

II - 4 円型開水路における平均流速と浮子（表面）流速の関係について

東京大学生産技術研究所 正員 虫明 功臣
= 学生員 桑原 衛

1. はじめに

ここ数年來、都市域からの流出機構に関心が高まり、いくつかの都市流出試験地において雨水管内で継続的に水位観測が行なわれている。当研究室でも、住宅・都市整備公団との協力のもとに多摩ニュータウン諏訪地区の雨水排水幹線で水位自記観測を続けているが、水位をいかに流量に変換するかが問題となる。Manning式の適用も考えられるが、現地の直径2.4m雨水管の粗度係数を直接精度よく見積ることはむずかしい。

ここでは、現地でも測定が簡単な表面浮子流速に着目し、まず表面最大流速と平均流速の比が、いかなる水理量に支配されているかを実験的に検討し、実用的な実験式を提案する。さらに諏訪雨水管入のとの適用性について検討する。

2. 実験条件なすべき方法

フルード相似に基づき、現地の勾配、最大水位、内径、実験施設の能力から実験緒元を決定した。

現地での観測より最大水位が内径の約半分となっ

ているため本実験もその範囲を対象とし、また表面最大流速と平均流速の比に対する勾配の影響を考えるため、可変勾配の水路を用いた。勾配の範囲は2%から6%としたが、これは本実験の場合、現地と模型での勾配の縮尺が後述するように1に近かったこと、また、現地の勾配が2.8%であることから決めた。(図1)

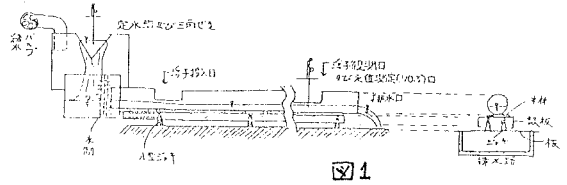


図1

3. 実験結果および考察

図2は各勾配につきManningの粗度係数 n と水位の無次元量 θ (図3参照)との関係を示したものである。勾配が小さい場合の θ に対する n の変化は比較的大きいが、変動量はせいぜい2割である。勾配が4%を越えるとはば一定と見させる。

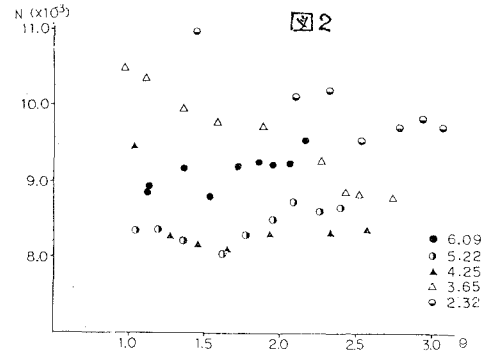


図2

図3に浮子によって測定した表面最大流速 u_s と平均流速 u_m の比 $f (=u_s/u_m)$ と θ の関係を各勾配について示す。勾配により、ばらつきは異なるが2つの量は線型関係があると思わせる。これを量的に表現したのが表1で、独立変数として n と θ 、従属変数として f をとり単相関、重相関を計算してある。これらのうち、 f と θ の単相関係数 r 、および n と θ の重相関係数 R の値が1に近い。

(1), (2)式は、 f の値を θ のみ、および θ と n で各々回帰分

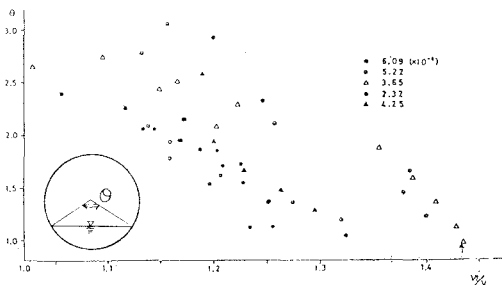


図3

勾配 (%)	(単)相関係数 r			(重)	①の	②の		
	θ	n	V_{VV}	n	V_{VV}	θ	R	経差分積
6.09	0.79	-0.50	-0.88	0.94	0.018	0.013		
5.22	0.69	-0.62	-0.98	0.99	0.017	0.014		
4.25	-0.51	0.78	-0.93	0.98	0.036	0.020		
3.65	0.94	0.97	-0.95	0.98	0.052	0.032		
2.32	-0.93	0.78	-0.91	0.94	0.045	0.039		

