

路面排水よりみた道路縦横断形状について

京都大学工学部 岩 佐 義 朗
 京都府土木部 山 田 雄 績

道路の縦横断勾配は道路構造令によつて規定されていない。この形状は、種々の気象条件下で通行する交通機関の要請に即応したものとしなければならないが、ここでは、路面排水という観点よりみた路面形状、したがつて雨水による水流の水面形状と路面形状との関連性について考察を進める。

この問題については、すでに二・三の研究が行われているが、岩垣博士は運動量保存則より路面上の水流の基礎方程式を導き、詳細な数値計算を行つて水深が一樣となる横断形状は放物線形であると結論づけられているが、路面上の水流そのものもつ水理学的性質は十分に解明されていない。ここでは、この点に重点をおいて、各種の横断形状をもつ路面上の水流の水理学的性質を解析する。

4車線道路と考えられる1級国道第1種の道路幅員は14 mであるから、表-1に示すように、

表-1 幅員14 m道路における時間雨量と路側における水流のReynolds数との関係

r_0 (mm/hr)	g (cm/sec)	Re
0	0×10^{-3}	0
36	1	70
72	2	140
108	3	210
144	4	280
180	5	350
216	6	420
252	7	490

路面上の水流はどのような豪雨に対しても層流とみなすことができる。この流れは岩垣博士の与えた基礎方程式によつて与えられ、

$$\left(\frac{dh}{dx}\right) = \frac{f_1(x, h)}{f_2(x, h)} \quad (1)$$

$$f_1(x, h) = \left(\frac{gn_0}{v^2}\right) \left(\frac{x}{\ell}\right)^{(n-1)} h^3 - \left(\frac{12g^2}{5v^2}\right) x \cdot h - \left(\frac{3q}{v}\right) x \quad (2)$$

$$f_2(x, h) = \left(\frac{g}{v^2}\right) h^3 - \left(\frac{6q^2}{5v^2}\right) x^2, \quad (3)$$

である。この場合、 x 軸は路面にそつてとつており、 h : 水深、 q : 単位長さ当りの雨量、 ℓ : 半幅員、 g : 重力の加速度、 v : 水の動粘性係数、 i_0 : 横断勾配、 n : 路面形状を n 次曲線で表わしたときの指数で、 $n \geq 1$ である。

著者の 1 人は、さきに微分方程式論における特異点の理論を導入して定常流の一般的な特性を明らかにしたが、これと同様な方法でこの問題を取り扱うことができる。すなわち、特異点の位置は、(2) および (3) 式をそれぞれ 0 とおいた解として与えられるから、つぎの 2 点となる。

(1) $x_0 = 0, h_0 = 0$, すなわち路頂。

$$(2) \left(\frac{n^3 i_0^3}{8}\right) \left(\frac{x_0}{\ell}\right)^{3(n-1)} x_0^3 - \left(\frac{15 n^2 i_0^2 v}{16 q}\right) \left(\frac{x_0}{\ell}\right)^{2(n-1)} x_0^2 \\ + \left(\frac{75 n i_0 v^2}{32 q^2}\right) \left(\frac{x_0}{\ell}\right)^{(n-1)} x_0 - \frac{125 v^3}{64 q^3} = \left(\frac{6 q^2}{5 g}\right) x_0^2 \\ h_0^3 = \frac{6 q^2}{5 g} x_0^2 .$$

第 2 の特異点は流量および横断面形状によつて変化するが、一定の形状の路面に対しては、流量が多いほど特異点の位置は路頂に近づく。

まず、第 2 の特異点について、その性質および水面形状と水理学的特性とを考察しよう。このために原点を特異点へ移動させ、新しい座標系に対して同じ x, h を用いると、(1) 式は近似的に (4) 式によつて表わされる。

$$\frac{dh}{dx} = \frac{cx + dh}{ax + bh} \quad (4)$$

$$\text{ここに, } a = -\frac{2g}{v^2} \frac{hc^3}{x_0^3}$$

$$b = \frac{3g}{v^2} \frac{h_0^2}{x_0^2}$$

$$c = 2(n-2) \frac{g}{v^2} \frac{hc^4}{x_0^4} + 2(n-2) \frac{q}{v}$$

$$d = \frac{4g}{v^2} \frac{hc^3}{x_0^3} + \frac{9q}{v} \frac{xc}{h_0}$$

a は負、 b および d は正、また c は $n=2$ を境界として負、正となる。これに応じて、 $f_1(x, h) = 0$ の特異点における勾配はそれぞれ正、負となるが、等流水深曲線は限界水深曲線の上側より特異点を通り、下側へ抜ける。

(4)式よりその特性方程式の判別式は正であり、また $(ad-bc)$ は負であるから、この特異点は鞍形点として分類される。したがって、この点は支配断面となり、水面形追跡の出発点であり、流れは常流より射流へと遷移する。

