

防波堤の堤頭部におけるマウンド上被覆ブロックの 津波流れに対する設計法

国立研究開発法人水産研究・教育機構水産技術研究所

大井邦昭
古市尚基
大村智宏
小林学
小藤次郎
遠藤次郎

国際気象海洋株式会社

株式会社アルファ水工コンサルタンツ

目次

1. はじめに	46	3-3 数値計算に基づく検討結果	51
2. 検討手法	47	4. 本研究のまとめと今後の課題	51
2-1 水理模型実験	47	5. 研究成果を踏まえた新たな設計法の概略	52
2-2 数値計算	48	5-1 流速の設定	52
3. 結果と考察	49	5-2 質量算定の係数 x の設定	52
3-1 実験結果の概要	49	5-3 斜面勾配	52
3-2 堤頭部と堤幹部の比較	49	5-4 その他の留意点	52

1. はじめに

平成23年東北地方太平洋沖地震・津波では防波堤等の多数の施設が倒壊し、背後で甚大な被害が発生した。被害の発端の一つとして防波堤基礎マウンド被覆ブロックの流失があげられており、漁港・漁場の施設の設計参考図書（2015年版、以下“黒本”とする）では津波流れに対する防波堤マウンド上被覆ブロックの所要質量算定を行うため、式(1)に示すイスバッシュ式が示されていた¹⁻⁵⁾。[令和5年4月に行われた黒本の改訂において当該箇所の記述が更新されたが、改訂は本知見を踏まえて行われたため、本稿の背景としては2015年版を参照する]

$$M = \frac{\pi \rho_B U^6}{48 g^3 y^6 (S_B - 1)^3 [\cos \theta - (1 - 2\gamma) \sin \theta]^3} \quad (1)$$

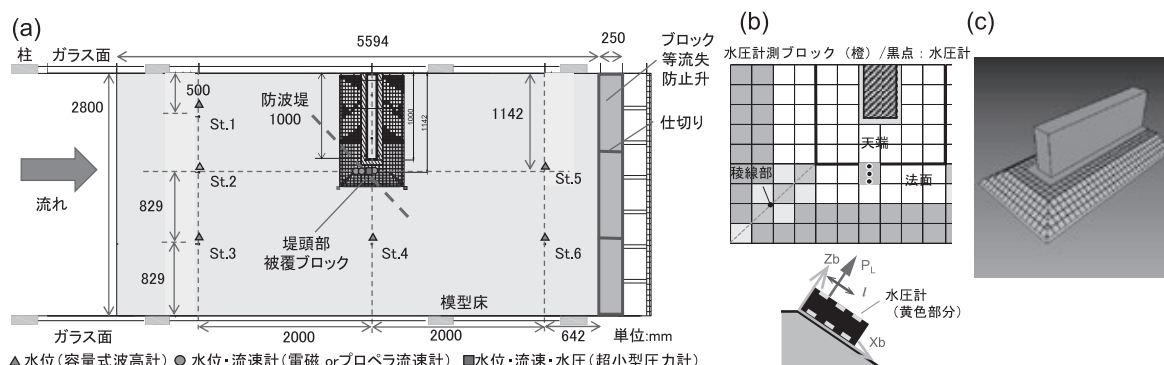
ここで M はブロック質量、 $S_B = \rho_B / \rho_W$ はブロック比重、 ρ_B はブロック密度、 ρ_W は水密度、 U は流速、 g は重力加速度、 θ はマウンド傾斜角、

y はブロック毎の特性値（イスバッシュ係数）であり、一般に $y=1.08$ が参照される^{1,2,6)}。また、イスバッシュ式の成り立ちは斜面上に位置する球体とみなした部材に作用する流体力（抗力）等によるモーメントのつり合いの力学的枠組みを想定している⁷⁾。

一方、設計実務においては、イスバッシュ式と $y=1.08$ を用いる現行手法では、現実により得る範囲での比較的高流速（10m/s程度）の条件下で被覆ブロックの質量が数百～数千トンと算定され、現実的には設計を進めることができなくなっていることなどが指摘されている。

津波流れ作用下でのイスバッシュ式の適用性等についてはこれまでに多くの検討事例が存在する⁶⁻¹³⁾。古市ら¹¹⁻¹³⁾はイスバッシュ式による球体形を仮定した式展開を方塊型（直方体）としたものに変更するとともに、被害の

$$M = \frac{\rho_B U^6}{g^3 x^6 (S_B - 1)^3 (\cos \theta)^3} \quad (2)$$



表一 検討ケースの一覧

ブロック種類 (mm)	法 勾配	初期水位 (m)					
		0.25	0.20	0.16	0.13	0.10	0.07
小 40×40×15	1:1.5	●	○	○	○	○	○
	1:2.0	○		○	○	○	○
特大 60×60×22	1:1.5	○	○	○	○	○	
	1:2.0	○		○		○	
特大3 78×78×29	1:1.5	○	○	◎	◎	○	
	1:2.0	○	○	◎		○	

