

平成 30 年度水産基盤整備調査委託事業  
「漁港漁場施設の設計手法の高度化検討調査」  
報告書

水 産 庁

「漁港漁場施設の設計手法の高度化検討調査」  
共同研究機関

国立研究開発法人水産研究・教育機構

一般財団法人漁港漁場漁村総合研究所

一般社団法人漁港漁場新技術研究会

株式会社アルファ水エコンサルタンツ

国際気象海洋株式会社

# 目次

## 研究開発の目的

- 1) 津波に対する漁港施設の構造上の弱点への設計方法の検討 1-1 ページ～
- 2) 粘り強い構造に係る性能評価手法、設計方法の検討 2-1 ページ～
- 3) 津波等の強い流れに対する安定質量算定手法の検討 3-1 ページ～
- 4) 設計沖波等の設計条件の点検・見直しの標準的な考え方及び手法の検討  
4-1 ページ～
- 5) 沈設魚礁の流体力算定式及び着定基質の安定質量算定式の検討  
5-1 ページ～
- 6) 浮魚礁の合理的な機能保全手法の検討 6-1 ページ～
- 7) 漁港漁場整備への新技術導入促進方策の検討 7-1 ページ～

## (注)各小課題の報告書の構成(項目立て)について

- ・上記小課題のうち1, 2, 4, 7は平成30年度での完了を想定しているため、事業終了時の報告書に準じた項目立てとした。
- ・小課題3, 5, 6は平成31年度も継続することを想定しているため、毎年度の報告書に準じた項目立てとした。

## 研究開発の目的

平成 29 年 3 月に変更された「漁港漁場整備事業の推進に関する基本方針」では、地震・津波などの災害発生後の漁業の継続や早期回復を図るための防災・減災技術等について開発と普及を図るとされている。また、平成 29 年 6 月に水産庁から示された「漁港漁場整備事業の推進に関する技術開発の方向」では、優先して取り組む技術開発テーマとして、外郭施設や係留施設等の耐震・耐津波・耐波浪強化に関する技術開発、漁港・漁場施設及び漁業集落環境施設のストックマネジメント手法の高度化に関する技術開発、性能規定化に対応した設計の高度化に関する技術開発、現場条件に適合したよりの確で合理性の高い照査に関する技術開発等が挙げられている。更に、同技術開発の方向では、国は、現地への新技術の導入を推進するとされている。こうした国の施策方針に即し、本事業では、漁港漁場施設の設計手法について、東日本大震災による被害等を踏まえ対策の残された課題や社会的ニーズに対応すべく、技術の進歩、社会情勢・需要の変化等に応じた更なる高度化を図るための調査・検討を行う。

具体的には、漁港施設については、東日本大震災における津波被害の実態等を踏まえ、津波等の強い流れの影響を考慮した設計手法の高度化（津波に対する漁港施設の構造上の弱点への設計方法の検討、粘り強い構造に係る性能評価手法・設計方法の検討、津波等の強い流れに対する安定質量算定手法の検討）を行う。また、現場条件に適合したよりの確で合理性の高い照査を目的として、設計沖波等の設計条件の点検・見直しの標準的な考え方及び手法の検討を行うほか、漁場の施設について、主要な設計の基本となっている沈設魚礁の安全性の照査法と着定基質（石材）の安定質量算定式に関してこれまでの調査で得られた新しい知見等を踏まえ、設計手法の体系的な見直しを提案・検証し、とりまとめる。更に、漁場施設のストックマネジメント手法の高度化や現地への新技術の導入推進に向けて、浮魚礁の合理的な機能保全手法の検討、漁港漁場整備への新技術導入促進方策の検討を行う。

これらの研究開発を通じ、漁港漁場施設の設計に係る従来からの課題を抽出・整理し、それらの問題解決を図ることにより、より適切かつ高度な設計手法の確立を目指す。

# 平成 30 年度水産基盤整備調査委託事業報告書

## I. 課題名

「漁港漁場施設の設計手法の高度化検討調査」のうち  
(1) 津波に対する漁港施設の構造上の弱点への設計方法の検討

## II. 実施機関及び担当者名

国立研究開発法人水産研究・教育機構	水産工学研究所
水産土木工学部水産基盤グループ	
主幹研究員	三上信雄
グループ長	大村智宏
主任研究員	佐伯公康
主任研究員	井上誠章
研究員	古市尚基
一般財団法人漁港漁場漁村総合研究所	
第1調査研究部 部長	高原裕一
第1調査研究部 次長	林 浩志
第1調査研究部 上級研究員	加藤広之
株式会社アルファ水工コンサルタンツ	
東京本社 技術顧問	中山哲厳
東京本社 執行役員	佐藤勝弘
東京本社 技術部チームリーダー	平井豊規
東京本社 技術部主任	遠藤次郎
東京本社 技術部主任	千原美季
東京本社 技術部技師	野地雅貴
国際気象海洋株式会社	
常務執行役員	門 安曇
銚子グループ グループリーダー	小林 学
建設コンサルグループ プロジェクトマネージャー	細野益男
建設コンサルグループ 技師	橋野公一

## III. ねらい

漁港施設の耐津波設計手法については、「漁港・漁場の施設の設計参考図書 2015年版」<sup>1)</sup>において基本的な波圧の算定手法が示され、越流時においては前面と背後水位の変動を考慮した算定法（水工研式）も示されている（図 1.1）。ただし、構造物の隅角部及び端部等、構造上弱点となりやすいと考えられる箇所における波圧の評価手法等は未だ確立されていない。

平成 27～29 年度の水産基盤整備調査委託事業「漁港・漁場の施設の設計手法の高度化検討調査」の調査では、堤頭部・隅角部に着目し、長水路や定常流水路、平面水

槽を用いた水理模型実験や非線形長波理論による津波解析を行った（図 1.2）。その結果に基づき、隅角部における水位上昇や、堤頭部における負圧の発生や流速の増大効果の水工研式への導入等の検討が行われた。

しかしながら検討を進める中で、その係数決定のための議論の定量的側面や、関連する実験条件・諸元等について、有用手法構築に向けて一部課題が残された。

平面実験では長周期津波の再現や多数の形状の検討が困難であり、制約が多い。一方、数値計算では広範囲の津波周期や形状で検討することは可能であるが、一般的に使用されている非線形長波式では実験結果の再現が必ずしも十分でないという問題点がある。そこで、他の計算手法（ブシネスク方程式法や CADMAS-SURF/3D 等）により再現性の向上が可能であれば、非線形長波式による結果を補正することにより有用に活用できると考えられる。

本調査では、上述の内容をふまえ、以下の検討・取りまとめを行う。

- ・水理模型実験、数値計算等による検討

平成 29 年度までに実施した構造物の隅角部及び堤頭部等を対象にした水理模型実験（断面実験・平面実験）、及び非線形長波理論等による津波解析結果の精査（追加の数値解析等を含む）を行うとともに、必要に応じ堤頭部・隅角部等における津波波力評価手法の修正・提案を行う。具体的には、隅角部における水位の割増係数の精査や、水工研式における静水圧補正係数の変更の必要等を検討する。

加えて、事例解析等により津波波力評価手法の妥当性の検証を行い、取りまとめる。

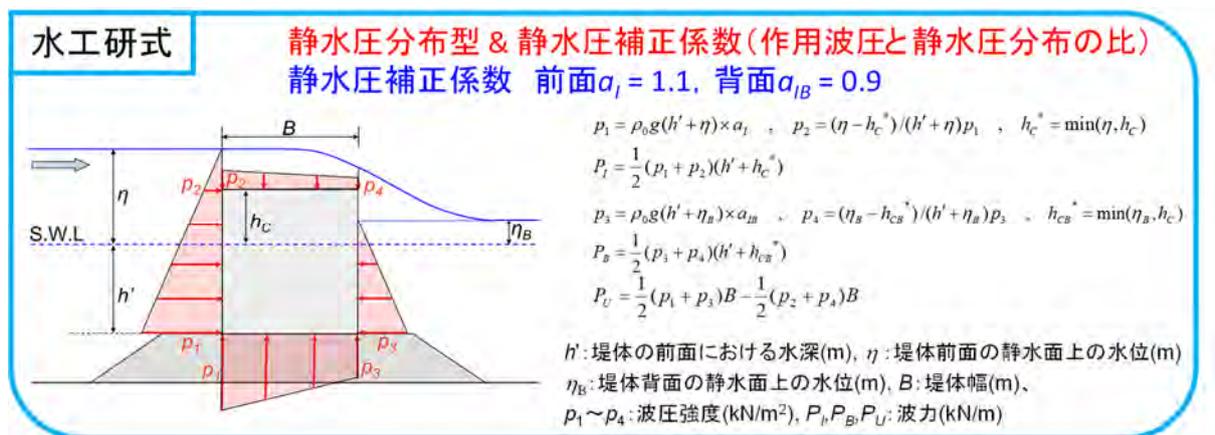


図 1. 1 水工研式概要

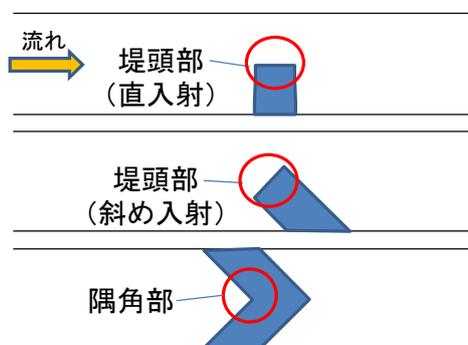


図 1. 2 防波堤模型形状概念図

## IV. 方法

### (1) 水理模型実験結果の精査

平成29年度までに実施した断面・平面実験結果の精査を行う。特に断面実験と平面実験で静水圧補正係数に係る結果が異なった点について、現象の把握と考察を行う。

### (2) 非線形長波式による津波解析結果の精査と他の計算手法による検討

過年度実施した非線形長波式による解析結果の精査を行うとともに、他の計算手法による試算を行う。他手法による模型実験の再現性の向上が可能であれば、非線形長波式から得られた結果の設計への適用方法について検討する。さらに、水理模型実験で実施していない条件（形状・周期）について数値計算を行い、周期や隅角部の角度が水位上昇量に及ぼす影響等について検討する。

### (3) 堤頭部・隅角部等における津波波力評価手法に関する提案

水理模型実験・数値計算データの精査結果に基づき、必要に応じ堤頭部・隅角部等における津波波力評価手法の修正・提案を行う。具体的には、隅角部における水位の割増効果の精査や、土工研式における静水圧補正係数の変更等を検討する。

加えて、事例解析等により津波波力評価手法の妥当性の検証を行い、取りまとめる。

### (4) 検討部会の実施

本業務の実施にあたって、専門分野の知見を有する学識経験者を委員とする調査検討委員会を設け、2回実施し、指導・助言を得ながら業務のとりまとめを行う。

## V. 結果・考察

### (1) 水理模型実験結果の精査

平成27・28年度に行った断面実験（正弦波・定常流）の結果による防波堤各部位における静水圧補正係数（作用波圧と静水圧の比）のまとめを表1.1に示す。断面実験においては側壁の影響が見られることから知見を補足するため、平成29年度に平面実験（段波）を実施した。結果の例を図1.3、静水圧補正係数を図1.4に示すが、平面実験では基本的な堤幹部においても静水圧補正係数が1を下回るケースが多く見られた。このため平面実験の結果の精査と原因の考察を行った。

表 1. 1 防波堤各部位における静水圧補正係数のまとめ

防波堤部位	入射方向	静水圧補正係数の傾向		設計方法に関する考察
		前面	背面	
堤幹部	直入射	1.0～1.1	0.9～1.0	現行の静水圧補正係数の設定ケース。 (前面：1.1、背面：0.9)
	斜め入射	1.0～1.1	0.9～1.0	現行の静水圧補正係数が使用可能。
隅角部	直入射	1.0～1.1	0.9～1.0	現行の静水圧補正係数が使用可能。 ただし隅角部で水位上昇→設計への影響を検討
	斜め入射			
堤頭部	直入射	0.8～0.9	0.9～1.0	前面の波圧が低くなっているが、現行の設計法を使用しても設計上危険にはならない。
	斜め入射	1.0前後	0.8～1.0	越流水深の大きいケースで背面波圧が低くなる場合がある。→設計への影響を検討

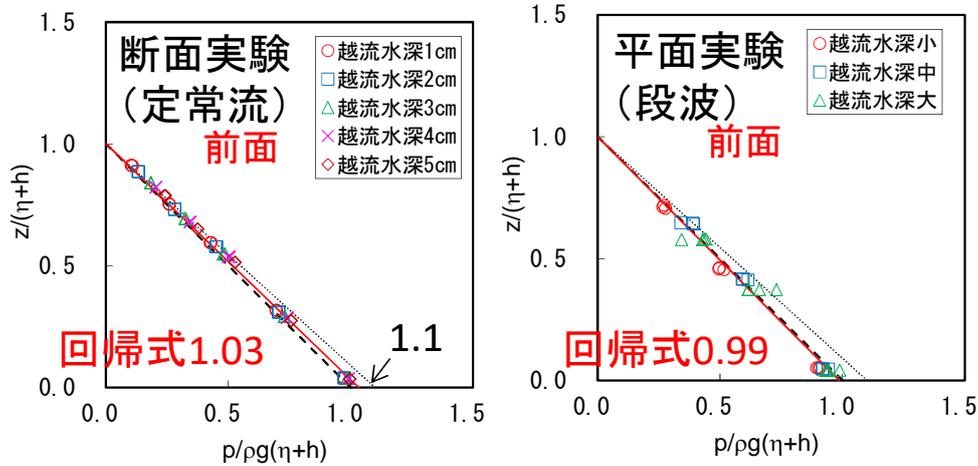
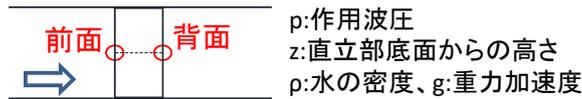


図 1. 3 堤幹部（直入射）における前面波圧分布（波力合力最大時）

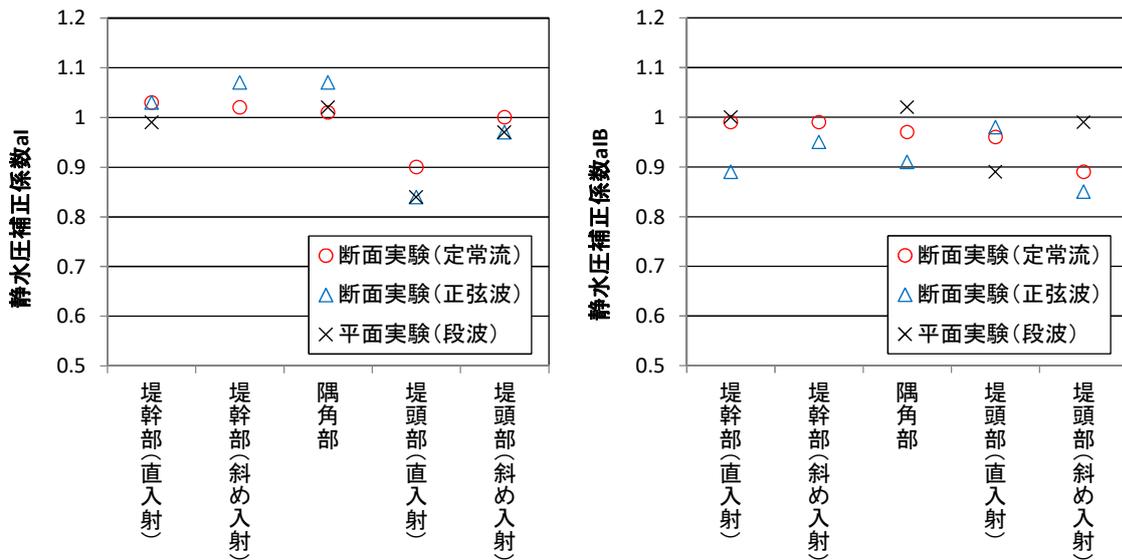


図 1. 4 静水圧補正係数まとめ

平面実験における波圧と静水圧、波力の時間波形の例を図 1. 5 に示す。波力最大時（黒縦線）は前面波力最大時とほぼ同時であり、背面波力（青縦線）の上昇する前に出現している。前面（P1,P2,P3）については波力ピーク付近において、計測波圧（実線）は静水圧（破線）を下回っており、この結果静水圧補正係数が 1 以下となっている。

一般に波圧は、流体の鉛直方向の運動方程式（式(1)）を水面から任意の高さまで積分することにより式(2)で表される（森岡ら<sup>2)</sup>）。

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = -\frac{dp}{dz} - \rho g \quad (1)$$

$$p = \rho g(\eta - z) + \rho \int_z^\eta \frac{Dw}{Dt} dz \quad (2)$$

ここに、 $z$ : 鉛直座標,  $t$ : 時間,  $\rho$ : 流体の密度,  $g$ : 重力加速度,  $\eta$ : 水面位置,  $w$ : 鉛直流速である。式(2)は、例えば水塊が防波堤前でせり上がり (図 1.6)、その後その鉛直上向き速度が低下する ( $dw/dt < 0$ ) とし、計測波圧  $p$  が静水圧を下回ることを示唆する。水位  $\eta$ ,  $\partial\eta/\partial t$ ,  $\partial^2\eta/\partial t^2$  の時系列計測結果の例 (堤幹部) を図 1.7 に示すが、水面付近では近似的に  $\partial w/\partial t \sim \partial^2\eta/\partial t^2$  であることから、水位最大時の水面付近では  $\partial w/\partial t$  が負となり、波圧が静水圧より小さくなる結果と整合する。

波圧合力最大時の静水圧補正係数が 1 以下の場合、現行の水工研式 (静水圧補正係数 1.1) を採用するならば危険側の設計とはならないことから、現行の静水圧補正係数を採用して良いものと考えられる。

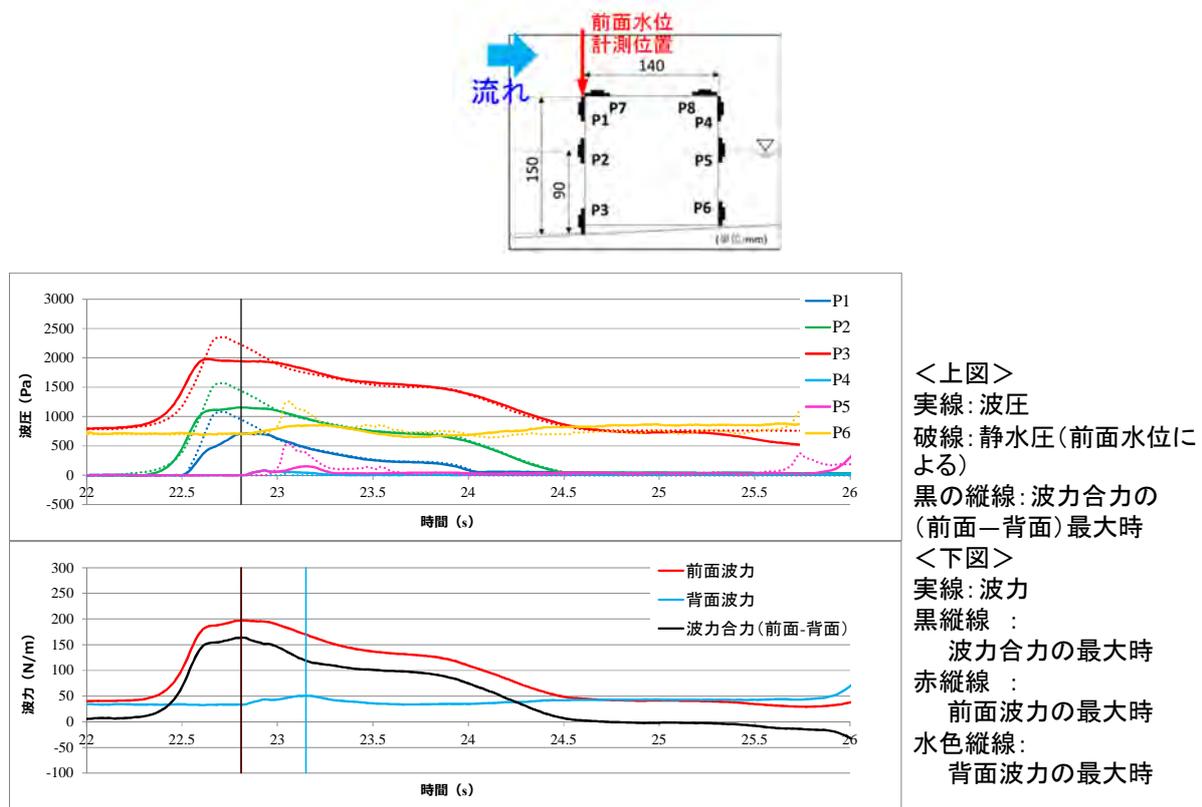


図 1. 5 平面実験の時間波形例 (堤幹部)

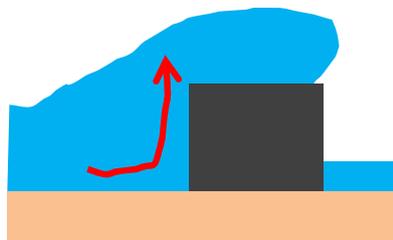


図 1. 6 段波作用時の概念図

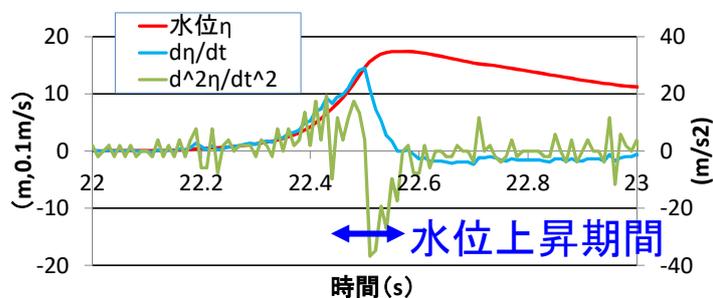


図 1. 7 水位  $\eta$ ,  $\partial\eta/\partial t$ ,  $\partial^2\eta/\partial t^2$  の時系列計測結果の例

(2) 非線形長波式による津波解析結果の精査と他の計算手法による検討

a) 他の数値計算手法 (CADMAS-SURF/3D) による水理模型実験の再現計算

他の計算手法として、3次元数値波動水槽 CADMAS-SURF/3D (以下、CS3D と記す。) を用いて水理模型実験の再現計算を実施した。再現対象は平成 28 年度に実施した定常流実験および、平成 29 年度に実施した平面実験とした。再現計算の模式図 (一部) を図 1.8 に示す。

計算結果の例を図 1.9、図 1.10 に示す。ただし、CS3D は実験と同スケールで、過年度の非線形長波モデル計算は現地スケールで計算を実施したことから、以後、非線形長波モデルで計算された水位情報には縮尺効果 (断面 : 1/50、1/81 ; 平面 : 1/81) を勘案した結果を表示した。

CS3D は実験から得られた波圧の鉛直分布を良好に再現すること (図 1.9) 、非線形長波モデルに比べ実験結果を良好に再現することを確認した (図 1.10) 。また、次節で詳細を述べるが、定常流実験の再現計算では、隅角部における水位上昇は見られなかった。

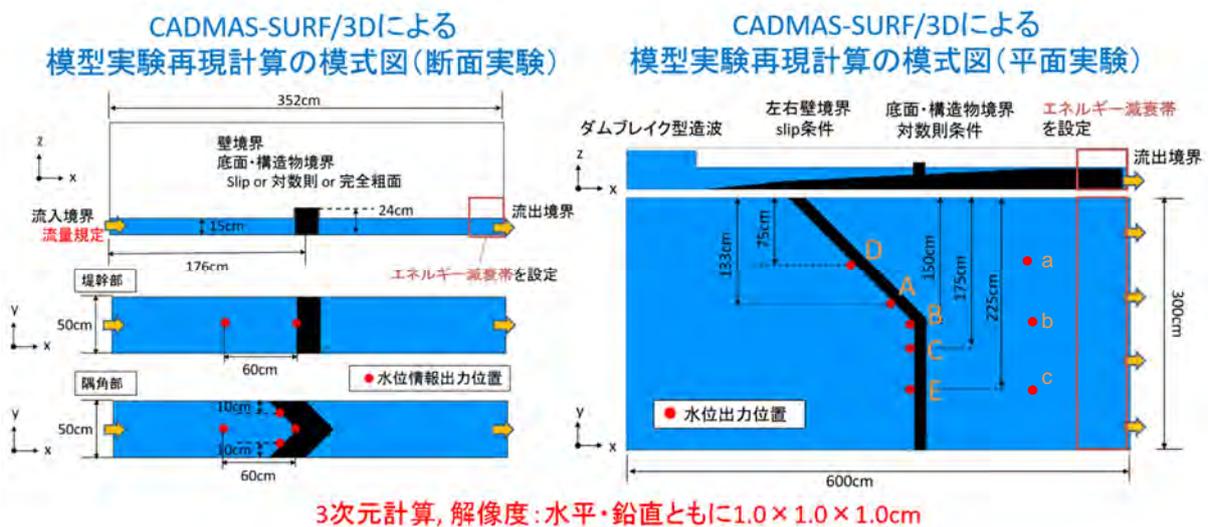


図 1.8 CS3D による再現計算の模式図

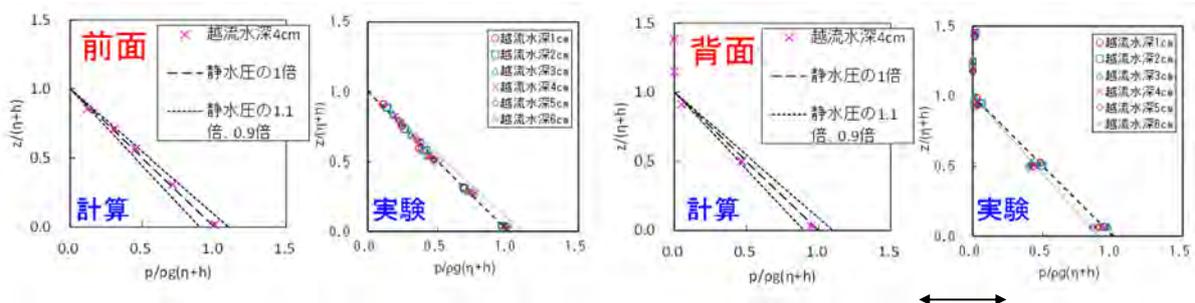


図 1.9 隅角部における波圧の比較 (平成 28 年度実験)

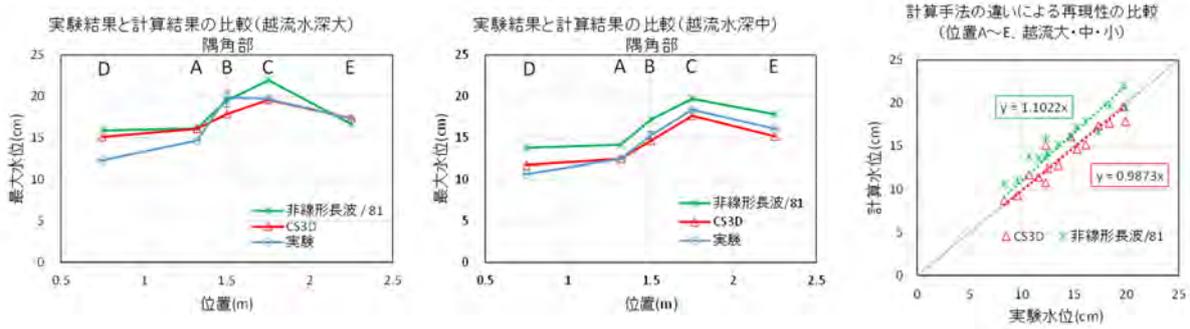


図 1. 10 隅角部の堤体前面水位の比較  
(平成 29 年度実験；アルファベットは図 1. 8 内のものに対応)

b) 他の数値計算手法 (CADMAS-SURF/3D) による水理模型実験の実験補間計算

CS3D は非線形長波モデルに比べ実験結果を良好に再現することを確認したうえで、水理模型実験の補間計算を実施した。実験ケースは下記の 2 ケースとした。CS3D による数値計算模式図を図 1. 11 に示す。

(ア) 正弦波：片周期 12.5 秒 (現地換算 112.5 秒) を隅角部 (135°) に与える

(イ) 平成 29 年度平面実験と同様の計算領域で定常流を隅角部 (90°) に与える

計算結果を図 1. 12 に示す。(ア)、(イ)ともに隅角部での水位上昇は見られなかった。平成 28 年度断面実験の再現でも隅角部における水位上昇は見られなかった。また、CS3D によって断面隅角部 (図 1. 8 左下図) を対象に解像度や境界条件を変化させて感度実験も重ねてみたが、隅角部での顕著な水位上昇はみられなかった。既往文献<sup>3)4)</sup>、実験映像や数値計算での流速の水平分布を調べた結果、隅角部で越流した流れの向きが堤体に直交する方向に変化し、その結果隅角部に水位が収斂しないことが示唆された (図 1. 13)。本検討では図 1. 13 等に示すように現地換算で地盤からの津波高 20~24m、越流水深 8~12m 程度の津波流れを想定した実験を実施したが、そのような規模を伴う長周期性の津波に対して、隅角部における収斂および水位上昇は発生しないことが示唆される。

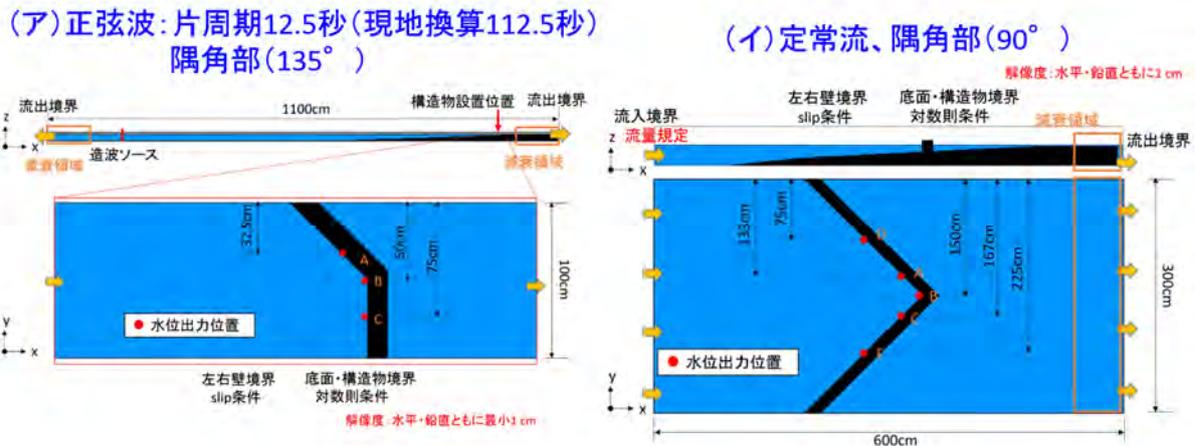


図 1. 11 CS3D による数値計算模式図 (実験外ケース)