第1の特異点は、流量および路面形状の如何にかかわらず常に路頂にあるが、この特異点は鞍形点のような elementary なものでない。しかしながら、原点において、水面形方程式の水面勾配は

$$\left(\frac{dh}{dx}\right)_{x \rightarrow 0} = 0, \infty$$

であるが、このような elementary でない特異点の水理学的意義は今後の研究課題である。

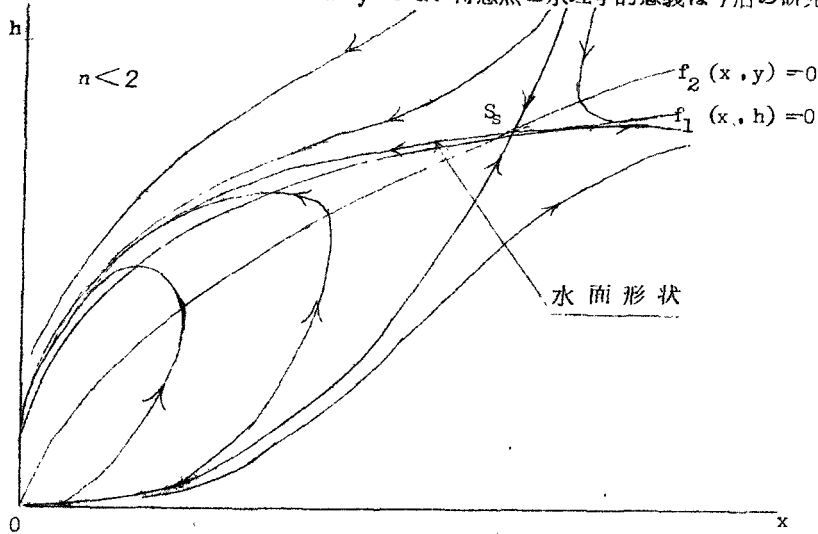


図- 1 $n < 2$ の場合の各種水面形状

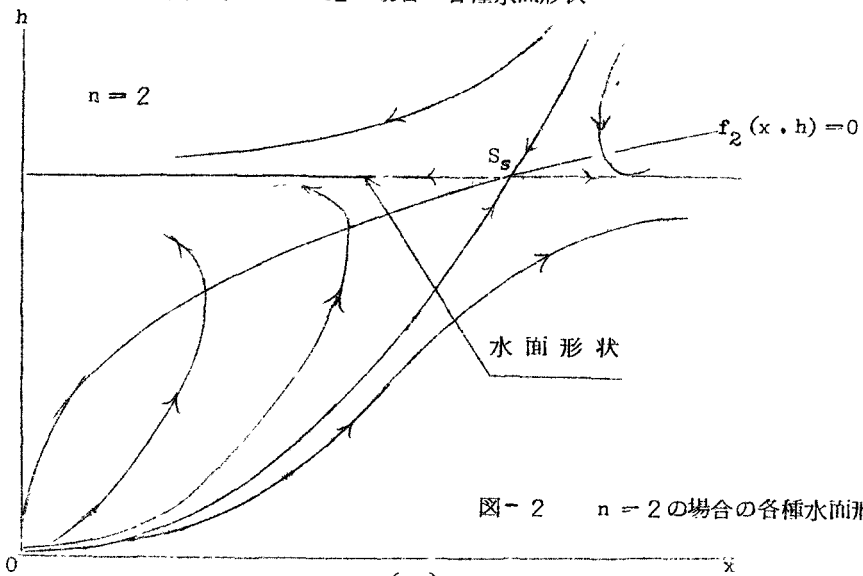


図- 2 $n = 2$ の場合の各種水面形状

いま、(1)式で与えられる方程式の水面形状を示したのが、図-1、2、3、であり、oval point 状をなしている。

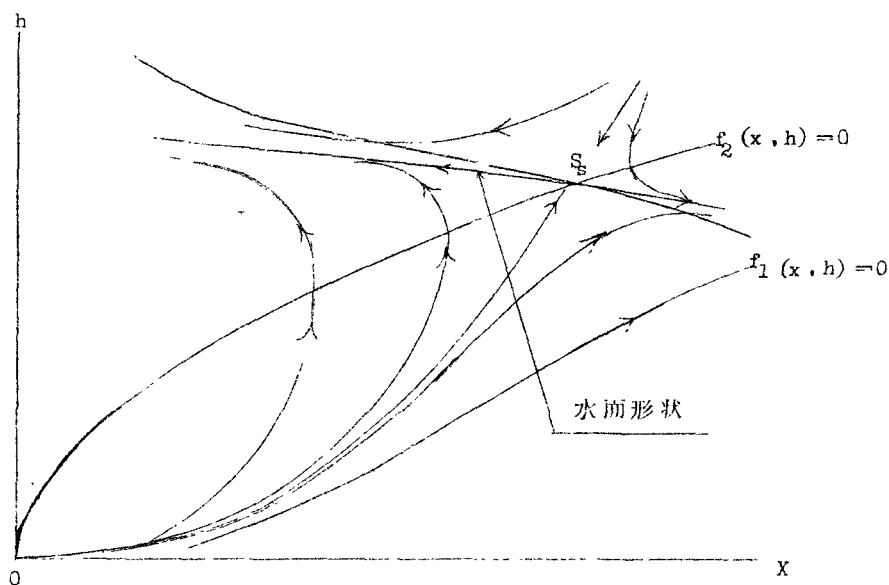


図-3 $n > 2$ の場合の各種水面形状

以上のことから、つぎのように結論される。

- (1) 路面上の水流は2個の特異点をもち、水面形状は鞍形点によつて規定される。
- (2) 雨量が多くなればなるほど、鞍形点は路頂に近づき、流れは射流状態となる。
- (3) 水深が一樣な路面形状は、岩垣博士の結論のように放物線形である。
- (4) 路頂附近の水流の水理学的特性は今後の研究によらなければならない。

本研究を遂行するに当り、絶えず御懇切な指導を賜わつた石原教授に感謝の意を表わすとともに、この研究は文部省科学研究費によるものであることを付記する。