○：実施 ◎：水圧計測を併せて実施

●：数値計算との比較を併せて実施

※「小」「特大」「特大3」のブロック名は古市ら¹²⁾内での
同一名ブロックに対応している

発端となるマウンドの下流側法肩部での局所的な揚力作用等によるモーメントのつり合いや、揚力作用長さ (l) がブロック長に比例することを仮定して算定式を修正した (式(2))。

ここで $x = X / (\alpha / \beta)^{1/6}$ 、 X は式(1)での y に相当する特性値、 α 、 β はそれぞれブロックの高さ、奥行幅とブロック長さとの比であり、古市ら^{12, 13)} は式(2)で回転の軸を側面中央 ($\gamma = 0.5$) と仮定した。さらに、ブロックの安定性が水位とともに変化し、実務の観点では、異なる水位条件に適用すべき x 値が必ずしも同等とはならないことが指摘された¹³⁾。

他方、津波作用下でのイスバッシュ式の適用性に係る既往検討は、しばしば、狭域水路内の鉛直2次元的な流れ作用下での実験結果に基づいてきた。鉛直2次元的な検討は3次元の検討と比べて検討条件を理想化していると同時にその実験実施が容易であり、例えば方塊型以外の形状のブロックの特性を把握する水理実験等において^{9), 18)} 前者の条件下での知

見の蓄積が後者より進展し易いと予想される。これまでに、防波堤堤頭部での波作用に対するブロック安定性や、堤頭部での流動特性に関する検討例が報告されているものの^{14, 15)}、安定質量算定の実務の上では、防波堤の堤頭部での複雑な流れ条件下でのブロック安定性に係る知見の充実も不可欠である。

以上を踏まえ、本研究は、幅広の水槽を用いた定常流条件下での水理模型実験と、関連した数値計算を実施し、鉛直2次元条件下での被覆ブロック安定性の知見と堤頭部周辺での特性とを比較・検討することを目的とした。

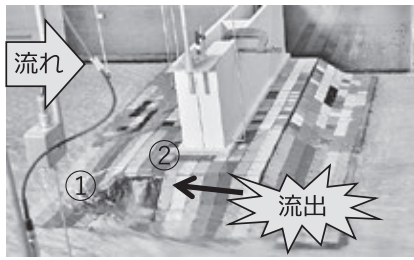
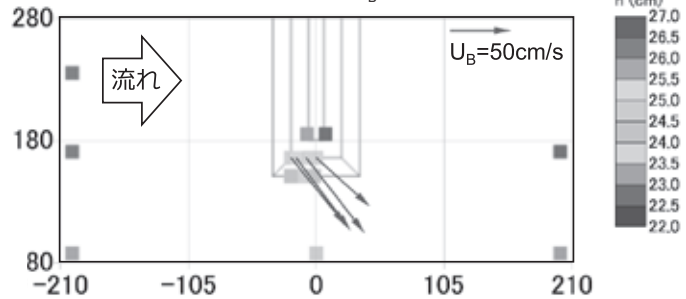
なお、本稿は古市ら¹⁹⁾ を元に行行政担当者や設計実務者向けに加筆・修正を行ったものである。