(ア) 正弦波：片周期12.5秒（現地換算112.5秒） 断面隅角部（135°）  
 (イ) 定常流、平面隅角部（90°）

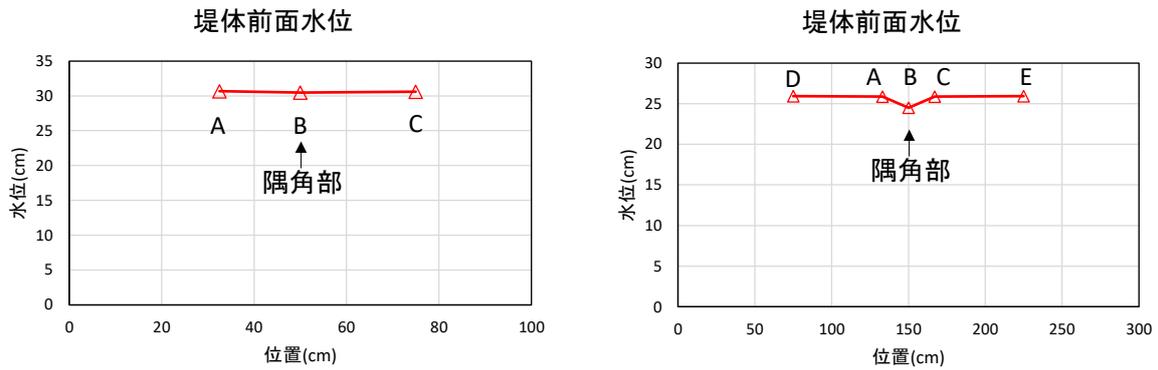


図 1. 12 実験外ケース計算での堤体前面における水位  
 （アルファベットは図 1. 11 内のものに対応）

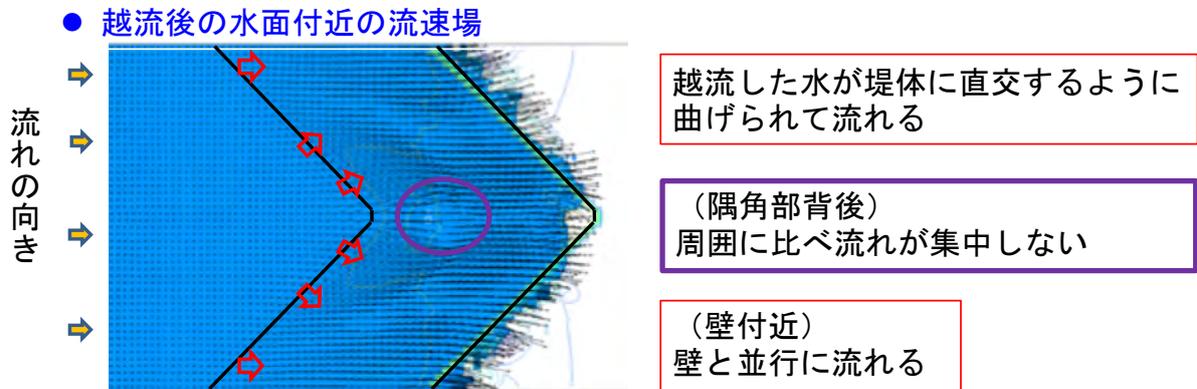


図 1. 13 CS3D 計算から得られた隅角部周辺の越流後の水面流速場の例

### c) 非線形長波モデルの活用方法について

非線形長波モデルの特性を把握するため、平成 28 年度および平成 29 年度実験の再現計算結果と実験結果を比較する。平成 28 年度実験の再現計算について図 1. 14～図 1. 16 に示し、平成 29 年度実験の再現計算について図 1. 17～図 1. 19 に示す。なお再現計算結果について、比較として CS3D で計算した結果も併せて示す。

平成 28 年度計算結果から、隅角部、堤頭部直入射および堤頭部斜め入射の各ケースにおいて、堤体前面水位の再現性は良好であった。一方、堤体背後水位については過少に計算され、前面水位に比べ精度が落ちる傾向にあった。

平成 29 年度計算結果から、隅角部、堤頭部直入射および堤頭部斜め入射の各ケースにおいて、堤体前面水位の再現性は CS3D には劣るが水位上昇箇所等概ね再現できていた。堤体背後水位については、堤体に作用する波圧が最大となる時間の最低水位を比較しているが、再現性は良好であった。

以上から、非線形長波モデルは背後水位の再現精度が高精度モデルより劣る場合があるが、設計条件となる水位を決定する際には設計上危険側にはならないことから、現在一般的に用いられる非線形長波モデルにより設計水位を設定してもよいものと考ええる。

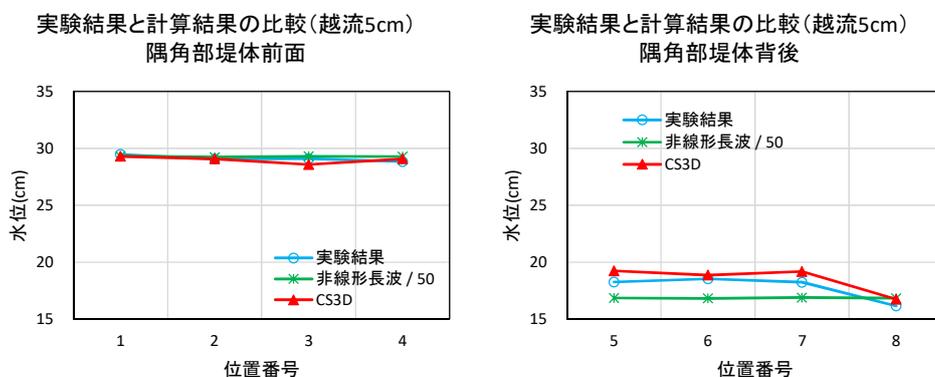
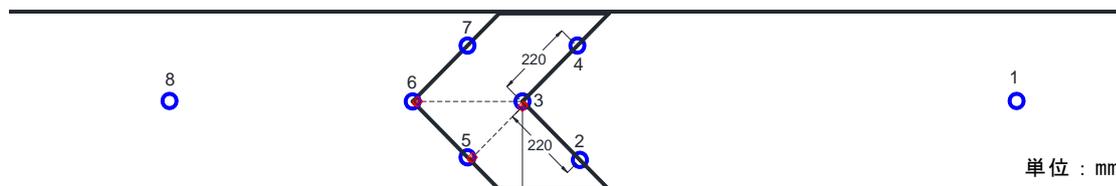
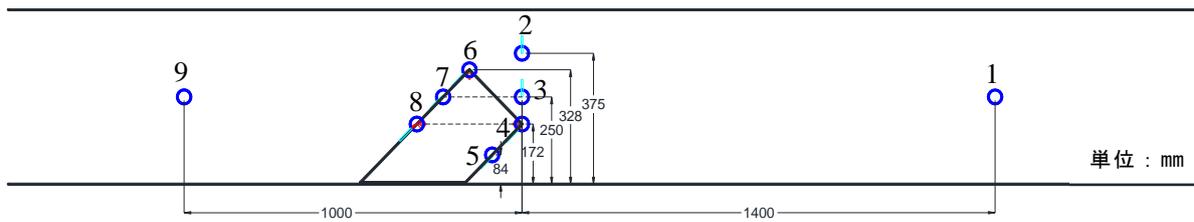
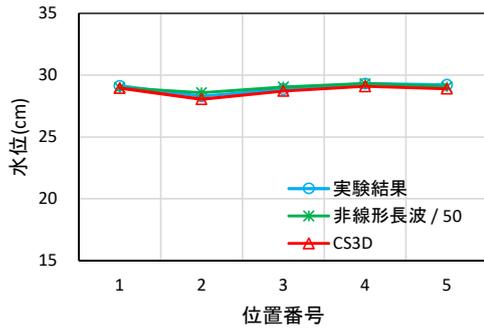


図 1. 14 隅角部における水位の計算結果と実験結果 (平成 28 年度実験)



単位：mm

実験結果と計算結果の比較(越流5cm)  
堤頭部斜め入射堤体前面



実験結果と計算結果の比較(越流5cm)  
堤頭部斜め入射堤体背後

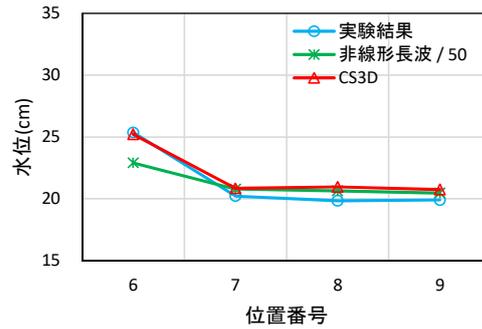
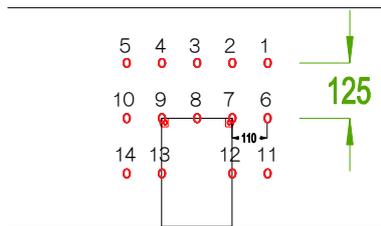
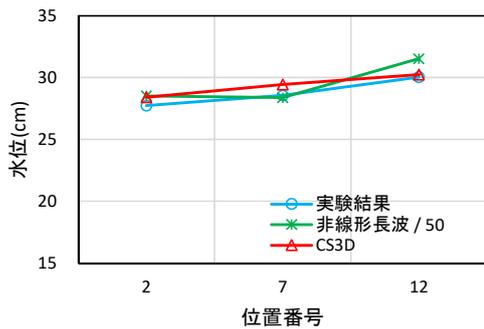


図 1. 15 堤頭部斜め入射における計算結果と実験結果 (平成 28 年度実験)



実験結果と計算結果の比較(越流5cm)  
堤頭部直入射堤体前面



実験結果と計算結果の比較(越流5cm)  
堤頭部直入射堤体背後

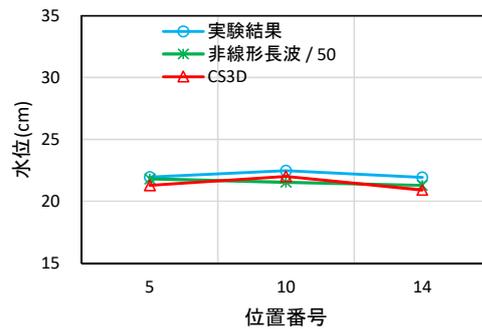


図 1. 16 堤頭部直入射における計算結果と実験結果 (平成 28 年度実験)

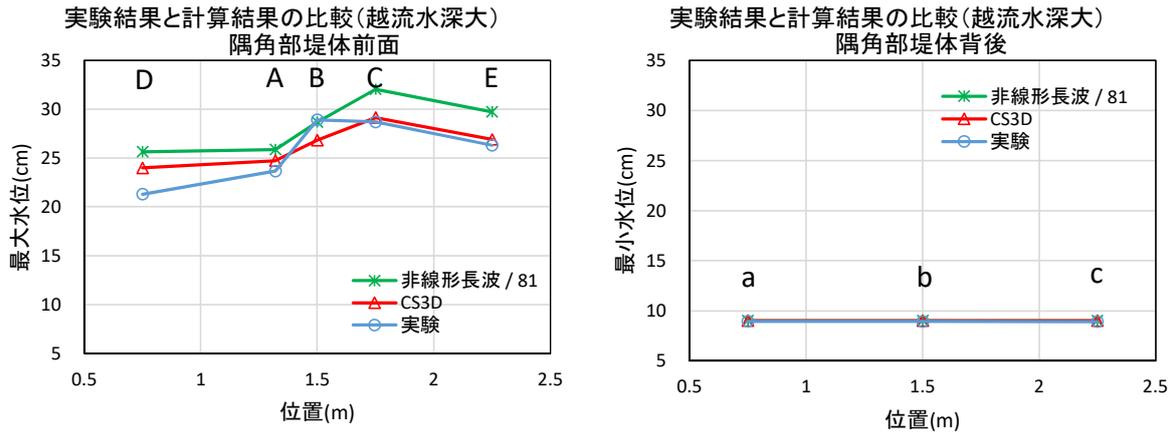


図 1. 17 隅角部における水位の計算結果と実験結果  
(平成 29 年度実験 ; アルファベットは図 1. 8 内のものに対応)

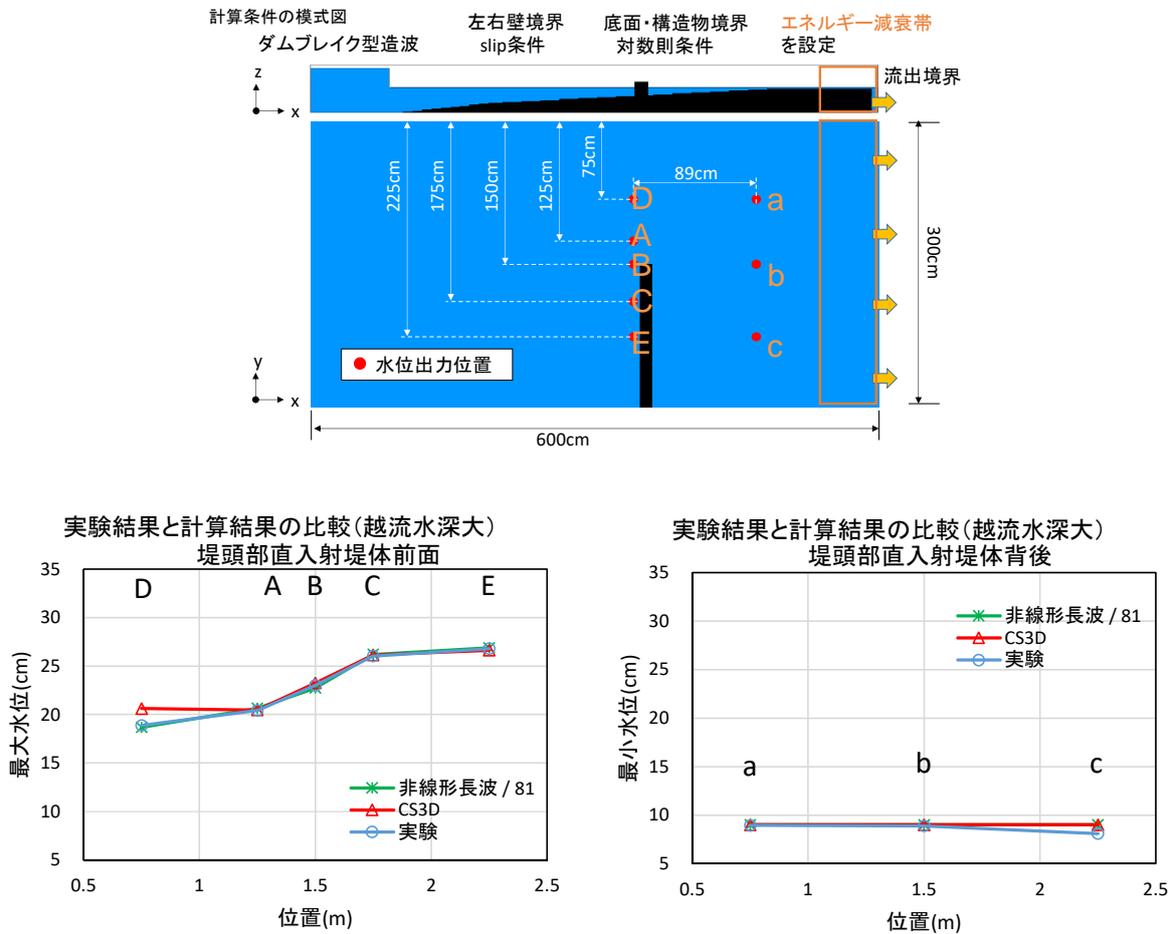


図 1. 18 堤頭部直入射における水位の計算結果と実験結果  
(平成 29 年度実験)

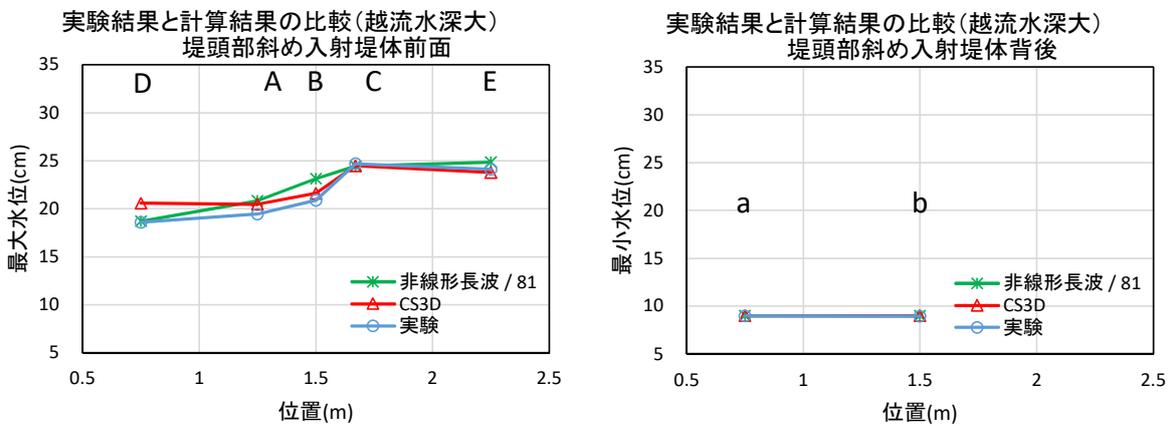
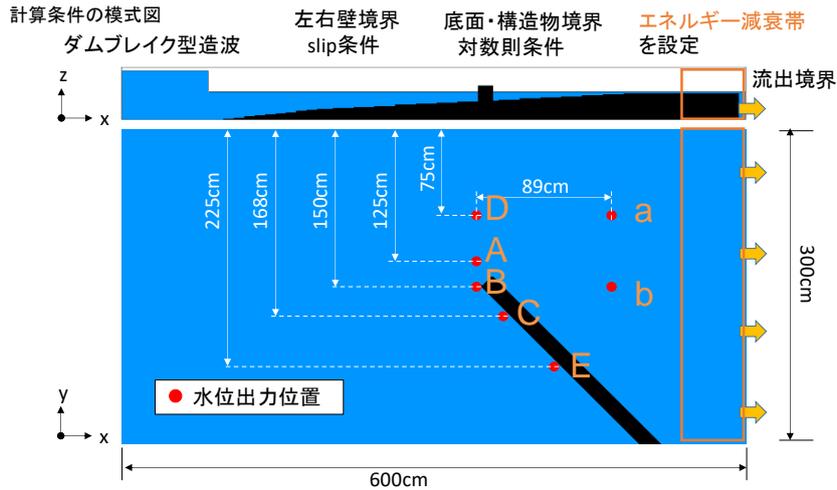


図 1. 19 堤頭部斜め入射における水位の計算結果と実験結果（平成 29 年度実験）

### (3) 堤頭部・隅角部等における津波波力評価手法に関する提案

#### a) 防波堤各部位における静水圧補正係数について

隅角部においては、断面実験・平面実験ともに静水圧補正係数が前面で 1.0~1.1、背面で 0.9~1.0 程度となっており、現行の堤幹部（直入射）の静水圧補正係数（前面：1.1、背面：0.9）を使用して良いものと考えられる。

堤頭部（直入射）においては、断面実験・平面実験ともに静水圧補正係数が前面で 0.8~0.9、背面で 0.9~1.0 程度となっており、前面で波圧の低減が見られる。これは堤体に沿った流れによる剥離の影響によるものと推察される。堤頭部（直入射）において、現行の堤幹部（直入射）の静水圧補正係数を使用しても設計上危険にはならないことから、実務上の観点も含め、現行の静水圧補正係数を使用して良いものとする。

堤頭部（斜め入射）においては、静水圧補正係数が前面で 1.0 前後、背面で 0.8~1.0 程度となり、越流水深の大きいケースで背面波圧の低減が見られる。背面で最も危険側の 0.8 の場合、現行の 0.9 を下回るが、前面で 1.0 とすると、合力としては現行の前面 1.1、背面 0.9 とした波力を大きく上回ることはないと考えられる。以上から、堤頭部（斜め入射）においても現行の静水圧補正係数を使用して良いものとする。

## b) 防波堤各部位における水位上昇について

隅角部においては、段波による平面実験では堤幹部（直入射）に対して最大 1.1 倍程度の水位上昇が見られた。設計において標準的に用いられている非線形長波理論に基づく津波伝搬シミュレーションでも、若干過大ではあるが隅角部の水位上昇を安全側に再現することが可能であったため、計算条件について十分検討した上で、非線形長波モデルによる計算結果を用いて設計水位を設定してもよいものとする。

なお、提案当初は隅角部での水位上昇を割増係数などを用いて表現し、その妥当性や影響を事例解析等により検証する予定だった。しかし、上述の通り非線形長波モデルで設計水位を設定可能と見込まれることとなったため、事例解析を実施する意義が小さくなった。以上の理由より、当該項目については水産庁担当者と協議の結果、行わないこととした。

## (4) 検討部会の実施

本業務の実施にあたっては、専門分野の知見を有する学識経験者を委員とする調査検討委員会を設け、2 回実施し、指導・助言を得ながら業務のとりまとめを行った。小課題（1）～（4）は合同で検討委員会を実施した。

委員は、専門を津波、海岸工学とする各有識者とした。

- ・岡安 章夫：東京海洋大学学術研究院 海洋資源エネルギー学部門 教授
- ・田島 芳満：東京大学大学院 工学系研究科社会基盤学専攻 教授
- ・八木 宏：防衛大学校 システム工学群建設環境工学科 教授
- ・今井健太郎：海洋研究開発機構地震津波海域観測研究開発センター 技術研究員

### 第 1 回委員会

日 時：平成 30 年 11 月 20 日(火)13:30～15:30

場 所：エッサム神田ホール 1 号館 9 階会議室 (902)

主な議事内容

- ・検討計画の妥当性、留意点について

### 第 2 回委員会

日 時：平成 31 年 3 月 1 日(金)9:30～12:00

場 所：エッサム神田ホール 7 階大会議室 (701)

主な議事内容

- ・主な議事内容堤頭部や隅角部での静水圧補正係数についての考え方は適切か
- ・隅角部での水位上昇についての考え方は適切か
- ・非線形長波モデルの使用についての考え方は適切か

成果取りまとめに向けて、検討委員会やその事前説明で得られた主な意見とそれらへの対応方針は以下の通りである。

### ・非線形長波モデルの活用について

(意見) 設計に際して、どのような非線形長波モデル計算でも高パフォーマンスが期待できるとは必ずしも言えないと思われる。今回の検討での計算でも、越流や境界条件の扱い、初期条件、地形条件、解像度などについて様々な処置、工夫がなされているはず。設計への適用に関しては、「十分に検討を重

ねた上で、非線形長波モデルで水位を見積もることもできる」などの慎重なスタンスが必要ではないか。

また、震災後の検討では、格子間隔は「5m 以下」が望ましいとしていた。堤体を少なくとも 2～3 メッシュで表現できる間隔が望ましいのではないか。

(対応) 頂いた指摘の通り、構造物周辺での境界条件等の計算条件によって結果が大きく左右される可能性がある。このため、非線形長波モデルを使用する上での留意点として、本報告書の摘要部分の記述に「十分な検討の上で使用することができるものとする」旨を記載した。また、今後の技術書等に、計算の格子間隔が構造物を十分表現できるように適切に設定する旨を反映、記述することを検討する。

#### ・本検討で対象とした津波について

(意見) 本検討での平面実験のそもそもの目的は、段波津波を検討対象としたことなのか、それとも他の理由だったのか。段波で衝撃波圧が発生するケースもあるが、今回は発生しなかったのか？

(対応) 平面実験の主目的は壁面の影響を軽減することで、装置の特性上段波を対象とした検討を行なった。これまでの実験内容の解析結果を確認したところ、衝撃波圧は発生していない。今後の留意点として、今回の検討（水工研式）は越流時の波力評価手法であり、段波来襲に伴うような衝撃波圧は同式の対象外である点、また、その衝撃波圧の評価方法として、現在「漁港・漁場の施設の設計参考図書 2015 年版」<sup>1)</sup>では、越流前の谷本式の使用が提案されている点があげられる。

#### ・隅角部・堤頭部での被災要因について

(意見) 現地調査で隅角部や堤頭部で被災が多かったというのはどういう解釈をすればよいか。基礎の洗堀等、他の被災要因については今後検討するか？

(対応) 今回の検討結果から、越流時の波力が隅角部や堤頭部での被災の主要因ではないことが示されたと考えている。被災要因については、越流前の水塊の集中、洗堀などが考えられるが、必要に応じて、小課題 3（被覆材の安定質量）とあわせて総合的に検討する。

## VI. 摘要

構造物の隅角部及び端部等、構造上弱点となりやすいと考えられる箇所における波圧の評価手法の確立に向けて、本調査は、平成 27～29 年度の水産基盤整備調査委託事業「漁港・漁場の施設の設計手法の高度化検討調査」において課題として残された項目について取り組んだ。その内容と得られた成果は以下の通りである。

### (1) 水理模型実験結果の精査

平成 29 年度までに実施した断面・平面実験結果のうち、段波による平面実験で、断面実験とは異なり、基本的な堤幹部においても静水圧補正係数が 1 を下回るケー

スが多く見られた。前年度までの有識者からの意見では、このことについて、実験結果のさらなる精査や解釈の必要性が指摘されていたことから、平面実験の結果の精査と原因の考察を行った。その結果、今回の実験条件による段波の場合は、水塊が防波堤前でせり上がり、その後鉛直上向き速度が低下することにより計測波圧が静水圧を下回ることが示唆された。

得られた知見の設計実務等への適用の観点では、波圧合力最大時の静水圧補正係数が1以下の場合、現行の水工研式（静水圧補正係数1.1）を採用するならば危険側の設計とはならないことから、実用の観点も勘案すると、現行の静水圧補正係数を採用して良いものと考えられる。

## (2) 非線形長波式による津波解析結果の精査と他の計算手法による検討

前年度までの有識者からの意見では、数値計算では様々な津波周期や形状で検討することが可能であるが、漁港施設の設計業務で一般的に使用されている非線形長波式を用いた際に実験結果の再現が必ずしも十分でないことが問題点として指摘されていた。そこで、他の計算手法により再現性の向上が可能であれば、非線形長波式による結果を補正することにより有用に活用することができると考え、3次元数値波動水槽 CS3D を用いて水理模型実験の再現計算を実施した。計算の結果、非線形長波モデルに比べ CS3D の方が良好に実験結果を再現可能であることを確認した。

CS3D を用いた再現計算および補完計算の結果、定常流や周期の長い津波に対して隅角部における収斂および水位上昇は発生しないことが示唆された。

非線形長波モデル、CS3D および実験結果の比較の結果、非線形長波モデルは背後水位の再現精度が CS3D より劣る場合があるが、設計に用いる場合には設計上危険にはならないことから、現行の設計方法により水位を設定してよいものとする。

## (3) 堤頭部・隅角部等における津波波力評価手法に関する提案

(1)(2)で得られた結果を踏まえ、堤頭部・隅角部等における津波波力評価手法の修正・提案について検討した。静水圧補正係数については、堤頭部・隅角部においても現行の堤幹部（直入射）の静水圧補正係数（前面：1.1、背面：0.9）を使用し、良いものと考えられた。

隅角部においては、水位の収斂による上昇がみられる場合があるが、設計において標準的に用いられている非線形長波理論に基づく津波伝搬シミュレーションでも、隅角部の水位上昇が概ね再現可能であるため、計算条件について十分検討した上で、非線形長波モデルによる計算結果を用いて設計水位を設定してもよいものとする。

## Ⅶ. 引用文献

- 1) 水産庁、2016：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.
- 2) 森岡純平・下園武範・門安曇・不動雅之・田島芳満、2018：津波越流時に防波堤各部に作用する波力特性に関する実験的研究、土木学会論文集 B2 (海岸工学)、Vol.74、No.2、I\_271-I\_276.
- 3) 福岡捷二・三代俊一・荒谷昌志・中須賀淳・岡田将治・田中正敏、2001：堰の位置

及び構造の違いによる堰上流、下流の可動水量の変化，水工学論文集，45 卷，pp.397-402.

- 4) 河原能久・松下健一郎、2004：複断面開水路に設置された斜め堰周辺の流れの可視化，可視化情報学会誌，24 卷，2 号， pp.173-174.

# 平成 30 年度水産基盤整備調査委託事業報告書

## I. 課題名

「漁港漁場施設の設計手法の高度化検討調査」のうち  
(2) 粘り強い構造に係る性能評価手法、設計方法の検討

## II. 実施機関及び担当者名

国立研究開発法人水産研究・教育機構	水産工学研究所
水産土木工学部水産基盤グループ	
主幹研究員	三上信雄
グループ長	大村智宏
主任研究員	佐伯公康
主任研究員	井上誠章
研究員	古市尚基
一般財団法人漁港漁場漁村総合研究所	
第1調査研究部 部長	高原裕一
第1調査研究部 次長	林 浩志
第1調査研究部 上級研究員	加藤広之
株式会社アルファ水工コンサルタンツ	
東京本社 技術顧問	中山哲厳
東京本社 執行役員	佐藤勝弘
東京本社 技術部チームリーダー	平井豊規
東京本社 技術部主任	遠藤次郎
東京本社 技術部主任	千原美季
東京本社 技術部技師	野地雅貴
国際気象海洋株式会社	
常務執行役員	門 安曇
銚子グループ グループリーダー	小林 学
建設コンサルグループ プロジェクトマネージャー	細野益男
建設コンサルグループ 技師	橋野公一

## III. ねらい

設計津波（通常、発生頻度の高い津波）を超える規模の津波に対しても簡単には倒壊させず、施設の修復性や安全性を確保するための設計法（粘り強い構造）については、「平成 23 年東日本大震災を踏まえた漁港施設の地震・津波対策の基本的な考え方 平成 25 年 水産庁漁港漁場整備部整備課長通知」<sup>1)</sup>により、一定の具体的な対策工（いわゆる「腹付工の付加」）は提案されているものの、その他の対策工については、効果の評価方法を含めて不明な部分が多い。

平成 27～29 年度の水産基盤整備調査委託事業「漁港・漁場の施設の設計手法の高度

化検討調査」の調査において、技術的課題のうち上部工パラペット構造の工夫について着目し、長水路や定常流水路、長周期津波水路を用いた水理模型実験や数値波動水路による検討を行った結果、パラペットの設置により被覆ブロックの安定性が高まり、パラペット幅 ( $B_p$ ) と堤体幅 ( $B_c$ ) の比が 0.3 以上のとき、かつ被覆ブロック上水深 ( $d$ ) と天端高 ( $H+H_p-d$ ;  $H$ :被覆ブロック上の堤体高、 $H_p$ :パラペット高さ) の比が 0.5 以上のとき、越流水深で 15%程度の増加に耐える効果があることが示された。しかしながら検討を進める中で、パラペットの存在に伴うメリット・デメリットの整理の必要、安定性の変動に係る多数のパラメータの影響の整理に関してなど、有用手法構築に向けて一部課題が残された。

本調査では、上述の内容をふまえ、以下の検討・取りまとめを行う。

- ・水理模型実験、数値計算等による検討

平成29年度までに実施した上部工パラペット構造の工夫による水理模型実験（定常流水路・津波水路）、及び数値計算等による津波解析結果の精査を行い、上部パラペット構造の工夫による基礎マウンドの減災効果を検証する。また、構造物諸元や前面・背面水位、落水位置等の条件による有効性の整理を行う。

また、アスファルトマット等の他の対策工法を調査・整理し、有効性の検討や課題の抽出を行う。

#### IV. 方法

##### (1) 上部工パラペット構造の工夫

平成29年度までに実施した上部工パラペット構造の工夫による水理模型実験（定常流水路・津波水路）、及び数値計算等による津波解析結果の精査を行い、上部パラペット構造の工夫による減災効果を検証する。具体的には、構造物諸元や前面・背面水位、落水位置等の様々な条件による有効性や留意点、課題の整理・抽出を行う。

##### (2) その他の対策工法の調査・整理

アスファルトマット等の他の対策工法を調査・整理し、有効性の検討や課題の抽出を行う。

##### (3) とりまとめ

設計の際の考え方を整理し、設計手法への反映を念頭に置いたとりまとめを行う。

##### (4) 検討部会の実施

本業務の実施にあたって、専門分野の知見を有する学識経験者を委員とする調査検討委員会を設け、2回実施し、指導・助言を得ながら業務のとりまとめを行う。

#### V. 結果・考察

##### (1) 上部工パラペット構造の工夫

###### a) 水理模型実験結果の精査

平成29年度までの取り組みでは、上部パラペットの形状を変化させた断面について、定常流および津波回流実験装置による長周期津波により被覆ブロックの安定実験を行い、形状の工夫による効果を検証した。

背後マウンドの被覆ブロックの安定性については、三井ら<sup>2)</sup>が提案した次式の安定

数  $N$  を用いて、パラペット無し、およびパラペット付防波堤の実験結果を整理した。

$$N = \frac{h_1}{(S_r - 1)D_n} \quad (1)$$

ここで、 $h_1$ ：天端上の越流水深、 $S_r$ ：ブロックの比重、 $D_n$ ：ブロック代表長さ（＝ブロック体積  $V$  の3乗根）である。

パラペット幅と堤体幅の比 ( $B_p/B_c$ ) と被覆ブロック上水深と天端高の比 ( $d/(H+H_p-d)$ ) をパラメータとして (図 2. 1)、パラペット無しに対する被災限界の安定数の比を整理した結果を表 2. 1 に示す。安定数の比が 1.15 以上となるケースを緑枠で示した。「堤体幅とパラペット幅の比 ( $B_p/B_c$ )」が 0.3 以上、かつ「被覆ブロック上背後水深と天端高との比 ( $d/(H+H_p-d)$ )」が 0.5 以上のとき、方塊型・有孔型の被覆ブロックともに安定数はパラペット無しに対して 15% 以上増加しており、このことはパラペットの設置により越流水深として 15% 程度の増加に耐えられる効果があることを示している。

