

揚力低減化のための被覆ブロックの形状について

復建調査設計(株) 正 員 ○宮本 泰英
鳥取大学工学部 正 員 松見 吉晴
鳥取大学工学部 正 員 木村 晃

1. はじめに 潜堤被覆ブロックの安定性に関する従来の研究より、ブロックの典型的な被災モードとしては、まず法肩付近に局所的なブロックの剥離・欠損が生じ、その部分からブロックの剥離が広がっていくことが知られている。そして、最初のブロックの剥離は、ブロックに作用する揚力に大きく起因すると指摘されている。そこで本研究は、被覆ブロックの断面積を一定とした時のブロック形状の変化による作用揚力の変化を、数値シミュレーションおよび水理模型実験により調べ、揚力低減化のための被覆ブロック形状について検討を行ったものである。

2. 数値シミュレーション 本研究では、ブロック周辺の剥離渦を含めた流況の数値シミュレーションを、任意形状の物体表示に対して有効な湧き出し分布法と後流渦を表現するのに有効である渦糸モデル法を併用することにより行った。

図1に示すブロック周辺の流況モデルを対象とした場合、ブロックまわりの流れの複素速度ポテンシャル ω は、底面境界を表すために鏡像法を適用して次式のように与えられる。

$$\omega = Uz + \sum_{i=1}^N \frac{D(z_i)}{2\pi} \log(z-z_i) \Delta c_i + \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^M \frac{\Gamma_{jk}}{2\pi i} \log(z-z_{jk}) + \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^M \frac{\Gamma_{jk}}{2\pi i} \log(z-\bar{z}_{jk})$$

ここに、 $z=x+iy$ 、 U は主流流速、 D 、 z_i は湧き出し強さとその位置、 Γ_{jk} 、 z_{jk} は渦糸の循環(左回りを正)とその位置、 N は湧き出しの個数、 m は剥離点の個数で M は渦糸の発生個数、 $\bar{}$ は共役複素数を表す。湧き出し強さ $D(z_i)$ は、物体表面の不透過条件より決定され、また渦糸の循環は、発生位置における流速 V_0 を用いて、 $\Gamma = V_0^2 \Delta t / 2$ で回転方向を考慮して与えた。

数値計算では、湧き出し位置および渦糸の発生位置を、1例として台形型の場合を図2に示すように設定した。すなわち、渦糸の発生位置は元の物体隅角部位置に一致するように設定している。

ブロックに作用する流体力 P は、次式の圧力方程式より算定される。

$$P|_{\text{物体表面上}} = -\rho \operatorname{Re} \left[\frac{d\omega}{dt} \right] - \frac{\rho}{2} \left| \left[\frac{d\omega}{dz} \right]^2 \right| |_{\text{物体表面上}}$$

ここに、 ρ は流体密度である。最終的に、ブロックの作用揚力 F_L は、上式より得られるブロック表面上の

圧力 P 、およびその位置での流体中に向けた単位法線ベクトルの鉛直方向成分 $n_{y,r}$ より次式で算定される。

$$F_L = - \sum_{r=1}^{N/2} P_r n_{y,r} \Delta c_r$$

本数値計算において対象とした被覆ブロックのモデル形状を図3に示す。ただし、面積はすべて 30cm^2 である。また、主流流速として、 20.0 、 13.0 、 8.0cm/s の3種類について計算を行った。

3. 水理模型実験 前述の3種類のブロック形状モデルについて模型を製作し、長さ 200cm 、幅 10cm の循環水槽にて、一様流中における被覆ブロックに作用する揚力の測定実験を行った。主流流速は、ブロック前方上流側 40cm のブロック天端高相当位置で 13.5 、 19.2 、 8.6cm/s の3種類とした。

4. 解析方法 揚力の計算結果は図4に示すように時間ステップに伴って大きく変動することから、ここでは $50 \sim 250$ 計算ステップ間の全データを大きい方から並べかえ、大きい方から $1/10$ のデータの平均($1/10$ 最大揚力)と $1/3$ のデータの平均($1/3$ 最大揚力)について検討を加えることにする。なお、実験結果も同様の取扱い方法により $1/10$ 、 $1/3$ 最大揚力を求めた。

5. 結果および考察 図5および図6はそれぞれ $1/3$ 、 $1/10$ 最大揚力の計算結果及び実験結果を示したものである。図中縦軸には、ブロックの単位幅単位長さあたりの揚力の値をとっている。

これらの図より計算結果と実験結果を比較すると、 $1/3$ 最大揚力の場合、主流流速が大きいと計算結果は実験結果をよく再現しているが、主流流速が小さい $v=8\text{cm/s}$ 程度では両者の間に大きな差異がある。一方、 $1/10$ 最大揚力の場合、計算結果と実験結果の間に大きな差がある。この原因については、実験では物体が水面の影響を受けるのに対して、数値計算では無限流体場を仮定して計算を行っていることから、この両者の流体場の違いによるものと考えられるが、十分な結論を得るまでに至っていない。

