

局所的に流量が変化する開水路流れの特性について

京都大学防災研究所 正員 中川博次
京都大学 大学院 学生員 市橋義臣
奥村組 正員 国井義彦

計画流量配分を行なうための分水工の規模は一般に流量が変化する場合の水面形方程式と数値積分することによって一義的に決定することからできる。しかしながら、流量および水深の流下距離に対して非線型変化をするために、支配関数の位置は一義的に与えられず、その性質が定性的に論じられている程度である。本研究では、底部分水工の大部分がダム頂部や緩こう配水路の途中に設けられている事実にかんがみ、分水工始端に擬似鞍形臭が発生する場合の流れを実験的に考察し、それに基づいた水面形特性とその解析法について検討した。

1. 擬似鞍形臭発生時の水理特性 直径1cm および8mmの円形孔を水路軸方向5cm間隔に7列、横断方向2.5cm間隔に9列設けた場合の実験を行なった。開度 ψ はそれぞれ0.0565, 0.0362であり、実験記号はHおよびCで表わされる。分水工始端付近で限界水深をとおり、射流状態に流下する流れの流量分布を実験的に考察し、単位水路長当たりの流出流量および流量配分比が次式で与えられることを確かめた。

$$q_m = E_0 B \psi \sqrt{2g E_0} (1.103)^{-\bar{x}} \quad (1)$$

$$K = \int_0^{\bar{x}} \left(\frac{q_m}{Q_0} \right) d\bar{x} = \frac{3\sqrt{3} E_0 \psi}{2 \ln 1.103} (1 - 1.103^{-\bar{x}}) \quad (2)$$

ここに、 E_0 : 分水工上流端における流量係数、 B : 水路幅、 E_0 : 限界水深臭での比エネルギー、 $\bar{x}$: 流下距離 X と E_0 との比である。(1), (2)式の関係をそれぞれ図-1および2に示す。

分水工上での流速測定の結果から射流分岐の場合には、任意臭の流速 u を断面平均流速で代表させることがわかった。(ながつて、比エネルギーは

$$E = h + (u^2/2g) \quad (3)$$

で表わされ、その分水工上での変化を示すと図-3のようになる。明らかに射流状態では流下方向に比エネルギーが減少することが認められる。

2. 分水工上の特異臭 1.の考察によって分水工始端に擬似鞍形臭が発生する場合には、

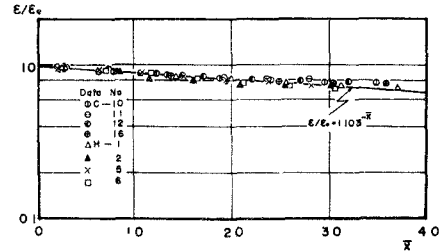


図-1

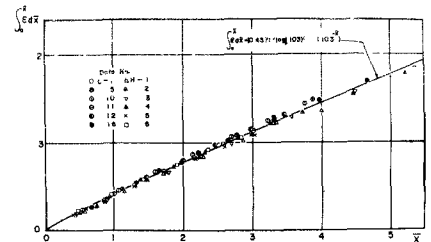


図-2

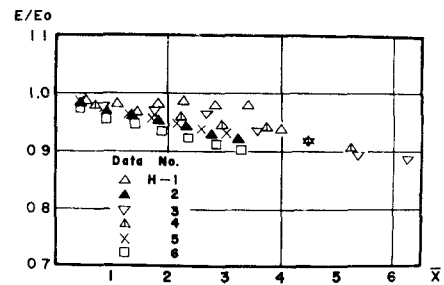


図-3

流量変化と x との間に線型の関数関係が存在するから、分水工上での特異点位置を容易に求めることができる。擬似鞍形突は水面形解析の発生点となるものであり、その発生条件を明らかにすることはきわめて重要である。水路こう配 i_b の長方形一様水路について擬似鞍形突が発生するための最小開度を求めると次式の関係がえられる。

$$\psi \geq \{gn^2(1+2h_{co}/B)/h_{co}^{1/2} - i_b\} / \sqrt{3} E_0 \quad (4)$$

ここに、 n :マングの粗度係数、 h_{co} :初期流量に対する限界水深である。この場合の分水工上の特異点は明らかに結節点であり、(1)式の関係を水面形方程式に代入し、等流水深と限界水深を導いとおけば次式が得られる。

$$i_b = (gn^2/h_{co}^{1/2})(1-k)^{-2/3} \{1+2h_{co}(1-k)/B\}^{1/3} - (g/3)(1-k)(dk/dx) \quad (5)$$