2. 検討手法

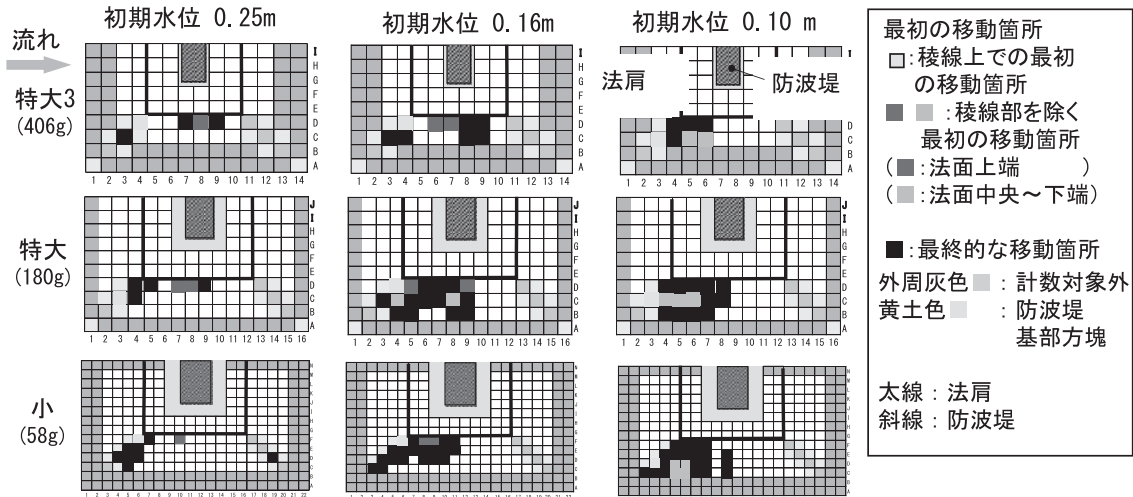
2-1 水理模型実験

実験装置には水産研究・教育機構水産技術研究所 (神栖庁舎) における、幅2.8m、長さ6.0m、深さ1.4mの計測可能部分エリアを有した回流実験装置を用いた。捨石マウンド上に被覆ブロックを敷き詰めるとともに防波堤の堤頭部相当部分を設置した模型形状とした (図一 (a))。縮尺は1/80として、マウンド天端幅は被覆ブロック2個並び+根固め方塊ブロックとし、沖側天端—防波堤—岸側天端の幅は約0.41—0.48m (フルード相似則による現地量32—40m)、マウンド高さ (厚さ) は0.1m (同8m) とした。作用流速を変化幅約0.05—0.1m/sで最大約1.5m/sまで段階的に引き上げることで流速を増加させてブロックの移動

(a) ブロック離脱の様子

(b) 水位 h (カラー)・流速 U_B (矢印) の分布

(c) ブロックの離脱位置の分布の例



図－2 水理模型実験結果の概要。(a)実験風景(b)流速・水位の分布例(c)ブロックの離脱開始箇所の分布例

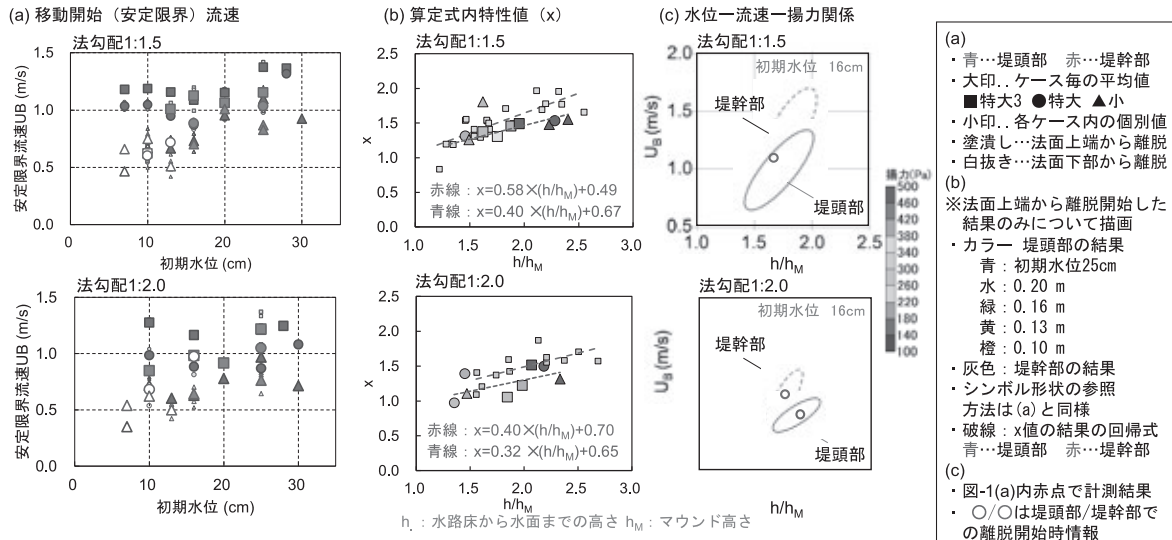
開始流量を調べた。ブロックの移動試験は各ケースで3回以上繰り返し、ブロック1個以上の移動が生じた流量ランクの一つ前を移動開始(安定限界)流量とした。

本研究では比重2.3の方塊型(式(2)では $\alpha=0.375$ 、 $\beta=1$)のブロックを対象として、ブロックサイズ、マウンド法勾配、初期水位(水路床からの高さ)を変化させた実験を実施した(表－1)。ブロック移動実験の後に、水位、流速、一部ケースでの圧力を、マウンド上に載せた網にブロックを接着・固定した上で、容量式波高計(ケネック製)と電磁流速計・プロペラ流速計(ケネック製)、半導体型動歪み式波圧計(SSK製、P310)によって各々計測した。流速については、原則として、移動開始箇所近傍でのブロック面上10mm高さでの水平方向流速(U_B)を計測し、一部ケースで U_B の他に鉛直方向に3層、すなわち水位の20%、60%、80%の深度での流速情報を取得した(図－1(a))。図－1(b)や表－1に示すように、離脱メカニズム検討のため、「特大

