

II-242 流雪溝屈曲部の流れに関する基礎的検討

日本大学大学院 学生員 ○ 野口 隆夫
 日本大学工学部 正 員 高橋 迪夫
 福島県土木部 正 員 近内 剛

1. ま え が き

一般的に、流雪溝においては、直線部よりも屈曲部、断面変化部、あるいは分・合流部において流雪能力が劣るために、流雪溝の機能はこのような部分の流雪能力に大きく左右されることになる^{1)~3)}。さらに、流雪溝による面的な除排雪システムを検討⁴⁾していく場合には屈曲部あるいは分・合流部が多くなり、これらの部分における流れの特性に関する十分な検討が必要となると考えられる。

本報は、流雪溝屈曲部における流れに注目して、屈曲部の構造、とくに平面形状の違いによる剥離域の大きさ、屈曲部の水位変化、および流れの損失の評価に関して水工学的検討を加え、さらにこれを基に、望ましい屈曲部の構造について一考察を試みたものである。なお、問題を単純化して屈曲部における流れの基本的な特性を十分に理解するために、本報では、流体として雪を含まない清水が用いられている。

2. 実験装置および方法

実験に用いた水路は、全長約4.0m、幅10.0cm、深さ12cmのアクリライト製のもので、その中央部に、屈曲角度が90°、45°、30°および45° 拡幅の4種類の屈曲部が取り付けられた。剥離域の計測および流況の可視化には、トレーサとして木屑およびフルオレセインナトリウム溶液が用いられた。また、小型プロペラ流速計によって各地点における横断方向の流速分布の概形が計測された。

3. 実験結果および考察

(1) 剥離域の大きさ: 次元解析により、最大剥離幅 $\Delta b_{\max}$ は次の関数形で表される。

$$\Delta b_{\max} / b = \phi(R/b, Re, Fr, \theta) \quad (1)$$

ただし、 b : 水路幅、 R : 径深、 $Re \equiv vR/\nu$ 、 $Fr \equiv v/\sqrt{gR}$ 、 θ : 屈曲角度。Fig. 1は、各種の屈曲形状における $\Delta b_{\max}$ と屈曲部上流側のフルード数 Fr_1 との関係をレイノルズ数 Re_1 をパラメータとして示したものである。ただし、 $\theta = 45^\circ$ および 30° の流れに対しては、最も大きな剥離域が形成される最初の屈曲背後における値が採用されている。この図より、ばらつきはあるが、いずれの屈曲形状においても $\Delta b_{\max}$ は Fr_1 の増加に伴って減少し、射流ではかなり小さい値をとることが

認められる。また当然のことながら、 θ が小さいほど剥離域の大きさが減少し、有効な流水断面が増加していることがわかる。一方、レイノルズ数に対しては、系統的な計測が十分でないこともあり、明瞭な傾向は認められない。Fig. 2は、剥離域の形状の変化を把握するために $\Delta b_{\max}$ と剥離長 l との関係を検討したものである。 $\Delta b_{\max}$ と l との比は、巨視的には $l/\Delta b_{\max} \approx 6$ となり、剥離域の形状はほぼ相似形を保っていることがうかがえる。なお、剥離域の大きさは水深方向に変化すると考えられる⁵⁾ が、流雪溝の流れにおいては雪は上層部を流れる^{6), 7)} ことから、本報では水面における剥離域の特性が検討されている。

(2) 屈曲部の水位変化: フルード数の増加に伴い屈曲部における水位が上昇し、流雪溝からの越水の問題

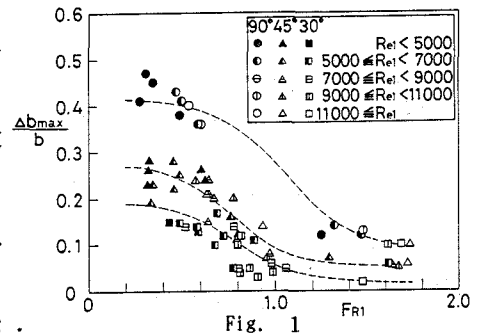


Fig. 1

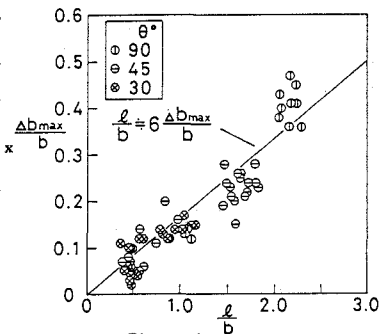


Fig. 2

あるいは流れの損失の評価の面からこの部分における水位変化の検討が必要になる。

Fig. 3の1-2を検査面として運動量方程式を適用すると次式となる。

$$1/2 \rho g b h_1^2 - 1/2 \rho g b h_2^2 \cos \theta - F \sin \theta = \beta_2 \rho Q v_2 \cos \theta - \beta_1 \rho Q v_1 \quad (2)$$

ここに、Fは屈曲部壁面aeに作用する圧力で次式によって表されるものとする。

$$F = 1/2 \rho g b \tan(\theta/2) h_e^2 \quad (3)$$

ここで、 $h_2 \div h_e$ を許し、 $\beta_{1,2} = 1.0$ とすると、式(2)、(3)から、屈曲部における水位変化 h_e/h_1 は次式より求まる。

$$(h_e/h_1)^2 - (2F_1^2 + 1)(h_e/h_1) + 2F_1^2 \cos \theta = 0 \quad (4)$$

ただし、 $F_1 = v_1 / \sqrt{g h_1}$ 。Fig. 4は、式(4)と実験結果とを比較したものである。90°では若干差が認められるが、全体的には式(4)は実験結果をほぼ表現しているものと思われる。