しかしながら、背後水深が小さいときに安定数比が小さくなってしまう場合も確認された (赤枠)。また他のパラメータ (パラペット高さ、落水位置等) による整理や、背後の物理現象の把握、パラペット設置によるメリット・デメリットの整理などが課題として挙げられた。

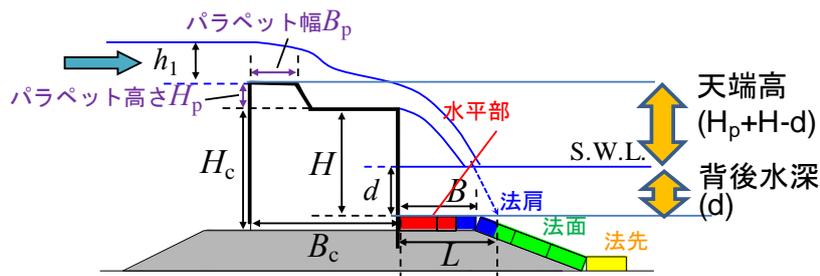


図 2. 1 防波堤各諸元の定義

表 2. 1 パラペット無しに対する被災限界の安定数の比 (パラペット幅)  
(a) 方塊型ブロック

パラペット幅	$d/(H+H_p-d) < 0.5$	$0.5 \leq d/(H+H_p-d) < 1.5$	$d/(H+H_p-d) \geq 1.5$
パラペット無し	1.00	1.00	1.00
$B_p/B_c=0.09$ (幅小)	1.04~1.13(1.08)	0.99~1.56(1.26)	1.10~1.64(1.35)
$B_p/B_c=0.32$ (幅中)	1.14~1.25(1.19)	1.15~1.66(1.33)	1.28~1.95(1.62)
$B_p/B_c=0.64$ (幅大)	1.09~1.43(1.26)	1.16~1.52(1.33)	1.24~1.42(1.36)

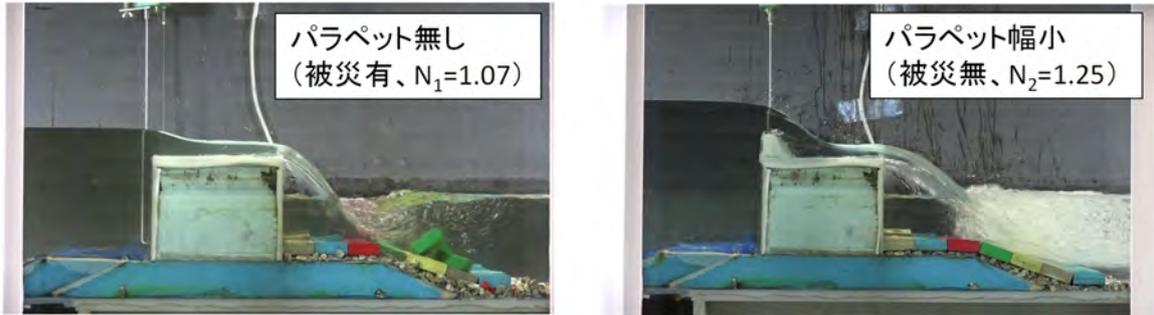
※最低値～最高値 (平均値)

(b) 有孔型ブロック

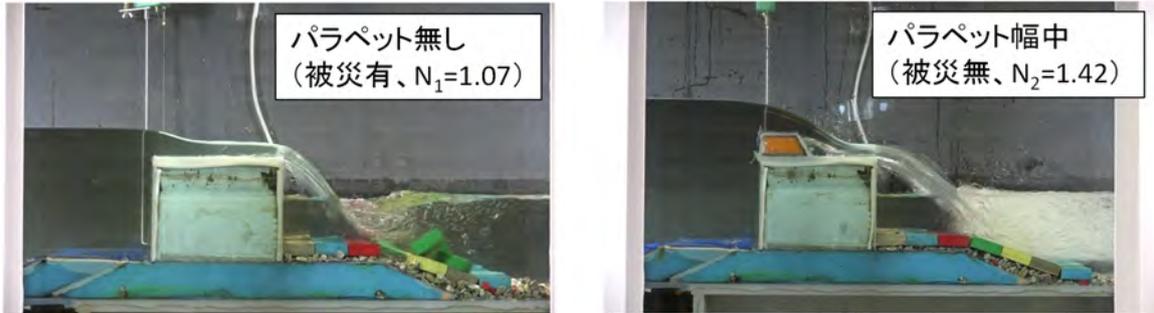
パラペット幅	$d/(H+H_p-d) < 0.5$	$0.5 \leq d/(H+H_p-d) < 1.5$	$d/(H+H_p-d) \geq 1.5$
パラペット無し	1.00	1.00	1.00
$B_p/B_c=0.09$ (幅小)	0.84~0.89(0.86)	1.15~1.56(1.36)	1.13~1.29(1.19)
$B_p/B_c=0.32$ (幅中)	0.97~1.15(1.06)	1.37~1.77(1.55)	1.21~1.34(1.29)
$B_p/B_c=0.64$ (幅大)	0.90~0.95(0.93)	1.18~1.61(1.39)	1.17~1.22(1.19)

※最低値～最高値 (平均値)





(a) 背後水深：高、被災限界の安定数の比：1.15



(b) 背後水深：高、被災限界の安定数の比：1.37

図 2. 2 パラペットにより安定となった例（津波回流実験装置、有孔型）



(a) 背後水深：中、被災限界の安定数の比：0.84



(b) 背後水深：低、被災限界の安定数の比：0.89

図 2. 3 パラペットにより不安定となった例（津波回流実験装置、有孔型）

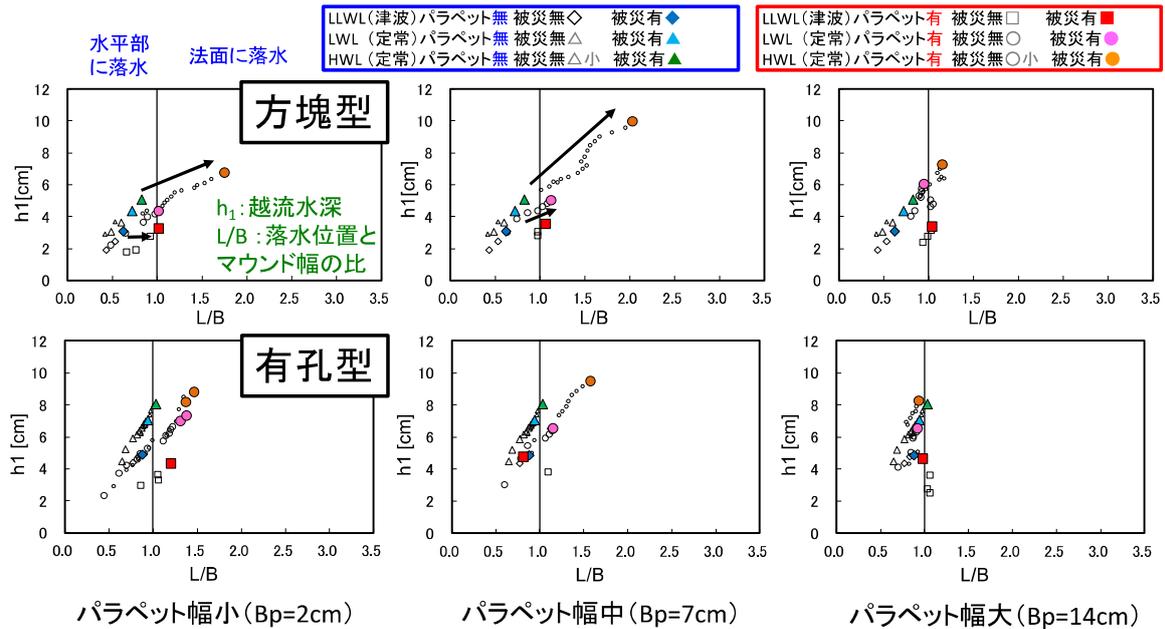


図 2. 4 パラペットの幅・ブロック形状毎の落水位置 (L/B) および越流水深 ( $h_1$ ) (パラペット高さ  $H_p = 4$  cm)

図 2.4 に各パラペット幅・ブロック形状についての落水位置 (L/B ; L は落水位置の堤体からの距離、B は背後マウンド幅) および越流水深 ( $h_1$ ) の分類結果の例を示す。ここで、寒色系のシンボルはパラペットがない場合の被災時の結果、暖色系のシンボルはパラペットがある場合の被災時の結果を示しており、さらに背後水深によってもシンボルを変化させた (LLWL : 超低水位, LWL : 低水位, HWL : 高水位)。図 2.4 内の矢印で示されるように、パラペットがない場合に比べてパラペットが付加されているケースで落水位置が背後に移動 (L/B 増加) していることがわかる。さらに、被災時の越流水深 ( $h_1$ ) が顕著に増大するとき、落水が方面側に大幅に移動している (L/B > 1.5) 場合が多いこと、さらには青四角と赤四角のシンボルの位置を比較することで、背後水深が小さい場合にはパラペット付でも法肩付近で被災が発生したケースが多い様子が伺える。これらの結果は、上述した図 2.2、図 2.3 の内容と整合する。

図 2.5 に各パラペット幅についての被災開始までの時間、被災時の越流水深および津波高の分布を示す。ここで、被災開始までの時間は各実験ケースでの越流開始からブロックが移動するまでの時間、津波高さは静水面からの高さとした。パラペット無しのケースに比べて、パラペットを付加することで被災までの越流水深 (または津波高さ) が増大する、もしくは被災までの時間が増加する (換言すれば被災までの時間が顕著に短くなること) があることを確認できる。

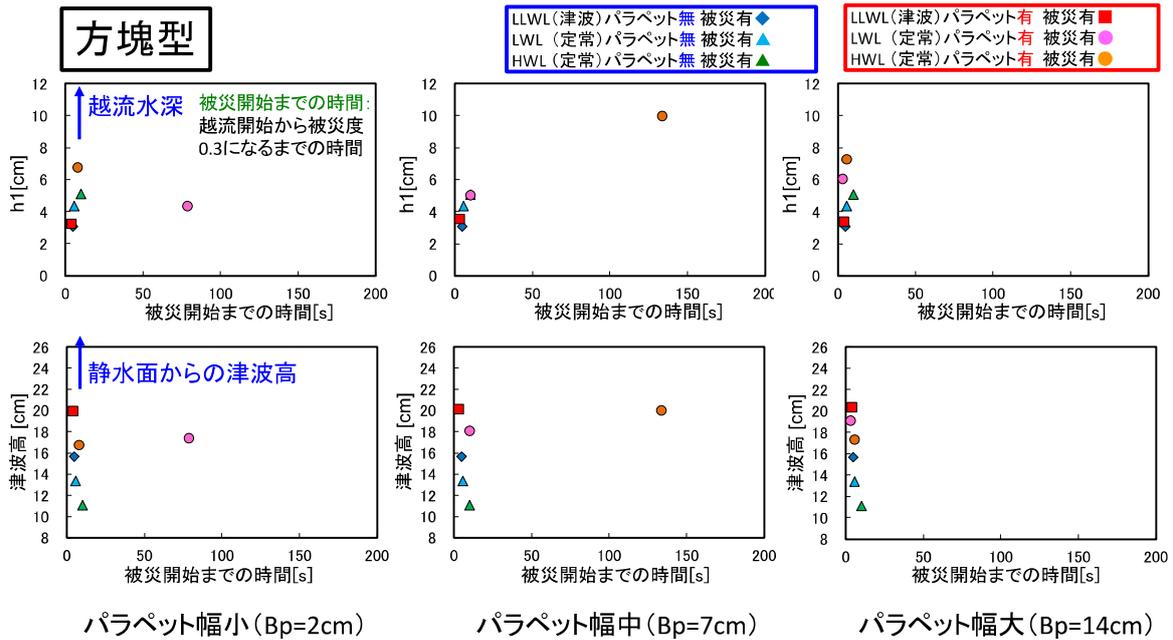


図 2. 5 パラペットの幅毎の被災開始までの時間、被災時の越流水深 ( $h_1$ ) および津波高の分布 ( $h_1+H_p+H-d$ ) (パラペット高さ  $H_p = 4$  cm)

#### b) 実在の漁港諸元による整理

これまで実験結果の整理に基づく検討を行ったが、本節ではパラペット付防波堤について実在する設計事例を収集し、諸元の整理を行った。事例収集対象は東北 3 県（岩手県・宮城県・福島県）の県管理漁港とした。収集した事例数を表 2. 3 に示す。整理した要素はパラペット高さ、パラペット幅、法勾配、天端高、堤体幅、背後水深、マウンド幅である。調査方法としては、漁港台帳、標準断面図等からパラペット付防波堤について抜粋し、読み取り整理を行った。

東北 3 県の全事例について、パラペット幅と堤体幅の比 ( $B_p/B_c$ )、パラペット高さ と堤体幅の比 ( $H_p/B_c$ )、背後水深と天端高の比 ( $d/(H+H_p-d)$ ) による施設数の分布を図 2. 6～図 2. 8 に、各パラメータの頻度 (%) を表 2. 4、表 2. 5 に示す。パラペットの付加により安定化傾向となる背後水深が大きいケース（緑枠）は全体の 80% 程度存在することが分かる。

表 2. 3 収集事例一覧

都道府県	県管理漁港数	事例収集漁港数	パラペット付防波堤あり	パラペット付防波堤施設数
岩手県	31 漁港	31 漁港	29 漁港	298 施設
宮城県	27 漁港	27 漁港	24 漁港	189 施設
福島県	10 漁港	10 漁港	9 漁港	97 施設

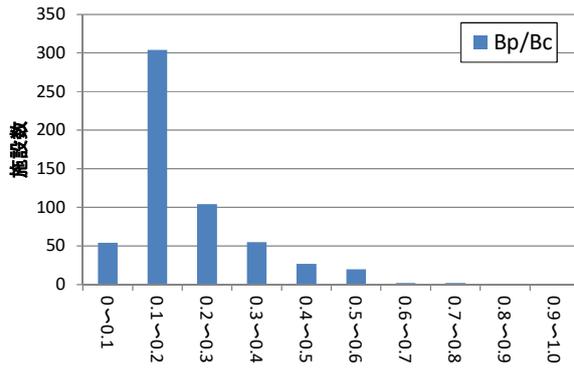


図 2. 6 パラペット幅と堤体幅の比 ( $B_p / B_c$ )

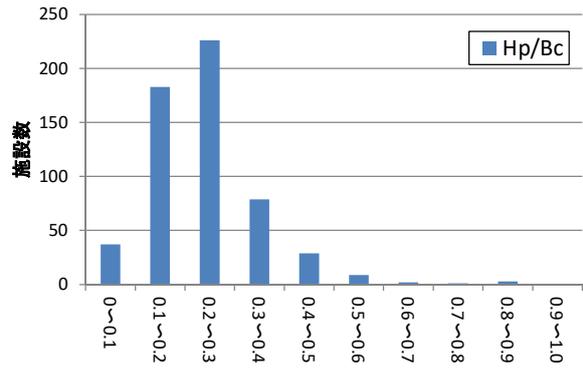


図 2. 7 パラペット高さや堤体幅の比 ( $H_p / B_c$ )

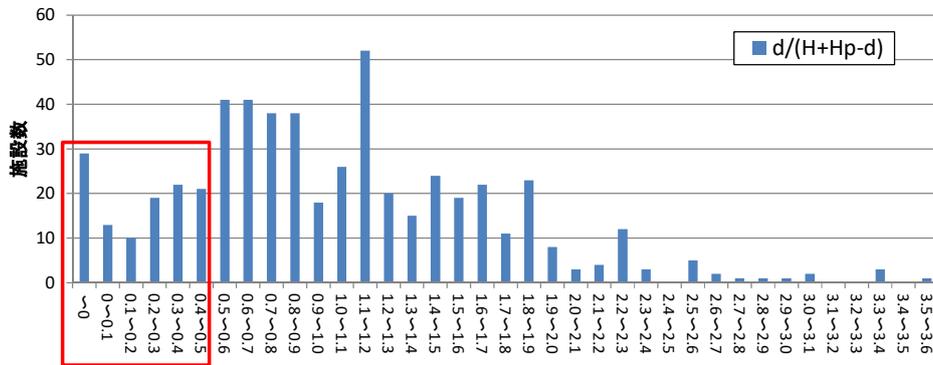


図 2. 8 背後水深と天端高の比 ( $d / (H + H_p - d)$ )

表 2. 4 パラペット幅と堤体幅の比 ( $B_p / B_c$ )、背後水深と天端高の比 ( $d / (H + H_p - d)$ ) による頻度

$B_p / B_c$	$d / (H + H_p - d) < 0.5$	$0.5 \leq d / (H + H_p - d) < 1.5$	$d / (H + H_p - d) \geq 1.5$	計
~0.2	10.4%	38.7%	13.3%	62.4%
0.2~0.4	6.0%	14.6%	7.5%	28.1%
0.4~	4.4%	3.8%	1.3%	9.5%
計	20.8%	57.1%	22.1%	100.0%

表 2. 5 パラペット高さや堤体幅の比 ( $H_p / B_c$ )、背後水深と天端高の比 ( $d / (H + H_p - d)$ ) による頻度

$H_p / B_c$	$d / (H + H_p - d) < 0.5$	$0.5 \leq d / (H + H_p - d) < 1.5$	$d / (H + H_p - d) \geq 1.5$	計
~0.15	4.6%	13.7%	5.3%	23.5%
0.15~0.3	8.6%	31.8%	15.3%	55.7%
0.3~	7.7%	11.7%	1.5%	20.8%
計	20.8%	57.1%	22.1%	100.0%

## (2) その他の対策工法の調査・整理

洗掘対策としてパラペット構造の工夫との組み合わせの可能性がある他手法の調査・整理を行い、漁港施設への適用性検討・課題の抽出を文献調査等により行った。

その他の対策工法として、洗掘防止マットに着目し、既往研究のレビューを行った。

例えば、有川ら<sup>3)</sup>は防波堤腹付部の捨石と被覆材の間に洗掘防止工としてアスファルトマットを入れたものと入れないもので水理実験を行った結果、アスファルトマットを設置すると腹付工の消失、防波堤の倒壊が遅くなることを確認した。また、有川ら<sup>4)</sup>による別の断面による実験では、アスファルトマットにより越流による洗掘が抑制され、被害が抑制されることを確認している。ただしブロックが飛散した後は、長時間続くとアスファルトマットが破損し、洗掘が発生した。

喜多ら<sup>5)</sup>は腹付工に洗掘防止マットを付加した水理実験のほか、引張試験、付着強度試験を実施し、マットに働く引張応力の算定方法を提案している。また、マットの付着により被覆ブロックの安定性が増大し、ブロックの質量を小さくできることを示唆した。田上ら<sup>6)</sup>も水理実験によりアスファルトマットによるブロックの安定性向上の効果をj確認している。

摩擦増大用アスファルトマットについては、岸田ら<sup>7)</sup>がケーソン底版と補強ブロック下にアスファルトマットを敷設し水理実験をした結果、アスファルトマットを敷設した場合にケーソンの滑動が遅くなり、滑動時の津波高が大きくなることを確認した。

これらのことから、洗掘防止マットの存在によって、漁港施設の粘り強さが向上することが期待できる。

### (3) 検討部会の実施

本業務の実施にあたっては、専門分野の知見を有する学識経験者を委員とする調査検討委員会を設け、2回実施し、指導・助言を得ながら業務のとりまとめを行った。小課題（1）～（4）は合同で検討委員会を実施した。

委員は、専門を津波、海岸工学とする各有識者とした。

- ・岡安 章夫：東京海洋大学学術研究院 海洋資源エネルギー学部門 教授
- ・田島 芳満：東京大学大学院 工学系研究科社会基盤学専攻 教授
- ・八木 宏：防衛大学校 システム工学群建設環境工学科 教授
- ・今井健太郎：海洋研究開発機構地震津波海域観測研究開発センター 技術研究員

#### 第1回委員会

日 時：平成30年11月20日(火)13:30～15:30

場 所：エッサム神田ホール1号館 9階会議室(902)

主な議事内容

- ・検討計画の妥当性、留意点について

#### 第2回委員会

日 時：平成31年3月1日(金)9:30～12:00

場 所：エッサム神田ホール7階大会議室(701)

主な議事内容

- ・パラペット構造の工夫に関する「落水位置を法面より背後とする」「背後水深と天端高の比が0.5以上の条件で効果的」の考え方の妥当性について

成果取りまとめに向けて、検討委員会やその事前説明で得られた主な意見とそれらへの対応方針は以下の通りである。

#### ・本成果の活用イメージについて

(意見) 海岸工学分野において、「粘り強い構造」についての知見・経験がまだ十分に蓄積していない。設計者に行動・判断基準のチャート図を提示することは時期尚早ではないか。

また、知見を蓄積してチャート図を作成しようとしても、結局、減災効果としての最高パフォーマンスを目指すべきなのか、最低限担保すべきパフォーマンスを目指すべきなのか、コスト面を重視すべきなのか、利用面を確保すべきなのか、観点が異なれば目指すべきチャート図は異なると思われる。関連する条件・事情が複雑であり、チャート図提示というスタイルが適切であると直ちには言い難い。設計の自由度を担保する意味でも、これこれの手法には、このような注意点がある、というような記載・提示が良いのではないか。

(対応) 取りまとめとしてチャート図を示すことはせず、パラペット構造の工夫の手法についてその方法と注意点をまとめる方針とした。

(意見) 粘り強さのためにパラペットを新設するという考え方はあまりせず、通常、パラペットを含めて堤体の設計を考える。とはいえ、粘り強くするなら、腹付けをするより、パラペットの方がメリットが多い場合、パラペットの付加も選択肢としてあり得るかもしれない。粘り強い対策のコンセプトをどうするかで

パラペットに対する考えも変わってくる。

(対応) ご指摘の通り、パラペットの付加・工夫は粘り強さ向上のための選択肢としてあり得ると考えている。他方、すでに存在パラペットが存在している場合には、背後に問題が生じないかをチェックするという活用方法があると考えている。

・パラペットの効果の整理方法について

(意見) そもそもパラペットがあることで、ない場合に比べてパラペットの高さだけ越流を防げる。その辺りの評価は？

(対応) ご指摘の通り、今回の実験では、パラペットを堤体上に付加しており、パラペットの高さ分だけ、背後への越流を防いでいる。このためパラペットがある場合はない場合に比べて、同一の越流水深でも天端高・津波高ともに高くなっている。実験結果の解析に際しては、天端上の越流水深に着目し、無次元量である「背後水深と天端高の比」を用いた整理を行った。

・背後水深の取り扱い方について

(意見) 背後水深は津波の来襲状況により変わる。背後が干出状態のところでは越流するかもしれないし、港外側の水位上昇と同様に背後水位も上昇する場合もある。注意が必要と記載しておいた方がよい。

(対応) 津波来襲時の背後水深については、今後の技術書等での改訂時において、留意点として記載が必要と考える。

#### (4) とりまとめ

本検討では、「(1)上部工パラペット構造の工夫」における過年度の実験結果の再精査と「(2)その他の対策工法の調査・整理」における既往調査のレビューに取り組んだ。得られた結果に基づき、防波堤の上部パラペット等による粘り強さの強化のための対策について、期待される効果、方法や考え方、留意点について表 2.6 にまとめた<sup>8)9)10)</sup>。

表 2.6 対策工法の期待される効果と対策の方法・考え方

対策工法	期待される効果	方法や考え方、留意点 (漁港施設への適用性等)
上部パラペット	<ul style="list-style-type: none"> <li>・落水位置が背後に移動、落水角度が水平よりに変化</li> <li>⇒</li> <li>・被覆ブロックの安定性向上</li> <li>・基礎マウンド、海底地盤の洗掘防止</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・上部工（パラペット）の諸元（幅等）を変化させる、または上部工を新たに付加する。</li> <li>・パラペット幅と堤体幅との比が 0.09～0.36、背後水深と天端高の比が 0.5 以上（背後水深がある程度深い）で、落水位置が法肩付近とならない場合に効果的。</li> <li>・既設に付加する場合、津波波力が増加</li> <li>・対策の一つとして、設計津波に対する落水位置を簡易的な計算式<sup>11)</sup>等を用いて推定し、それが法肩より背後となるように設計することが考えられる。</li> </ul>
洗掘防止マット	<ul style="list-style-type: none"> <li>・基礎マウンド・腹付工、海底地盤の洗掘防止</li> <li>・被覆ブロックの安定性向上（被覆ブロックとマットの付着）</li> <li>・浸透流の軽減</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・被覆材と背後マウンドの間にマットを設置する。</li> <li>・目地はマットを重ね合わせることで対応（隙間があると底質吸い出しの恐れ）</li> </ul>

## VI. 摘要

設計津波（通常、発生頻度の高い津波）を超える規模の津波に対しても簡単には倒壊させず、施設の修復性や安全性を確保するための設計法（粘り強い構造）のための対策工として、本事業は上部パラペット構造の工夫による減災効果の検討を目的として、平成29年度までに実施した結果の精査等を行った。その内容と得られた成果は以下の通りである。

### (1) 上部工パラペット構造の工夫

過年度までに得られた結果を精査し、上部工パラペット設置によるメリット・デメリットの整理や、現象把握等について整理した。上部パラペットを設置することにより、落水位置堤体から背後側へ移動させ、落水角度を水平よりに変化させることで、被覆ブロックの安定性を向上させる効果が期待できることを示した。

ただし、背後水深が浅く（背後水深と天端高の比が0.5未満）、パラペットの設置により落水位置が弱点となる法肩付近となる場合には、被覆ブロックの安定性が低下した。設計津波に対する落水位置について、簡易的な計算式<sup>1)</sup>等を用いてその位置を推定し、それが法肩より背後となるように留意する必要等が考えられた。

### (2) その他の対策工法の調査・整理

洗掘防止マット等の他の対策工法について、既往研究のレビューを行い、有効性の検討、課題の抽出を行った。

### (3) とりまとめ

防波堤の上部パラペット等による粘り強さの強化のための対策について、期待される効果、方法や考え方、留意点についてとりまとめた（表2.6参照）。

## VII. 引用文献

- 1) 水産庁、2014：平成23年東日本大震災を踏まえた漁港施設の地震・津波対策の基本的な考え方 平成26年1月23日、<http://www.jfa.maff.go.jp/j/seibi/gyokogyojo/pdf/120406.html>
- 2) 三井順・松本朗・半沢稔・灘岡和夫、2013：防波堤港内側マウンド被覆材の津波越流に対する安定性照査方法の提案、土木学会論文集 B2（海岸工学）、Vol.69、No.2、I\_956-I\_960.
- 3) 有川太郎・佐藤昌治・下迫健一郎・富田孝史・廉慶善・丹羽竜也、2013：津波越流時における混成堤の被災メカニズムと腹付工の効果、港湾空港技術研究所資料、No.1269
- 4) 有川太郎・岡田克寛・下迫健一郎、2014：防波堤の腹付け被覆ブロックの安定性、土木学会論文集 B2(海岸工学)、Vol.70、No.2、I\_941-I\_945
- 5) 喜彦司・大野俊夫・星野太・鈴木高二朗、2017：マウンド上の洗掘防止マットの設計手法に関する実験的検討、土木学会論文集 B2（海岸工学）、Vol. 73、No. 2、I\_943-I\_948
- 6) 田上剛・疋田大輔・村上啓介・辻尾大樹・熊谷健蔵、2017：宮崎県細島港における

防波堤の耐津波対策と水理模型実験による検証、土木学会論文集 B3（海洋開発）、Vol.73、No.2、I\_126-I\_131

- 7) 岸田哲哉・星野太・田崎邦男・岩前伸幸・秋山義信・池谷毅、2013：摩擦増大用アスファルトマットによる防波堤の津波に対する安定性に関する実験、土木学会論文集 B3（海洋開発）、Vol.69、No.2、I\_467-I\_472
- 8) 三井順・久保田真一・松本朗、2017：粘り強い防波堤および海岸堤防の被覆工に関する現状の知見と課題、土木学会論文集 B3（海洋開発）、Vol.73、No.2、I\_1-I\_6.
- 9) 有川太郎、2015：防護施設の粘り強さ、2015 年度（第 51 回）水工学に関する夏期研修会講義集 B コース、土木学会水工学委員会・海岸工学委員会、B-3-1 - B-3-20
- 10) 一般社団法人漁港漁場新技術研究会、2017：水産公共関連民間技術確認審査・評価報告書、一般技術 第 16-A-001 号（洗掘防止用アスファルトマット）
- 11) 三井順・久保田真一・松本朗・半沢稔、2016：防波堤港内側マウンド被覆ブロックの耐津波安定性に及ぼす上部工形状の影響、土木学会論文集 B2（海岸工学）、Vol.72、No.2、I\_1111-I\_1116.