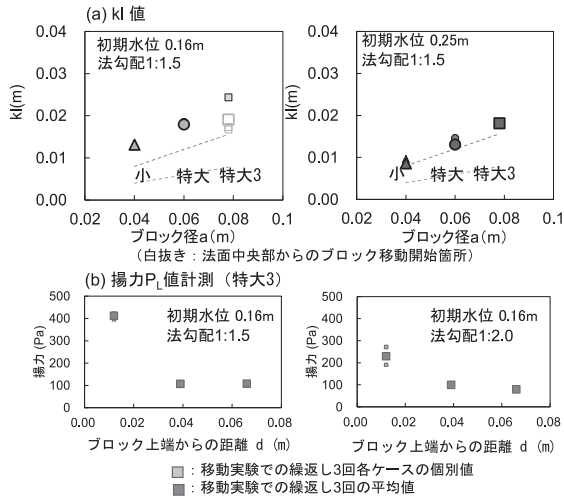
3」ブロックのケースでマウンド法面上端のブロックの上下面3箇所での圧力を計測した。水位・流速・圧力のデータ取得間隔は20ms(50 Hz)で、計測期間はブロック移動試験に対応し、それぞれの流量ランクで30秒間とした。

2-2 数値計算

実験結果の解釈補完を目的として、古市ら¹¹⁾を参考に一定流量条件下での堤頭部周辺での流動場を流体解析ツールOpenFOAM¹⁶⁾を用いて計算した。図－1(c)に堤頭部周辺の計算領域の概要を示す。マウンド周辺で小サイズの方塊型ブロック(40mm×40mm×15mm)群を模した固定壁境界を設定し(表－1)、実験でブロックが移動開始した周辺の複数の流量ランクでの流況の再現計算を行なった。格子間隔は0.125～2 cm(ブロック周辺で最小)で、隣接するブロック境界間の距離が2～3格子分となるようにした。捨石マウンド部は多孔質体としてモデル化し、抵抗力はDupuit-Forchheimer則で与え、乱流モデルとして低レ



図－3 堤頭部—堤幹部実験の比較：(a)移動開始(安定限界)流速・(b)係数 x の評価値・(c)作用揚力 P_L と流速・水位との関係



図－4 堤頭部実験で得られた(a) kI 値および(b)揚力の計測結果の例

イノルズ数型のLaunder-Sharma¹⁷⁾の手法を用いた。このようにして得た実験・計算結果を既往の鉛直2次元（以降、堤幹部と呼ぶ）条件での検討結果¹¹⁻¹³⁾と比較した。

3. 結果と考察

3-1 実験結果の概要

図－2に実験の風景、流動場の計測結果、及びブロック移動箇所の一例を示す。ブロックの離脱は稜線部付近（図－2(a)①、(c)黄色部分）から始まり、それに法肩部（同(a)②、(c)赤色あるいは橙色部分）が続く場合が多かった。図－2(c)に示すように、稜線部と法

肩部の離脱開始箇所が離れている場合が多く、各々の離脱過程は独立していると考えられた。また本実験でのマウンド模型の稜線部の形状が角張っている等の理由から実験での同部におけるブロック配置の際の不陸が実現場の施工と比べて甚だ大きく、実現場の稜線部での被災は本実験のように発生し難いものと考え、以降の考察では法肩部付近での離脱を対象とする。また、初期水位の低下とともにブロックの離脱開始位置が法面上端から中央付近（図－2(c)赤→橙）に移っており、堤幹部での知見¹³⁾と矛盾しない。堤頭部周辺の流速場については、主流の作用方向と堤体に沿う方向の双方の寄与が顕著で、水位は主流の作用方向に必ずしも単調低下しない複雑な分布を示した（図－2(b)）。

3-2 堤頭部と堤幹部の比較

図－3に堤頭部と堤幹部¹³⁾実験間の比較結果を示す。まず、ブロックの離脱開始箇所周辺での底面近傍流速 U_B を初期水位とともに、また、 U_B 等から評価した安定質量の算定式内の流体力係数 $x [=X/(\alpha/\beta)^{1/6}]$ を移動開始時の水位 (h/h_M ; h は水路床からの水位、 h_M はマウンド高さ) とともに調べた（図－3(a)(b)）。さらに、既往検討¹¹⁻¹³⁾で言及された x の評価値から推算される流体力の作用長さ相当値 (kI) や、ブロック面に作用する揚力値 P_L （ブロック面に垂直な方向に定義した。このため法面

では図-1 (b)内に示す z_b 方向となる)を調べたところ、 k_l 値がブロックの大きさとともに増大したり(図-4 (a))、同一ブロック面上での揚力 P_L 値が上流側端付近(図-4 (b)での $d < 0.02$ mの範囲)で増大することが確認された。これらは堤幹部を対象とした既往知見^{11, 13)}と整合しており、鉛直2次元の結果から得られた力学仮定や算定式、係数 x を堤頭部においても適用できることを定性的に支持する結果である。

