

I—29 降雨のある浅水流の実験的研究

京都大学工学部

正員 工務 高橋 琢馬

運輸省港湾技術研究所

正員 工務 廣本 文義

降雨によつて地表面や路面上に生じた浅水流は、雨滴落下による擾乱を受け、この乱れに伴つて浅水流の流速分布や抵抗則はかなりの影響を受け、ものと思われた。筆者らは、昨年の関西支那学術講演会において、1滴の雨滴落下が浅水流に及ぼす効果について実験的に検討し、流れが所見の場合、その影響を無視しえないことを指摘した。本報告は、その後の雨水流出の実験結果にそつとつて、降雨のある浅水流の特性と抵抗則について検討したものである。

1. 実験の装置と方法 実験に用いた水路は、長さ15m、巾39cmの鋼製矩形直線水路である。これに付設した噴射式の降雨発生装置を用いて、場所的、時間的に一定の雨を降らせ、水路上に生じた浅水流流量の時間的変化と水路下流端において測定した。雨滴落下の方法は、水路全面に一樣に落下させた場合と、平均的な降雨強度は前者と同様であるが、雨滴を直径8mmの大粒として水路長方向50cm間隔に離れに落下させて落下密度を粗とした場合の両者の方法をとった。実験は、主として底面が滑面の場合について、降雨強度、勾配を種々変えて行ったが、中央粒径0.9mmの砂を塗布した粗面についても若干の実験を行った。表-1は、一樣落下の場合の実験諸元を示す。

2. 実験の結果と解析 実験から得られた流量上昇部の流量-時間曲線は、いづれも、所見の抵抗則や Manning の抵抗則から求めた算定曲線とはかなり異なつてゐることが認められた。

運動量の原理から、降雨のある浅水流の基礎方程式は、

$$\cos\theta \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (u \frac{u}{2g}) + (1-u) \frac{u}{2g} \frac{\partial u}{\partial t} = \sin\theta - \lambda \frac{u^2}{2g} - u \frac{u}{2g} \cos\theta + \frac{w}{2g} \cos\theta \quad (1)$$

	SMB	Flowing T (s)	Venture	底面	記号
Run U-A-1	100	2.77x10 ²	4.2	0.0117	滑面 ○
Run U-A-2	100	5.63x10 ²	10.1	0.0191	滑面 ○
" -3	100	7.61x10 ²	"	"	滑面 ○
" -4	100	9.68x10 ²	"	"	滑面 ○
" -5	100	1.35x10 ³	13.0	0.0126	滑面 ○
Run U-B-1	148	3.10x10 ²	15.8	0.012	滑面 ○
" -2	148	9.64x10 ²	16.5	0.0105	滑面 ○
Run U-C-1	50	2.82x10 ²	"	"	滑面 ○
Run U-D-1	300	1.61x10 ³	14.0	0.0117	滑面 ○
" -2	300	2.27x10 ³	"	"	滑面 ○
Run U-E-1	100	1.35x10 ³	11.0	0.0130	粗面 ●
" -2	100	2.42x10 ³	10.8	0.0131	粗面 ●

表-1

で表わされる。ここに、 x は斜面方向の距離、 u は x 方向の平均流速、 h は水深、 λ は流速分布に対する修正係数、 θ は水路底の傾斜角であり、また ν は降雨強度に相当し、 θ' は降雨の落下方向と x 軸とのなす角、 w はその速度である。

この式を近似的に

$$\sin\theta - \lambda \frac{u^2}{2g} = 0 \quad (2)$$

とおくと、抵抗係数 λ は、 $\lambda = 2g h^3 \sin\theta / u^2$ 、 $h = \nu t$ と仮定すると、この式を用いて実験結果から一樣落下の場合の λ を算定し、