## 平成 30 年度水産基盤整備調査委託事業報告書

### I. 課題名

「漁港漁場施設の設計手法の高度化検討調査」のうち  
(3) 津波等の強い流れに対する安定質量算定手法の検討

### II. 実施機関及び担当者名

国立研究開発法人水産研究・教育機構	水産工学研究所	
水産土木工学部水産基盤グループ		
主幹研究員		三上信雄
グループ長		大村智宏
主任研究員		佐伯公康
主任研究員		井上誠章
研究員		古市尚基
一般財団法人漁港漁場漁村総合研究所		
第1調査研究部 部長		高原裕一
第1調査研究部 次長		林 浩志
第1調査研究部 上級研究員		加藤広之
株式会社アルファ水工コンサルタンツ		
東京本社 技術顧問		中山哲厳
東京本社 執行役員		佐藤勝弘
東京本社 技術部チームリーダー		平井豊規
東京本社 技術部主任		遠藤次郎
東京本社 技術部主任		千原美季
東京本社 技術部技師		野地雅貴
国際気象海洋株式会社		
常務執行役員		門 安曇
銚子グループ グループリーダー		小林 学
建設コンサルグループ プロジェクトマネージャー		細野益男
建設コンサルグループ 技師		橋野公一

### III. ねらい

津波来襲時の防波堤の根固め・被覆ブロック等の安定質量は、「平成 23 年東日本大震災を踏まえた漁港施設の地震・津波対策の基本的な考え方 平成 25 年 水産庁漁港漁場整備部整備課長通知」により、イスバッシュにより提案されている捨石等の安定質量算定式（以下、イスバッシュ式という）又は水理模型実験によって定めることができるとされている。ただし、津波の流速が大きくなるとイスバッシュ式によって算出される被覆ブロックの質量が極めて大きくなることが指摘されている。

そこで本調査では、津波等の強い流れに対する被覆材の合理的な質量算定手法の検

証・提案に向けた検討を行う。平成30年度、定常流を用いた水理模型実験（断面実験）と数値計算による検討を行い、イスバッシュ式の適用可能範囲や、同式の基本的特性を把握する。

#### IV. 方法

##### (1) 水理模型実験による検討（断面実験）

定常流を用いた断面実験により、マウンド被覆ブロックの安定実験を行い、イスバッシュ式の適用性などを検証する。循環流発生装置を有した水槽を使用し、実験模型は台形マウンドの堤幹部、堤頭部を想定した2種類の形状で行い（図3.1、図3.2）、法勾配は3種類とする。被覆ブロックは方塊型・有孔型を使用し、同形状で比重変化、または相似形状で比重一定とした質量の異なるブロックを使用する。

計測項目は流速、水位などとし、計測位置は上・下流のマウンド法肩付近、マウンド中央付近等とする。また津波作用状況をビデオカメラで撮影し、被覆材の被災箇所、被災個数を記録する。実験ケースは、模型2形状、被覆材の質量5種、法勾配3種を組み合わせたケースを想定し、各ケースについて流速を段階的に上げ、被災が開始する流速まで計測を行う。

断面実験の結果は、被覆材質量と被災限界流速との関係に着目して整理を行い、イスバッシュ式の適用性の検証やその他の算定式との比較検討を行う。

##### (2) 数値計算による検討

数値計算を行い、実験の再現性を確認するとともに、実験では再現できない条件について実験結果を補足し、流速等を把握する。

実験の再現計算については、断面実験と同条件の計算を行い実験結果と比較し、計算精度について検証する。検証ケースは1形状×法勾配2種程度とする。さらに、実験では再現できない流速条件や長周期津波について計算を実施し、実験の検討結果の補足および質量算定法について検討する。計算ケースは1形状×2ケース程度とする。

##### (3) 安定質量算定式の検討

(1)、(2)の検討結果や既往の知見に基づき、イスバッシュ式の適用可能範囲や、同式の基本的特性を把握する。また必要に応じ、被覆材質量算定手法の定式化の妥当性（例：流速の6乗則の妥当性）に踏み込んだ検討を行う。

##### (4) 検討部会の実施

本業務の実施にあたって、専門分野の知見を有する学識経験者を委員とする調査検討委員会を設け、2回実施し、指導・助言を得ながら業務のとりまとめを行う。

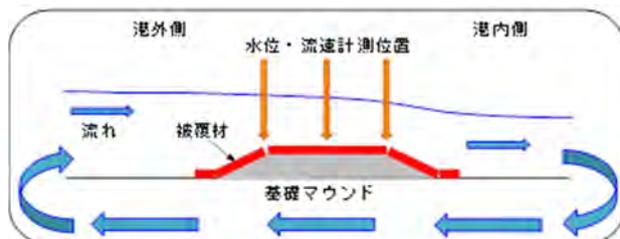


図 3. 1 台形マウンドによる実験模式図

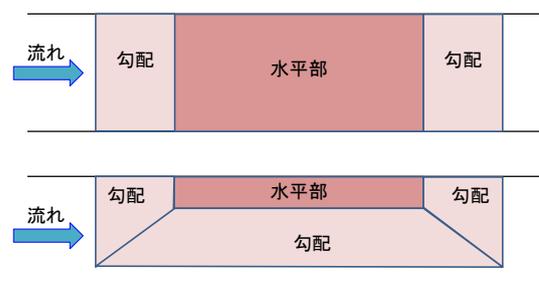


図 3. 2 模型形状平面図

## V. 結果

### (1) 水理模型実験による検討（断面実験）

#### a) 実験内容

実験施設は水産工学研究所の津波回流実験装置（幅 0.5m, 深さ 1.0m, 図 3.3）を使用し、模型縮尺は 1/80 とした。実験模型は、捨石マウンド上に被覆ブロックを敷き詰めた台形形状とし（図 3.4）、①堤幹部、②堤頭部を想定した 2 種類の形状で行った。被覆ブロックは、直方体形状の方塊型を基本とし、参考として揚圧力が異なると考えられる有孔型（開口率 10%）を用いた検討も行った。被覆ブロックの質量は、同形状で比重を変化させたもの（ブロック小）、相似形状で比重を一定としたもの（ブロック小・中・大）の 2 パターンで変化させた。実験ケースは模型 2 形状（①堤幹部、②堤頭部）、法勾配 3 種（1:1.5, 1:2, 1:3）、ブロック 7 種を組み合わせた 27 ケースとした（表 3.1）。

なお平成 30 年度には、水産工学研究所の津波回流実験装置を用いて、岩手県による「津波来襲時のマウンド被覆材質量算定技術」検討のための水理模型実験も実施された。本研究では、岩手県事業によって得られたデータも活用し検討を行った（表 3.1 のうち赤枠部分が岩手県事業のデータ）。

表 3.1 に示す各ケースにおいて、被覆ブロックの安定実験と、水位・流速の計測実験の 2 種類を行った。被覆ブロックの安定実験については、ポンプ流量を段階的に引き上げ、流れがほぼ定常になってから 30 秒間継続させ、被覆ブロックの被災箇所、個数を記録した。被覆ブロックが 1 個分以上移動したランクの 1 ランク手前の条件を安定限界として整理を行った。なお、移動実験は各 3 回程度行い、安定限界の断面平均流速を平均して求めた。

水位・流速の計測実験については、被覆ブロックが移動しないよう固定し、安定実験と同様の手順で行った。計測位置は上・下流のマウンド法肩付近、マウンド中央付近、上流側、下流側の 5 箇所とした（図 3.5）。

#### b) 実験結果

被覆ブロックの被災状況の例を図 3.6（堤幹部）および図 3.7（堤頭部）に、各ケースの被災位置の度数分布の例を図 3.8 に示す。多くのケースで、下流側法肩でブロックがめくれるように被災が開始し、さらに流量を上げていくと、上流側法肩でも被災開始した。水位・流速の鉛直分布の例を図 3.9（堤幹部）および図 3.10（堤頭部）に示す。下流ほど水位は低下し、流速は増加する傾向となった。また堤頭部のケースではマウンド上部で下部側より流速値がわずかながら大きくなる傾向がみられた。



図 3. 3 津波回流実験装置



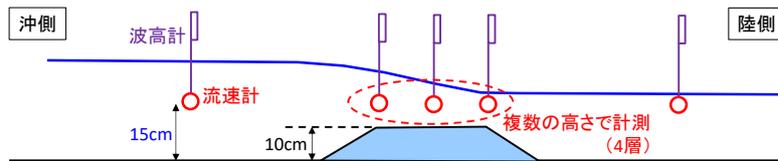
図 3. 4 実験模型設置状況  
(堤幹部・法勾配 1:1.5)

表 3. 1 実験ケース一覧

初期水深 (cm)	被覆ブロック 種類	被覆ブロックのサイズ (mm)	質量 (g)	比重	法勾配					
					堤幹部			堤頭部		
					1:1.5	1:2.0	1:3.0	1:1.5	1:2.0	1:3.0
25	方塊型	小 40.0×40.0×15.0	37	1.50	○	○	○	○	○	○
			58	2.31	○	○	○	○	○	○
			95	3.76	○	○	○	○	○	○
			127	5.00	○	○	○	○	○	○
		中 50.1×50.1×18.8	108	2.29	○					
		大 55.9×55.9×21.0	147	2.28	○					
	有孔型 (開口率10%)	小 42.0×42.0×15.0	58	2.31	○					

※赤枠内：岩手県データ

(横から見た図)



(上から見た図)

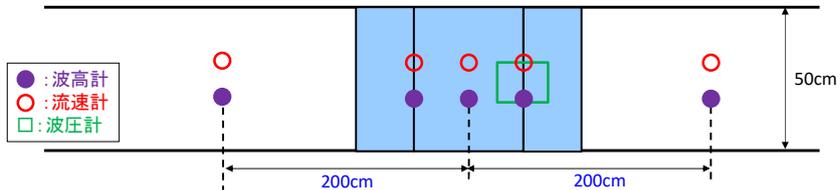


図 3. 5 計測位置概要

・ケース：堤幹部、法勾配1:1.5、方塊型：小・比重2.3

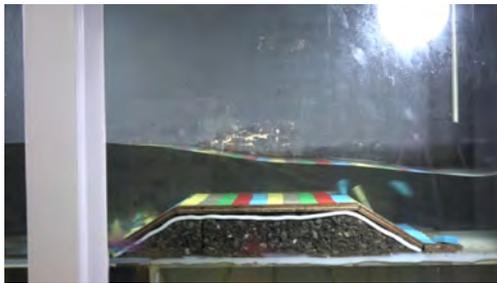
(a) 被覆ブロックの被災箇所 (数字は右表の流量No.に対応)

流れ →	A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
	B																13	13				
	C																11	11	11			
	D																11	11				
	E							13										13				
	F							13										13	13			
	G							13											13			
	H							13											13	13		
	I																		13	13	13	

流量No.	時刻 (min)	流量 (m <sup>3</sup> /min)	被害個数
1	5:50~6:20	1.98	0
2	8:00~8:30	2.21	0
3	9:50~10:20	2.38	0
4	11:40~12:10	2.62	0
5	13:30~14:00	2.81	0
6	15:30~16:00	3.04	0
7	17:40~18:10	3.19	0
8	19:40~20:10	3.42	0
9	21:30~22:00	3.61	0
10	23:20~23:50	3.81	0
11	25:10~25:40	4.04	5
12	27:00~27:30	4.20	0
13	28:50~29:30	4.38	15
14	:~:		

(b) 下流側肩被災開始時

(流量No.11 : 4.04m<sup>3</sup>/min, Fr=1.18)



(c) 上流側肩被災開始時

(流量No.13 : 4.38m<sup>3</sup>/min, Fr=1.40)



図 3. 6 被覆ブロックの被災状況例 (堤幹部、法勾配 1:1.5、方塊型：小・比重 2.3)

・ケース：堤頭部、法勾配1:1.5、方塊型：小・比重2.3

(a) 被覆ブロックの被災箇所 (数字は右表の流量No.に対応)

流れ →	A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
	B																11	11	11	12		
	C																	10	11	12	13	
	D																	13	13	13	13	
	E																		10	13	13	
	F																		13	13	13	
	G																				13	

流量No.	時刻 (min)		流量 (m <sup>3</sup> /min)	被害個数
	開始	終了		
1	05:45	06:15	2.57	0
2	07:55	08:25	2.79	0
3	09:40	10:10	2.97	0
4	11:25	11:55	3.21	0
5	12:50	13:20	3.36	0
6	14:05	14:35	3.63	0
7	15:35	16:05	3.78	0
8	17:00	17:30	4.00	0
9	18:25	18:55	4.22	0
10	20:05	20:35	4.36	2
11	21:50	22:20	4.56	4
12	23:30	24:00	4.76	2
13	24:50	25:20	4.98	11
14				

(b) 下流側被災開始時

(流量No.10 : 4.36m<sup>3</sup>/min)



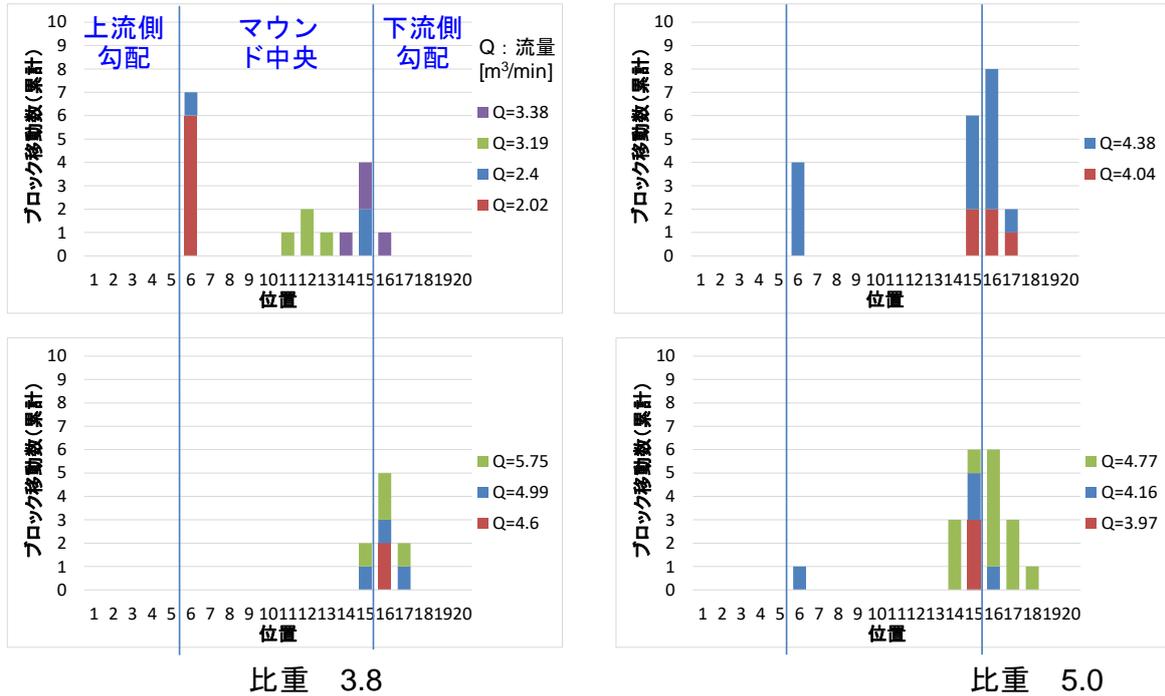
(c) 下流側被災拡大時

(流量No.13 : 4.98m<sup>3</sup>/min)

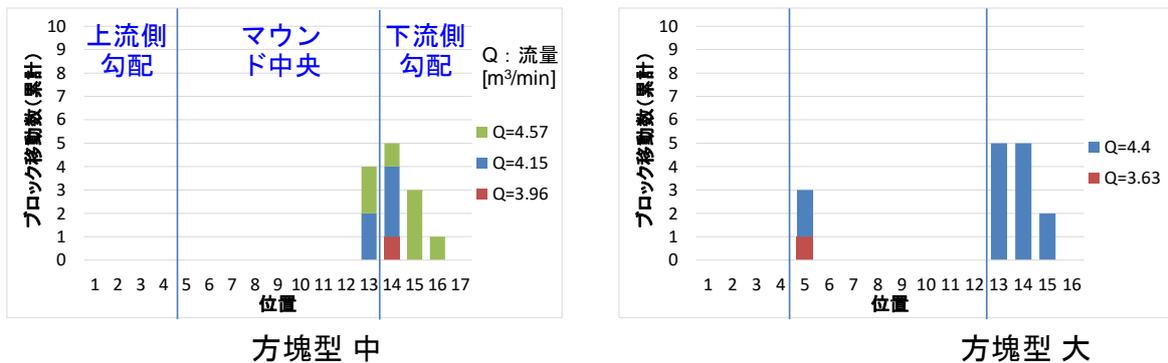


図 3. 7 被覆ブロックの被災状況例 (堤頭部、法勾配 1:1.5、方塊型：小・比重 2.3)

○堤幹部、法勾配1:1.5、方塊型ブロック小（比重1.5~5.0）



○堤幹部、法勾配1:1.5、方塊型ブロック中・大（比重2.3）



○堤幹部、法勾配1:1.5、有孔型ブロック小（比重2.3）

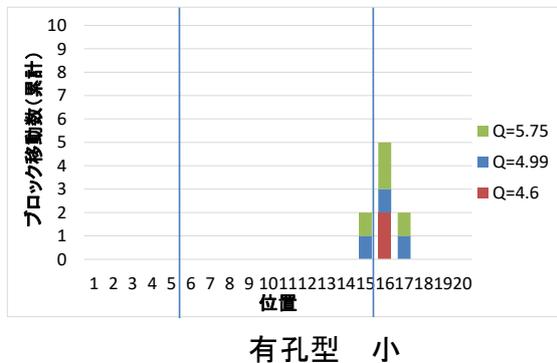


図 3. 8 被覆ブロックの被災状況の度数分布の例  
 (番号は上流側からのブロック位置の順番を示し、青縦線が法肩部分に相当)

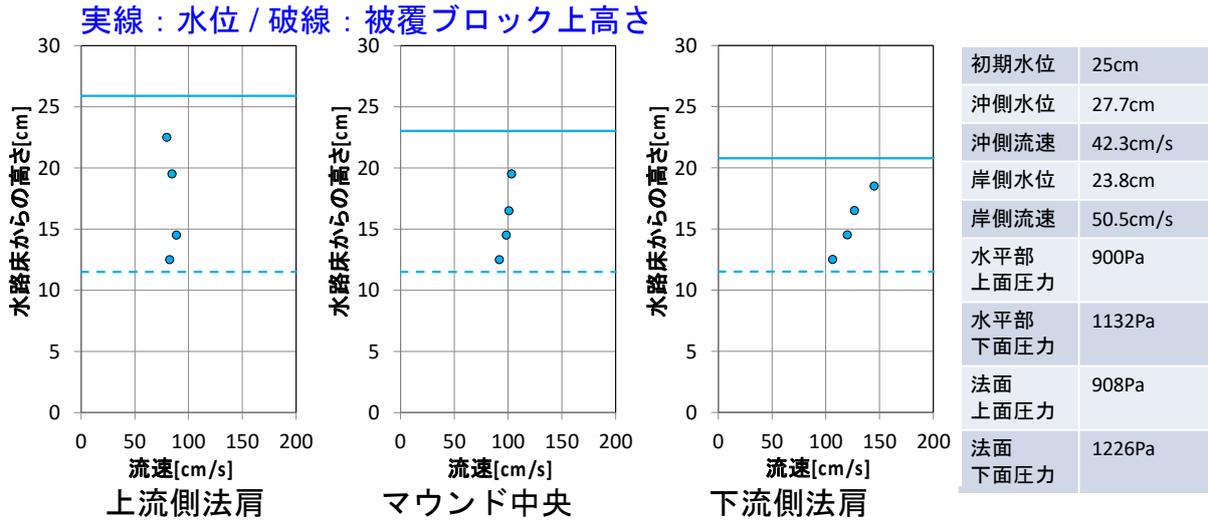


図 3. 9 水位・流速の鉛直分布例（堤幹部、法勾配 1:1.5、方塊型：小・比重 2.3）

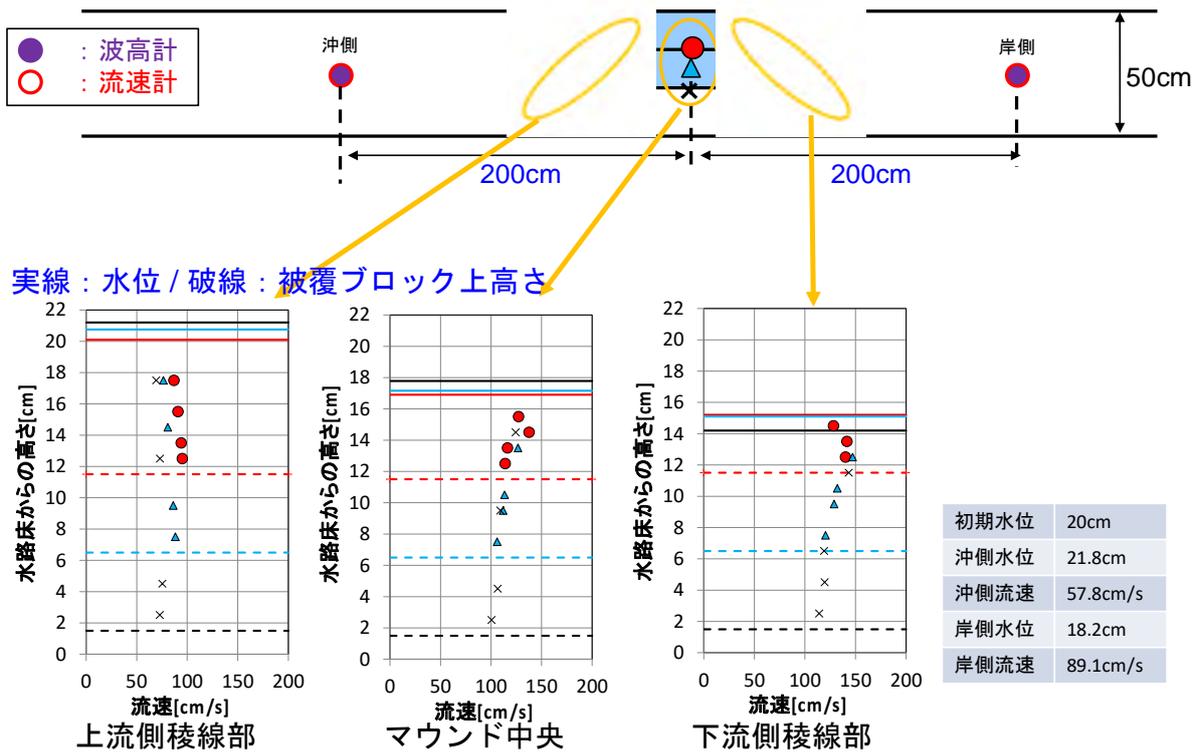


図 3. 10 水位・流速の鉛直分布例（堤幹部、法勾配 1:1.5、方塊型：小・比重 2.3）

## (2) 数値計算による検討

### a) 概要

水理模型実験では水路幅・水路壁の影響や造波周期の制限などにより、検討できる条件が限られる。そこで実験で検討が困難な条件（周期の長い津波など）について、数値計算により検討することで実験結果を補足することを目的とした。今年度はOpenFOAM（3次元流体解析モデル）を用いて水理模型実験の再現計算を行った。また、実験で検討できない条件について数値計算により検討した。

### b) 計算条件と計算ケース

実験で使用した水理模型を再現し同縮尺（1/81）で計算を実施した。計算にはOpenFOAMに含まれるinterFoamソルバ（VOF（volume of fluid）体積割合に基づいた界面捕獲法による不混和流体の非圧縮性・等温2相流用非定常解析ソルバ）を用いた。

再現計算ケースは、勾配1:1.5、ブロック小のうち、流量 $4.00\text{m}^3/\text{min}$ および $4.40\text{m}^3/\text{min}$ のケースを対象とした。実験補間計算は、勾配1:1.5、ブロック小を想定し、1）定常流斜め入射計算（斜め $45^\circ$ ）、2）正弦波計算（周期80秒、波高10cm）を実施した。数値計算の模式図を図3.11、図3.12（それぞれ実験再現計算および実験補完計算に対応）に、計算条件を表3.2に示す。

### c) 計算結果

計算結果と実験結果の比較例として流量 $4.00\text{m}^3/\text{min}$ のケースについて図3.13に示す。流速分布については概ね再現できており、実験では物理的な制約により計測できなかった位置の流速を計算結果により補完可能であると考えられる。流量 $4.40\text{m}^3/\text{min}$ のケースについても同様の傾向であった。

被災する割合が最も大きい下流側法肩部について、計算された水平流速分布および圧力分布を図3.14に示す。流速分布について、図中①のブロックの左上部に流速が作用する一方で、ブロックの上面の流速は小さいことが窺える。また、圧力分布について、図中①のブロックの左上部の圧力が周囲に比べ低下していることが窺える（白矢印部分）。このような圧力低下がブロックに与える影響については今後の課題である。

実験補完計算について、定常流斜め入射計算（斜め $45^\circ$ ）ケースの水路方向の流速鉛直分布を図3.15に示す。流速鉛直・圧力分布は直入射時と同様であり、斜め入射の場合であっても直入射時と同様の算定式で被覆ブロックの安定質量が算定できることが期待される。一方、正弦波計算においては、今回の計算条件では、水位が低い時間においても流速が $0.5\text{cm/s}$ 程度（現地換算で約 $4.5\text{m/s}$ ；図は示さず）で、本検討での対象である強い津波流れに相当するような流速を発生させることができなかった。強い流れが発生するための条件（地形等）を整理することが課題として残された。

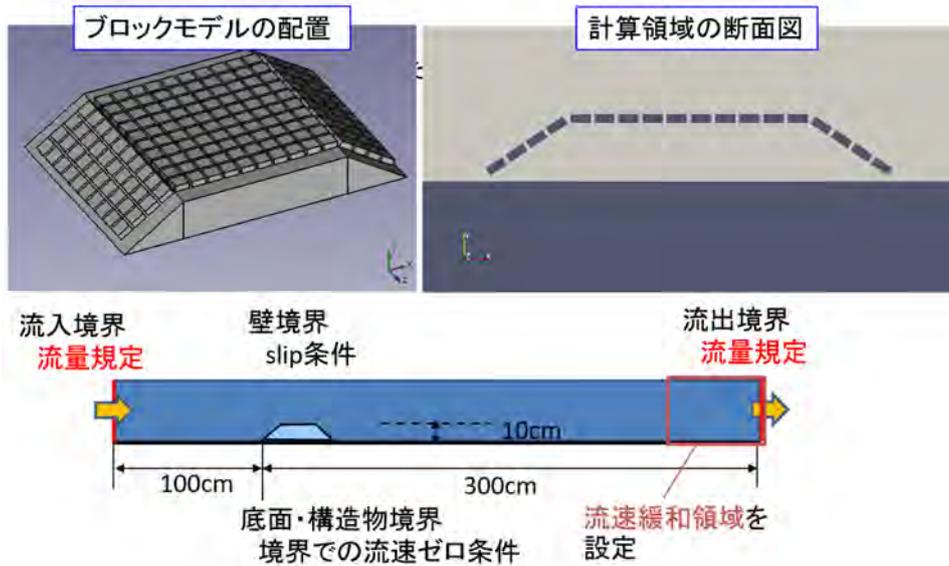


図 3. 11 数値計算概要模式図（水理模型実験再現計算）

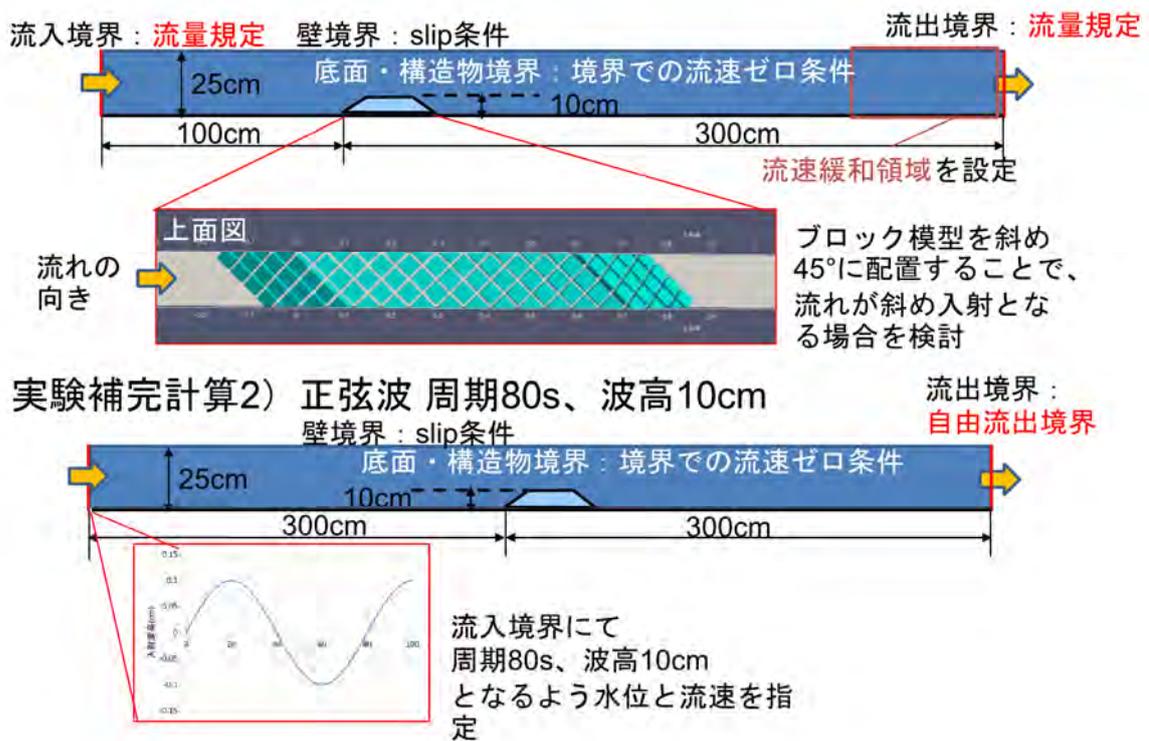


図 3. 12 数値計算概要模式図（実験外ケース）

表 3. 2 計算条件一覧

項目		設定条件	
使用モデル		OpenFOAM	
使用ソルバ		interFoam (VOF (volume of fluid) 体積割合に基づいた界面捕獲法による不混和流体の非圧縮性・等温 2 相流用非定常解析ソルバ)	
離散化方法		有限体積法	
縮尺		1/80 (実験と同一スケール)	
境界条件	流入境界	流速	流量を設定 (流速と流速を指定する高さの範囲を指定)
		圧力、水相率	勾配ゼロ
		k、 $\epsilon$	k=3.75e-3、 $\epsilon$ =1.10e-4
	左右の壁境界	流速	Slip
		k、 $\epsilon$	壁関数
		圧力、水相率	勾配ゼロ
	構造物・底面境界	流速	境界での流速ゼロ
		圧力、水相率	勾配ゼロ
		k、 $\epsilon$	壁関数
	流出境界	流速	流入境界と同一の流量を設定、境界前面に緩和領域 (x方向流速を強制指定) を設定
		圧力、水相率、k、 $\epsilon$	勾配ゼロ
	計算領域		水路幅：400.0cm×水路長：10.0 cm
計算格子間隔		$\Delta x = \Delta y = \Delta z = 0.25 \sim 2.0$ cm (マウンド周辺で最も細かく、空気相で最も粗い)	
計算時間、時間間隔		最大60秒 (30秒程度で定常)、自動制御	
物性値		最大60秒 (30秒程度で定常)、自動制御	
		水相	密度1.0e+3 kg/m <sup>3</sup> 、分子動粘性係数1.0e-6 m <sup>2</sup> /s
		気相	密度1.0 kg/m <sup>3</sup> 、分子動粘性係数1.48e-5 m <sup>2</sup> /s
地形条件		一定水深30.0 cmに捨石マウンド(透水性、天端+10.0 cm、幅40.0 cm)を設置	
透水モデル		Dupuit-Forchheimer則により抵抗力をモデル化 空隙率 $\gamma=0.46$ 、代表径 $d=0.51$ 、材料係数 $\alpha_0=1500$ 、 $\beta_0=3.6$	
乱流モデル		使用しない、RNG k- $\epsilon$ 2方程式モデル	

