

II-147 護岸ブロックに作用する流体力に関する研究

建設省土木研究所 正員 藤田光一
 建設省土木研究所 正員 福岡捷二
 建設省土木研究所 正員 森田克史

1. 目的

護岸は、流水による洗掘から堤防を守るための重要な構造物であり、想定される外力に対して十分な安全性と堤防保護機能を持つよう設計されなければならない。このためには、護岸に作用する外力の特性を明らかにする必要がある。そこで本研究では、種々の状況下にある護岸ブロックが流れから受ける力の特性を風洞実験により調べ、護岸ブロックの合理的な設計法確立するための基本的知見を得た。

2. 研究方法

護岸に作用する力は、抗力 D 、揚力 L に分けられる。（図1）これらの力は一般に次のように表すことができる。

$$D = 1/2 \cdot \rho_w \cdot A_D \cdot C_D \cdot u^2, \quad L = 1/2 \cdot \rho_w \cdot A_L \cdot C_L \cdot u^2 \quad (1)$$

ここで u ：護岸近傍の代表流速， ρ_w ：水の密度， A_D, A_L ：それぞれ抗力，揚力が作用する方向のブロック1個の投影面積， C_D, C_L ：それぞれ抗力，揚力係数，である。 C_D, C_L の一般的特性を明らかにすれば、ブロックの投影面積と代表流速 u からブロックに作用する力を求めることが可能となる。一方、物体に作用する流体力については、次式が一般的に成立する。

$$f(\Delta p / \rho u^2, Re) = 0 \quad (2)$$

ここで Δp は圧力差， Re はレイノルズ数， ρ は空気の密度である。上式（ ）内の $\Delta p / \rho u^2$ は（1）式の C_D, C_L に相当するものである。したがって、

Re を実物と合わせれば、ブロックの大きさや流体の種類が異なっても実物と同じ C_D, C_L を求めることができる。そこで本研究では、図1に示すように風洞の側壁にブロックの模型を取付け、通風時に作用する力を側壁裏側に取付けられた多分力検出器を用いて測定することにより、護岸ブロック一個に作用する力の特性を調べた。用いたブロック模型は、

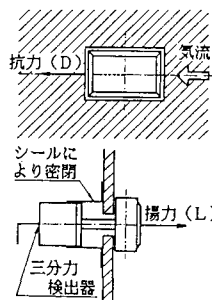


図1 護岸ブロックに作用する力の計測

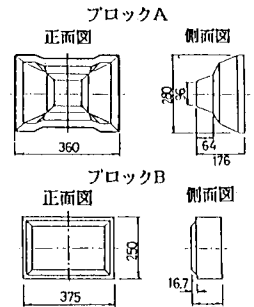


図2 ブロック模型 [mm]

図2に示す高い突起の付いたブロックAと低い平坦な突起が付いたブロックBの2種類である。また実験は、各ブロックを単独で置いた場合と図3に示すように密に敷き詰めて置いた場合について行った。なお、実物と風洞実験の Re のオーダーが同じとなるよう風洞内中心部の流速を10～25m/sとした。

3. ブロックに作用する力の特性

図4は、単独で置かれたブロックと敷き詰められたブロック群内の種々の位置のブロックに作用する力を風洞中心流速25m/sの場合について示したものである。図中の L は、力を計測しているブロックの上流端面とブロック群最上流端との距離を表す。（図3参照）図4より、 L が大きくなると抗力、揚力とも急激に小さくなり、最上流端より3個目のブロックに相当する $L = 0.7m$ 以上ではほぼ一定になることがわかる。このことは、ブロック同士の遮蔽効果とブロックの粗度による護岸近傍流速の減速効果が最上流端から短い距離で現れることを示している。また、これらの効果が卓越している領域では、抗力が揚力に対して無視できるほど小さい。次に、ブロック群の最上流端ブロックと単独で置かれたブロックとを比較すると、抗力については単体の方がやや大きいものの、揚力については最上流端ブロックの値が単

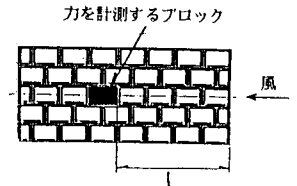


図3 密に敷き詰められたブロック

独で置かれたブロックと敷き詰められたブロック群内の種々の位置のブロックに作用する力を風洞中心流速25m/sの場合について示したものである。図中の L は、力を計測しているブロックの上流端面とブロック群最上流端との距離を表す。（図3参照）図4より、 L が大きくなると抗力、揚力とも急激に小さくなり、最上流端より3個目のブロックに相当する $L = 0.7m$ 以上ではほぼ一定になることがわかる。このことは、ブロック同士の遮蔽効果とブロックの粗度による護岸近傍流速の減速効果が最上流端から短い距離で現れることを示している。また、これらの効果が卓越している領域では、抗力が揚力に対して無視できるほど小さい。次に、ブロック群の最上流端ブロックと単独で置かれたブロックとを比較すると、抗力については単体の方がやや大きいものの、揚力については最上流端ブロックの値が単