表1

析した場合の誤差分散の推定値である。

$$\sum_{i=1}^n \{f_i - (a - b\theta_i)\}^2 = \delta_f^2(1 - r^2) \text{ ----- (1)}$$

$$\sum_{i=1}^n \{f_i - (P + \theta_i r + m_i)\}^2 = \delta_f^2(1 - R^2) \text{ ---- (2)}$$

m_i ; サンプル数

a, b ; f の θ による回帰直線の係数

P, θ, r ; f の θ, m による重回帰平面の係数

δf ; f の分散

(1), および(2)の $1/2$ 乗を各勾配について求めたのが表1の①, ②である。 f がばらばらの値をとるため表1の①, ②の値は f を(1), または(2)式で推定した時の相対誤差を示す指標となっている。②は①に較べ小さく、このことは f を推定するには粗度係数をも f の算定式に入れる方が精度が良いことを示している。しかし、現実問題として、粗度係数の値を各勾配、各水位で求めることは困難である。前述のように θ に対する m の変化が最大でも2割程度であること、また、表1①, ②ともに0.01から0.05内にあることから m を陽に含まない θ による単回帰の方が実用性が高いと考えられる。図4にそのように推定する場合の係数を勾配の関数として表わす。 $f = a - b\theta$ ---- (3)

$$a(I) = 1.0 + 0.38I - 0.053I^2 \quad (I \%) \text{ ---- (3')}$$

$$b(I) = -0.22 + 0.23I - 0.029I^2 \text{ ---- (3'')}$$

が得られる。これより各勾配につき計算した f と浮子測定より求めた表面流速の二者から計算した流量 $Q(f)$ と実測流量を比較したのが図5である。約100倍の流量増加幅に渡って極めて良く一致している。

4. 現地への利用

実験より求めた(3)式を現地に用いるには現地と実験で勾配の対応をつけることが必要となる。流れの状態から考えてフルード相似が成立すると考えられることから、勾配 I , 内径 D 粗度係数 n の間には(実物の値に対する模型での値の比をとる添字で表わせば) $I_p \cong D_p^{-3} n_p^2$ ---- (4) の関係が成立する。 n が I , θ により変化するために I_p の値は決定しにくく、現地と力学的に同等な模型での勾配を得ることは難しい。(3), (3'), (3'')を用いた場合、以下に記すように I の変化に対し f の変化が小さいことを考え I_p の概算値として n の標準値を用いる。この時実験の勾配 $I_p = 2.8\%$ に対し模型の勾配 $I_m = 3.52\%$ となる。(3)(3')(3'')より I の変化に対する f の変化を調べると $f/I = 0.1$ として $\theta = 1$ の時 $f/f = 0.036$ また、 $\theta = 2$ の時 $f/f = 0.02$ となり勾配が f の精度に大きく影響しない。ただし $\theta = 0$ または、 $\theta = \pi$ に近い値になると f/f が f/I に近い値をとることとなる。

以上より現地での適用にあたっては(4)による概算式で現地での勾配に対応する模型での勾配を計算し、その値を実験式(3)に用い、さらに、低水時に f の値と流量を測定することで I_m の妥当性を検証すればよいと思われる。諏訪雨水管での観測によると実測の流量に対する(3)式に基づいて推算した流量の誤差は3%前後であった。

5. 終りに

現地での流量、浮子による最大表面流速、水位の測定を繰り返すことで、この実験式の検証を引き続き行なっていく。なお、この実験を行うにあたり、武蔵工業大学の砂河、鍋川、深沢、三重野、藤沢の各氏から協力を得た。記して感謝の意を表する。

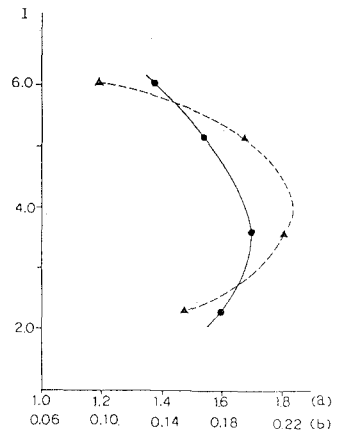


図4

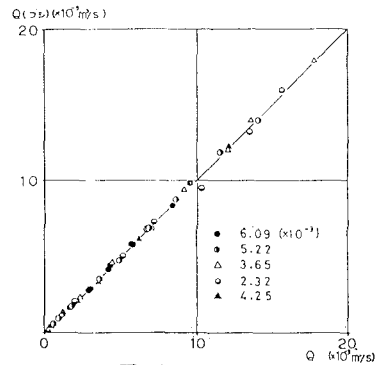


図5