

開水路に設置された巨石に作用する流体力に関する一考察

名古屋工業大学大学院 学生会員 ○ 柳卓也

名古屋工業大学大学院 フェロー会員 富永晃宏

1. はじめに：日本では、従来より溪流などで巨石が点在しており、近年では多自然川づくりの一環として巨石を河道に設置すること試みがなされている。しかし、経験的に巨石を設置するケースが多く、体系化されていない。また巨石が水没しない場合も想定されるが、非水没に関する巨石の研究は十分に行われていない。そこで本研究では、開水路に巨石を設置した場合の水面、抗力係数について水没、非水没を考慮して検討した。

2. 実験の方法：実験水路は長さ 14m、幅 60cm の直線開水路を使用した。水路勾配は 1/500 とし、底面は砂を散布し粗度を与えた固定床とした。水力条件については表-1 に示す。実験に用いた巨石模型は直径 10cm、重さ 1.1kg の球で、設置形式については図-1 に示す。

水面形の計測にはポイントゲージを使用し、流下方向間隔 10cm、横断方向間隔 5cm で計測を行った。また同計測点では $z=1.5, 4.5\text{cm}$ において 2 成分電磁流速計により流下方向と横断方向の流速を計測している。

3. 実験結果及び考察：図-2 に流速ベクトルの一例 (caseA1, $z=1.5\text{cm}$) を示す。模型前方では堰上げにより水位が上昇しているため、流速が落ち込んでおり、模型側方では、模型による水はねおよび水面の低下に伴い流速が増大している。模型後方では後流が発生しており流速が低下、さらに模型直後では逆流が見られる。

図-3 に caseA1, B1, A2, B2 の水面形を示す。全ケースにおいて模型の前方領域で堰上げによる水面上昇が発生しており、模型側方で水面が低下し始め、模型後方において水面が大幅に落ち込むことが確認された。caseA1, B1 の水深の高いケースでは後流域の周りで波状の水面が形成されている。

さらに、各ケースの水面形について見ていくと、caseA1 では模型前後の水位差が全ケースの中で最

表-1 水力条件

ケース名	caseA1	caseB1	caseC1	caseD1	caseA2	caseB2	caseC2	caseD2
設置位置 x [cm] y [cm] z [cm]	50							
	30		5		30		5	
	5	0	5	0	5	0	5	0
設置形式	typeA	typeB	typeC	typeD	typeA	typeB	typeC	typeD
水路幅B [cm]	60							
水深h [cm]	6.0				4.0			
流量Q [m ³ /s]	0.0185				0.0091			
フルード数Fr	0.670				0.606			
レイノルズ数Re ($\times 10^4$)	4.5	3.8	5.5	5.7	4.5	4.4	5.6	5.5

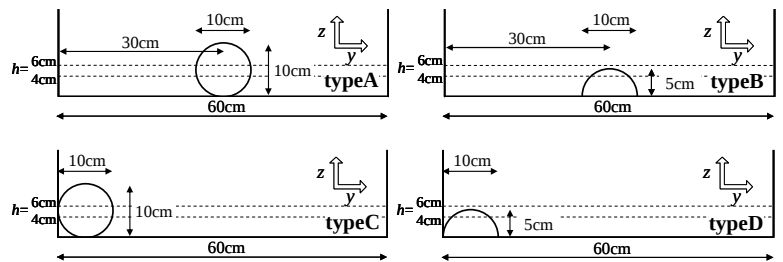
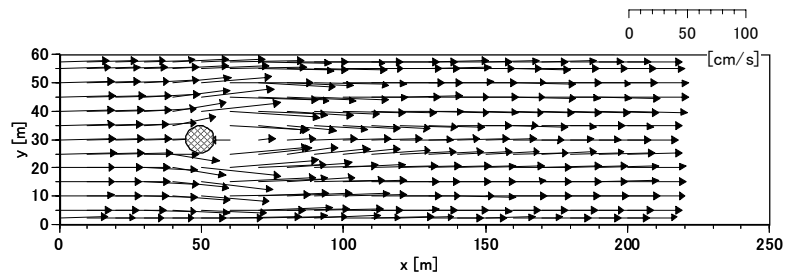


