

河川構造物下流の洗掘対策工の安定性に関する基礎的研究

株式会社フジタ 正会員 ○山崎幸栄 広島大学工学研究科 フェロー会員 福岡捷二
 広島大学大学院 学生会員 内田龍彦 島根県 正会員 福島琢二

1. 序論

堰等の水叩き下流部に配置される粗度群は、堰下流部の洗掘を抑え、堰の安全性を高める機能を持つ。しかし、粗度群の最下流に位置する粗度では前後が水位差は大きくなり、他の粗度要素よりはるかに大きな流体力が作用する。その上、粗度下流で河床洗掘が生じるため安定性が減じる。このため、最下流粗度が流失被害を受けないような工夫が必要である。本文では、最下流粗度に作用する流体力特性を把握し、最下流粗度が流失する限界重量の算定方法を確立することを目的とする。

2. 実験方法

図-1 に示す実験水路に2次元栈粗度を設置している。分力計とマノメーターを用い、河床低下 Δz に伴う流体力と圧力分布特性を調べ、安定性を検討した。粗度に作用する流体力は、流下方向成分を抗力 D 、鉛直上向き成分を揚力 L と定義する。図-2 は、天端幅 $b=20\text{cm}$ の最下流粗度に作用する抗力と河床低下量 Δz の関係を示す。河床の低下と共に抗力が増大し、最下流粗度の安定性が減じる。そこで、粗度の直下流が完全に洗掘されている $\Delta z=6\text{cm}$ の状態で、さまざまな比重(1.68, 1.58, 1.44)の粗度について流れによる転倒実験を行い、求めた力学的転倒限界条件と、流体力の測定値をもとに求めた転倒の限界条件を比較し、限界重量の算定方法を検討する。

3. 実験結果および考察

図-3 は、流量増加による最下流粗度の流体力特性を示している。流量が増加すると粗度前後の水位差が大きくなるため抗力は大きくなる。揚力に関して粗度上の流れにより粗度天端に作用する鉛直下向き力は大きくなる。一方で粗度群下流部に水位が存在するため、粗度底面での圧力も大きくなる。一般に後者の方が大きいいため、揚力も大きくなり、流量の増大と共に転倒が起こりやすくなる。

粗度の天端幅 b は $b=10\text{cm}$ に固定し、比重を変えた粗度模型を用い転倒実験を行う。流量を徐々に増加させ、転倒をおこす流量を繰り返し測定した結果を図-4 に○で示す。○の大きさは転倒する確率を示す。×より少ない流量では転倒せず、徐々に流量を上げると転倒する確率が高くなる。

次に、実測抗力 D 、揚力 L を用いて最も単純な式(1)より転倒する限界重量 W を求める。

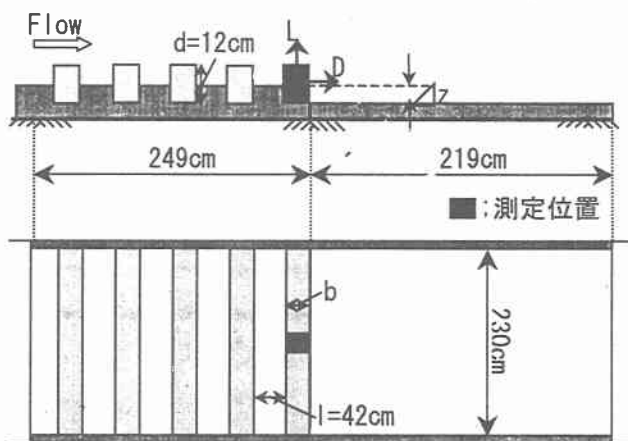


図-1 実験水路(縦断図・平面図)

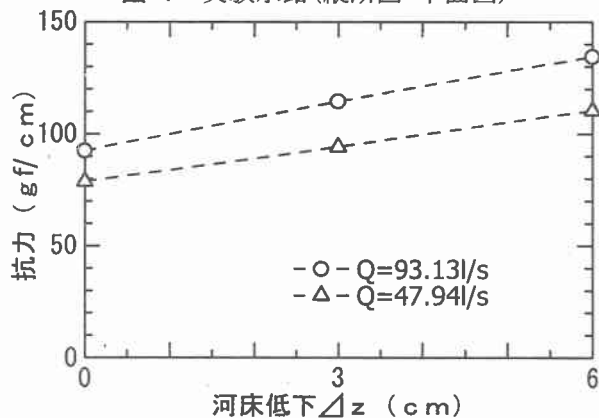


図-2 河床低下に伴う抗力の変化

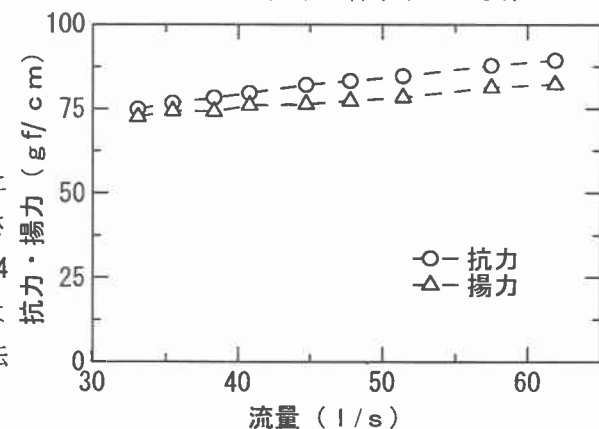


図-3 流量～流体力曲線

$$D \cdot \frac{d}{2} + L \cdot \frac{b}{2} = W \cdot \frac{b}{2} \quad (1)$$

式(1)は、抗力D、揚力Lの作用点を図心と仮定して導いている。式(1)より求まる限界重量を転倒限界比重で表わし図-4に△でプロットする。式(1)より小さい力でも転倒しており、実験結果を十分説明し得ていない。