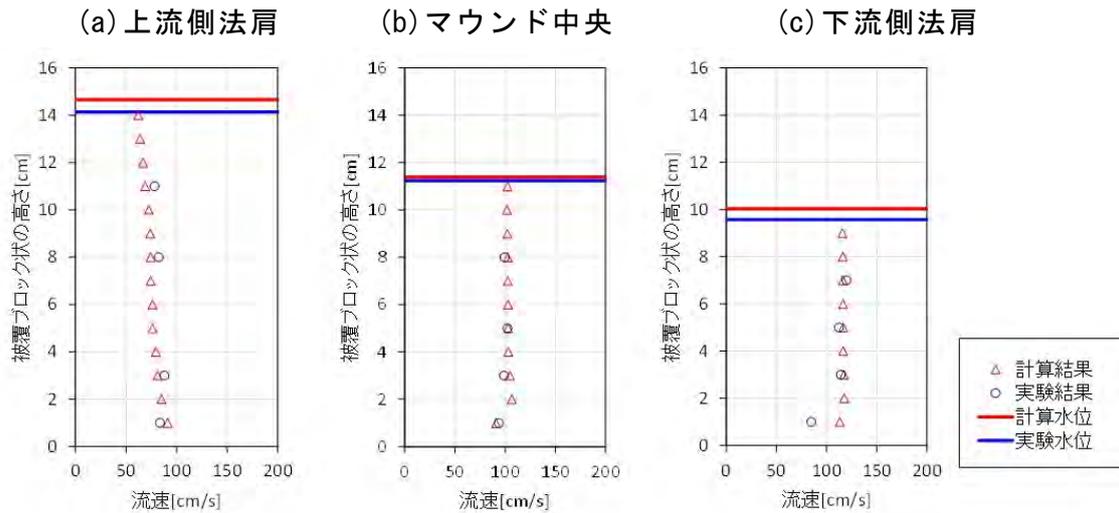


図 3. 13 水位・流速の鉛直分布比較例（堤幹部、法勾配 1:1.5、方塊型：小・比重 2.3）

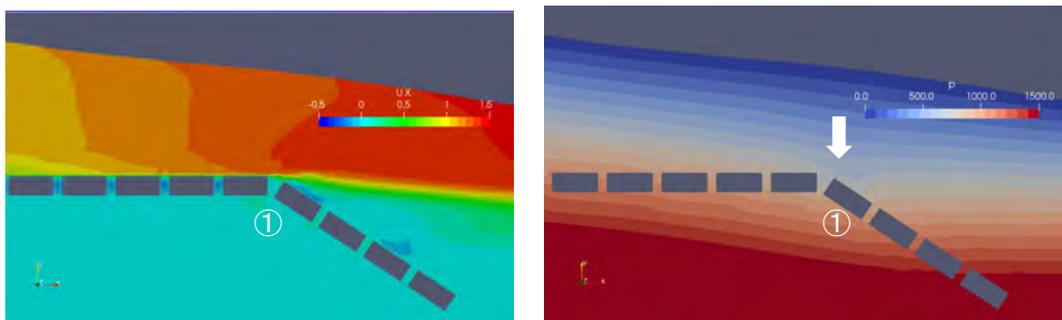


図 3. 14 下流側法肩部における水平流速分布（左図）および圧力分布（右図）

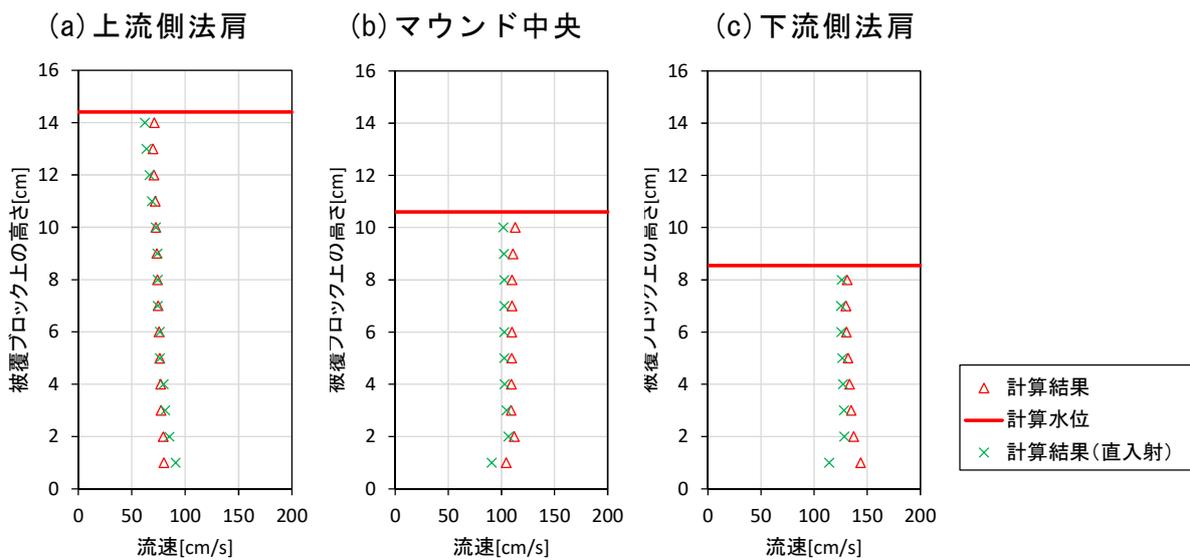


図 3. 15 下流側法肩部における水平流速分布（左図）および圧力分布（右図）

### (3) 安定質量算定式の検討

断面実験の結果について、被覆ブロック質量と安定限界流速との関係に着目して整理を行い、イスバッシュ式の適用性の検証や、その他の算定式との比較検討を行った。

イスバッシュ式については「平成 23 年東日本大震災を踏まえた漁港施設の地震・津波対策の基本的な考え方」に示されている CERC の式 (1977) の他、Isbash が原論文で示した式 (1932) とも比較検討を行った。

CERC の式 (1977) :

$$M = \frac{\pi \rho_r U^6}{48g^3 y^6 (S_r - 1)^3 (\cos \theta - \sin \theta)^3} \quad (1)$$

Isbash 原論文の式 (1932) :

$$M = \frac{\pi \rho_r U^6}{48g^3 Y^6 (S_r - 1)^3 (\cos \theta)^3} \quad (2)$$

ここで、 $M$ は捨石等の質量、 $\rho_r$ は捨石等の密度、 $U$ は流速、 $y$ はイスバッシュ数 (参考値 1.08)、 $S_r$ は捨石等の海水に対する比重、 $\theta$ は斜面勾配である。

堤幹部における方塊型ブロックの実験結果について、安定限界時の断面平均流速 (流速鉛直分布を積分し水深で除して算出) と質量 (イスバッシュ式の比重の項を加味) の関係を整理した。被覆ブロックを同形状で比重変化させたケースについて、各法勾配の結果を図 3.16~図 3.18 に示すが、いずれの法勾配についても流速と質量の関係は、6 乗に近い関係となっている。法勾配 1:1.5 の場合、イスバッシュ定数 ( $y$ ) を 1.08 とすると、CERC 式では質量が過大となり、Isbash 原著の式と近い傾向となっている。一方で法勾配が緩やかになると、 $y=1.08$  の場合、流速と質量の関係が Isbash 原著から CERC 式に近づいた。

被覆ブロックの比重を一定とし形状を相似で変化させたケースについての結果を図 3.19 に示す。安定限界の断面平均流速と質量の関係は 6 乗より小さく、3 乗程度となっている様子がうかがえる。 $y=1.08$  としたイスバッシュ式と比較すると、形状が大きくなるほど実験結果が算定値から乖離した。すなわち、比重を一定とし形状を相似で変化させたブロック群に対しては、同一のイスバッシュ数を適用することが困難であると言える。堤幹部・法勾配 1:1.5 条件下での比重変化・比重一定の全ケースをまとめた結果を図 3.20 に示す。現行の CERC 式 ( $y=1.08$ ) は安定限界となる質量を過大に算定することが確認できる。

次に、安定限界時の断面平均流速と法勾配、ブロック質量等の値を(1)(2)式に入れることでイスバッシュ数 ( $y, Y$ ) を求め、イスバッシュ数の各パラメータへの依存性を調べた。

図 3.21 に法勾配 1:1.5 についてのフルード数とイスバッシュ数の関係を示す。フルード数  $Fr$  は下流側法肩の断面平均流速  $U$  とブロック上水深  $h'$  から以下の式により算出した :

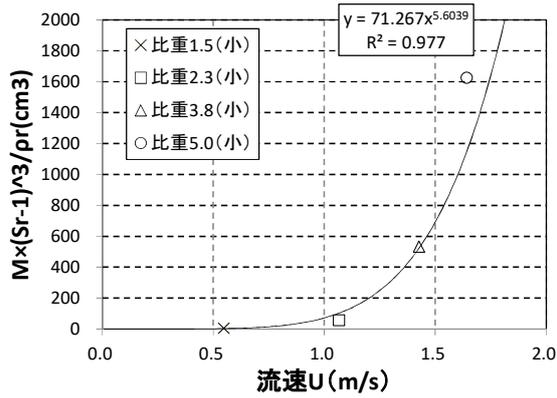
$$Fr = \frac{U}{\sqrt{gh'}} \quad (3)$$

大きさ一定で比重が変化する場合、イスバッシュ数が安定限界のフルード数（流速）によって顕著に変化することはない、他方、比重一定の場合、形状が大きくなるほど安定限界のフルード数（流速）が増加し、イスバッシュ数も大きくなった。

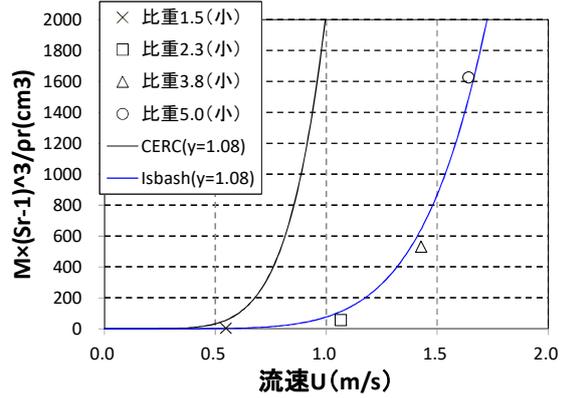
図 3.22 に傾斜角とイスバッシュ数の関係を示す。傾斜角  $\theta = 0^\circ$  は上流側法肩の被災結果を示している。CERC 式によるイスバッシュ数  $y$  は、傾斜角が大きくなるほど増大傾向であるが、Isbash 原著によるイスバッシュ数  $Y$  では、傾斜角による変化は比較的小さくなっている。この結果から、傾斜角による効果は Isbash 原著の式（ $\cos \theta$  を使用）の方が適切に反映されていることが推察される。図 3.23 に有孔型ブロックについて、方塊型とのイスバッシュ数の比較結果を示す。2 者のブロックの間で、イスバッシュ数に大きな差異はみられなかった。今回の実験条件では、孔による安定性の効果が小さいと考えられる。最後に、図 3.24 に堤頭部における方塊型ブロックの実験結果について、傾斜角とイスバッシュ数の関係を示す。図 3.23 等と比較したとき、イスバッシュ数は堤幹部と堤頭部の間で大きく変化しないことが分かった。

以上のことから、イスバッシュ式の特長・適用範囲について次のことが示された：

- (1) 形状・大きさが一定で比重が変化して質量が変化する場合、移動限界流速と質量の関係が 6 乗に近くなり、イスバッシュ式の関係（6 乗式）の妥当性が示唆された。
- (2) 形状・大きさが一定で比重が変化して質量が変化する場合、CERC 式およびイスバッシュ原著式いずれに関してもイスバッシュ数の実験値のフルード数、ブロック形状、マウンド形状（堤幹部・堤頭部）の各パラメータへの依存性が小さかった。他方、イスバッシュ数実験値は、マウンド勾配の変化に大きく依存し特に CERC 式でその傾向が顕著だった。

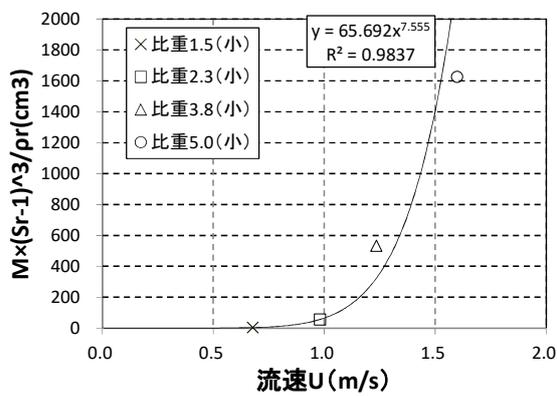


(a) 累乗近似

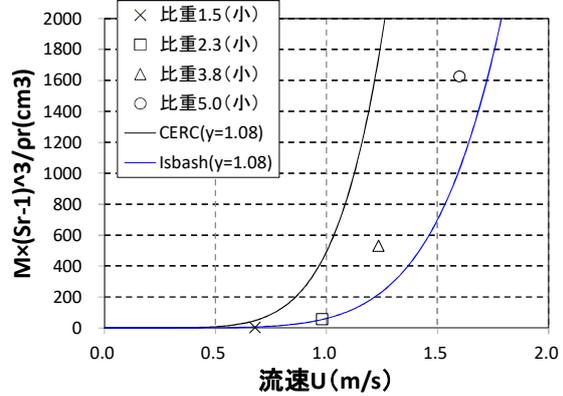


(b) イスバッシュ式 (y=1.08) との比較

図 3. 16 断面平均流速と質量の関係 (堤幹部、法勾配 1:1.5、方塊型小、比重変化)

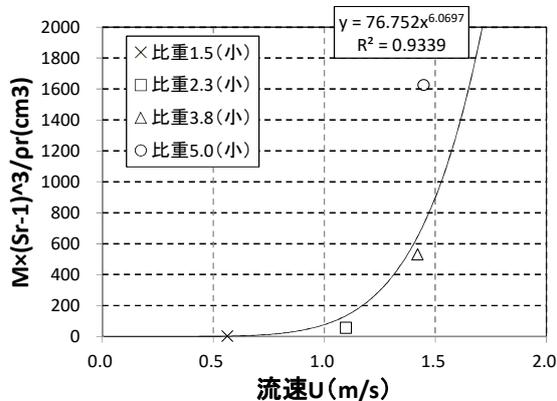


(a) 累乗近似

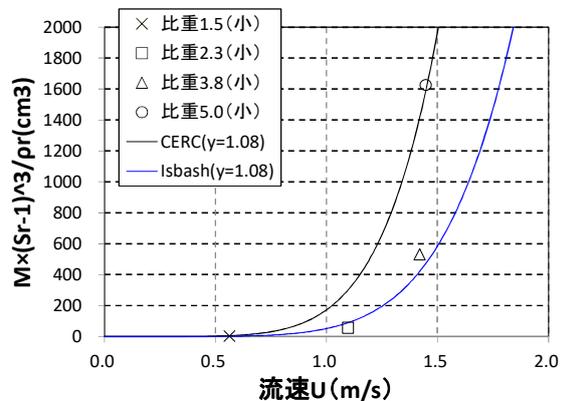


(b) イスバッシュ式 (y=1.08) との比較

図 3. 17 断面平均流速と質量の関係 (堤幹部、法勾配 1:2、方塊型小、比重変化)

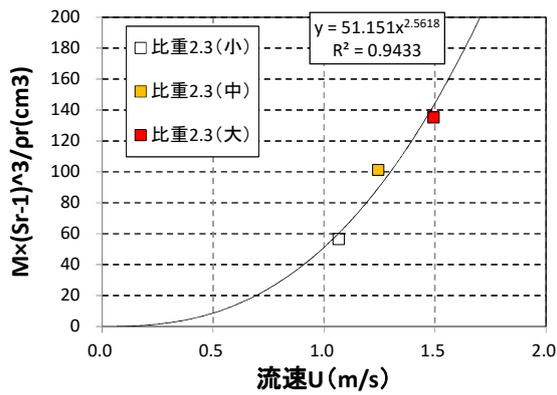


(a) 累乗近似

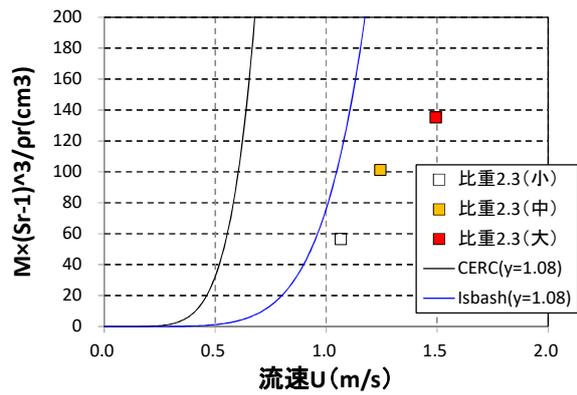


(b) イスバッシュ式 (y=1.08) との比較

図 3. 18 断面平均流速と質量の関係 (堤幹部、法勾配 1:3、方塊型小、比重変化)



(a) 累乗近似



(b) イスバッシュ式 ( $y=1.08$ ) との比較

図 3. 19 断面平均流速と質量の関係 (堤幹部、法勾配 1:1.5、方塊型、比重一定)

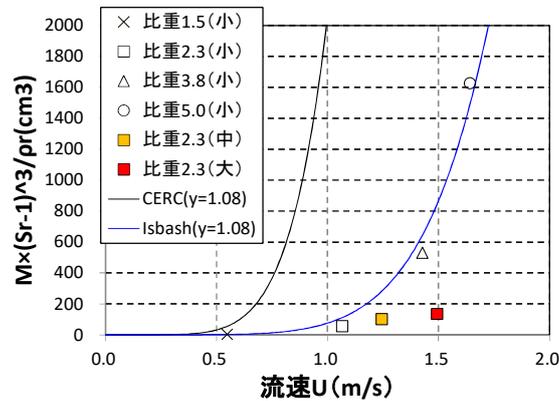
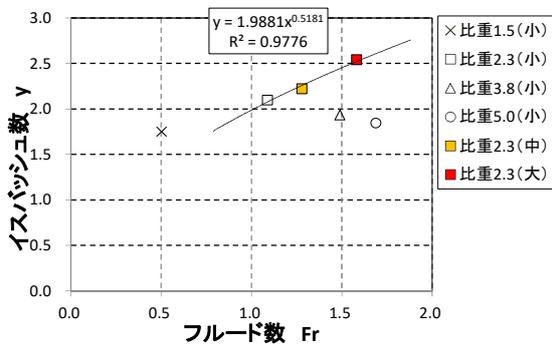
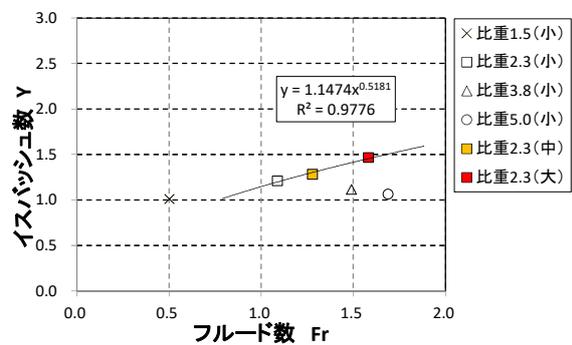


図 3. 20 断面平均流速と質量の関係 (堤幹部、法勾配 1:1.5、方塊型、全ケース)

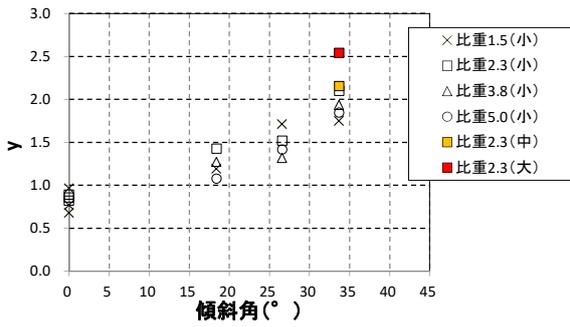


(a) CERC の式 (1977)

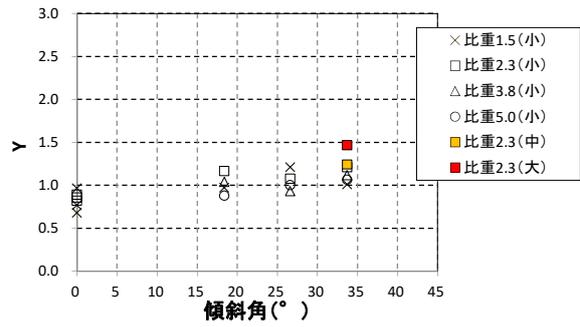


(b) Isbash 原著の式 (1932)

図 3. 21 フルード数とイスバッシュ数の関係 (堤幹部、法勾配 1:1.5、方塊型、全ケース)

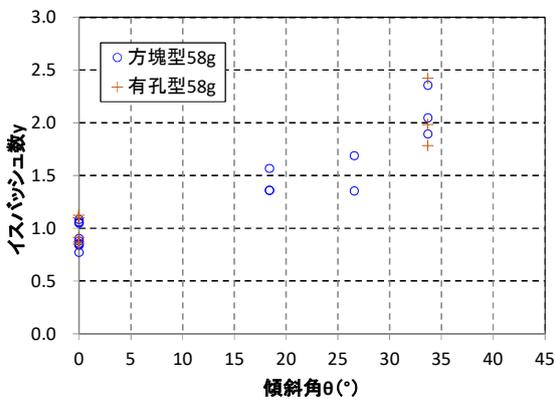


(a) CERC の式 (1977)

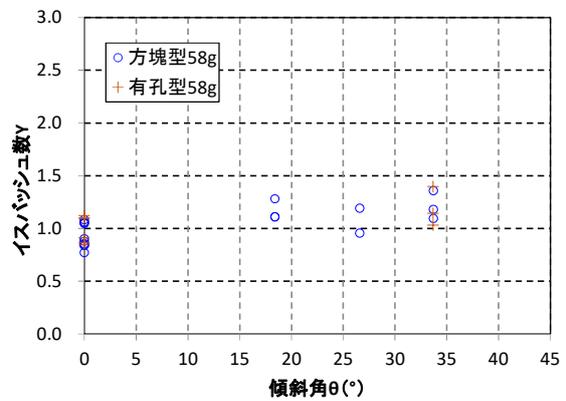


(b) Isbash 原著の式 (1932)

図 3. 22 傾斜角とイスバッシュ数の関係 (堤幹部、方塊型、全ケース)

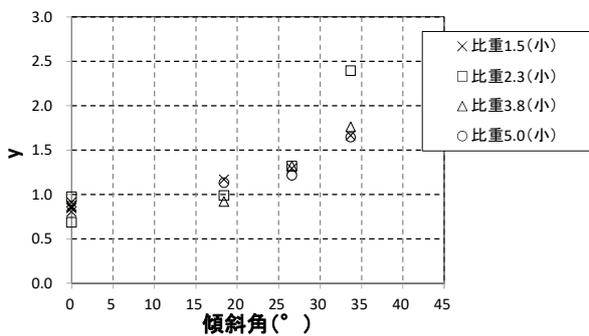


(a) CERC の式 (1977)

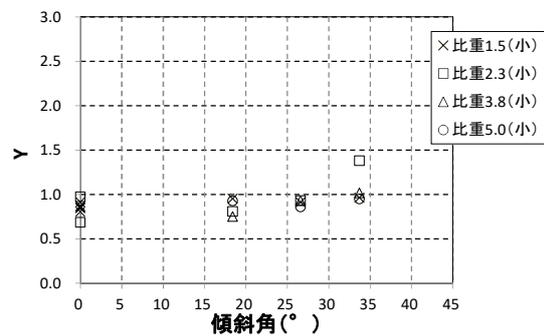


(b) Isbash 原著の式 (1932)

図 3. 23 傾斜角とイスバッシュ数の関係 (堤幹部、方塊型・有孔型)



(a) CERC の式 (1977)



(b) Isbash 原著の式 (1932)

図 3. 24 傾斜角とイスバッシュ数の関係 (堤頭部、方塊型、比重変化)

#### (4) 検討部会の実施

本業務の実施にあたっては、専門分野の知見を有する学識経験者を委員とする調査検討委員会を設け、2回実施し、指導・助言を得ながら業務のとりまとめを行った。小課題（1）～（4）は合同で検討委員会を実施した。

委員は、専門を津波、海岸工学とする各有識者とした。

- ・岡安 章夫：東京海洋大学学術研究院 海洋資源エネルギー学部門 教授
- ・田島 芳満：東京大学大学院 工学系研究科社会基盤学専攻 教授
- ・八木 宏：防衛大学校 システム工学群建設環境工学科 教授
- ・今井健太郎：海洋研究開発機構地震津波海域観測研究開発センター 技術研究員

#### 第1回委員会

日 時：平成30年11月20日(火)13:30～15:30

場 所：エッサム神田ホール1号館 9階会議室(902)

主な議事内容

- ・検討計画の妥当性、留意点について

#### 第2回委員会

日 時：平成31年3月1日(金)9:30～12:00

場 所：エッサム神田ホール7階大会議室(701)

主な議事内容

- ・検討手法、今後の検討計画の妥当性について

成果取りまとめに向けて、検討委員会やその事前説明で得られた主な意見とそれらへの対応方針は以下の通りである。

#### ・修正式の提案の際の留意点について

(意見) 6乗則とは異なる修正式を提案する、特に、算定量を小さくしようとする趣旨ならば、大変に大きな取組みである。例えば安全面が本当に担保できるのか、豊富なデータに基づく裏付けをとった上で提示するべきと思われる。

(対応) 平成30年度での水理模型実験については、大きさや形状を変化させた実験ケースが限られていた。いただいたコメントを反映し、異なるブロック形状条件についての追加実験が必要である旨を本報告書に今後の課題として記載した。

#### ・水理模型実験について

(意見) 被災メカニズム把握のため正方形以外にも面積を変えずに別形状とするとか、様々な形状で検討した方が良いのではないか。

(対応) いただいたコメントを反映し、本報告書に今後の課題として、異なるブロック形状についての追加実験が必要がある旨を記載した。

(意見) 分力計を用いてブロックに作用する力そのものを計測した方が結果の解釈が容易ではないか。

(対応) 分力計による検討には計測装置の設置が難しいなど課題も多い。今年度波圧

計による圧力の計測を実施しており、その結果の整理を主とした検討を進めたく考えている。

- (意見) 平面(大型)実験での検討の前に断面での検討を要する事項が多い。  
(対応) ご指摘の通り、断面実験での検討課題として多くの事項を指摘いただいた。いただいたコメントを反映し、本報告書に今後の課題として、異なるブロック形状についての追加実験が必要がある旨を記載した。なお、平面(大型)実験は堤頭部での解釈を目的として実施を考えている。

#### ・設計実務での津波計算について

- (意見) 設計実務ではどのような流速を与えるかが問題となる。津波計算については、土木学会の小委員会でも検討中であるが、港湾、漁港、海岸の分野ごとに問題点が変わる。漁港は水深が浅く難しい。漁港は漁港で検討しても良いかもしれない。  
(対応) 設計実務では、最終的には非線形長波モデルによる津波遡上計算の流速値を用いるが、非線形長波モデルを設計に用いる際の留意事項等は重要課題である。例えば、水深が浅いと津波先端部で流速の計算値が不安定になる等の課題が考えられる。この問題については、他機関・グループの動向も踏まえつつ、検討・整理していくことが今後の課題である。

## VI. 今後の課題

津波等の強い流れに対する被覆材の合理的な質量算定手法の検証・提案を目的として、平成30年度調査では、定常流を用いた水理模型実験(断面実験)と数値計算を実施し、現行のイスバッシュ式の適用可能範囲や、同式の基本的特性を把握に関する検討を行った。その内容と得られた成果、今後の課題は以下の通りである。

### (1) 水理模型実験による検討

2次元条件下(断面実験)において、平成30年度事業では、同一形状・大きさで比重を変えることで質量を変化させたブロックについては、限界安定質量が流速の6乗則に従う傾向にあることがわかった。その一方で、異なる形状(厚さ等)・大きさのブロック条件について限界安定質量が流速の6乗を顕著に下回ること等が示唆されたが、関連する実験ケース数が限られていた。このため、異なるブロック形状条件について追加実験を行い、イスバッシュ式の基本特性の把握や適用性の検討を進めていく。

また、3次元条件下において、側壁の影響を軽減させた平面(大型)実験を行い、算定式の適用性等を検討を行う。

### (2) 数値計算による検討

水理模型実験における流動場の再現計算、ならびに、同一モデルを用いて実験で取り扱わなかった条件についての数値解析を行った。実験結果で得られた流動場を概ね再現し、水理模型実験の結果の解釈に活用した。今後も、水理模型実験結果の再現性を確認・検証するとともに、実験では検討困難な条件(流速・周期等)について実験結果を補足し、流動等の特徴について検討する。

### (3) 安定質量算定式の検討

水理模型実験および数値計算による評価結果等を踏まえ、強い流れに対する合理的なブロック等安定質量算定手法について、その妥当性および実用性について評価しつつ、提案・検証する。

# 平成 30 年度水産基盤整備調査委託事業報告書

## I. 課題名

### 「漁港漁場施設の設計手法の高度化検討調査」のうち (4) 設計沖波等の設計条件の点検・見直しの標準的な考え方及び手法の検討

## II. 実施機関及び担当者名

一般財団法人漁港漁場漁村総合研究所		
第1調査研究部	部長	高原裕一
第1調査研究部	次長	林 浩志
第1調査研究部	上級研究員	加藤広之
国立研究開発法人水産研究・教育機構	水産工学研究所	
水産土木工学部	主幹研究員	三上信雄
水産土木工学部	グループ長	大村智宏
水産土木工学部	主任研究員	佐伯公康
水産土木工学部	主任研究員	井上誠章
水産土木工学部	研究員	古市尚基
株式会社アルファ水工コンサルタンツ	東京本社	
技術顧問		中山哲巖
執行役員		佐藤勝弘
技術部	主任	千原美季
技術部	主任	遠藤次郎

## III. ねらい

合理的な設計沖波の推算には、長期の気象・海象データとして海上風および波浪の観測値が必要であり、そのデータに基づいた適切な沖波推算手法が必要である。しかしながら、設計沖波の基礎となる波浪については、地球温暖化の影響により台風の巨大化や爆弾低気圧等により、高波浪の出現が予想され、事実、岩手県や宮城県などでは近年、既往最高波高を観測している。

本調査は、既往資料・知見の収集整理に基づき、高波浪の長期的な変動の把握、近年の技術進展を反映した沖波の推算方法の整理を行うとともに、アンケート調査に基づき、全国の漁港管理者が実施した設計沖波の見直し時期や推算手法、漁港の被災の発生などの実態を把握し、その結果を踏まえ、今後の設計沖波手法の提案や設計沖波等の設計条件の点検・見直しの標準的な考え方を提案する。

## IV. 方法

### 1. 既往資料の収集整理

本調査の実施に必要な以下の資料・知見を収集整理した。収集する資料は、全国の気象・海象データ、海上風の推算手法および波浪の推算手法に関する既往知見である。

### 2. 設計沖波の実態調査

全国の漁港海岸管理者へ設計沖波に関するアンケート調査結果の整理を行い、設計沖波について、波浪諸元、見直しの実績、推算時期、推算手法、近年の災害などを把握した。

### 3. 設計沖波手法の提案や設計沖波等の設計条件の点検・見直しの標準的な考え方

上記の検討結果をとりまとめて、漁港の特性である地形などを考慮した設計沖波の見直し時期や設計条件の点検方法などの基本的な考え方を示すとともに、最新の知見に基づく設計沖波の推算手法について提案した。

#### (1) 設計沖波等設計条件の見直し時期の検討

「1. 既往資料の収集整理」による波浪の長期変動傾向の結果および「2. 設計沖波の実態調査」による設計沖波の見直しによる影響などを踏まえ、設計沖波等に関する設計条件の見直し時期について検討した。

#### (2) 設計沖波等設計条件の点検手法の標準的な考え方

波浪の長期変動結果などから設計沖波などの設計条件の点検方法の標準的な考え方を整理した。

#### (3) 設計沖波推算手法の検討

設計沖波に関する知見、漁港の特性を踏まえ、海上風推算及び設計沖波の推算手法を提案した。

## 4. 検討部会の実施

本業務の実施にあたっては、専門分野の知見を有する学識経験者を委員とする調査検討委員会を設け、2回実施し、指導・助言を得ながら業務のとりまとめを行った。

委員は、専門を津波、海岸工学とする各有識者とした。

- ・岡安 章夫：東京海洋大学学術研究院 海洋資源エネルギー学部門 教授
- ・田島 芳満：東京大学大学院 工学系研究科社会基盤学専攻 教授
- ・八木 宏：防衛大学校 システム工学群建設環境工学科 教授
- ・今井健太郎：海洋研究開発機構地震津波海域観測研究開発センター 技術研究員

## V. 結果・考察

### 1. 既往資料の収集整理

設計沖波などの設計条件の基礎となる波浪観測データ、気象データを収集整理し、波浪や潮位などの長期変動特性を明らかにした。

また、気候変動による漁港施設への影響について既往知見を収集・整理した。IPCC 第5次評価報告書によれば、気候変動により「気温・海水温の上昇」、「海面水位の上昇」が予測されている。漁港施設へは、「波浪の強大化」及び「海面水位の上昇」等の影響要因が懸念されるため、上記について施設への影響を整理した。

海上風及び波浪の推算手法について既往資料を収集し、各モデルの推算精度、特徴、適用条件などを整理し、地球温暖化などの知見などから、設計条件への影響を整理した。

#### (1) 波浪の長期変動傾向

ナウファス（全国港湾海洋波浪情報網 :NOWPHAS : Nationwide Ocean Wave information network for Ports and HARbourS)<sup>1)</sup>による全国の波浪観測データを収集し、年最大波高の変化傾向を調査した。