図-1 模型の設置形式

図-2 流速ベクトル (caseA1, $z=1.5\text{cm}$)

も大きくなっている。これについては流積に対する模型の投影面積が最も大きいことに起因すると考えられる。水路領域が限られているため、模型の抵抗が水面形として顕著に現れている。

このことは、caseA1, B1 を比較した場合、caseB1 の堰上げ、水面の落ち込みが caseA1 より弱まっていることから確認できる。さらに同様の理由で、caseA2, B2 では、投影面積の大きい caseB2 の方が、模型前後の水位差が大きくなっている。したがって、投影

面積 A と水位差 $\Delta h = \int_0^B hdy \Big|_{x=40} - \int_0^B hdy \Big|_{x=60}$ の関係を

プロットすると図-4 のようになり、投影面積が大きくなるにつれて水位差が大きくなっていることが分かる。

ここでは示していない caseC1, D1, C2, D2 においても模型の周辺で上記と同様の現象が見られたが、堰

上げの影響範囲が $y=30\text{cm}$ 程度に留まっており、河道全面に渡って堰上げされていなかった。

次に、抗力および抗力係数について検討する。抗力 D は壁面摩擦を無視すると、模型前後の運動量式より式(1)のように表わされる。

$$D = \int_0^B \left(\rho q u + \frac{1}{2} \rho g h^2 \right) dy \Big|_{x=40} - \int_0^B \left(\rho q u + \frac{1}{2} \rho g h^2 \right) dy \Big|_{x=60} \quad (1)$$

u は電磁流速計により計測した流速で、設定水深 $h=6\text{cm}$ の場合は $z=1.5, 4.5\text{cm}$ の平均値、設定水深 $h=4\text{cm}$ の場合は $z=1.5\text{cm}$ の値を用いた。 h はポイントゲージにより計測した値を用いている。この抗力 D を用いて抗力係数 C_D を式(2)より算定した。

$$D = \frac{\rho}{2} C_D A U^2 \Big|_{x=40} \quad U: \text{断面平均流速} \quad (2)$$

図-5に水位差 Δh と抗力の関係を示す。図より水位差 Δh が増大するにつれて抗力が大きくなっていることがわかる。

図-6に各ケースの抗力係数を示す。本研究では一様流中の球の値に比べて、抗力係数が非常に大きい結果となった。この要因としては模型前後の水位差が大きく寄与していると考えられる。多くの研究で、模型高さが水深に対して十分に大きい場合が検討されており、その場合は模型前後で水位差はそれほど大きくなりたため圧力差が小さく、抗力がそれほど大きくなりたないが、本研究のように、非水没であったり、模型高さに対して水深がそれほど大きくない場合、模型前後に水位差が発生するため抗力が大きくなり、抗力係数も大きくなったと考えられる。なお、模型を壁面においた typeC, D は、中央に置いた typeA, B よりも水位差 Δh が小さいため、抗力係数が小さくなった。

4. おわりに：実験より模型の堰上げ等により水位差が発生する場合、圧力差から抗力が大きくなり、抗力係数も大きくなることがわかった。しかし実河川は移動床であり、洗掘等により河道が下がり、固定床ほど水位差が大きくなりたないと考えられる。そこで今後は、移動床実験により河道が変遷した後に計測を行い、水位差、抗力、抗力係数がどのように変遷するかを検討する必要がある。