計算結果と実験結果が定量的に比較的一致した $1/3$ 最大揚力について、物体形状の違いによる作用揚力の変化を見たとき、主流流速 20cm/s の場合、作用揚力が最小となるのは計算、実験ともに長方形型である。このことから、揚力低減化からみたブロック断面形状としては、長方形型が有効であると言えよう。しかしながら、流速が小さくなると作用揚力が最小となるブロックの形状が変化する。以上のことより、揚力低減下

に有効なブロック形状については主流流速も影響することから、今後、数値計算上の精度の問題も考慮に入れて種々の流速および波動場を対象とした計算を行い、揚力低減化に有効なブロック形状について検討を進める予定である。

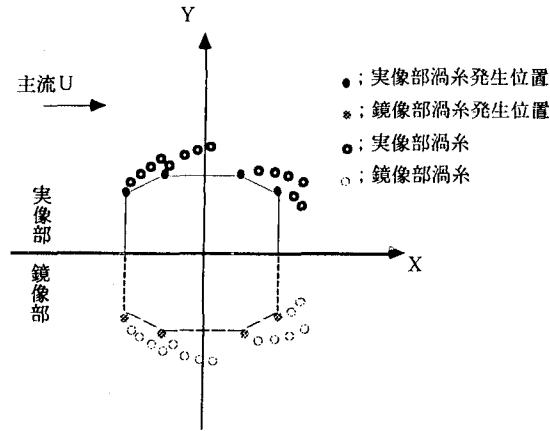


図1 流況モデル

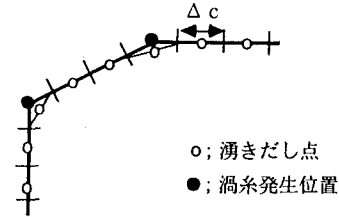


図2 湧きだし位置および渦糸発生位置

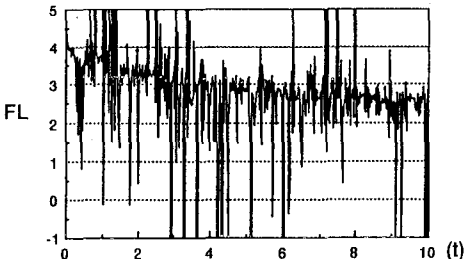


図4 時間ステップによる作用揚力の変化
(長方形型、主流速20.0 c m/s)

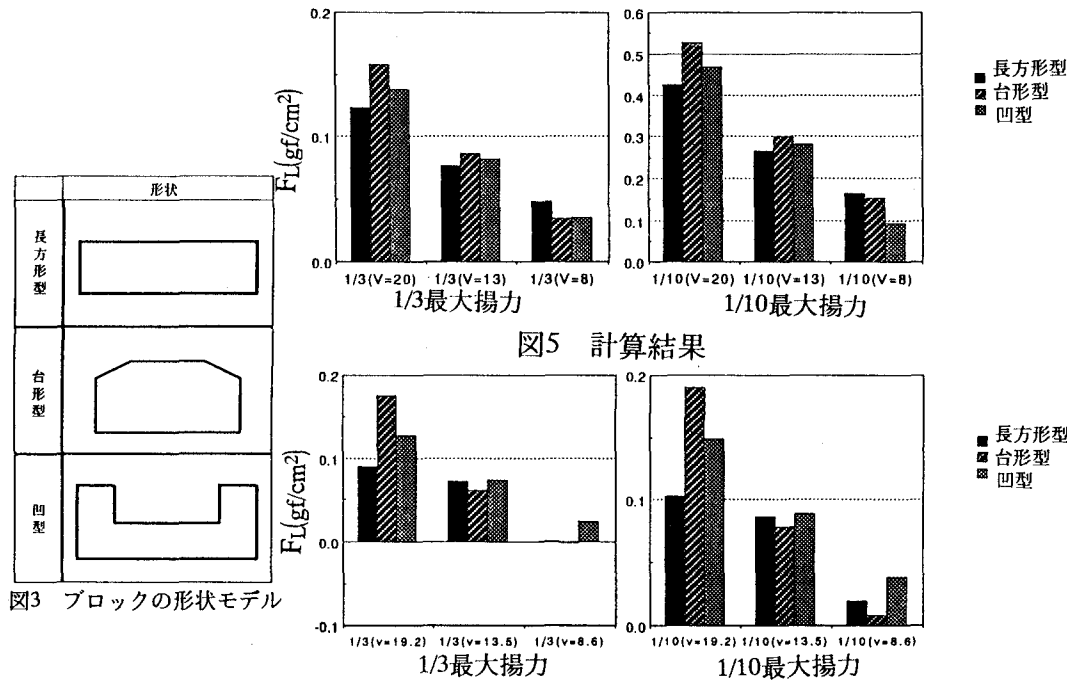


図3 ブロックの形状モデル

図5 計算結果

図6 実験結果