一方で、堤頭部(図-3 (a)青)では堤幹部(赤)より移動開始流速が同程度か少し減少し、その結果、堤頭部では、堤幹部よりも小さな x の評価値が得られる傾向がブロックの大小によらず確認された。図-3 (b)に示すように、堤幹部と堤頭部のそれぞれでの x の評価値から回帰式を求め(図-3 (b)赤・青線)、同等の h/h_M の水位条件で比較した。例えば、 $h/h_M=1.5$

のとき堤頭部での x 値と堤幹部での x 値の比 r は勾配1.5では $r \approx 0.93$ (1.27/1.36)、勾配2.0では $r \approx 0.87$ (1.13/1.30)となり、総じて、 x 値が堤頭部では5-10%程度小さくなった(図-3 (b))。安定質量の算定値は x の6乗に反比例するため、同等流速に対する安定質量を堤頭部では堤幹部より概ね1.5倍以上大きく算定する必要性が示唆された。

図-3 (a) (b)の結果を説明するメカニズム検討のため、ブロックに作用する揚力(P_L)を流速 U_B や水位 h/h_M の関数として調べた(図-3 (c);ここでの P_L 値は計測された3点中の最上端側での値)。その結果、底面近傍流速値 U_B に対する揚力が堤頭部で堤幹部より大きい傾向となり、また法勾配1:1.5、初期水位13cmの計測でも同様の結果が得られ(図示しない)、図-3 (a) (b)の結果を裏付ける圧力分布が確認された。