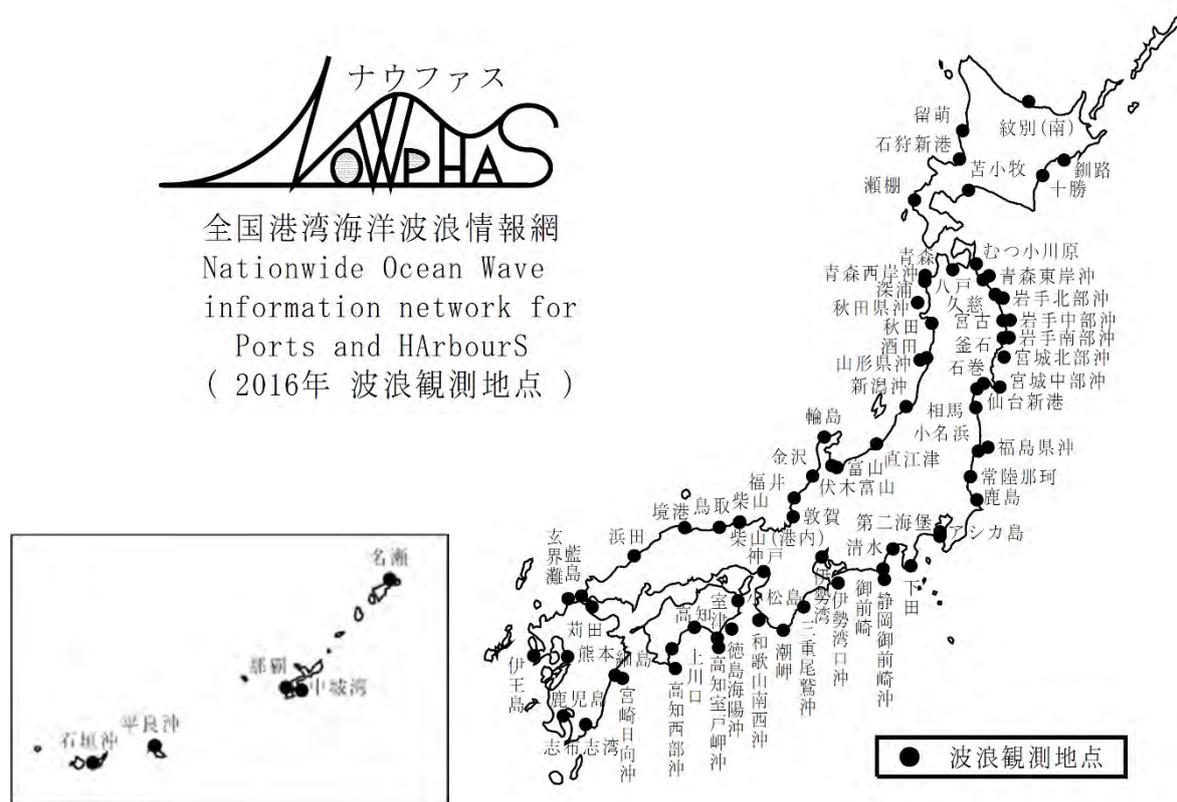


図 4.1.1 ナウファス波浪観測地点

ナウファス観測データは、10年以上観測されている箇所を抽出し、観測データのうち、年最大有義波高について整理した。2017年時点において、過去10年以内に既往最大有義波高を観測した地点は全78地点中53地点であり、過去5年以内に絞っても35地点であった。

次に年最大有義波高の変化傾向を一次回帰にて整理した。整理事例として図 4.1.2 に八戸港、金沢港の例を示す。同様に全国の年最大有義波高の変化傾向を整理した結果を図 4.1.3 に示す。図より、全国的に上昇傾向にあり、特に日本海側に比べ太平洋側の上昇率が大きいことが窺える。

また、図 4.1.4 に年最大波高を地域別に平均した結果を示す。年あたりの上昇量は 2.5cm/年～7.6cm/年と、全国的に上昇傾向にあり、特に太平洋側の上昇率が大きいことが窺える。地域別にみると北海道太平洋側、中部地方、近畿地方の順で上昇率が大きく、九州・沖縄地方と中国地方の上昇率が最も小さい 2.5cm/年となっていた。

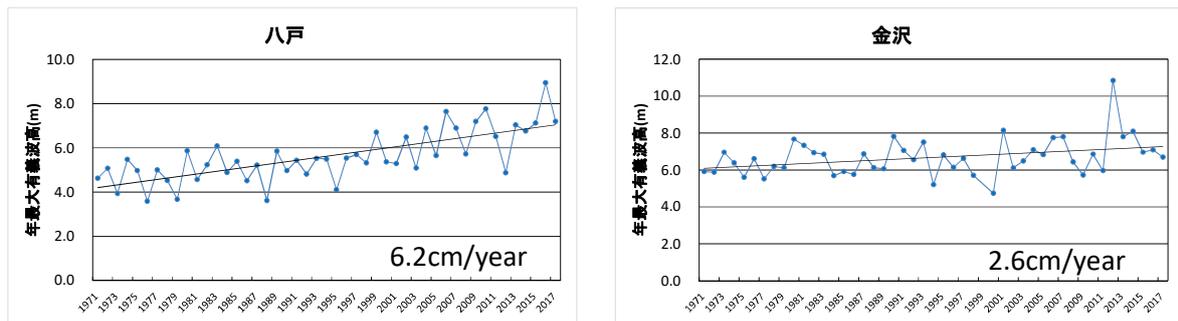


図 4.1.2 年最大有義波高の変化例（八戸・金沢）

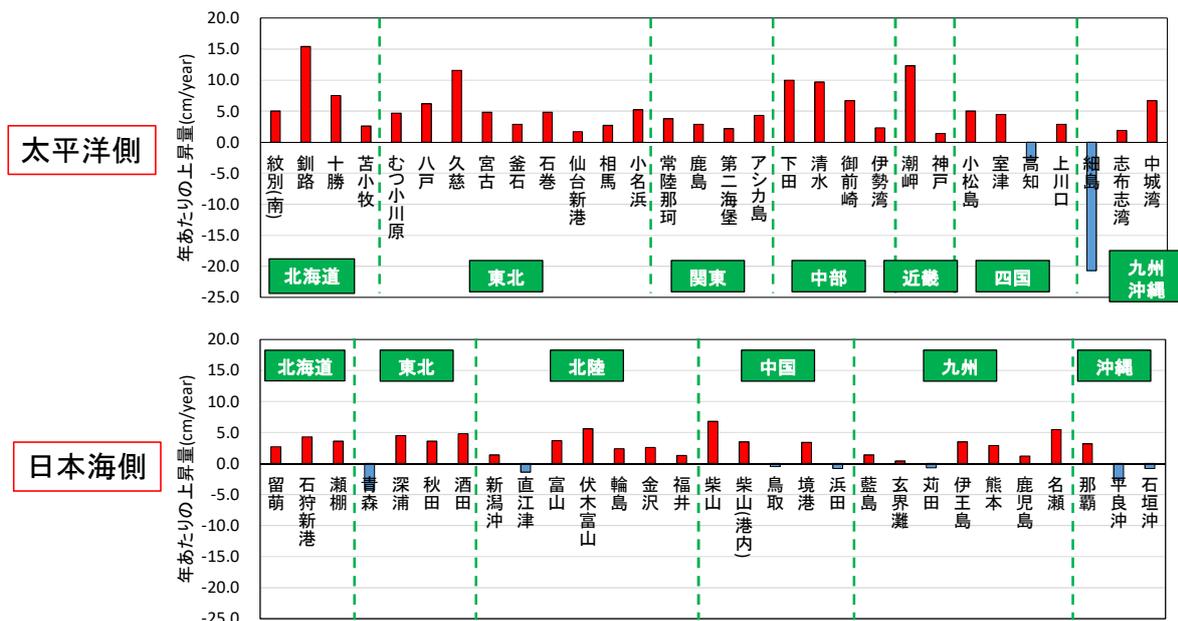


図 4.1.3 年最大有義波高の変化傾向（全国）



図 4.1.4 年最大有義波高の変化傾向（地域別）

1988年～2017年の観測値を対象として、10年ごとの年最大波高の変化傾向を整理した結果を図 4.1.5 に示す。これより、20～30年前に比べて、最近10年間・10～20年前の上昇量が大きい地点が多く、東北・北陸地方の日本海側において10～20年前の上昇率が大きいことが窺える。以上より、20～30年前と比較して、近年、高波浪の出現が顕著であることがわかる。

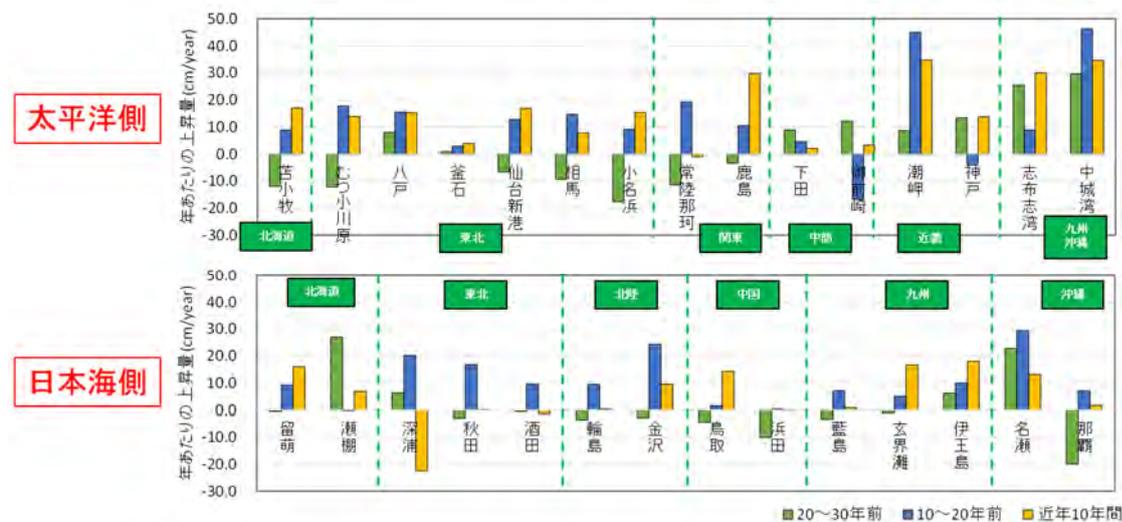


図 4.1.5 年最大有義波高の10年ごとの変化傾向

以上の検討結果から以下のことが整理できた。

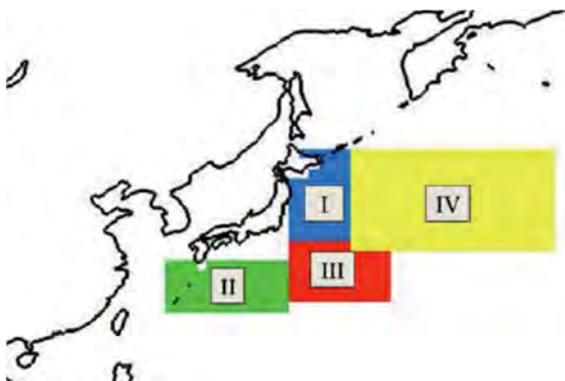
- 過去 10 年以内に、全国の観測地点の 2 / 3 以上で既往最大有義波高が更新されている。
- 長期的（全観測期間）にみると、年最大有義波高は全国的に上昇傾向で、特に日本海側に比べ、太平洋側で年あたりの上昇量が大きい。
- 全観測期間における年最大有義波高の上昇量よりも、短期的な年最大有義波高の上昇率の方が大きい地点が多い。

この要因は、大型の台風や発達した低気圧の通過などによるものと考えられる。これらのことから、近年、異常波浪の出現頻度が増加していると考えられる。

## (2) 温暖化による波浪の長期変動予測と構造物への影響

地球の温暖化による波浪の長期変動傾向について、既往知見などから整理を行った。森ら<sup>2)</sup>は、将来の気候変動シナリオ（A1B）に基づく超高解像度全球気候モデルを用いた温暖化予測実験結果をもとに、現在から将来の全球における風速場や波浪場の将来変化の予測を行った。現在の波浪場は 1979～2003 年のデータから 50 年確率波高を算出し、将来の波浪場として、2075～2099 年の予測値から 50 年確率波高を算出した。対象となる波浪場は図 4.1.6 に示す 4 海域とし、冬期・夏期について比較している。比較結果を表 4.1.1 に示す。表より、50 年確率値において、夏期には海域により波高が 20～60%増加する結果であった。

表 4.1.1 50 年確率波高：夏季  
(極値解析方法：合田, 2008)



領域	気候	50年確率波高 [m]	将来への変化量
I	現在	13.07	+2.75m (21.0%) 標準誤差1.18m
	将来	15.82	
II	現在	20.12	+4.69m (23.3%) 標準誤差2.16m
	将来	24.81	
III	現在	13.16	+8.49m (64.5%) 標準誤差1.24m
	将来	21.65	
IV	現在	13.97	+2.83m (20.3%) 標準誤差0.85m
	将来	16.80	

図 4.1.6 対象海域分割図

A1B シナリオは、主に IPCC 第三次評価報告書（TAR）及び第 4 次評価報告書（AR4）で用いられていた SRES シナリオのひとつである。高い経済成長と地域格差の縮小を仮定し、全てのエネルギー源のバランスを重視した場合で、温室効果ガス排出量が中程度のシナリオに位置する。IPCC 第 5 次報告書からは、SRES シナリオに変わり RCP シナリオが用いられており、政策的な緩和策を前提として、将来、温室効果ガスをどのように安定化させるかという考え方から、その代表的濃度経路（Respective Concentration Pathway）を示している。SRES シナリオと RCP シナリオは仮定が異なるため単純に比較することはできないが、A1B シナリオは、概ね RCP6.0（高位安定化シナリオ）に対応する<sup>3)</sup>。RCP シナリオにおける日本沿岸の波浪の長期予測については知見が乏しく、現在研究が進められている段階である。

辻尾ら<sup>4)</sup>は、地球温暖化による沿岸外力変化（海面上昇、高潮偏差、来襲波浪）を考慮した防波堤の滑動量解析を行い、沿岸外力特性の変化が防波堤の滑動安定性に及ぼす影響を検討した。外力別の期待滑動量経年変化と期待滑動量の検討結果を図 4.1.7 に示す。図より、対象とした3つの沿岸外力のうち、波浪増大の影響が最も大きく、温暖化を考慮すると期待滑動量が0.2m～1.8m増加し、温暖化を考慮しない場合と比べて60～200%増加することを示した。

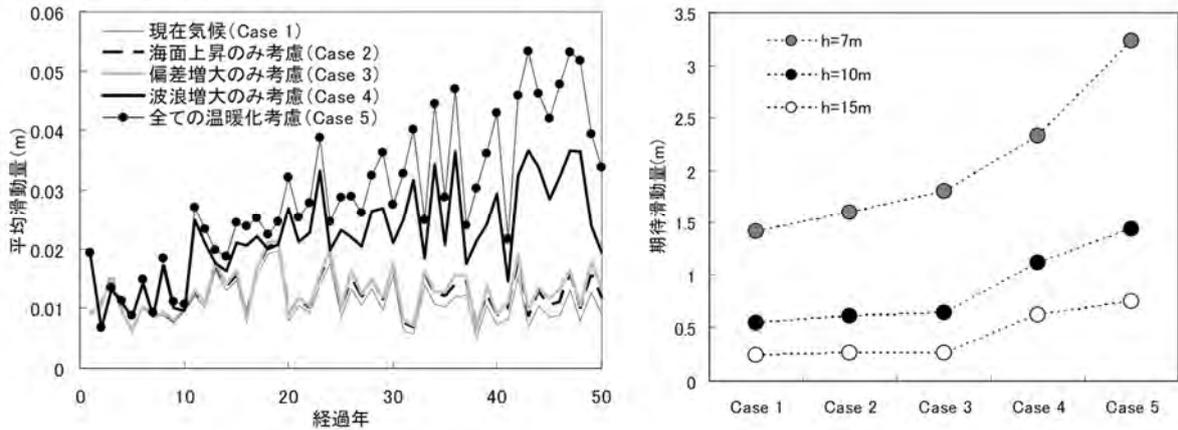


図 4.1.7 期待滑動量の経年変化（左）と期待滑動量（右）（設置水深 10m、領域Ⅲ）

### (3) 設計沖波変化による構造物への影響

設計沖波の見直しによる構造物への影響を把握するため、過去5年以内に設計沖波を見直した3自治体にヒアリングを実施し、沖波の変化および堤体に作用する波圧の変化を検証した。表 4.1.2 に、見直し前の設計沖波を設定した年から見直すまでの経過年数、見直した設計沖波波高（新沖波波高）と見直し前（旧設計沖波波高）の波高の差（新沖波波高－旧沖波波高）、1年あたりの上昇量（波高の差／経過年数）を示す。ここで、沖波波高は30年確率波高の全ての波向き の平均値である。表より、1年あたりの上昇量は2.33cm／年～23.88cm／年であった。

表 4.1.2 設計沖波見直しによる波高上昇率（全波向）

	①設計沖波推算 経過年	②30年確率波高の差 (全波向の平均)	③30年確率波高の 上昇率(=②÷①)
A県	25年(H3→H28)	+0.94 m	3.76 cm/year
B県	30年(S61→H28)	+0.70 m	2.33 cm/year
C県	8年(H17→H25)	+1.91 m	23.88 cm/year

さらに、見直し前と見直し後における水平波力の比較をした結果を図 4.1.8 に示す。図より、設計沖波が 2~4cm/year 増加した地域（A 県、B 県）においても、10 年経過すると従前の波力の 1.2 倍を超える恐れがあることが示唆された。

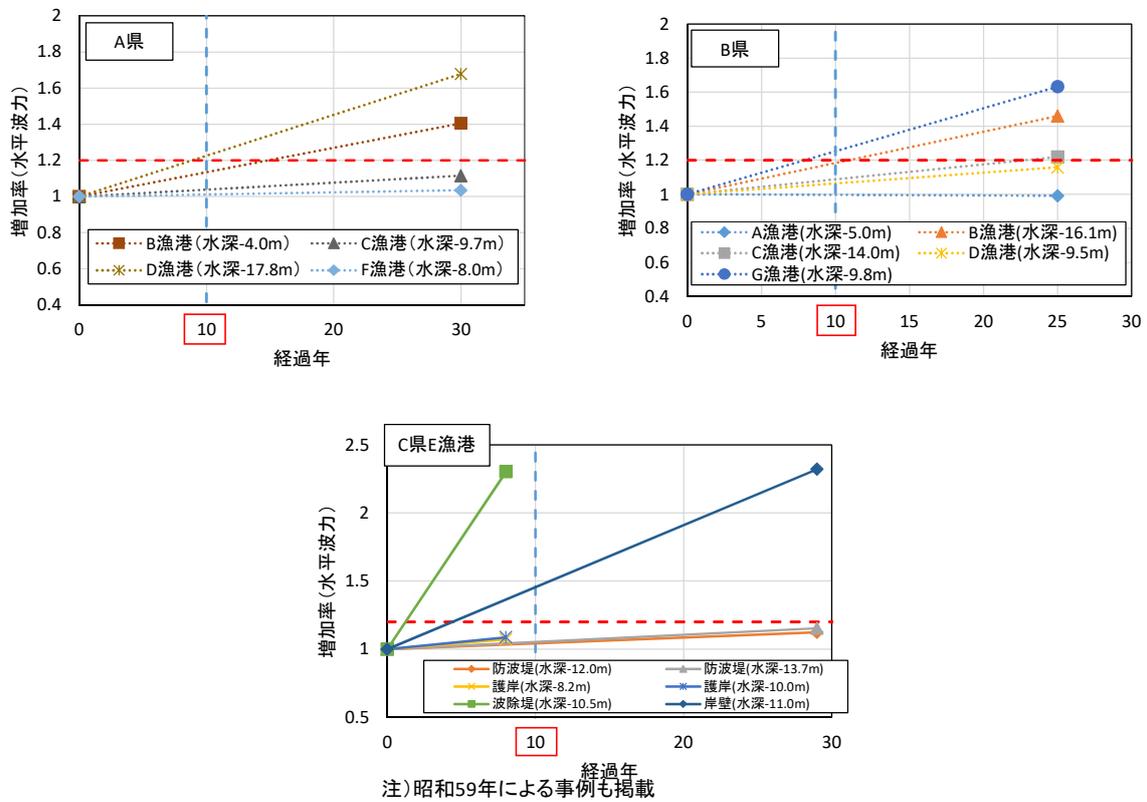


図 4.1.8 経年変化による水平波力の増加率

#### (4) 潮位の長期変動

気象庁では、日本沿岸で地盤変動の影響が小さい検潮所（図 4.1.9）を抽出し、海面水位変動について解析を行っている<sup>5)</sup>。1906 年から 1959 年までは 4 地点（図 4.1.9 左図）、1960 年以降は 16 地点（図 4.1.9 右図）の検潮所を選択している。

日本沿岸の海面水位は、1906～2017 年の期間では上昇傾向は見られないが、1980 年代以降、上昇傾向が見られる。また、全期間を通して 10 年から 20 年周期の変動（十年規模の変動）があるとしている。

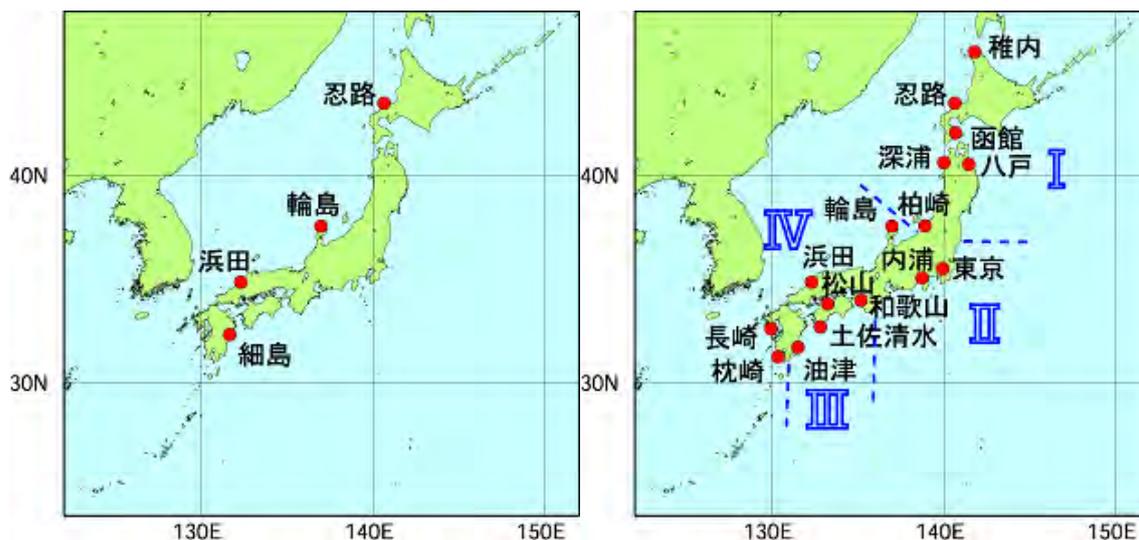


図 4.1.9 地盤変動の影響が小さい検潮所<sup>5)</sup>（左図：1906 年から 1959 年までの解析に使用・右図：1960 年以降の解析に使用）

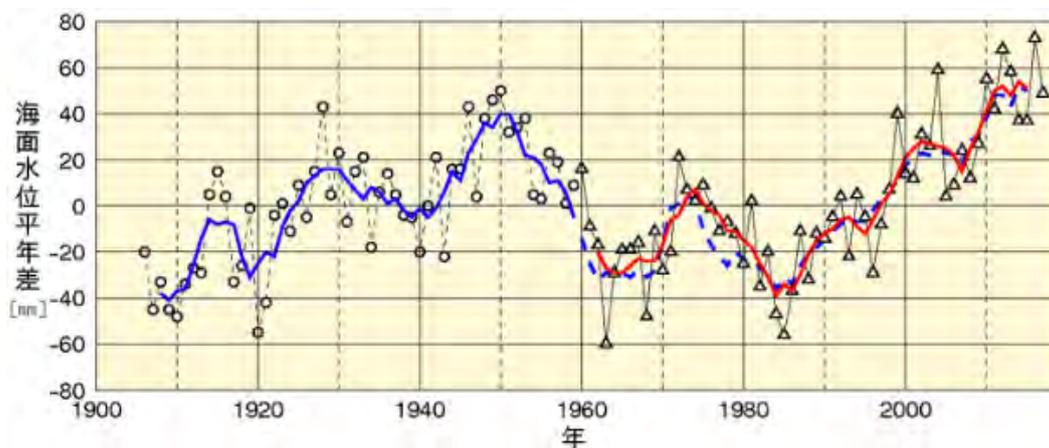


図 4.1.10 日本沿岸の海面水位変化<sup>5)</sup>  
 (1906～2017、1981～2010 年の平均を 0 としている)

また、1960 年以降の統計<sup>6)</sup>では、関東・東海地方沿岸（Ⅱ）を除き上昇傾向にあり、近年（1993～2010 年）は、関東・東海地方沿岸（Ⅱ）においても上昇傾向にある。海域別に見た場合、近年、北陸～九州の東シナ海側（Ⅳ）で他の海域に比べて上昇傾向が見られる。

### 各海域の年あたりの上昇率(mm/年)

I～IVの海域、4海域平均および世界平均の年平均海面水位の上昇率。  
上1段は1960年～2017年までの期間で算出した上昇率、下2段はIPCC第5次評価報告書における世界平均の海面水位の上昇率と同じ期間で算出した上昇率を示す。大括弧[ ]の範囲は90%の信頼区間を示す。\*は上昇率が有意でないことを示す。

	I	II	III	IV	4海域の平均	世界平均 (IPCC第5次評価報告)
1960～2017年	1.2[1.0～1.4]	*	1.1[0.7～1.5]	2.4[2.1～2.7]	1.3[1.0～1.6]	
1971～2010年	1.4[1.0～1.9]	*	*	2.4[1.9～2.9]	1.1[0.6～1.6]	2.0[1.7～2.3]
1993～2010年	2.2[0.8～3.7]	3.5[1.2～5.7]	*	3.8[2.5～5.1]	2.8[1.3～4.3]	3.2[2.8～3.6]

日本沿岸の海面水位変化(1960～2017年, 1981～2010年の平均を0)

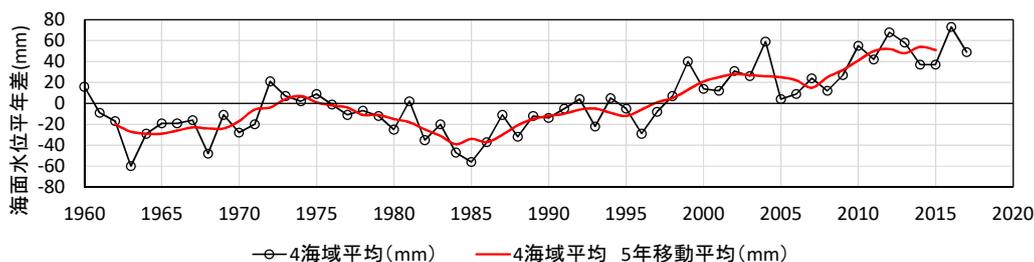


図 4.1.11 日本沿岸の海面水位変動傾向<sup>6)</sup>(1960年以降)

内藤ら<sup>7)</sup>は、港湾域の検潮所 10 地点（留萌港、久慈港、酒田港、金沢港、久里浜港、三河港、宇部港、唐津港、志布志港及び中城湾港）と近隣検潮所 22 地点の検潮記録データから、季節変動を考慮した気圧と、潮汐地盤変動による補正を行った平均海面水位からトレンドを推定した。下記に概要を示す。

- 日本海側では、酒田港および宇部港を除く 3 地点（留萌港、金沢港および唐津港）において、トレンドが統計的に有意であると判定され、それぞれのトレンド推定結果は、3.36、2.59 および 4.11mm/year と何れも上昇傾向であった。唐津港近隣の須佐、博多、仮屋の 3 地点では、トレンドが有意であると判定され、それぞれ 6.43、7.87、9.06mm/year と、唐津港と同様に上昇傾向であり、唐津港と距離的に近い仮屋で比較すると約 2 倍の値であった。
- 太平洋側では、久慈港を除く、4 地点（久里浜湾、三河港、志布志港および中城湾港）でトレンドが有意であると判定され、それぞれのトレンド推定結果は、3.04、4.59、4.29 および 2.59 mm/year と何れも上昇傾向であった。三河港近隣の名古屋、鬼崎および鳥羽の 3 地点では、いずれもトレンドが有意であると判定され、それぞれのトレンドは、4.31、5.96 および 5.06mm/year と推定され、三河港のトレンドのオーダーは、名古屋と鳥羽の間であった。
- 以上から、近隣検潮所間といえども、平均海面水位トレンドの傾向が異なっている場合があることが判明した。

## (5) 海水温の長期変動

気象庁による海水温の長期変化は以下のように公表されている<sup>8)</sup>。

日本近海における、2017年までの約100年間にわたる海域平均海面水温（年平均）の上昇率は、 $+1.11^{\circ}\text{C}/100$ 年であり、世界平均（ $+0.54^{\circ}\text{C}/100$ 年）より大きく、日本の気温の上昇率（ $+1.19^{\circ}\text{C}/100$ 年）と同程度である。海域別にみると（図4.1.12）、海面水温（年平均）の上昇率は、黄海、東シナ海、日本海南西部、四国・東海沖、釧路沖では日本の気温の上昇率と同程度、三陸沖、関東の東、関東の南、沖縄の東および先島諸島周辺では日本の気温の上昇率よりも小さく、日本海中部では日本の気温の上昇率よりも大きい。

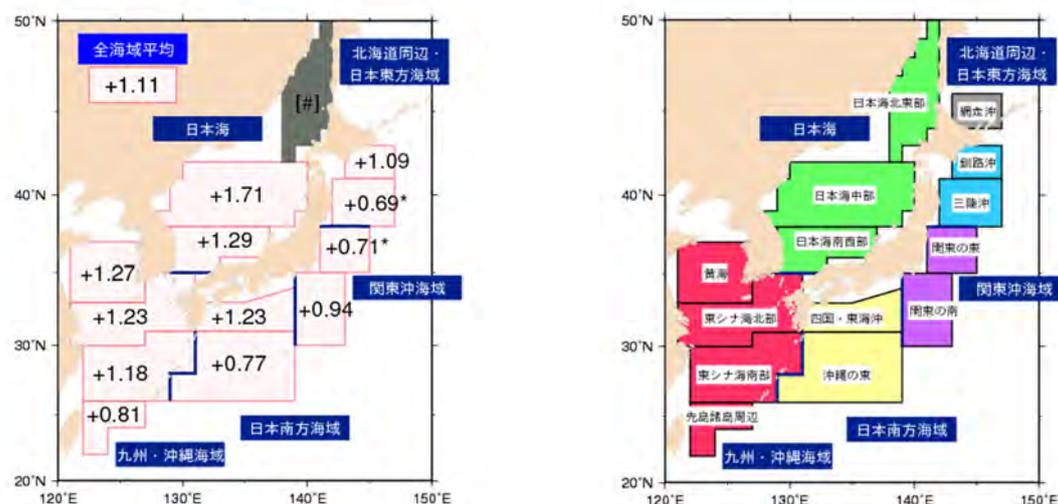


図 4.1.12 海域平均海面水温（年平均）の長期変化傾向（ $^{\circ}\text{C}/100$ 年）（左図）と海域区分（右図）

海面水位と海水温の関係について、気象庁は以下のように述べている<sup>9)</sup>。

- 世界の平均海面水位は、1993年から2010年の間に、 $2.95 \pm 0.12\text{mm}/\text{年}$ の割合で上昇している。同じ期間に、表層水温の上昇に伴う熱膨張によって  $0.88 \pm 0.19\text{mm}$  海面水位が上昇したと推定され、1993年から2010年の世界の平均海面水位の上昇量のおよそ3分の1が表層水温の上昇によるものだと考えられる。

また、岩崎ら<sup>10)</sup>は、地殻変動成分を除いた海面水位変動を検潮記録から抽出し、海面水温との関係を調べた結果を以下のように述べている。

- 海水位変動の長期変動傾向は、沿岸から100km以内の海面水温の変動傾向と良い一致を示した。海水位変動が、海面水温の変動に従属し、タイムラグなしの線形の関係にあるとすると、過去30年間、東日本は $-0.87\text{mm}$ 、西日本は $4.6\text{mm}$ の年率で海水位が変動していると考えられる。また、海面水温 $1^{\circ}\text{C}$ の上昇は約 $80\text{mm}$ の海水位上昇に対応していると考えられる。
- また、地殻変動の影響を取り除いた海水位には、海況の変化の影響と推定される変動が顕著であった。黒潮の流軸変化、冷水塊の消長、親潮の南下現象、海洋循環などの影響が考えられる。このような傾向がいかなる機構によって成立しているかも、日本周辺域の海水位上昇を予測する上で将来の重要な課題である。