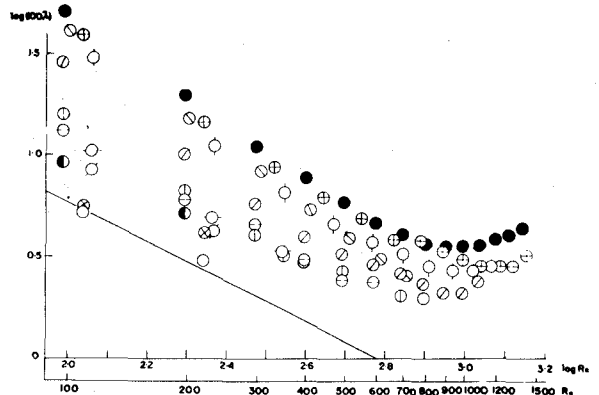


図-1

これと Reynolds 数 Re との関係を示したのが図-1である。記号は表-1と対応している。実験は、円流の抵抗則 $\lambda = C/Re$ を示しており、降雨のある浅水流では、 Re が小さい範囲でも円流の抵抗則が必ずしも成立せず、 λ は各降雨強度ごとにほぼ $\lambda = \beta_r/Re$ の関係で示されたことがわかった。 β_r と r との関係を示したのが図-2であり、 β_r は r の増加につれてほぼ直線的に増加し、 $\beta_r = ar + b$ (a, b は定数) の関係があるといえる。この図には、雨滴の落下密度が粗(線状)のときの β_r も示しているが、両者の間には顕著な差異は認められず、落下密度の影響はさほど大きくないと推察される。また、図-1を見ると、 Re が大約 800 より大きくなると、 λ が Re には無関係になる領域のあることが認められ、この領域の λ と r との関係を示すと図-3のようになり、やはり λ は r の増加につれてほぼ直線的に増加し、 $\lambda r = cr + d$ (c, d は定数) で表わされるといえる。なお、 λ の算定にあたって運動方程式を(2)式で近似したことによる誤差の範囲を $\lambda = \beta_r/Re$ の関係を用いて検討してみたところ 3~11% となっており、この程度の誤差は、上述した $\lambda \sim Re$ 関係に大きな影響を与えないと思われる。

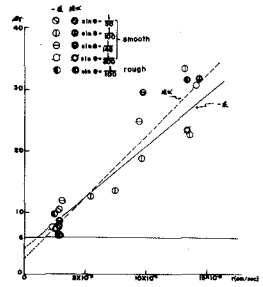


図-2

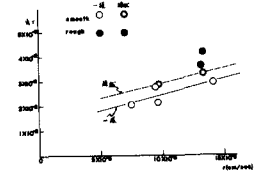


図-3

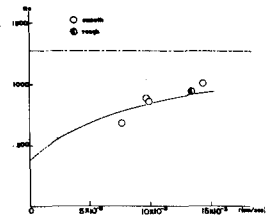


図-4

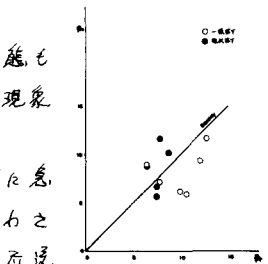


図-5

図-1で見る通り、 λ が $\lambda = \beta_r/Re$ で表示された領域から、 Re には無関係になる領域への移行は r によっても異なっている。もし、それぞれの関係から求めた流速が移行点において等しいと考えれば、移行点における Re は、 $Re(cr+d)/(ar+b) = 1$ で表わされる。これを図示すると図-4の曲線になり、事実、各降雨強度ごとに読みと、左値も、ほぼこの曲線上にあることがわかった。

実験では、流れが定常になった後に雨を止めて、流量を減の状態も記録した。いずれの場合も、降雨停止直後に一時的な流量増加の現象が見られたが、これは急激な抵抗減少に由来したものである。

$\lambda = \beta_r/Re$ の成立する領域について見ると、雨が止んだために β_r が急変したとすれば、そのときの流量 Q_u は近似的に $Q_u = (\beta_r/\beta_r)^{1/2} Q_r$ で表わされる。定常時の水路下流端の Re が 500 程度以下の場合には、流れは円流に近づき $\beta_r = 6$ としよう。こうした場合について、この式から算定した Q_u と上昇前の β_r と対比して図-5に示した。ほぼつきはかりであるが、ほぼ $Q_u = \beta_r$ としてよく、このことは上述の考察の妥当性を示唆している。

以上、降雨のある浅水流の特徴および抵抗則について若干の考察を行なったが、これらとさらに明確なものをとるためには、こうした流れの内部機構を明らかにする必要がある。今後この方面からの研究が望まれる。