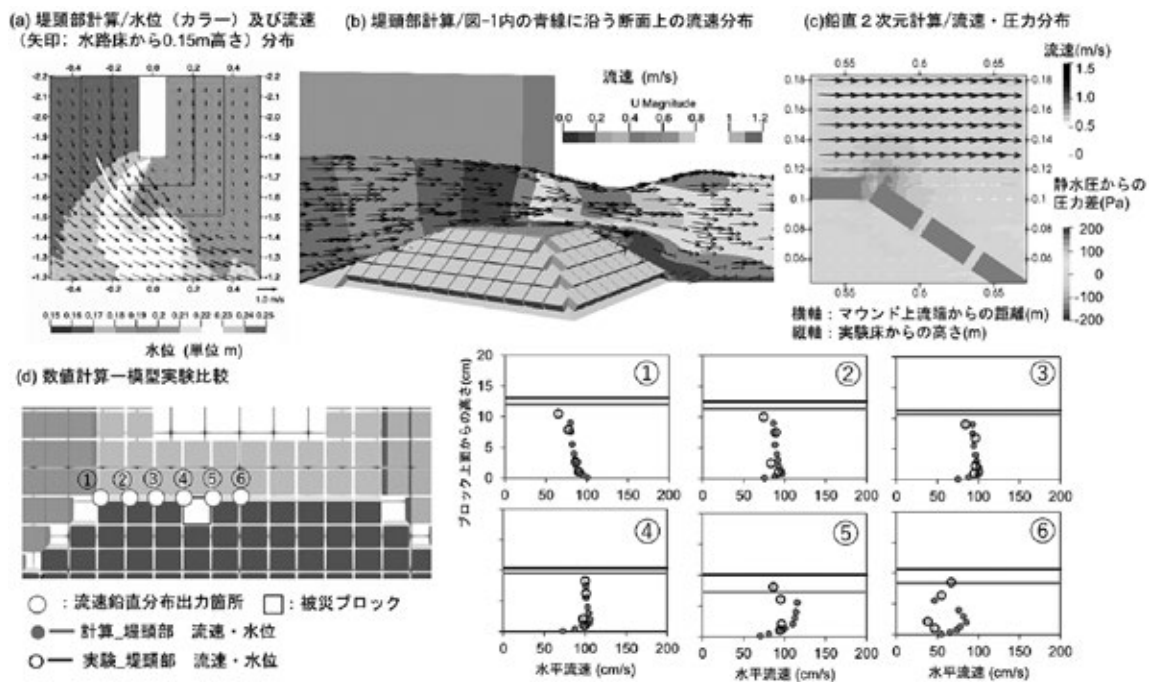


図-5 計算結果の概要。(a)(b)堤頭部計算での流速・水位分布(c)堤幹部計算からの流速・圧力分布(d)堤頭部計と実験結果との比較

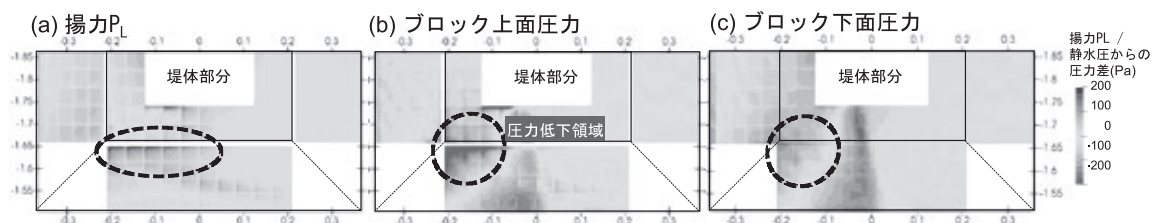
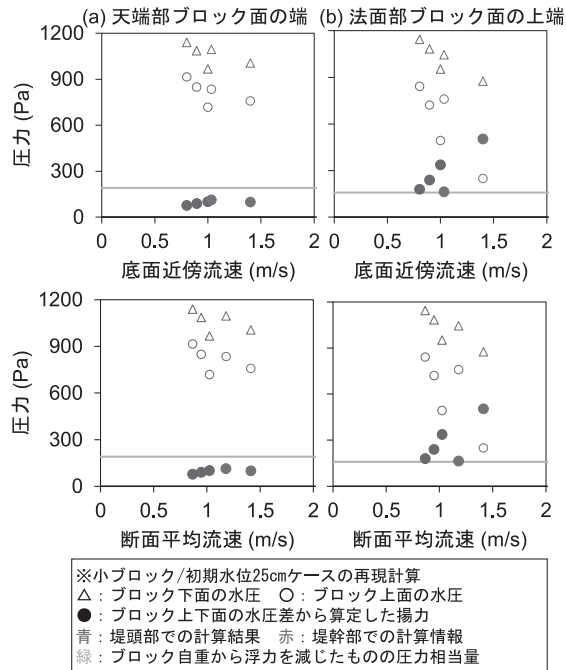


図-6 作用流体力の空間分布。(a)揚力 P_L (b)ブロック上面圧力(c)ブロック下面圧力



図ー7 作用流体力の数値計算結果の堤頭部一堤幹部間での比較。上段(下段)は流速の底面近傍(断面平均)値を参照した結果。

3-3 数値計算に基づく検討結果

図ー5に数値計算の結果を示す。実験結果(図ー2(b))と同様に、図ー5(a)から堤頭部付近では主流方向のみならず堤体に沿う流れの成分も卓越する様子がみてとれる。

実験結果と計算結果での流速・水位を比較したところ、堤頭部の主流方向から見て下流側(図ー5(d)⑤⑥)での複雑な水位・流速場は必ずしも良好には再現されていないものの、それより上流側(①～④)の流速・水位変動は実験結果とよく合致していることを確認できる。またブロック面上の揚力場(図ー6(a))をブロック上面と下面との圧力差(図ー6(b)(c))から算定したところ、実験で離脱開始しやすいと確認された法面上端部ブロック、特にそのブロック面内の上端部側で局所的に大きな揚力 P_L 値を確認できる(図ー6の黒丸破線内)。図ー7に数値計算から得られた流速と揚力(計測と同様にブロック面内の上端側の位置での値)との関係図を示す。底面近傍流速(U_B)が約0.8m/sのときに揚力 P_L が200Paを超えており(図ー7(b)上段の青点・緑線)、図ー3(c)等と比較して、対象としたブロックサイズが異なるものの、流体力場の再現性も

良好である様子を確認できる。

このようにして得られた結果を用いて、底面近傍流速(U_B)—揚力(P_L)値及び、実務での利用が想定される鉛直平均(断面平均)流速—揚力値の双方の関連性を調べた(図ー7青●)。また同図では比較のため、堤幹部ケースでの該当ケースでの流速—揚力関係を合わせて示した(古市ら¹¹⁾の最小解像度を0.125cmとした再計算;図ー7赤●)。いずれの流速を参照した場合でも、堤頭部(青)、堤幹部(赤)双方の計算結果において、(a)天端部よりも(b)法面上部での揚力が大きい傾向を確認できる。また天端部と法面上部の双方で、同等流速に対して堤幹部よりも堤頭部において大きな揚力が作用する、あるいは、同等の揚力に対応する流速値が堤幹部よりも堤頭部において小さい傾向が確認された。このような堤頭部の場合での揚力の増大に対する考えられる一つの説明として、堤頭部周辺の流速の鉛直断面分布(図ー5(b))によって堤幹部(図ー5(c))と同様に「遠心力による圧力低下(流線曲率の定理)」等が働き、これに水平断面上の流速分布(図ー5(a))による平面的な「遠心力による圧力低下」の影響が追加された可能性が挙げられる。

4. 本研究のまとめと今後の課題

津波作用下での被覆ブロックの安定質量算定の実務の上では、理想化された鉛直2次元条件下での検討に加え、防波堤の堤頭部での複雑な流れ条件下でのブロック安定性に係る知見の充実が併せて求められる。本研究は、幅広の水槽を用いた定常流条件下での水理模型実験と、関連した数値計算を実施し、堤頭部周辺での被覆ブロック安定性の特性と鉛直2次元条件下での知見とを比較・検討した。

