

水面形の計算法に関する2,3の考察

京都大学工学部 正員 工博 岩佐義朗

京都大学大学院 学生員 ○山口嘉之

1. はしがき 設計流量を対象とした水工設計において、設計流量に対する水面形を明確に計算することは、最も基本的な事項である。1次元的な水面形の計算法は、流量が場所的に変化しない場合は、一様水路におけるものと、一様でない水路におけるものとに分けられ、前者における計算法は、ほぼ完成の域に達しているといえよう。しかしながら、われわれが対象とする水工設計における現象は、一般に、水路幾何形状も一様でなく複雑に変化しており、一様水路における計算法をそのまま適用することはできず、一様でない水路として取り扱わねばならないことが多い。この場合に対する計算法は、実用上、多くの仮定と近似に基づいているが、それらの水面形計算法における意義については不明確な点が多い。本報告は、複雑な幾何形状を有する自然河川における水面形を計算するにさいして問題となる点に関して、実験結果に基づき、若干の考察を行ったものである。

2. 実験装置および結果 建設省鹿島水理試験所に設置されている、横方向 $1/100$ 縦方向 $1/20$ の縮尺の、アスファルト粗面仕上げ、場所によっては、碎石で粗度付けされた利根川下流部85kmの区間の模型水路において、下流水位を一定に保ち、種々の流量に対して、31個所の断面で水位を測定した。別表に実験結果（

総計8ケース）の一例を示す。この例では流量 $Q = 39,324.2 \text{ cm}^3/\text{sec}$ $n = 0.016$ 、下流水位 4.55 cm である。

3. 支配断面の検討 一般に、定常不等流の基本方程式、

$$\frac{dh}{dx} = \frac{\sin\theta - \frac{n^2 Q^2}{R^{4/3} A^2} + \frac{\alpha Q^2}{g A^3} \left(\frac{\partial A}{\partial x} \right)}{1 - \frac{\alpha Q^2}{g A^3} \left(\frac{\partial A}{\partial h} \right)} = \frac{F_1(x, h)}{F_2(x, h)} \quad (1)$$

において、 $F_1 = 0$ 、 $F_2 = 0$ の曲線は、それぞれ、擬似等流水深曲線、限界水深曲線を与え、両曲線の交点の特異点で、これを通過する流れは、流れの状態が常流から射流へ、あるいは、射流から常流へと変化する。¹⁾ 自然河川において流れに常流と射流とがあらわれる場合には、これらの2曲線とその交点とを求めることが必要となるが、一般に、自然河川における横断面は不規則な形をしているために、断面全体を代表する水深 h を明確に定義する

別表

断面 番号	1 実験 水位 (cm)	2 最深線 こう配 ($\times 10^{-4}$)	3 (2),(3)式よ り求めた $\sin\theta$ ($\times 10^{-4}$)	4 ①より求め た $\sin\theta$ ($\times 10^{-4}$)	5 ②より求め た $\sin\theta$ ($\times 10^{-4}$)	6 重心線 のこう配 ($\times 10^{-4}$)
0	4.55					
1	6.27	-6.423	31.621	7.796	5.345	-2.342
2	7.44	-3.913	27.623	8.004	11.152	-8.241
3	8.76	13.707	42.873	-6.802	-13.806	5.244
4	12.47	1.193	25.960	-11.423	1.186	0.199
5	13.24	-148.282	-74.045	29.905	38.951	-32.444
6	14.23	137.248	73.301	-91.129	-29.615	22.848
7	17.44	-9.704	38.160	8.002	10.313	35.512
8	18.45	-33.208	-20.126	17.997	2.113	-41.675
9	18.92	243.809	287.149	179.889	42.413	198.564
10	19.28	5.668	59.028	-4.229	-18.947	1.099
11	22.32	35.137	87.483	31.756	5.100	6.887
12	23.00	-42.942	23.875	36.934	39.284	51.111
13	23.30	12.987	81.190	-16.712	-94.805	6.532
14	23.56	-17.647	30.062	-1.080	-44.706	9.546
15	25.20	6.574	56.033	7.787	11.405	-18.003
16	25.60	75.789	131.781	69.551	0.842	60.612
17	26.67	-102.523	-42.302	84.322	2.229	78.070
18	27.05	286.315	344.560	260.777	31.439	290.315
19	27.57	73.347	127.999	78.123	-13.731	69.098
20	28.10	-62.529	-15.526	62.009	-7.081	8.990
21	28.63	-47.510	-9.280	-12.956	70.383	0.588
22	32.50	15.859	62.182	-11.834	-8.145	-9.201