(3) 屈曲損失: Fig. 3の1-3区間の流れの全損失水頭 h_l が、屈曲による局所的な損失水頭 h_{el} とその区間の摩擦による損失水頭 h_f の和として表されたとすれば、Bernoulliの定理より、

$$h_l = h_f + h_{el} = [z + h + \alpha v^2 / 2g]_1 - [z + h + \alpha v^2 / 2g]_3 \quad (5)$$

となる。ここで、 h_f 、 h_{el} は各々次式で表されるものとする。

$$h_f = \frac{\lambda_1}{4R_1} \left(\frac{L_1}{2} \right) \frac{v_1^2}{2g} + \frac{\lambda_e}{4R_e} \left(\frac{L_1 + L_2}{2} \right) \frac{v_e^2}{2g} + \frac{\lambda_3}{4R_3} \left(\frac{L_2}{2} \right) \frac{v_3^2}{2g} \quad (6)$$

$$h_{el} = f_{el} \frac{v_1^2}{2g} \quad (7)$$

ここに、 f_{el} は屈曲損失係数、 L_1 、 L_2 は各々水路中心に沿った1-e、e-3区間の長さ。 f_{el} は、次元解析および芦田の急拡部流れの損失に関する研究⁸⁾を参考にすると、 Δb_{max} と同様、次の関数形で表されることが期待される。

$$f_{el} = \psi_1(\Delta b_{max}/b, Fr) = \psi_2(R/b, Re, Fr, \theta) \quad (8)$$

Fig. 5は、流れを滑面流れと仮定して見積もられた λ の値を用いて、式(5)～(7)から算出された f_{el} と Fr_1 との関係を Re_1 をパラメータとして示したものである。この図より、 f_{el} は Fr_1 の増加に伴って減少し、射流ではほぼ一定値に漸近することが認められ、前述の Δb_{max} と Fr_1 との関係とかなり類似な関係を示すことがうかがえる。

(4) 45° 拡幅屈曲部の流れ: 屈曲部の流雪能力の向上を計る簡易な構造の一つに屈曲部の拡幅が考えられる。Fig. 6, 7はほぼ Δb_{max} に相当する余裕幅を考慮して屈曲部で1.5・bに拡幅された45° 拡幅屈曲部の流れの特性と拡幅のない流れの特性とを比較した一例である。拡幅部には、常流、射流に係わらず $\Delta b_{max}/b$ が0.3程度のほぼ一定の安定した剥離域が形成され、一方、 f_{el} はほぼ類似の値を示しており、拡幅による流雪能力の向上が期待され得る。 今後は、系統的な測定データを増やし、さらに雪・水混相の流れを検討していきたい。

1) 田中, 他: 国土防災科学技術センター研究報告, 3号, 1969. 2) 佐々木, 他: 35回土木学会年報, 1980. 3) 大熊, 他: 土木学会論文集, 359号, IV3, 1985. 4) 渡辺: 雪氷, 48巻3号, 1986. 5) 芦田, 他: 京大防災研究所年報, 22号B2, 1979. 6) 首藤, 他: 27回水講演集, 1983. 7) 佐々木, 他: 29回水講演集, 1985. 8) 芦田: 京大防災研究所年報, 5号, 1962.

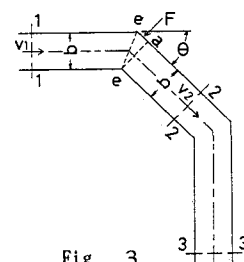


Fig. 3

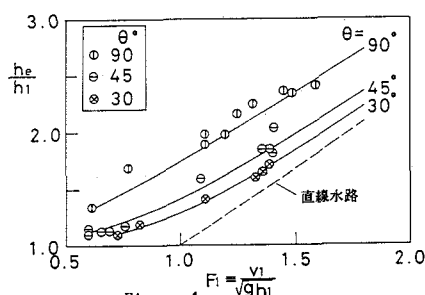


Fig. 4

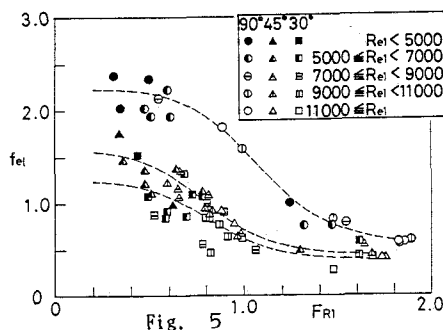


Fig. 5

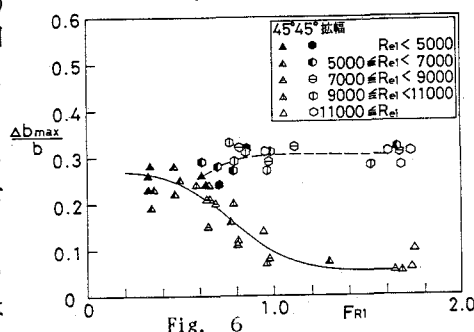


Fig. 6

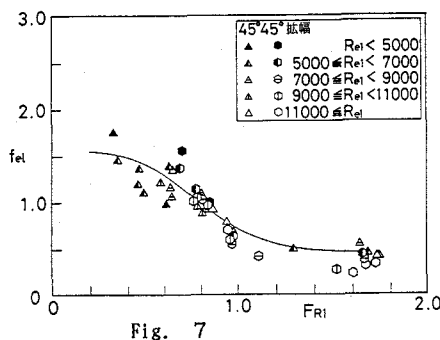


Fig. 7