水圧計測や数値計算の結果から、マウンドの法肩でのブロック離脱過程や作用流体力の分布の局所性の特徴が鉛直2次元条件(堤幹部)を対象とした既往知見^{11,13)}と整合しており、堤幹部での検討結果から得られた力学仮定や算定式を堤頭部に適用できることを定性的に支持する結果が得られた。一方で、同等の定常流作用下でのマウンド上被覆ブロック

の安定性が、堤頭部においては流況の複雑化のために堤幹部より低下することを示した。

本研究は鉛直 2 次元条件下での知見の蓄積を堤頭部周辺でのブロック安定性の検討に反映する上での留意点を調査し、既往検討による算定式の修正や水位に伴うブロック安定性の変化の知見^{11, 13)}とともに、今後の合理的かつ現実的なブロック質量の算定実務への有用知見を示すものである。ただし、本研究ではマウンドおよび防波堤の形状や津波が作用する方向について限られた条件のみを対象とした。特に堤頭部での不安定化の程度に係る定量的議論については、さらなる知見を集積することが今後に残された課題である。

5. 研究成果を踏まえた新たな設計法の概略

津波流れ作用下における防波堤周辺の被覆ブロックの安定質量算定に対する一連の知見¹¹⁻¹³⁾が集積され、令和 5 年 4 月にはそれを踏まえて「漁港・漁場の施設の設計参考図書」が一部改訂された。被覆ブロックの安定質量を算定するには式(2)を用いるが、入力条件となる流速 U 、質量算定の係数 x （以下、「係数 x 」）、勾配 θ の設定に関しては以下に留意する。なお、以下の記述では式(2)を用いるための技術的背景となる一般論も含めて解説するため、一部、改訂内容に記載のない情報も含む。

5-1 流速の設定

通常、津波流速は適切な断層モデルと非線形長波理論に基づく津波伝播シミュレーションで算定される²⁾。その際、「漁港・漁場の施設の設計参考図書」に示される計算格子サイズ（5 m）を用いれば防波堤周辺では 1 スパン＝1 格子程度の解像度での算定となる。また、非線形長波理論は平面 2 次元計算であるため、各計算格子での流速の鉛直分布は再現されない。流体中にある物体の作用流体力は水理学的には物体近傍の流速を参照するべきであるが、式(2)の構築にあたっては設計実務での利用を考慮し、断面平均流速を参照した検討を行っている^{11, 13)}。このため、流速の設定にあたっては津波伝播シミュレーションの

結果（断面平均流速）をそのまま用いてよい。

5-2 質量算定の係数 x の設定

式(2)では式中の係数 x は形状毎に固有の特性値（流体力係数）となる。既報^{11, 13)}では水理模型実験に基づいて方塊型ブロックの係数 x を定めたが、設計実務においてメーカーの被覆ブロックを用いる場合は個々のブロック形状に応じた係数 x を用いる必要がある。各ブロックの係数 x はメーカーが性能値として評価しているほか、今後は（一社）漁港漁場新技術研究会が一括して公表する予定としている¹⁸⁾。なお、一般に係数 x を含む“流体力係数”は相似形のブロックであれば同一の値でよいとされる。また、5-1で上述したとおり、設計実務においては設計流速に断面平均流速を用いるため、各ブロックの係数 x の評価に際し、参照流速を断面平均流速としていることを確認する必要がある。

5-3 斜面勾配

式(2)中の θ はマウンド傾斜角である。津波伝播シミュレーションでは各計算格子における 2 方向成分流速が算出されるため、流れの向きを考慮することができる。この場合、マウンド傾斜角と津波流れの向きを合成することで正確な傾斜角を設定することは可能である。実際の津波伝播シミュレーションでは津波流れの多くは防波堤に沿う、或いは非常に緩やかな角度で来襲するため、ほとんどの場合で $\theta = 0^\circ$ に近い数値となるが、特に堤頭部付近では非線形長波理論では考慮できない 3 次元的な流れが生じることから、 $\theta = 0^\circ$ とした照査では危険となる懸念がある。このため、ブロック質量の算定にあたっては θ にマウンド傾斜角をそのまま入力することが望ましい。

5-4 その他の留意点

方塊型ブロックの式(2)中の係数 x は水位によって変化することが確認されている^{11, 13)}。すなわち、最大の津波流速作用時が最もブロックの必要質量が大きくなるとは限らず、それよりも低い流速でも水位が低い時刻で必要質量が大きくなる可能性がある。このため、よ