最新の研究として、内藤ら<sup>7)</sup>は平均海面水位のトレンドと水温上昇トレンドを比較することで以下について明らかにした。

- 統計的に有意であった地点での水温による水位上昇量は、23.44～74.90mm/°C（平均：51.09mm/°C）であった。
- 場所によって海水温と平均海面水位の影響は異なっているが、この要因としては海水温上昇により、海水が膨張し水位を上昇させる効果だけでなく、海流による影響があると考えられる。
- 水温のトレンドは、志布志港が 3.03°C/100 年、油津が 3.43°C/100 年、細島が 3.31°C/100 年であり、地点間の差は小さかった。一方、1°Cあたりの水位上昇量は、志布志港の 74.90mm/°Cに対し油津が 147.13mm/°C、細島が 126.69mm/°Cと推定された。油津と細島の場合は、水温増加に対する水位上昇率（感度）が大きいことから志布志港との間でトレンドに有意な差が生じおり、水温増加に対する水位上昇率に地域差があることが分かった。

#### (6) 地球温暖化による海面水位の長期変動予測

森ら<sup>11)</sup>は、IPCC 第4次報告書で用いられたCMIP3気候シナリオの結果（A1Bシナリオ）に最新のモデルの結果を加え、マルチモデルアンサンブル平均として、日本近海の海面水位の将来変化は+0.26m/100年となるとした（図4.1.13）。同様に、日本周辺の海面水温は+2.6°C/100年の上昇が見込まれるとしている。

有働ら<sup>12)</sup>は、IPCC 第5次報告書で用いられたCMIP5気候シナリオ（RCPシナリオを想定）に提出されたMIROC5の海面水位データを用いて、気候変動に伴う2081～2100年の20年平均の海面上昇量予測を行った。RCPシナリオは、将来あり得ると考えられる上限のRCP8.5と下限のRCP2.6が設定されており、その間にRCP4.5、RCP6.0が設定されている。将来の日本沿岸の海面上昇量は、RCP2.6で0.20～0.23m、RCP4.5で0.21～0.24m、RCP6.0で0.21～0.23m、並びにRCP8.5で0.28～0.31mであった（図4.1.14）。

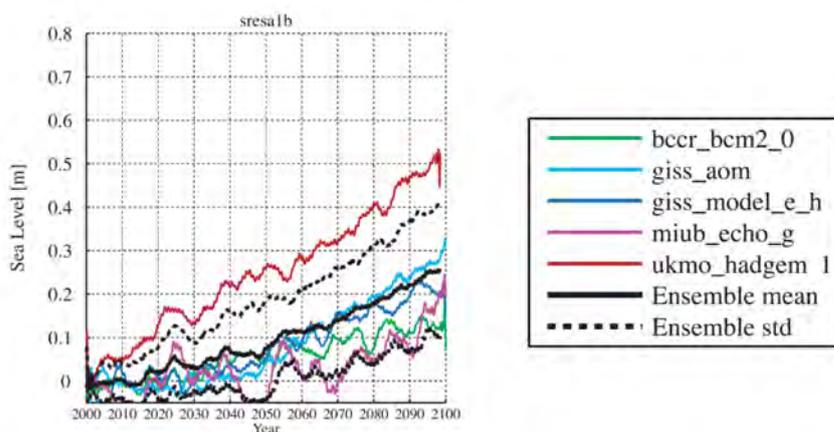


図 4.1.13 日本周辺海域の海面上昇量の将来変化

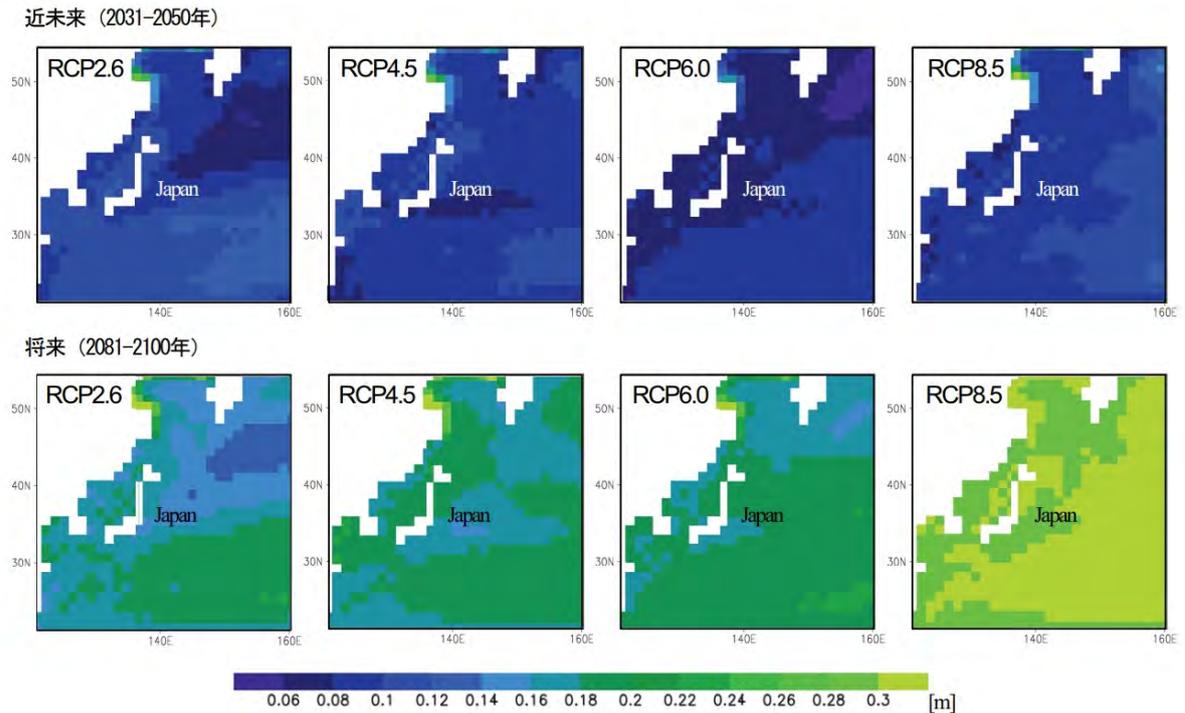


図 4.1.14 MIROC5 による RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0、ならびに RCP8.5 に対する日本周辺の近未来（2031-2050年）と将来（2081-2100年）の海面上昇量予測結果

#### (7) 海上風推算モデル

従来の海上風推算モデルとしては、台風モデル、傾度風モデルなどがあり、近年、局地気象モデルが提案されている。漁港は半島など地形の遮蔽効果を利用した箇所に位置しており、海上風を精度よく推算するためには、陸地の影響を考慮できる海上風推算モデルを使用することが望ましい。

川口ら<sup>13)</sup>は、局地気象モデルで得られる風場を入力値とした波浪推算結果は、従来法による風場を用いた場合よりも精度が高いことを指摘している。図 4.1.15 は、傾度風モデルと局地気象モデル（WRF）で海上風を推算し、WAM を用いて波浪推算をした結果である。図より、局地気象モデルを用いた推算結果が地形の影響を考慮できており、観測値を精度良く再現できていることがわかる。

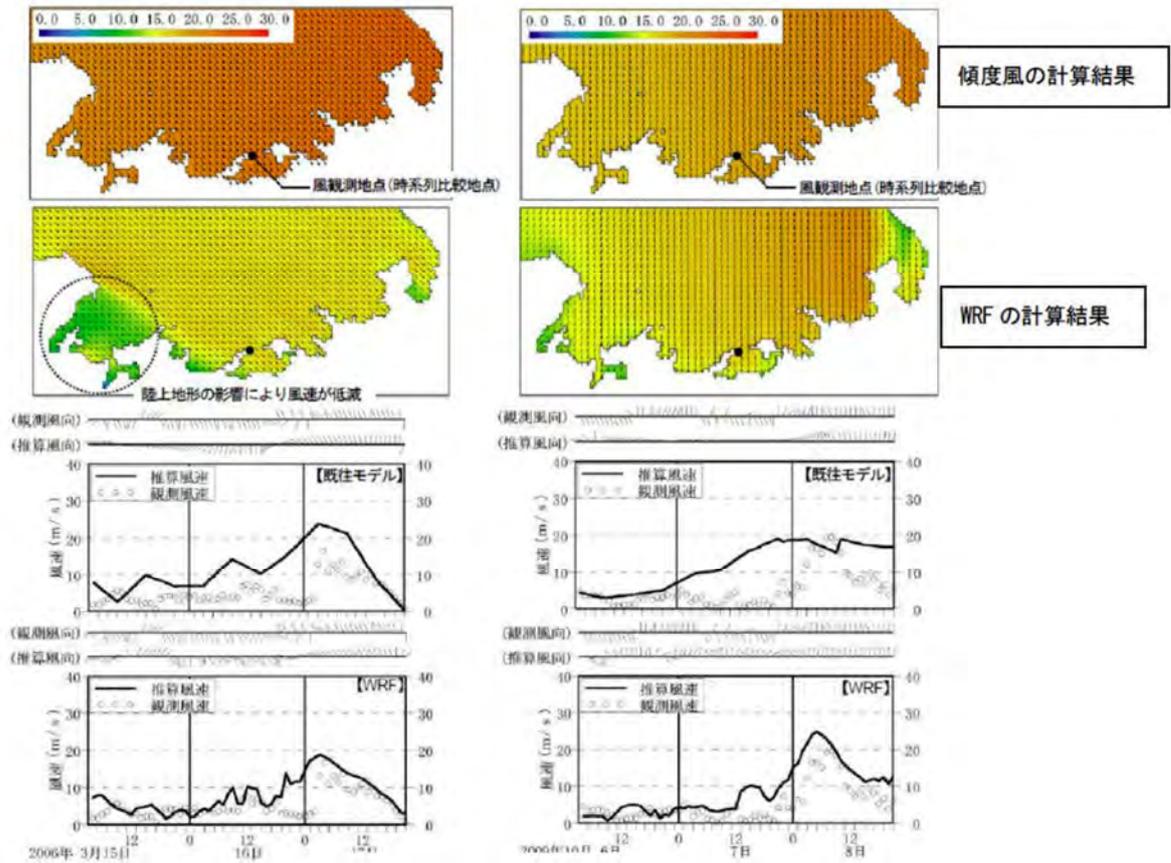


図 4.1.15 海上風モデルの計算結果の比較

また、鈴山ら<sup>14)</sup>は陸上地形の影響が小さい海域では WRF と既往モデルは同程度の海上風推算精度を有しており、設計沖波の検討で WRF を用いることは有効であること、WRF は既往モデルと異なり陸上地形の影響が考慮できるため、外洋、内湾に関わらず、全ての海域に適用可能であり、既往モデルと比較してより汎用性が高いモデルになると指摘している。

## (7) 波浪推算モデル

波浪推算においては、近年、第Ⅲ世代スペクトル法が標準的な推算法になりつつある。第Ⅲ世代のモデルとしては WAM、SAWAN、WAVEWATCHⅢなどが多く用いられている。

WAM は、MRI（第一世代モデル）に比べて推算精度が高く<sup>15)</sup>、SWAN は、WAM をもとに地形性砕波やウェーブセットアップを考慮できるよう拡張したモデルであり、浅海域の波浪推算に用いられている。また、WAVEWATCHⅢは、WAM の性能拡張版として開発されており、WAM に比較して、うねり性波浪を含む異常波浪ケースのピーク時付近や周期の全期間について再現性が優れている<sup>16)</sup>。

表 4.1.3 に第Ⅲ世代スペクトル法の特徴を整理する。

表 4.1.3 第Ⅲ世代スペクトル法

波浪推算手法の名称	波浪推算手法の概要
WAM モデル	<p>エネルギー平衡方程式を基礎方程式として、波の発生・発達・伝播および減衰に伴う波浪エネルギー（スペクトル）の変動を以下のようにして数値的に求める。</p> <p>① WAM モデルの Cycle4 では、風から波へのエネルギー輸送の計算式に、Janssen の quasi-linear 理論を導入し、より現実に近い定式化に改良されている。</p> <p>② エネルギー消散項では、白波砕波と底面摩擦の効果が考慮されている。</p> <p>③ 非線形相互作用によるエネルギー輸送は、4 波共鳴の非線形相互作用を考慮している。ただし、4 波共鳴の組み合わせは無数に存在することから、離散相互作用近似により、たった 1 組の組み合わせで代表させている。</p>
SWAN モデル	<p>WAM をもとに地形性砕波やウェーブセットアップを考慮できるよう拡張したモデルとして開発されており、浅海域の波浪推算に用いられている。</p>
WAVEWATCHⅢモデル	<p>WAM の性能拡張版として開発されており、WAM に比較して、うねり性波浪を含む異常波浪ケースのピーク時付近や周期の全期間について再現性が優れている。</p>

## 2. 設計沖波の実態調査

平成30年8月に水産庁では、漁港管理者である都道府県に沖波推算の見直し時期、見直し予定、大規模な被災状況についてアンケート調査を行った。アンケート項目を以下に示す。

- ・ 設計沖波設定年度
- ・ 経過年
- ・ 10年以内の見直し予定
- ・ 見直し予定年度
- ・ 波浪による被災状況
  - 直近10年間で1億円以上の被災の有無
  - 直近10年間で1箇所1億円以上の被災の有無
  - 直近10年間で1箇所2000万円以上の被災の有無

### (1) 設計沖波の設定状況

設計沖波の設定状況について整理した結果を表4.2.1に示す。設計沖波を近年（10年未満）に見直したのは11都道府県であり、30年以上経過しているのは4府県、15年以上30年未満が5県であった。

表 4.2.1 設計沖波の設定状況

都道府県番号	都道府県名	設計沖波設定年度	経過年	10年以内の見直し予定	見直し予定年度	都道府県番号	都道府県名	設計沖波設定年度	経過年	10年以内の見直し予定	見直し予定年度
11	北海道	28	2	×		31	大阪	S37	56	なし	
12	青森	17	13	○	H30	32	兵庫	28	2	×	
13	岩手	30	0	×		33	和歌山	17	13	×	
14	宮城	29	1	×		34	鳥取	4	26	○	検討中
15	秋田	17	13	○	検討中	35	島根	4	26	△	検討中
16	山形	17	13	×		36	岡山	29	1	×	
17	福島	S62	31	○	検討中	37	広島	18	12	×	
18	茨城	S62	31	○	検討中	38	山口	8	22	×	
19	千葉	14	16	×		39	徳島	17	13	×	
20	東京	27	3	×		40	香川	28	2	×	
21	神奈川	23	7	○	検討中	41	愛媛	17	13	○	検討中
22	新潟	20	10	×		42	高知	17	13	×	
23	富山	21	9	×		43	福岡	18	12	×	
24	石川	17	13	×		44	佐賀	5	25	×	
25	福井	25	5	×		45	長崎	17	13	○	H31
26	静岡	20	10	×		46	熊本	S63	32	×	
27	愛知	20	10	×		47	大分	18	12	×	
28	三重	19	11	×		48	宮崎	17	13	×	
29	滋賀	-	-	-	-	49	鹿児島	17	13	×	
30	京都	17	13	×		50	沖縄	28	2	×	

: 5年以内  
 : 5年以上10年未満経過  
 : 10年以上15年未満経過  
 : 30年以上経過  
 : 15年以上30年未満経過

### 【まとめ】

10年未満経過	11	都道府県	うち、10年以内の見直し予定	1	県
10年以上15年未満経過	19	府県	うち、10年以内の見直し予定	4	県
15年以上経過	9	府県	うち、10年以内の見直し予定	4	県
(内訳)15年以上30年未満	5	県	うち、10年以内の見直し予定	2	県
30年以上経過	4	府県	うち、10年以内の見直し予定	2	県
40沿岸都道府県のうち、10年以内に見直し予定				9	県

## (2) 近年 10 年の被災状況

近年 10 年の被災状況について整理した結果を表 4.2.2 および図 4.2.1 に示す。近年 10 年以内に設計沖波を見直した都道府県の多くは、近年 10 年以内に波浪による被災が発生している割合が高く、被災が発生したことにより沖波を見直したと考えられる。一方で、設計沖波を 25 年以上見直していない府県は比較的甚大な災害が少ないが、設計沖波（30 年確率波）の推算精度に課題があると考えられる。

表 4.2.2 近年 10 年の波浪による被災状況

都道府県番号	都道府県名	経過年	波浪による被災状況(直近10年間で1億円以上)	波浪による被災状況(直近10年間で1箇所1億円以上)	波浪による被災状況(直近10年間で1箇所2000万円以上)	都道府県番号	都道府県名	経過年	波浪による被災状況(直近10年間で1億円以上)	波浪による被災状況(直近10年間で1箇所1億円以上)	波浪による被災状況(直近10年間で1箇所2000万円以上)
11	北海道	2	有	有	有	31	大阪	56	なし	なし	なし
12	青森	13	有	有	有	32	兵庫	2	有	有	有
13	岩手	0	有	有	有	33	和歌山	13	有	有	有
14	宮城	1	有	有	有	34	鳥取	26	なし	なし	なし
15	秋田	13	有	有	有	35	島根	26	有	有	有
16	山形	13	有	有	有	36	岡山	1	なし	なし	なし
17	福島	31	有	なし	有	37	広島	12	なし	なし	なし
18	茨城	31	なし	なし	なし	38	山口	22	有	有	有
19	千葉	16	なし	なし	有	39	徳島	13	なし	なし	なし
20	東京	3	有	有	有	40	香川	2	有	なし	有
21	神奈川	7	有	有	有	41	愛媛	13	有	なし	有
22	新潟	10	有	有	有	42	高知	13	有	有	有
23	富山	9	なし	なし	有	43	福岡	12	有	有	有
24	石川	13	なし	なし	なし	44	佐賀	25	なし	なし	なし
25	福井	5	有	有	有	45	長崎	13	有	あり	有
26	静岡	10	有	有	有	46	熊本	32	なし	なし	有
27	愛知	10	なし	なし	なし	47	大分	12	有	有	有
28	三重	11	なし	なし	なし	48	宮崎	13	なし	なし	なし
29	滋賀	-	なし	なし	なし	49	鹿児島	13	有	有	有
30	京都	13	有	なし	有	50	沖縄	2	有	有	有

: 5年以内  
 : 5年以上10年未満経過  
 : 10年以上15年未満経過  
 : 15年以上30年未満経過  
 : 30年以上経過

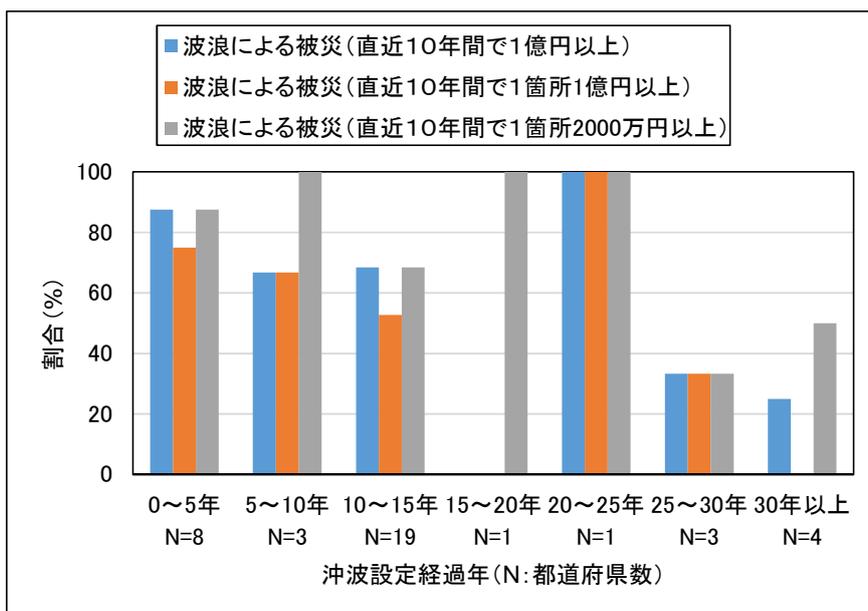


図 4.2.1 近年 10 年の波浪による被災状況

### 3. 設計沖波手法の提案や設計沖波等の設計条件の点検・見直しの標準的な考え方

「1. 既往資料の収集整理」、「2. 設計沖波の実態調査」の検討結果を踏まえ、漁港の特性である地形などを考慮した設計沖波の見直し時期や設計条件の点検方法などの基本的な考え方を示すとともに、最新の知見に基づく設計沖波の推算手法について提案する。

#### (1) 設計沖波等設計条件の点検・見直し時期

##### ① 設計沖波の点検・見直し時期

波浪の長期変動傾向、温暖化による波高増大の影響や設計沖波見直しによる構造物への影響について整理した結果を以下に示す。

- ・長期的（全観測期間）にみると、全国的に上昇傾向にある。
- ・2017年時点、過去10年以内に既往最大有義波高を観測した地点は全78地点中53地点、過去5年以内でも35地点ある。
- ・森ら（2010）は、将来の気候変動シナリオ（A1B）に基づく温暖化予測実験結果から、夏季には50年確率値において、海域により20～60%増加する結果を示した。
- ・辻尾ら（2013）は、地球温暖化による防波堤への沿岸外力として、波浪増大の影響が最も大きいこと、温暖化を考慮しない場合と比べて期待滑動量が60～200%増加することを示した。
- ・設計沖波が2～4cm/year増加した地域においても、従前の設計条件で算出した波力に対して、最大1.6倍程度の波力が算出され、10年で従前の波力の1.2倍を超える恐れがあることが確認された。

これらのことから、漁港施設の合理的な設計のためには、設計沖波を定期的に見直すことが有効である。その見直し時期については、波浪の長期変動傾向、温暖化の影響や施設への影響を考慮すると、10年程度が適当であると考えられる。

##### ② 設計潮位の点検・見直し時期

潮位に関する長期変動、海水温の上昇や温暖化の影響などについて整理した結果を以下に示す。

- ・日本沿岸の海面水位の変化は、1906～2017年の期間では明瞭な上昇傾向はみられないが、1980年代以降上昇傾向が見られる。1993～2010年の期間では1年あたり2.8mmの割合で上昇している。海域別に見た場合、北陸～九州の東シナ海側の沿岸で他の海域に比べて大きな上昇傾向がみられる。
- ・内藤ら（2018）は、近隣検潮所間といえども、平均海面水位トレンドの傾向が異なっている場合があることを指摘し、水温増加に対する水位上昇率に地域差があることがその原因の一つであることを見出した。
- ・森ら（2011）は、マルチモデルアンサンブルにより日本近海の海面水位の将来変化を+0.26m/100年（1年あたり2.6mm）と計算した。
- ・日本沿岸の海面水位は様々な要因で変動しているが、海面水温の変動が海面水位の変動に少なからず影響を及ぼしていることが考えられる。

海面水位の上昇は100年で数十cmであることから、設計条件に対し今すぐに影響を与えるものではない。このため、潮位については高潮などの災害発生時などに点検・見直しを実施することが望ましい。

## (2) 設計沖波等設計条件の点検手法の標準的な考え方

設計沖波の点検・見直し方法の標準的な考え方を整理した。点検・見直し手順（案）を図 4.3.1 に示す。

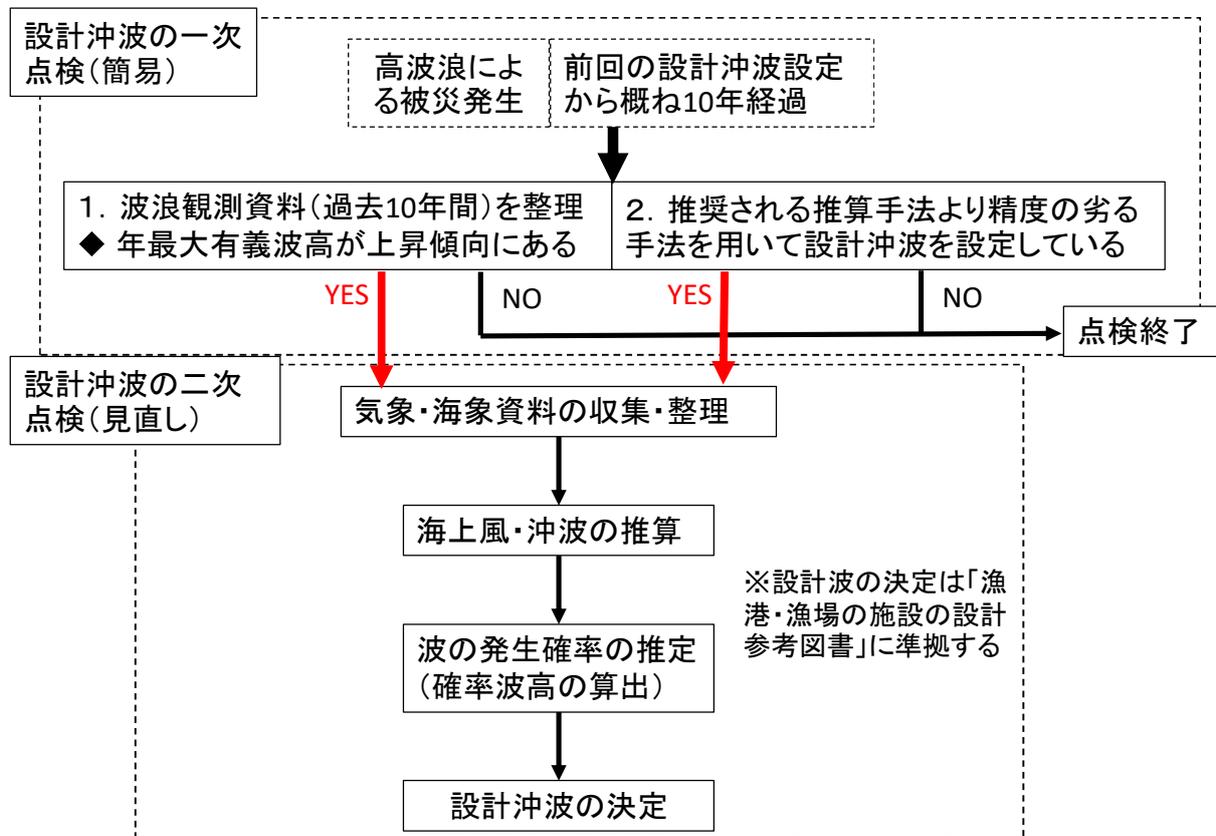


図 4.3.1 設計沖波の点検・見直し手順（案）

将来予想される波高の上昇量を考慮して、概ね 10 年に 1 回を目途に一次点検（簡易）を実施する。一次点検にあたっては、近隣の波浪観測資料を整理し、年最大有義波高の年あたりの上昇量を算出する。年最大有義波高が上昇傾向にある場合、二次点検（見直し）を実施する。上昇傾向にあると判断する目安として、回帰分析の信頼度水準が 90%以上で有意であった場合には、上昇傾向にあると判断する。ただしあくまで目安であり、信頼度水準が 90%未満の場合でも、前回の設計沖波設定年以降に既往最大有義波高を更新している場合や、波浪による被災が相次いでいる場合などは 2 次点検（見直し）を実施しても良い。

また、海上風推算で台風が考慮されていないモデルや波浪推算でうねりの推算精度が十分でないモデルを使用している場合は、二次点検を行う。

見直しの範囲は、海上風・来襲波浪の条件が同様の範囲で実施することが望ましい。上記範囲として、天気や風向・風速、波の高さなどの海洋予報を公表している 12 の地方海上予報区（気象庁）<sup>17)</sup>がある。

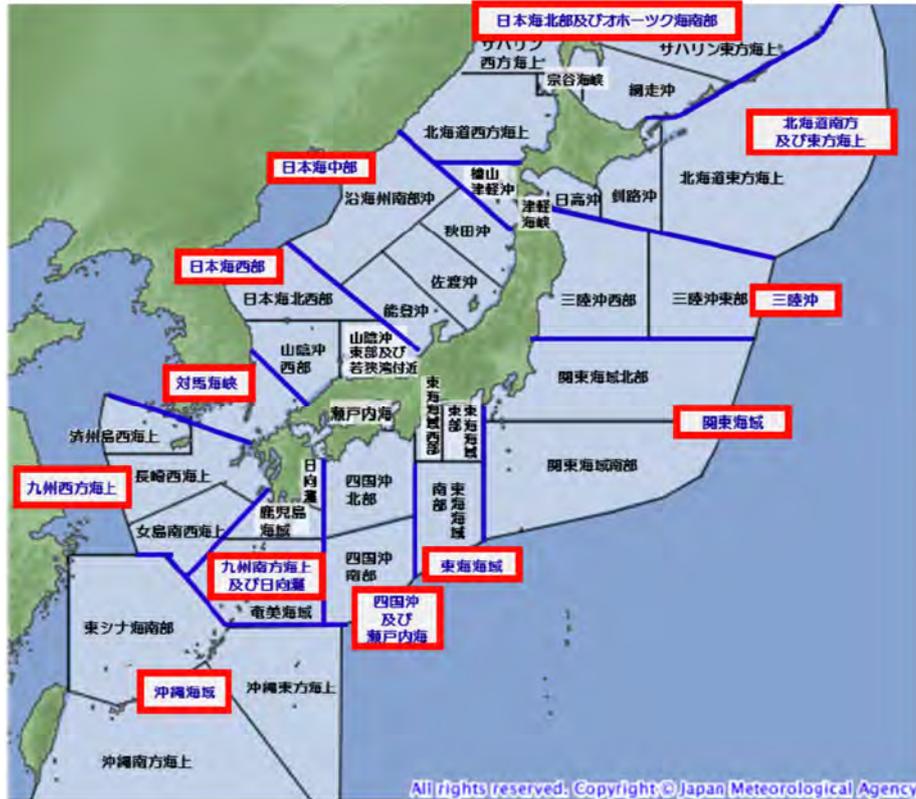


図 4.3.2 地方海上予報区（気象庁）<sup>17)</sup>

### (3) 設計沖波推算手法

海上風推算には、既往モデルと比べて、地形の影響を考慮でき、観測風速を精度良く再現できる局地気象モデル（MM5、WRF 等）を使用することを原則とする。

波浪推算には、標準的な推算法になりつつある第Ⅲ世代のスペクトル法（WAM、SWAN、WAVEWATCHⅢ等）から現地の波浪再現に適したモデルを使用することを原則とする。いずれの波浪推算モデルを用いるかは波浪観測値と波浪推算値を比較したうえで決定することが望ましい。

### (4) 設計沖波手法の提案や設計沖波等の設計条件の点検・見直しの標準的な考え方

(1)～(3)の結果を取りまとめる。

#### ①漁港の特性である地形などを考慮した設計沖波の点検・見直し時期・

将来予想される波高の上昇率を考慮して、概ね 10 年に 1 回を目途に一次点検（簡易）を実施する。

#### ②設計条件の点検方法などの基本的な考え方・

一次点検（簡易）にあたっては、近隣の波浪観測資料を整理し、年最大有義波高を算出する。年最大有義波高が上昇傾向にある場合は、二次点検（見直し）を行う。

海上風推算で台風が考慮されていないモデルや波浪推算でうねりの推算精度が十分でないモデルを使用している場合は、二次点検（見直し）を行う。

### ③設計条件・設計沖波の見直しの標準的な考え方

一次点検の結果、二次点検（見直し）が必要となった場合には、「漁港・漁場の施設の設計参考図書」に準拠して設計沖波の決定を実施する。

設計条件の見直し範囲は、海上風・波浪が同様な海域ごとに実施することが望ましい。都道府県の単位で実施する場合には、近隣海域との整合性に留意する。

### ④最新の知見に基づく設計沖波の推算手法

海上風推算には地形を考慮できる局地気象モデル（MM5、WRF等）を使用することを原則とする。

波浪推算には標準的な手法になりつつある第Ⅲ世代のスペクトル法（WAM、SWAN、WAVEWATCHⅢ等）を用い、現地の波浪再現に適したモデルを使用することを原則とする。

## 4. 検討委員会の実施

本業務の実施にあたっては、専門分野の知見を有する学識経験者を委員とする調査検討委員会を設け、2回実施し、指導・助言を得ながら業務のとりまとめを行った。

委員は、専門を津波、海岸工学とする各有識者とした。

- ・岡安 章夫：東京海洋大学学術研究院 海洋資源エネルギー学部門 教授
- ・田島 芳満：東京大学大学院 工学系研究科社会基盤学専攻 教授
- ・八木 宏：防衛大学校 システム工学群建設環境工学科 教授
- ・今井健太郎：海洋研究開発機構地震津波海域観測研究開発センター 技術研究員

### 第1回委員会

日時：平成30年11月20日(火)13:30～15:30

場所：エッサム神田ホール1号館 9階会議室(902)