転倒限界の重量を正しく求めるには、抗力D、揚力Lの作用点等を考慮し検討しなおす必要がある。図-5はそれぞれの面に作用する圧力分布を示し、 $\overline{Pf}, \overline{Pb}$ は粗度前後の圧力分布の平均値、 $Pf'(z), Pb'(z)$ は、 $\overline{Pf}, \overline{Pb}$ を中心とした静水圧分布と同じ傾きの直線からのずれとする。 $Pu'(x)$ は式(3)のように示す。抗力Dは、式(2)より式(4)で表わせる。 M_D を抗力によるモーメント(時計回りを正とする)とし、Dの作用点の図心からのずれの補正係数 β_D を用いて M_D は式(5)で表わせる。揚力Lは、式(3)より式(6)で表わせる。 M_L を揚力によるモーメントとし、Lの作用点の図心からずれる補正するために β_L を用いると、 M_L は、式(7)で表わされる。式(5),(7)に、 $b=20\text{cm}$ のマノメーターを用いた圧力分布の測定値を代入すると、 $\beta_D=1.02, \beta_L=1.18$ となる。この実験では $b=10\text{cm}$ を用いているため、 β_L は、大きくなると考えられる。したがって、 $\beta_L > 1.18$ とする。この結果から、抗力の作用点は図心と仮定して良いが、揚力の作用点は図心からのずれを考慮する必要があることがわかる。また、式(1)の抗力D・揚力Lは、時間平均値を用いている。しかし、D,Lは、時間的に変動するため、D,Lの時間変動幅を考慮した補正 α_D, α_L が必要である。 α_D, α_L は、実験値のD,Lの最大振幅から、 $\alpha_D = \alpha_L = 1.05$ とする。

以上から限界重量の式(1)は式(8)で表わされる。

$$\alpha_D \cdot D \cdot \frac{d}{2} + \alpha_L \cdot L \cdot \beta_L \cdot \frac{b}{2} = W \cdot \frac{b}{2} \quad (8)$$

これから求まる限界重量を転倒限界比重で表わし、図-4に□をプロットする。式(8)の式で求めた限界比重は、安全側にあるが、転倒実験の結果をほぼ満たしている。

4. 結論

転倒のつりあい式を検討する際、揚力の作用点が図心からずれることを考慮する必要がある。揚力の作用点と抗力・揚力の時間変動幅を考慮したつりあい式から、最下流粗度の転倒限界重量を得る事ができる。

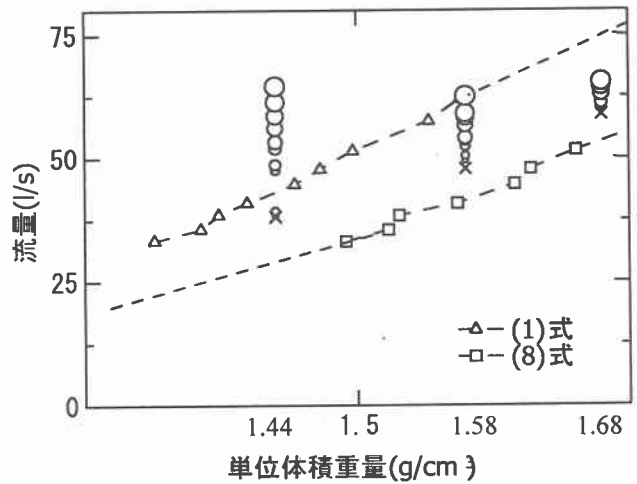


図-4 転倒実験と計算重量

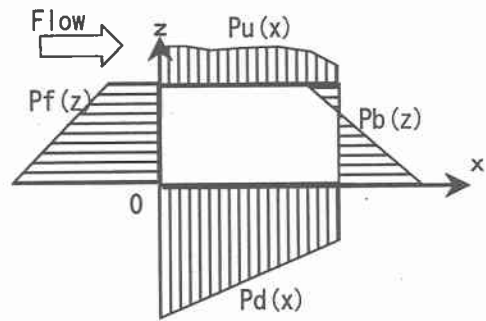


図-5 粗度周辺の圧力分布と基準座標

$$\overline{Pf} = \frac{1}{d} \int_0^d Pf(z) dz \quad (2)$$

$$\overline{Pb} = \frac{1}{d} \int_0^d Pb(z) dz$$

$$\begin{cases} Pf'(z) = Pf(z) - \overline{Pf} - \rho \cdot g \cdot \left(\frac{d}{2} - z\right) \\ Pb'(z) = Pb(z) - \overline{Pb} - \rho \cdot g \cdot \left(\frac{d}{2} - z\right) \\ Pu'(x) = (Pd(x) - \rho \cdot g \cdot d) - Pu(x) \end{cases} \quad (3)$$

$$D = (\overline{Pf} - \overline{Pb}) \cdot d \quad (4)$$

$$\begin{aligned} M_D &= (\overline{Pf} - \overline{Pb}) \cdot \frac{d^2}{2} + \int_0^d (Pf' - Pb') \cdot z dz \\ &= D \cdot \beta_D \cdot \frac{d}{2} \end{aligned} \quad (5)$$

$$L = \rho \cdot g \cdot d \cdot b + \int_0^b (Pd'(x)) dx \quad (6)$$

$$\begin{aligned} M_L &= \int_0^b Pd'(x) \cdot x dx + \rho \cdot g \cdot d \cdot \frac{b^2}{2} \\ &= L \cdot \beta_L \cdot \frac{b}{2} \end{aligned} \quad (7)$$