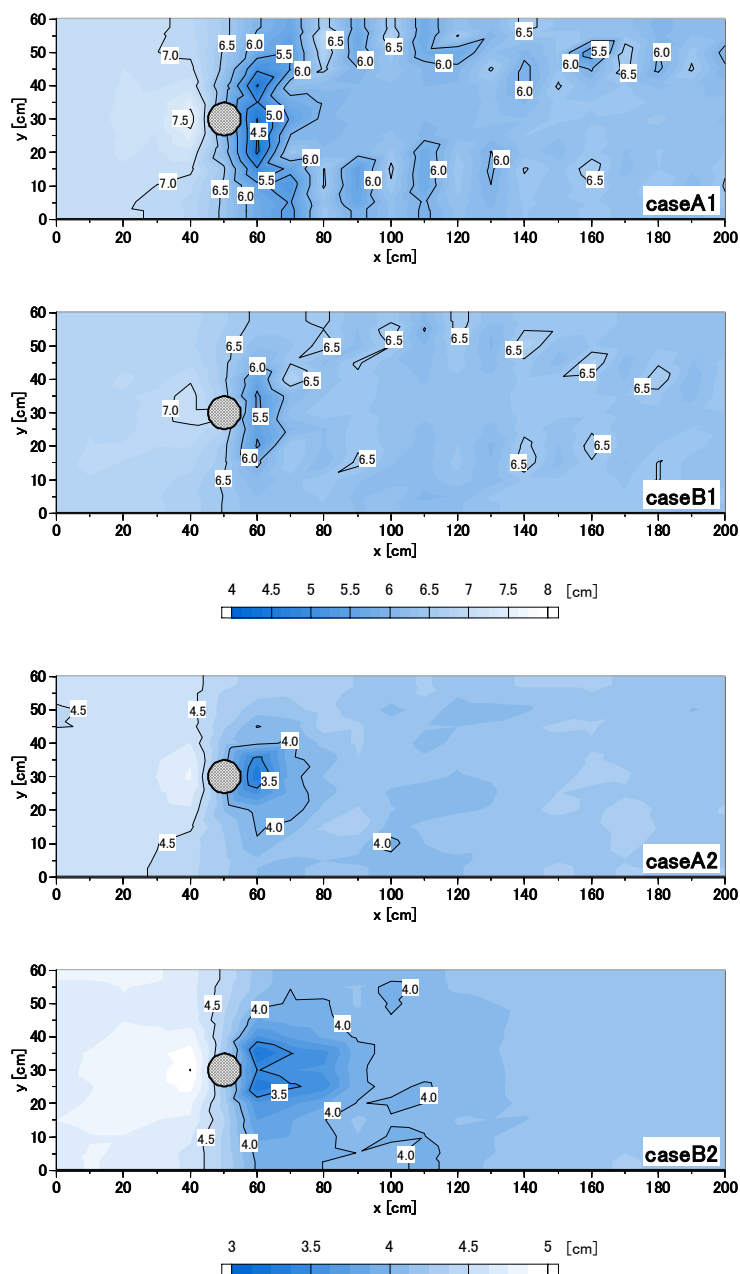


図-3 水面形

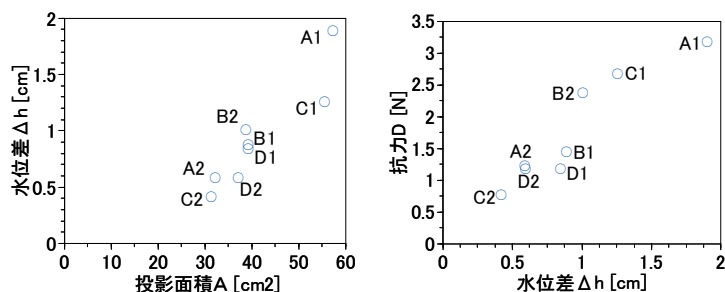


図-4 投影面積と水位差の関係

図-5 水位差と抗力の関係

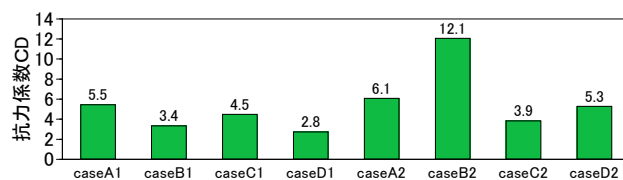


図-6 抗力係数 C_D