速  
 図51: 流速測定における流速  
 図52: 流速測定における流速  
 図53: 流速測定における流速  
 図54: 流速測定における流速  
 図55: 流速測定における流速  
 図56: 流速測定における流速  
 図57: 流速測定における流速  
 図58: 流速測定における流速  
 図59: 流速測定における流速  
 図60: 流速測定における流速  
 図61: 流速測定における流速  
 図62: 流速測定における流速  
 図63: 流速測定における流速  
 図64: 流速測定における流速  
 図65: 流速測定における流速  
 図66: 流速測定における流速  
 図67: 流速測定における流速  
 図68: 流速測定における流速  
 図69: 流速測定における流速  
 図70: 流速測定における流速  
 図71: 流速測定における流速  
 図72: 流速測定における流速  
 図73: 流速測定における流速  
 図74: 流速測定における流速  
 図75: 流速測定における流速  
 図76: 流速測定における流速  
 図77: 流速測定における流速  
 図78: 流速測定における流速  
 図79: 流速測定における流速  
 図80: 流速測定における流速  
 図81: 流速測定における流速  
 図82: 流速測定における流速  
 図83: 流速測定における流速  
 図84: 流速測定における流速  
 図85: 流速測定における流速  
 図86: 流速測定における流速  
 図87: 流速測定における流速  
 図88: 流速測定における流速  
 図89: 流速測定における流速  
 図90: 流速測定における流速  
 図91: 流速測定における流速  
 図92: 流速測定における流速  
 図93: 流速測定における流速  
 図94: 流速測定における流速  
 図95: 流速測定における流速  
 図96: 流速測定における流速  
 図97: 流速測定における流速  
 図98: 流速測定における流速  
 図99: 流速測定における流速  
 図100: 流速測定における流速

L. D. V. 計測による流速の頻度分布

参考文献  
 1) M. Rajaratnam "Hydraulic Jump on Rough Beds" TRANSACTIONS OF THE ENGINEERING INSTITUTE OF CANADA, May, 1968  
 2) H. J. Liebermann and E. J. Schiller "Hydraulic Jump in a rough channel" Water Power and Dam Construction, May, 1975  
 3) C. G. Hughes and K. R. Nelson "Hydraulic Jump over a Rough Boundary" 1982, International Symposium on Urban Hydrology, Hydraulics and Sediment Control (University of Kentucky, Lexington, Kentucky, July 27-29, 1982)  
 4) H. C. Hengstler and J. E. Flach "Hydraulic Jump Properties Over a Rough Bed" Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 110, No. 12, December, 1984  
 5) D. M. Knight and J. A. Macdonald "Hydraulic Resistance of Artificial Step Roughness" JOURNAL OF THE HYDRAULIC DIVISION, PRO. A. S. C. E. VOICE, NO. 118, June, 1938  
 6) H. Reule and S. Nagarathnam et al "Turbulence Characteristics of The Hydraulic Jump" TRANSACTIONS A. S. C. E. November, 5, 1952