ことができず、また、(1)式における $(\partial A/\partial x)$ の取り方も不明確である。R、Aは各種の水位に対して、実験的に容易に得ることができ、また、 $(\partial A/\partial h)$ は水位流量曲線より求められるが、(1)式の (dh/dx) を一樣でない水路において求めることは容易でなく、 $\sin\theta$ についても正負のこう配がひんぱんに生ずるため、(1)式による $(\partial A/\partial x)$ の逆算においては、水深をはかる基準面をきめて求まる (dh/dx) と $\sin\theta$ を用いる。 $\sin\theta$ としては、実用上、流れの最深部をつらねた最深線*のこう配を用いることがしばしば行われている。いま、水深 h として水路最深部における水深を用いると、比エネルギー H_0 はつぎのように表わされる。

$$H_0 = \lambda h \cos\theta + \frac{\alpha Q^2}{2gA^3} \quad (2) \quad \frac{dH_0}{dx} = \sin\theta - \frac{n^2 Q^2}{R^{4/3} A^5} \quad (3)$$

最深線のこう配と、(2)、(3)式より求められる $\sin\theta$ との比較の一例を、それぞれ別表欄2および欄3に示す。この場合 $\lambda=1.0$ 、 $\alpha=1.10$ を用いている。両者は、ほぼ同じ傾向を示していると考えられる区間もあるが、その値には、大きな差があり、粗度係数 n に関係せず、ほぼ同様のことがいえる。また、種々の流量、下流水位に対して(2)、(3)式より求めた $\sin\theta$ は、各断面間で、それぞれ、ある一定値に近い値をとっている。これら $\sin\theta$ の値のバラツキは、流れが与えられた流量、下流水位などの条件のもとで平均的に流れると考えることによって生ずると考えると、 $\sin\theta$ は、水路の幾何形状による固有の値があるように思われる。以上の事実ならびに (dh/dx) をきめることの困難さから、水面形を表わすのに最深部からの水深で表わすより、なにか他の基準面からの高さで代表させる方が適当であろう。

実用上においては、

①流水断面を、横断状態が顕著に異なる区間に分割し、各区間ごとの平均水深を水深とする長方形断面におきかえる方法

②流水断面を、同じ断面積と径深をもつ長方形断面におきかえる方法

がしばしば採用されている。これらの方法は、 h および $\sin\theta$ を最深線より求める方法に比し、計算上においてもはるかに有利である。これらの方法で求めた $\sin\theta$ は、それぞれ別表の欄4、および欄5に示したようになるが、(2)、(3)式より求めた $\sin\theta$ とは、あまりよく一致していないし、その意義については不明確である。この他 ③水路各断面の重心を同時水位について求め、それらをつらねて $\sin\theta$ を求める方法があるが、この方法によって求まる $\sin\theta$ の値は別表欄6に示すようになる。1次元解析法では、重心は重要な意義をもつものであるが、欄6より、 $\sin\theta$ の計算に重心線を用いることは、手数がかかる上、その意義もあまりよくわからない。

以上、 $\sin\theta$ を計算する各種の方法の適合性について、実測値との比較による検討を行なったが、本報告による結果では、特異点を求めるさい、(1)式を h 、 x の関数とするよりも、むしろ、水位 h と x との関数、換言すれば、比エネルギー式よりエネルギー式によるべきであると結論される。

*最深線という表現は、まだ一般的でない。

参考文献

1)例之ば 岩佐義朗 「開水路流れの基礎理論」、土木学会水理委員会、1964