り安全側となる安定質量算定を行うためには津波伝搬シミュレーションにより時々刻々と変化する水位と流速の組み合わせの中から最もブロックの所要質量が大きくなる状態を抽出する必要がある。

参考文献

- 1) 国土交通省港湾局監修:港湾の施設の技術上の基準・同解説, (公社)日本港湾協会, 4423p., 2018.
- 2) 水産庁:漁港・漁場の施設の設計参考図書(2015年版), (公社)全国漁港漁場協会, 1100p., 2016.
- 3) Isbash, S. V.:Construction of Dams by Dumping Stones into Flowing Water, Sci. Res. Inst. Hydrotech. Leningad, 1932, translated by A. Dovjikov, U.S. Army Corps of Engineers, 1935.
- 4) Isbash, S. V.:Construction of Dams by Depositing Rocks in Running Water, Second Congress on Large Dams, Washington, D. C., Communication No 3, 1936.
- 5) Coastal Engineering Research Center:Shore Protection Manual, U. S. Army Corps of Engrs., U. S. Govt. Printing Office, Vol. II, pp. 7_213-7_216, 1977.
- 6) 岩崎敏夫, 真野明, 中村武弘, 堀越伸幸: 潜堤のマウンド材およびプレパックド堤に作用する定常流流体力に関する実験的研究, 海岸工学講演会論文集, Vol. 31, pp. 527-531, 1984.
- 7) 三井順, 松本朗, 半沢稔: イスパッシュ式の導出過程と防波堤を越流する津波への適用性, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol. 71, No. 2, pp. I_1063-I_1068, 2015.
- 8) 作中淳一郎, 有川太郎: 防波堤開口部の対津波安定性についての実験ならびに数値計算, 港湾空港技術研究所資料, No. 1274, 26 p, 2013.
- 9) 三井順, 間辺本文, 大井邦昭, 岡野谷知樹, 平山隆幸, 松下紘資, 古市尚基, 大村智宏: 津波の流れに対する被覆ブロックのイスパッシュ数の特性に関する水理模型実験, 土木学会論文集B3(海洋開発), Vol. 75, No. 2, I_367-I_372, 2019.
- 10) 加藤広之, 門安曇, 阿部幸樹, 不動雅之, 古市尚基, 遠藤次郎: 津波の流れに対するマウンド被覆ブロックの質量算定法に関する実験的検討, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol. 75, No. 2, pp. I_835-I_840, 2019.
- 11) 古市尚基, 遠藤次郎, 門安曇, 大村智宏, 加藤広之, 岩瀬浩之, 中山哲厳, 山崎将志: マウンド上被覆ブロックに作用する津波流体力に関する数値的検討, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol. 76, No. 2, pp. I_667-I_672, 2020.
- 12) 古市尚基, 門安曇, 遠藤次郎, 大村智宏, 大井邦昭, 岩瀬浩之, 加藤広之, 小林学, 中山哲厳: 津波流れに対するマウンド上被覆ブロックの流体力特性と安定性評価に関わる実験的検討, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol. 77, No. 2, pp. I_715-I_720, 2021.
- 13) 古市尚基, 小林学, 遠藤次郎, 大井邦昭, 大村智宏, 門安曇, 岩瀬浩之, 丸山草平, 三上信雄: 津波作用下のマウンド上被覆ブロックの安定性評価—流体力作用長と水位変化—, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol. 78, No. 2, pp. I_703-I_708, 2022.
- 14) 木村克俊, 上久保勝美, 坂本洋一, 水野雄三, 竹田英明, 林倫史: 消波ブロック被覆堤の堤頭部におけるブロックの耐波安定性, 海岸工学論文集, Vol. 44, pp. 956-960, 1997.
- 15) 鈴木高二朗, 池田直太, 鶴田修己, 朝比翔太, 久保田博貴, 伊藤春樹: 浦戸湾湾口における津波防波堤堤頭部の津波による洗掘について, 土木学会論文集B3(海洋開発), Vol. 77, No. 2, I_139-I_144, 2021.
- 16) OpenFOAM_The Open Source Computational Fluid Dynamics (CFD) Toolbox, <http://www.openfoam.com>, 参照 2023-05.
- 17) Launder, B. E. and Sharma, B: Application of the energy-dissipation model of turbulence to the calculation of flow near a spinning disc, Letters in Heat and Mass Transfer, 1, 131-137, 1974.
- 18) (一社)漁港漁場新技術研究会, タイトル未定, https://aitef.or.jp/division71_3.html (公表準備中(2023年12月公開予定))
- 19) 古市尚基, 小林学, 遠藤次郎, 大井邦昭, 大村智宏, 岩瀬浩之, 丸山草平, 門安曇, 本田耕一: 防波堤の堤頭部におけるマウンド上被覆ブロックの津波作用下での安定性評価, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol. 79, No. 2, 2023(印刷中).