図-4には $gn^2/h_{co}^{1/2} = 2 \times 10^{-3}$ 、 $i_b = 1/1,000$ および $1/500$ の場合について、擬似鞍形突が発生するための必要開度および結節点の位置と h_{co}/B との関係を示した。

3. 水面形解析法の検討 i) 比エネルギーが分水工上で変らないという仮定に基づいて水面形方程式を求めると次式で与えられる。

$$\bar{R} \sqrt{1 - \bar{R} \cos \theta} = \bar{R}_0 \sqrt{1 - \bar{R}_0 \cos \theta} (1-k) \quad (6)$$

ここに、 $\bar{R}_0$ は分水工始端断面における平均水深 R_0 と E_0 との比である。これに(2)式を代入し、 $\psi = 0.0565$ 、 $E_0 = 0.4371$ 、 $\bar{R}_0 = 0.665$ の場合の水面形を計算した結果を図-5の実線と示し、実測水面と比較した。明らかに理論水面曲線は実測水面曲線より低くなり、先の比エネルギーが下流に向かって減少するという事実が確かめられた。したがって、この仮定に基づく Nosedal と Mostkow の水面解析法をこの種の流れに適用することは問題であると考えられる。

ii) エネルギー次元解析法による水面形方程式

$$\frac{dh}{dx} = \frac{\sin \theta - (n^2 g^2 / R^{4/3} B^2 k^2) + (\alpha p g Q / g B^2 k^2) - R \cos \theta (dn/dx)}{\cos \theta - (\alpha Q^2 / g B^2 k^3)} \quad (7)$$

で、まず漸変流として $\sin \theta = 1/1,000$ 、 $p=1$ 、 $n=0.01$ 、 $\alpha=1$ の条件で水面形を計算した結果は図-5の実線と示される。(1)の場合に比べ実測水面に近くなるが、始端付近での水面降下が大きい。つぎに始端付近での流れの曲りが大きいことから、鉛直速度成分を考慮した分水工上での圧力分布式から圧力係数 λ を求め、これを(7)式に代入して水面形を計算した結果が図-5の破線と示されている。理論水面形は実測水面形ときわめて良好な一致を示しており、このことから通常漸変流として取り扱われている流れにおいても、その水面形解析の精度に反ばす非静水圧項の影響はきわめて大きいといえることができる。

本研究は文部省科学研究費(試験研究)の一部であることを付記しておく。

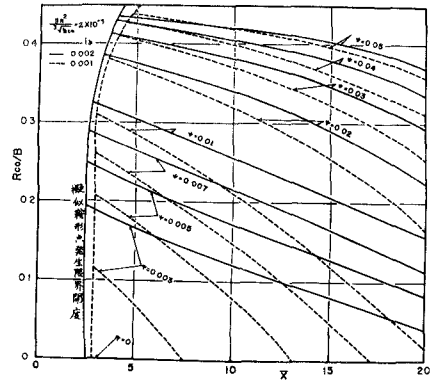


図-4

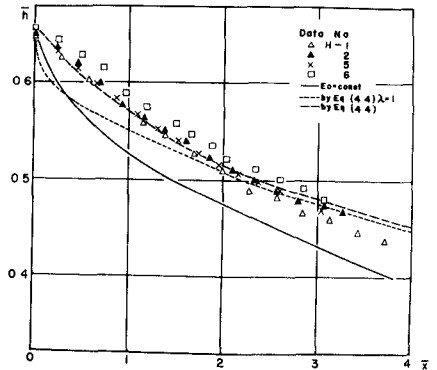


図-5