

II-214 実験水路内における非定常流量の計測法

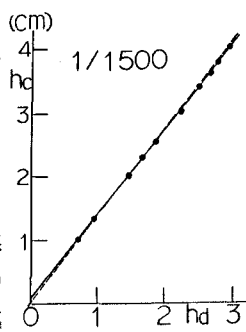
群大・院 学生員 松井 紀
 群馬大学 正員 小葉竹 重機
 NTT 真淵 智子

1. まえがき : 一般に実験水路における流量計測は堰による方法と、定常流であれば断面平均流速から求める方法とが多く用いられる。特に水路内のある点での流量が欲しい場合には、断面平均流速を計測する以外に方法は無いが、これも定常流の場合に限られる。例えば、断面形が変化する水路における非定常流量の波形変化を考察する場合には、水路内のいくつかの点での流量波形を求めなければならないが、これについての方法論は現在のところ見あたらない。本報告はこうした観点に立った、実験水路内における非定常流量の計測法に関する研究の第一報であるが、ここでは特に水路下流端の水深と流量との関係に重点をおいて述べたのち、非定常時の水路内の点流速と断面平均流速との関係についても若干述べる。

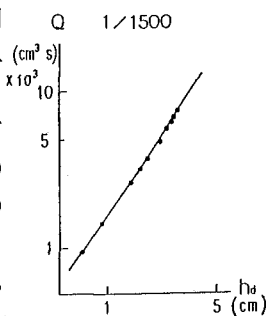
2. 実験方法 : 実験は幅30cm、長さ12mの塩ビ製の水路の上流端に貯水槽を設け、これに取り付けたバルブを急激に解放することで非定常流を発生させた。また、勾配は1/250、1/500、1/750、1/1500の4caseとした。水路の下流端には三角堰を設置している。

3. 水路下流端の水深と流量との関係 : 3-1 定常時の関係 (1) 実験結果

図-1は勾配1/1500の場合における限界水深 h_c と下流端エッジの水深 h_d の関係を示したもので、図中の黒丸は実験結果、破線はH. Rouse¹⁾の与えた $h_d/h_c = 0.715$ の関係、実線は今回我々が得たすべての勾配に共通の実験式 $h_c = (1/0.739) h_d + 0.07$ (cm) ... (1) を示したものである。一方、矩形水路における限界水深 h_c と流量 Q との関係式に(1)式を代入し、ベキ乗の部分を $(1.353 h_d + 0.07)^{3/2} = 1.690 h_d^{1.46}$ と指数近似することにより、次の実験式を得ることができる。 $Q = 1.690 \sqrt{g} \cdot B \cdot h_d^{1.46}$... (2) 図

図-1 h_d - h_c 関係

-2は(2)式と実験値を比較したものである。また、図-3はすべての勾配についての単位幅流量 $q (= Q/B)$ と h_d/h_c との関係を示したもので、図中の実線は(1)式を $h_d/h_c = 0.739 - (0.0517/h_c)$ と変形の後、 h_c を q に換算して求めたものである。以下にこれらの関係について若干の考察を行なう。(2) 理論的検討 岩崎²⁾は段落ち部の水流に関して詳細な検討を行い、流速分布および圧力分布を求めるとともに、 h_d/h_c の理論値として0.709、実験値として0.724を得ている。ここでは岩崎の成果を参考に h_d/h_c の値について検討を行なう。まず段落ち部付近の流速分布について簡易式を誘導する。岩崎の実験結果より、段落ち付近の流速分布は、流線が曲率をもったポテンシャル流れと対数則分布に従う流れの合成されたものとみることができる。曲率半径が無限大になったとき、すなわち通常の平坦水路床となったとき対数則に従えばよいの

図-2 Q - h_d 関係

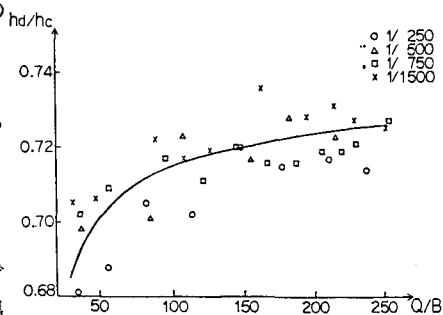
であるから、次式のような形式のものが考えられる。

$$v = v_s \cdot (R+h) / (R+y) + k \cdot \ln(y/h) \dots (3)$$

ここに v_s は表面流速、 R は曲率半径、 h は水深、 y は水路床からの距離、 k は摩擦速度 u_* とカルマン定数 κ との比(u_*/κ)である。ここで、 $y/h = \eta$ 、 $R/h = r$ と表わすと(3)式は

$$v = v_s \cdot (r+1) / (r+\eta) + k \cdot \ln \eta \dots (4)$$

と表わされる。図-4は岩崎の実験結果と(4)式とを比較したものである。図中、実線は岩崎の与えた理論値であり、破線が(4)式の簡易式によるものである。また図は右から左に向かって下流端から0cm、2