体の2倍以上に達している。これは、ブロック群最上流端部の形状が2次元的であるため、最上流端ブロック上の流速が単体ブロック上の流速よりも大きくなり、負圧も大きくなるからである。以上より、ブロックの流水中での安定性を考える上で揚力が重要であること、またブロック群最上流端が構造上の弱点となり、揚力によりブロックが堤体からはく離する危険性があることがわかる。

4. ブロックの抗力, 揚力係数

図5に、単体ブロックとブロック群の最上流端に位置するブロックの C_D, C_L を Re との関係で示す。なお、 Re の計算に用いる代表長さにはブロック底面の流れ方向の長さを、 Re と C_D, C_L の計算に用いる代表流速には、ブロック最上部位位置の接近流速にほぼ等しい風洞中心部の流速を用いている。図より、単体の場合には $C_D=0.4 \sim 0.7$, $C_L=0.1 \sim 0.2$ 程度の値を取ることがわかる。ブロック群最上流端にあるブロックでは、単体に比べ C_D がやや小さくなり、 C_L が2倍以上になる。 C_D, C_L の Re による変化は小さい。一方ブロック群内部のブロックについては、遮蔽効果と粗度による減速効果によって実質的な投影面積や代表流速が図5の場合と大きく異なる。そこで、これらを次のように求めた。まず、測定された抗力 D から摩擦速度 $u_*=(D/\rho A)^{1/2}$

(A : 真上から見たブロック1個の面積)を求める。得られた u_* と、流速分布に対数則を当てはめることにより得られる摩擦速度 u_* とが一致するように対数則の原点位置を求め、それに基づき相当粗度 K_s を算定する。 $L \approx 1.5m$ のブロックについて計算を行ったところ、原点位置、相当粗度とも Re によらずほぼ一定となった。(表1) Δy はブロック突起基部から測った原点位置高さ、 K は突起高さである。流体により力を受けるのは主にこの原点位置より上の部分であると考えて、原点位置より上の部分のブロックから投影面積を求め、また護岸近傍の代表流速を高さ K_s の流速とした。以上より得られたブロック群内部にあるブロック($L \approx 1.5m$)の C_D, C_L を図6に示す。なお、図中の Re を算定する際に用いる代表長さには、ブロック突起部分の流れ方向の長さを取っている。図より C_D, C_L は、ブロックBの C_L を除いて、単体の場合と同じオーダーになることがわかる。ブロックBの C_L が1オーダー小さいのは、突起の高さが長さに対して非常に小さい形状をしているためと考えられる。また、 Re による C_D, C_L の変化は小さく、ブロック種類ごとにほぼ一定とみなせる。以上のように、投影面積と代表流速の取り方を考慮することによって、ブロック群中央部の抗力, 揚力も単体と同じような考え方により計算できる。

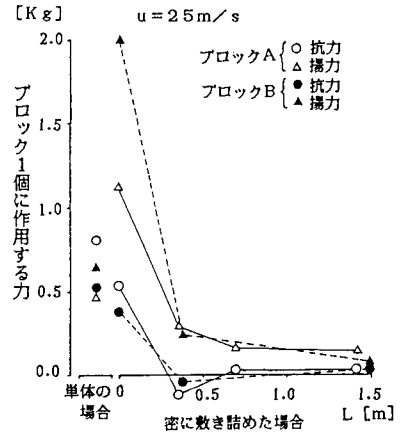


図4 ブロックに作用する力の特性

表1 $\Delta y/K$ と K_s

ブロック	$\Delta y/K$	K_s
A	0.75	8cm
B	0	4cm

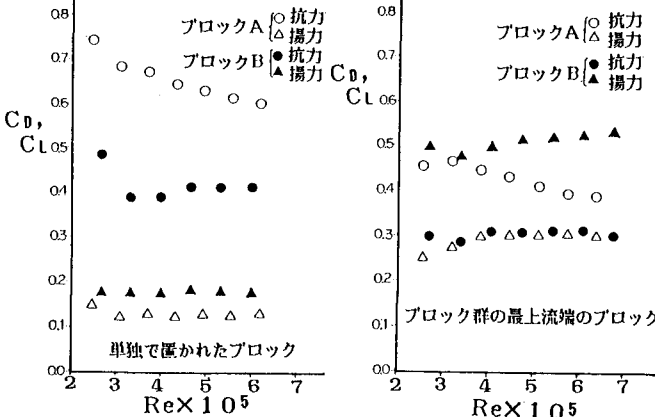


図5 C_D, C_L と Re との関係

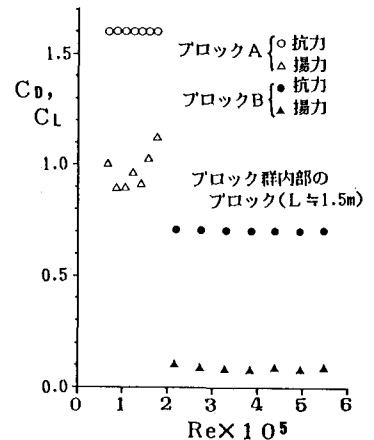


図6 C_D, C_L と Re との関係