図-3 単位幅流量と h_d/h_c の関係

cm、15cm、200cmの位置での流速分布を示しており、計算に用いた r の値は、それぞれ $r=2.7, 5, 15, 100$ である。このうち下流端の $r=2.7$ は図-5に示される無次元水面形(H. Rouse¹⁾による)から図のように読みとったものであり、下流端から200cmの位置での $r=100$ は無限大に近いという意味で与えたものである。また、 k の値は $u_* = (g \cdot h_d \cdot I)^{1/2}$ として、 I に河床勾配 $1/400$ を用いたものである。(4)式の r, k に現実の値を用いて、実際の流速分布をうまく説明できることは、(4)式が簡易式であるにもかかわらず精度の高い近似式であることがわかる。一方、限界水深が発生する断面(この断面から上流では静水圧分布の仮定が成立することが岩崎によって報告されている)と下流端断面の二断面間で水表面に沿う流線のエネルギーが保存されると仮定することにより h_d/h_c の関係式として

$$(h_d/h_c)^3 - (1 + C_1^2/2) \cdot (h_d/h_c)^2 + C_2^2/2 = 0 \quad \dots (5)$$

を得る。ここに C_1 は限界水深の現われる断面での表面流速と平均流速との比($v_s/\bar{v}$)であり、 C_2 は下流端におけるそれである。 C_1, C_2 の計算に(4)式を用い、分布形の相似を仮定し $k/v_s = 0.08$ として計算すると $h_d/h_c = 0.701$ を得た。流量によらず一定の値となるが、これに流量による下流端流速分布形の変化およびエネルギーロスを考えれば図-3に示す変化を説明することができる。ただし、実用的には図-2でもわかるように(2)式で十分な精度があると考えられる。

3-2 非定常時の関係

図-6-(a), (b)は定常時に得られた(2)式の関係をそのまま用

いて、計測された h_d から流量 Q を計算した結果と下流に設置された三角堰から計算した流量との比較である。(a), (b)は同じ条件のもとの実験である。この図から非定常時にも(2)式の関係が成立することがわかる。このことから下流端においては、三角堰を用いなくても下流端エッジにおける水深を計測するだけで簡単に非定常流量を求めることができることになる。

4. 非定常時における水路内の点流速と断面平均流速との関係

図-7 (a), (b), (c)は定常時の点流速(下流端から1mの位置)と断面平均流速との比が非定常時も変わらないとして求めた非定常流量と三角堰流量との比較である。(a), (b), (c)は水路底からの高さが異なるが、高さの違いによる特性の違いは顕著ではないようである。peak直後の減速部を除けば第一次近似としては使用できそうである。今後さらに検討を行なう。1) H. Rouse:

Engineering Hydraulics, Wiley,

2) 岩崎: 段落水流の水力現象に関する実験的考察, 土木学会誌, 38-6, 昭28.6

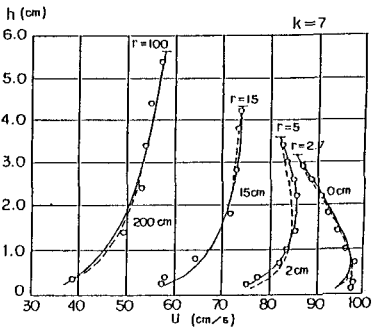


図-4 段落付近の流速分布

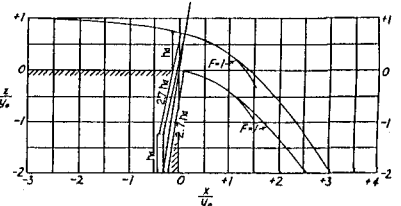


図-5 段落流の無次元水面形

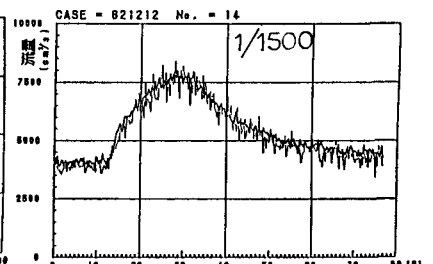
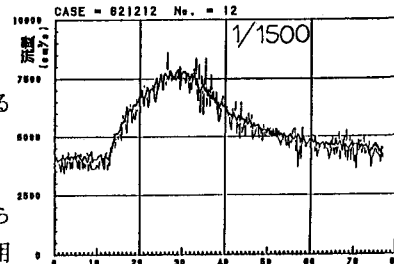


図-6-(a), (b) 計測した h_d より(2)式を用いて求めた非定常流量

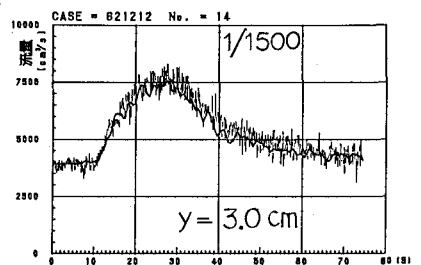
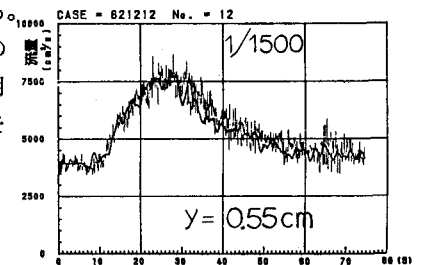


図-7 (a), (b), (c) 点流速の計測結果から求めた非定常流量