参加者

委員

- ・岡安 章夫：東京海洋大学学術研究院 海洋資源エネルギー学部門 教授
- ・田島 芳満：東京大学大学院 工学系研究科社会基盤学専攻 教授
- ・八木 宏：防衛大学校 システム工学群建設環境工学科 教授
- ・今井健太郎：海洋研究開発機構地震津波海域観測研究開発センター 技術研究員

水産庁

- ・不動 雅之：水産庁 漁港漁場整備部 整備課 課長補佐
- ・井上 真仁：水産庁 漁港漁場整備部 整備課 係長

事務局

- ・高吉 晋吾：一般財団法人 漁港漁場漁村総合研究所 理事長
- ・高原 裕一：一般財団法人 漁港漁場漁村総合研究所 第1調査研究部部长
- ・加藤 広之：一般財団法人 漁港漁場漁村技術研究所 第1調査研究部  
上級研究員

議事内容

- ・設計沖波等の設計条件の点検・見直しの標準的な考え方および手法について

## 第2回委員会

日 時：平成31年3月1日(金)9:30～12:00

場 所：エッサム神田ホール7階大会議室(701)

参加者

委員

- ・岡安 章夫：東京海洋大学学術研究院 海洋資源エネルギー学部門 教授
- ・田島 芳満：東京大学大学院 工学系研究科社会基盤学専攻 教授
- ・八木 宏：防衛大学校 システム工学群建設環境工学科 教授
- ・今井健太郎：海洋研究開発機構地震津波海域観測研究開発センター 技術研究員

水産庁

- ・不動 雅之：水産庁 漁港漁場整備部 整備課 課長補佐
- ・井上 真仁：水産庁 漁港漁場整備部 整備課 係長

事務局

- ・高原 裕一：一般財団法人 漁港漁場漁村総合研究所 第1調査研究部部长
- ・加藤 広之：一般財団法人 漁港漁場漁村技術研究所 第1調査研究部  
上級研究員

議事内容

- ・設計沖波等の設計条件の点検・見直しの標準的な考え方および手法について
- ・公表文書の記載内容について

指摘事項

- ・一次点検の判断基準について、上昇傾向の目安のようなものを記載してはどうか。

(対応)

- ・上昇傾向の目安として、「回帰分析の信頼度水準が90%以上で有意である場合には、上昇傾向にあると判断する」「ただしあくまで目安であり、有意水準が90%未満の場合でも、前回設計沖波設定以降に既往最大有義波高を更新している場合や、波浪による被災が相次いでいる場合などは2次点検(見直し)を実施しても良い」と記載する。

## VI. 摘要

### 1. 既往資料の収集整理

設計沖波等の設計条件の基礎となる波浪観測データ、気象データを収集整理し、波浪や潮位などの長期変動特性を明らかにした。波浪については、全国的に上昇傾向にあり、近年 10 年以内に既往最大有義波高を更新した地点は、全国の波浪観測地点の 2 / 3 以上にのぼることが明らかとなった。また、温暖化の影響により、100 年後には 50 年確率波高が 20～60% 上昇すること、施設への影響として、温暖化を考慮しない場合と比べて期待滑動量が 60～200% 増加することが示された。

また、海上風及び波浪の推算手法について既往資料を収集し、各モデルの推算精度、特徴、適用条件などを整理した。漁港の立地特性を踏まえ、海上風推算には地形の影響を考慮できる局地気象モデル（MM5、WRF 等）を用い、波浪推算には第Ⅲ世代スペクトル法（WAM、SWAN、WAVEWATCHⅢ等）を用いることが望ましいことを示した。

### 2. 設計沖波の実態調査

漁港管理者である都道府県に設計沖波に関するアンケート調査結果の整理を行い、設計沖波について、前回設定からの経過年、見直し予定、近年 10 年の被災状況等を把握した。設計沖波を近年（10 年未満）に見直した県は 11 県であり、30 年以上経過している県は 4 県、15 年以上 30 年未満が 5 県であった。また、近年 10 年以内に設計沖波を見直した県の多くは、近年 10 年以内に波浪による被災が発生している割合が高く、被災が発生したことにより、沖波を見直したと考えられる。一方で、設計沖波を 25 年以上見直していない自治体は比較的甚大な災害が少ないが、設計沖波（30 年確率波）の推算精度に課題があると考えられる。

### 3. 設計沖波手法の提案や設計沖波等の設計条件の点検・見直しの標準的な考え方

「1. 既往資料の収集整理」、「2. 設計沖波の実態調査」の検討結果を踏まえ、漁港の特性である地形などを考慮した設計沖波の見直し時期や設計条件の点検方法などの基本的な考え方を示すとともに、最新の知見に基づく設計沖波の推算手法について提案した。

## VII. 引用文献

- 1) 国土交通省港湾局全国港湾海洋波浪情報網報網、<http://www.mlit.go.jp/kowan/nowphas/>、参照 2018-06.
- 2) 森 信人・志村智也・安田誠宏・間瀬 肇、2010：地球温暖化に伴う極大波高の将来変化予測、土木学会論文集 B2 (海岸工学)、Vol. 66 (No.1)、pp.1231-1235.
- 3) 気象庁、2014：異常気象レポート 2014、[https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/climate\\_change/](https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/climate_change/)、参照 2019-02.
- 4) 辻尾大樹・間瀬 肇・森 信人、2013：地球温暖化による沿岸外力変化を考慮した防波堤の滑動量解析、土木学会論文集 B3 (海洋開発)、Vol.69 (No.1)、pp.1-11.
- 5) 気象庁、2018：日本沿岸の海面水位の長期変化傾向、[https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/shindan/a\\_1/sl\\_trend/sl\\_trend.html](https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/shindan/a_1/sl_trend/sl_trend.html)、参照 2018-06.
- 6) 気象庁、2018：日本周辺の 1960 年以降の海域ごとの海面水位変化、[https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/db/tide/sl\\_area/sl\\_rgtrend.html](https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/db/tide/sl_area/sl_rgtrend.html)、参照 2018-06.
- 7) 内藤了二・鮫島和範・仲井圭二・田中陽二・川口浩二、2018：近隣検潮所間における平均海面水位のトレンド比較と変動特性、土木学会論文集 B2 (海岸工学)、Vol. 74 (No.2)、pp.I\_1453-I\_1458.
- 8) 気象庁、2018：海面水温の長期変化傾向 (日本近海)、[https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/data/shindan/a\\_1/japan\\_warm/japan\\_warm.html](https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/data/shindan/a_1/japan_warm/japan_warm.html)、参照 2018-06.
- 9) 気象庁、2013：海洋の健康診断表 総合診断表 第 2 版、<https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/shindan/sougou/index.html>、参照 2018-09.
- 10) 岩崎伸一・松浦知徳・渡辺勲、2002：地殻変動を除去した長期海面水位変動と海面水温の関係ー本州沿岸域ー、海の研究、11 巻 5 号、pp.529-542.
- 11) 森 信人・志村智也・中條壮大・安田誠宏・間瀬 肇、2011：マルチモデルアンサンブルに基づく地球温暖化に伴う沿岸外力の将来変化予測、土木学会論文集 B2 (海岸工学)、Vol. 67 (No.2)、pp.I\_1191-I\_1195.
- 12) 有働恵子・武田百合子・吉田惇・真野明、2013：最新の海面水位予測データを用いた海面上昇による全国砂浜侵食量の将来予測、土木学会論文集 G (環境)、Vol.69、No. 5、pp.I\_239-I\_247.
- 13) 川口浩二・河合弘泰、2007：局地気象モデルを用いた台風時の風場および波浪の推算、港湾空港技術研究資料、No.1169、19p.
- 14) 鈴山勝之・島袋 均・仲村 哲・川満寿幸・加藤広之・西崎孝之・樋口直人、2016：設計沖波の検討に新たな海上風推算モデルを用いる試み、土木学会論文集 B3 (海洋開発)、Vol.72 (No.2)、pp.I\_283-I\_288.
- 15) 橋本典明・川口浩二・真期俊行・永井紀彦、1999：第 3 世代波浪推算法 (WAM) の推算精度に関する検討、港湾技術研究所報告、第 38 巻 (第 4 号)、47p.
- 16) 鈴木善光・高山知司・吉永泰祐・岡田弘三・窪田和彦・宇都宮好博・松藤絵理子・君塚政文、2016：WAM と WAVEWATCH III による推算波浪の再現特性、Vol. 72 (No. 2)、pp.I\_265-I\_270.
- 17) 気象庁：海上警報・海上予報、<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/kurashi/umiyoho.html>、参照 2018-12 月.

## VIII. 参考資料

### 海象条件の変化に順応した設計沖波の点検・見直しについて

#### 1. はじめに

近年、地球規模の気象・海象変動の影響等もあり、全国で波高の増大およびこれに伴う施設被害が報告されている。また、温暖化に伴う気候変動により、災害リスクの増大が懸念されている。

この課題に対応するため、平成 29 年 3 月に閣議決定した「漁港漁場整備長期計画」に基づき、水産物の流通拠点や生産拠点となる漁港において、沖波波高等の設計条件を点検し、施設の耐波性能の向上や静穏域の確保対策を推進しているところである。

また、平成 30 年度からは、事業制度（漁港施設機能強化事業）を拡充し、波浪・高潮に対する機能診断を補助対象化し、天端の嵩上げや堤体の拡幅等、耐波性能の確保対策の強化を図っている。

こうした中、平成 30 年 11 月から有識者で構成する「漁港施設設計高度化検討委員会」を立ち上げ、全国の漁港管理者等が適切に沖波波高等の設計条件の点検・見直すことができるよう、標準的な考え方やその手法についてとりまとめた。

## 2. 設計沖波の点検・見直しの基本的な考え方

漁港施設の設計沖波の定期的な点検を行う場合は、波浪の長期的変動傾向や既往の波浪推算手法の有用性等を考慮し実施する。また、点検の結果、設計沖波の見直しが必要な場合には、適切な波浪推算手法を用いて見直す。

(解説)

### (1) 用語の定義

点検とは、来襲波浪と比較して設計沖波が適切に設定されているか、また、推算手法が適切か検証する目的で実施するものである。

見直しとは、近年の気象擾乱を考慮して、設計沖波を決定することである。

### (2) 波浪の長期的変動傾向

ナウファス波浪観測データより、年最大有義波高は全国的に上昇傾向にあること、近年10年以内に既往最大有義波高を更新した地点は全国の観測地点の2/3以上にのぼることが明らかとなった。例えば、平成20年2月に発生した日本海高波浪や、平成28年の東北地方への初めての台風上陸など、全国で波高の増大およびこれに伴う施設被害が報告されている。さらに、温暖化に伴う気候変動により、災害リスクの増大が懸念されている。

漁港施設の設計に用いる波を求める場合は、まず、相当長期間にわたる異常高波の値から、再現期間に対応する確率波として設計沖波を求める。その後、設計沖波に屈折、回折、浅水変形、砕波等の波の変形を考慮して対象施設の安定または利用に最も危険となる適切な波を算定する必要がある。以上のように、設計沖波は合理的な漁港施設設計の基礎となる条件であることを踏まえ、増大する災害リスクに備え、定期的に設計沖波の点検を実施する。

### (3) 波浪推算手法の有用性

合理的な設計沖波の決定に際し、施設設置位置、若しくはその近傍において信頼すべき実測値が得られる場合には、それらを統計的に処理し、沖波の諸元を算定する。信頼すべき実測値が得られない場合には、波の推算により沖波の諸元を決定する。波の推算には、海上風を外力とした波浪推算モデルがよく用いられるが、推算にあたっては海域別の気象・海象特性を考慮できる推算モデルを用いることが望ましい。

近年、地形の影響を考慮できる海上風推算モデルやうねり性波浪などを評価できる波浪推算モデルが用いられている。推算モデルの詳細は「6. 波浪推算モデル」を参照のこと。

### 3. 点検の時期

設計沖波の点検の実施は、設定から概ね 10 年経過した場合、高波浪による甚大な被災が発生した場合、あるいは、波浪推算手法の高度化に伴って既往の推算手法が十分な精度を有していないことが明らかになった場合等に検討する。

(解説)

近年の気象・海象状況に対して、順応的かつ合理的に設計沖波等を設定するための基礎情報として、実測値に基づく波浪の長期変動傾向、波浪の長期変動に関する地球温暖化影響予測、波浪の変化が施設に及ぼす影響等を整理し、設計沖波の点検時期を示す。

#### (1) 波浪の観測値による長期的変動について

波浪の長期変動傾向について、ナウファス（全国港湾海洋波浪情報網 :NOWPHAS : Nationwide Ocean Wave information network for Ports and HARbourS）による全国の波浪観測データを用いて、以下に整理する。対象地点は 10 年以上観測が行われている地点とした。長期変動を示す代表値として年最大有義波高を抽出し、年最大有義波高を目的変数、発生年を説明変数とした線形回帰モデルの単回帰係数の値を、1 年あたりの上昇量として整理した。この年最大有義波高の上昇量を図 3-1 に示す。図より、全国的に上昇傾向にあり、特に日本海側に比べ、太平洋側の上昇率が大きいことがわかる。

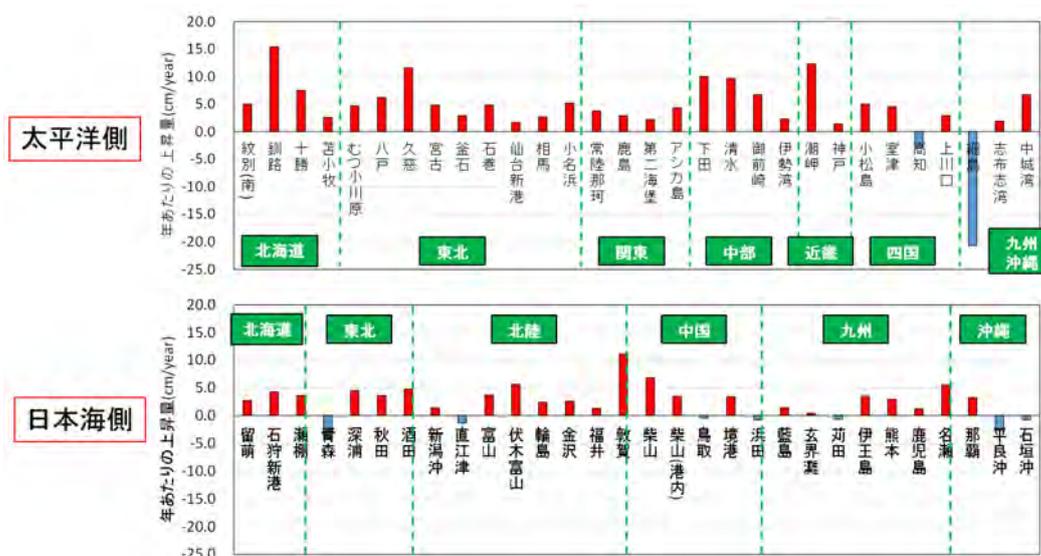


図 3-1 年最大波有義高の長期変動傾向

異常波浪の出現特性について検討するため、図 3-2 に 10 年ごとの年最大有義波高の変動傾向を整理した。なお、傾向の整理にあたっては 1988 年～2017 年の観測値を対象としている。図より、20～30 年前の上昇量に比べて、近年 10 年あるいは 10～20 年前の上昇量が大きい地点が多いことから、近年、異常波浪の出現が増加していることがわかる。

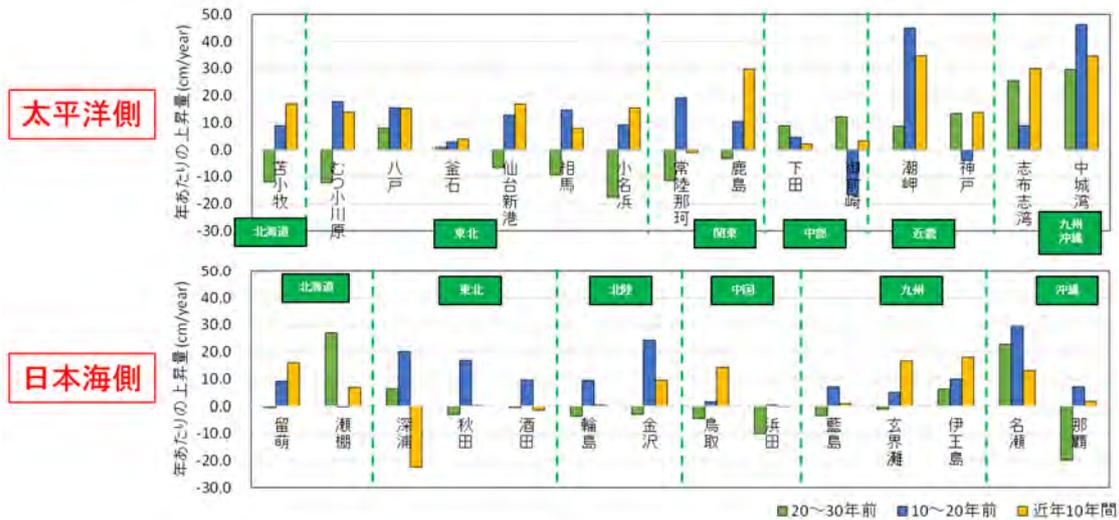


図 3-2 年最大有義波高の 10 年ごとの変動傾向

(2) 波浪の長期変動に関する地球温暖化影響予測

森ら<sup>1)</sup> (2010) は、将来の気候変動シナリオ (A1B) に基づく超高解像度全球気候モデルを用いた温暖化予測実験結果をもとに、現在から将来の全球における風速場や波浪場の将来変化の予測を行った。夏季には 50 年確率波高において、海域により 20～60% 増加することが示されている。

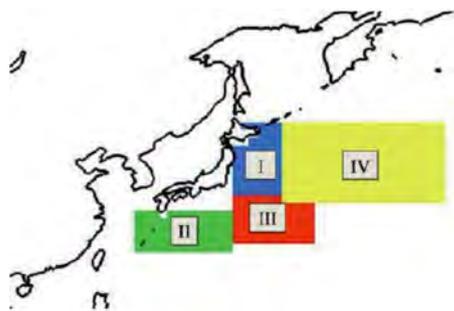


図 1.6 対象海域分割図

(極値解析方法：合田,2008)

領域	気候	50年確率波高 [m]	将来への変化量
I	現在	13.07	+2.75m (21.0%) 標準誤差1.18m
	将来	15.82	
II	現在	20.12	+4.69m (23.3%) 標準誤差2.16m
	将来	24.81	
III	現在	13.16	+8.49m (64.5%) 標準誤差1.24m
	将来	21.65	
IV	現在	13.97	+2.83m (20.3%) 標準誤差0.85m
	将来	16.80	

図 3-3 森らによる温暖化による 50 年確率波高：夏季

辻尾ら<sup>2)</sup>(2013)は、地球温暖化による沿岸外力変化(海面上昇(森ら、2011)、高潮偏差、来襲波浪(森ら、2010))を考慮した防波堤の滑動量解析を行い、沿岸外力特性の変化が防波堤の滑動安定性に及ぼす影響を検討した。その結果、来襲波浪増大の影響が最も大きく、温暖化を考慮すると、温暖化を考慮しない場合と比べて期待滑動量(供用期間中における総滑動量の期待値)が60~200%増加することが明らかとなった。

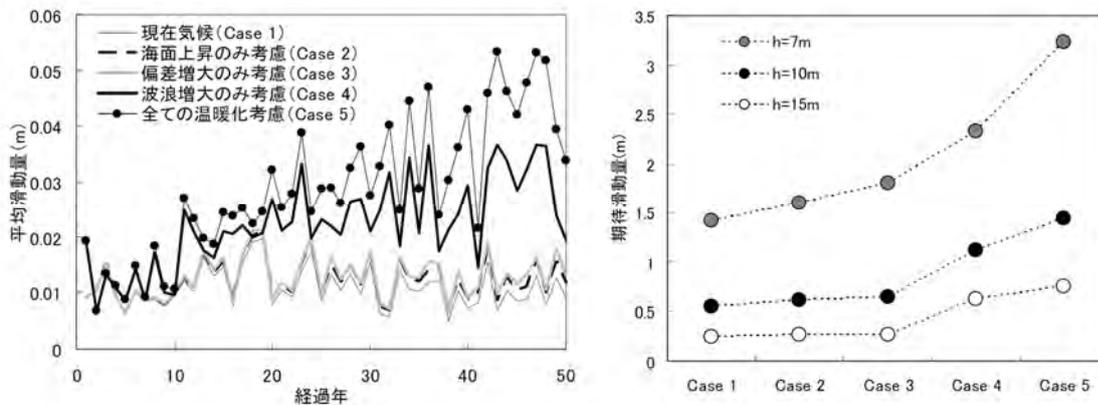


図 3-4 期待滑動量の経年変化(左)と期待滑動量(右)  
(設置水深 10m、領域Ⅲ)

### (3) 設計沖波の変化による構造物への影響

設計沖波が施設の設計条件に与える影響を検討するため、過去5年以内に最新の推算モデルを用いて設計沖波を見直した3自治体において、堤体に作用する波力の変化を整理した。

表 3-1 に、見直し前の設計沖波を設定した年から見直すまでの経過年数、見直した設計沖波波高(新沖波波高)と見直し前(旧設計沖波波高)の波高の差(新沖波波高-旧沖波波高)、1年あたりの上昇率(波高の差/経過年数)を示す。ここで、沖波波高は30年確率波高の全ての波向き の平均値である。

表 3-1 設計沖波見直しによる波高上昇率(全波向)

	①設計沖波推算 経過年	②30年確率波高の差 (全波向の平均)	③30年確率波高の 上昇率(=②÷①)
A県	25年(H3→H28)	+0.94 m	3.76 cm/year
B県	30年(S61→H28)	+0.70 m	2.33 cm/year
C県	8年(H17→H25)	+1.91 m	23.88 cm/year

見直した設計沖波波高および見直し前の設計沖波波高を設計条件として用いた場合の、漁港施設に作用する水平波力を比較した結果を図 3-5 に示す。図より、設計沖波が 2～4cm/year 程度増加した地域（A 県、B 県）においても、従前の設計条件で算出した波力に対して、概ね 10 年経過すると滑動の安定率 1.2 を下回る恐れがあることが検証された。

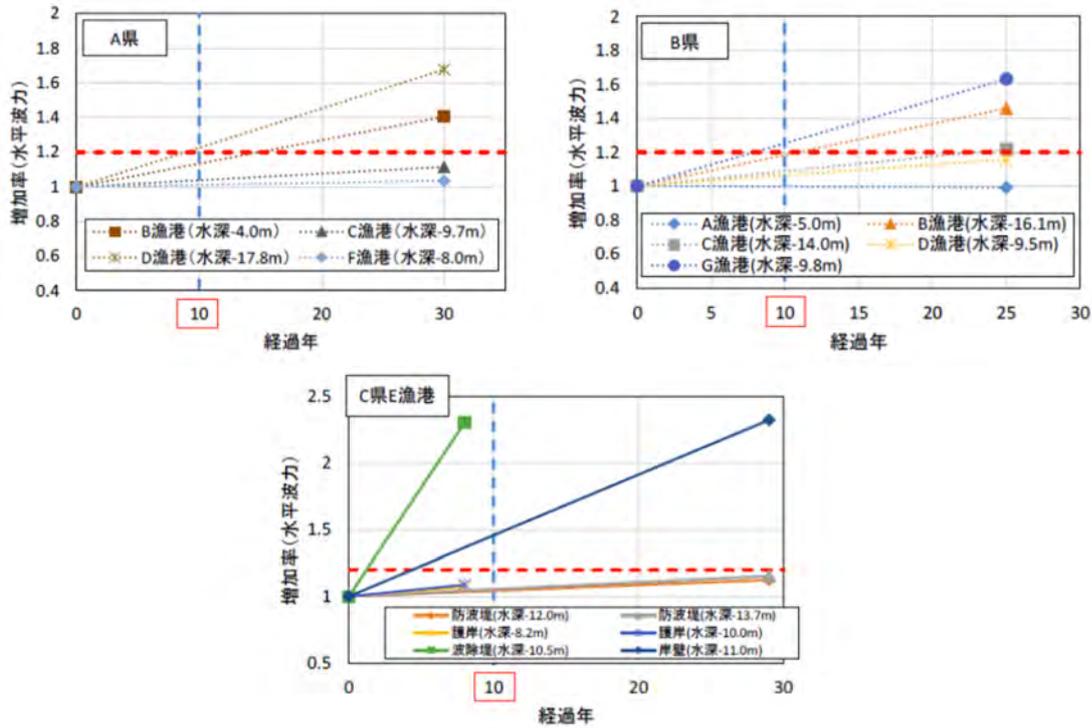


図 3-5 による水平波力の増加率

(4) 点検時期について

(1) ～ (3) で検討した結果から、概ね 10 年に 1 度、設計沖波を点検することにより、波浪の長期変動を考慮した漁港施設の合理的な設計が可能となる。

#### 4. 点検の方法

設計沖波の点検は適切な手法で実施する。

(解説)

点検は一次点検（簡易）を実施し、必要に応じて二次点検（見直し）を実施する手法が考えられる。

設計沖波の点検・見直し手順の事例を、図 4-1 の手順で示す。

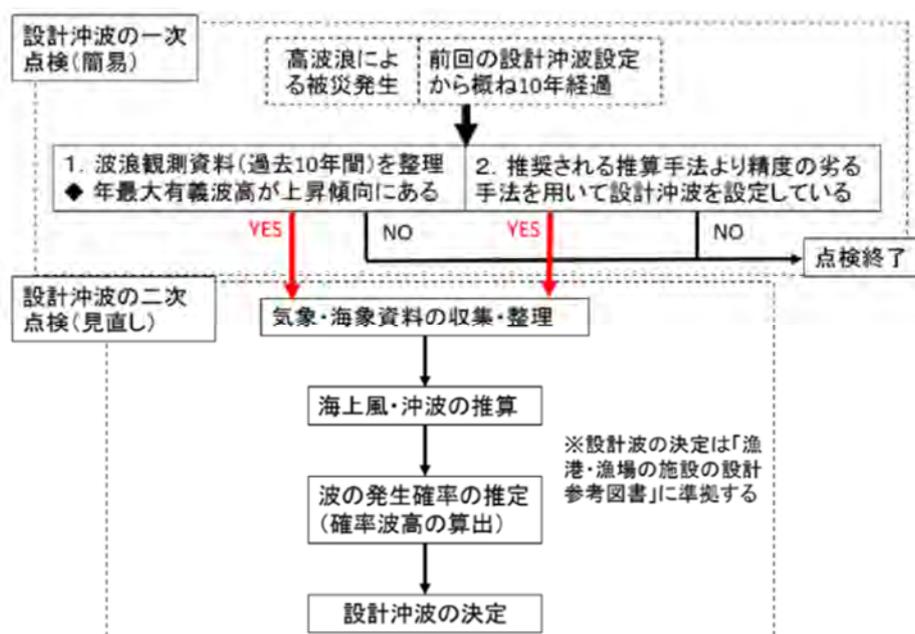


図 4-1 設計沖波の点検・見直し手順の例

一次点検（簡易）は、簡便な手法により来襲波浪と比較して設計沖波が適切に設定されているか、また、推算手法が適切か検証する目的で実施する。

二次点検（見直し）では、近年の気象擾乱を含めて、設計沖波を決定する。

## (1) 一次点検

設計沖波は、相当長期間の信頼すべき資料に基づき、統計処理を行い、波の発生確率を推定して、再現期間に対応する波として算定することを原則とする。しかし、上記の算定方法は時間とコストを要するため、一次点検では、①波浪観測資料の整理、②既往の波浪推算手法の有用性の確認を行う。

### ① 波浪観測資料の整理

近隣の波浪観測資料から、年最大有義波高を抽出し、年最大有義波高を目的変数、発生年を説明変数とした線形回帰モデルの単回帰係数の値を、1年あたりの上昇量として整理する。前回点検時（あるいは設計沖波算定時）から年最大有義波高が上昇傾向にある場合は、統計処理の結果として設計沖波波高も上昇する可能性があるため、二次点検を行うこととする。年最大有義波高は、全国港湾海洋波浪観測年報（港湾空港技術研究所）等を参考にすることができる。年最大有義波高が下降傾向にある場合は、設計沖波を算定しても変更の必要がないと考えられるため、点検を終了する。

上昇傾向にあると判断する目安として、回帰分析の信頼度水準が90%以上で有意であった場合には、上昇傾向にあると判断する。ただしあくまで目安であり、信頼度水準が90%未満の場合でも、前回の設計沖波設定年以降に既往最大有義波高を更新している場合や、波浪による被災が相次いでいる場合などは2次点検（見直し）を実施しても良い。

### ② 推算手法の精度の確認

推算にあたっては海域別の気象・海象特性を考慮できる推算モデルを用いる。そのため、海上風推算で台風が考慮されていないモデルや、内湾域等、風場が陸上地形の影響を受ける地点において推算精度が十分でない場合、波浪推算でうねり性波浪などの推算精度が十分でないモデルを使用している場合には、十分な推算精度を有するモデルを用いて二次点検を行う。

なお、年最大有義波高が上昇傾向にない場合かつ推算手法の精度が十分な場合には、設計沖波を算定しても変更の必要がないと考えられるため、点検を終了する。

## (2) 二次点検手法

二次点検は、「漁港・漁場の施設の設計参考図書」で示されている「3.3 設計沖波の算定」と参考とし、信頼すべき実測値が得られる場合は、これらの実測値を用いて算定する。信頼すべき実測値が得られない場合においては、適切な推算手法を用いて、設計沖波の推算を行う。

一次点検の結果から、二次点検（見直し）が必要と判断される場合には、近年の気象擾乱を含めて設計沖波を算定する。

設計沖波の算定は、「漁港・漁場の施設の設計参考図書」で示されている「3.3 設計沖波の算定」の方法を参考とする。設計沖波の算定に際し、波の推算を行う場合には、地形の影響を考慮できる海上風推算モデルやうねり性波浪などを評価できる波浪推算モデルを用いられる（推算モデルの詳細は「6. 波浪推算モデル」を参照のこと）。

## 5. 推算モデルについて

波の推算は、波を発生・発達させる海上風を推算し、適切な波浪推算法を用いて、波の発達・減衰を計算する。

海上風の推算には、漁港の立地の特性などから、地形の影響を適切に考慮できる局地気象モデル（MM5、WRF等）を使用することが望ましい。

また、波浪推算には、非線形効果を考慮できる第Ⅲ世代のスペクトル法（WAM、SWAN、WaveWatchⅢ等）から現地の波浪再現に適したモデルを使用することが望ましい。

（解説）

### （1）波浪推算モデルについて

設計沖波の諸元については、信頼すべき実測値が得られる場合、実測値を用いて算定することを原則とされているが、漁港の場合、長期間にわたる波浪の現地観測を行っている個所数が少なく、風と波を推算して設計沖波を算定することが多い。

波の推算方法は、一般に経験公式に基づくもの、有義波法によるもの、波浪スペクトル法によるものに大別される。有義波法と波浪スペクトル法の長所及び短所は「漁港・漁場の施設的设计参考図書」において「資料 2.2 各種沖波推定方法の特徴と比較」に示されているが、推算手法の高度化に伴い現在では波浪スペクトル法が主流になっている。

波浪スペクトル法による推算モデルは現在までに様々なモデルが提案されてきたが、現在では第Ⅲ世代モデルを用いることが標準的になりつつある。第Ⅲ世代モデルでは、非線形エネルギー輸送項のスキームの自由度が高く、二方向波浪、風波とうねりが共存する波浪でも精度よく推算できる。第三世代モデルとして、気象庁で運用されている MRI-Ⅲ、WAM、SWAN や WAVEWATCH Ⅲ が知られている。このうち、WAM、SWAN、WAVEWATCH Ⅲ はプログラムのソースコードが公開されており、実用的なツールとして利用されている。

以上から、波浪推算には、標準的な推算法になりつつある上記の第Ⅲ世代のスペクトル法（WAM、SWAN、WaveWatch Ⅲ等）から現地の波浪再現に適したモデルを使用することが望ましく、いずれの波浪推算モデルを用いるかは波浪観測値と波浪推算値を比較したうえで決定することが望ましい。

表 5-1 第Ⅲ世代スペクトル法

波浪推算手法の名称	波浪推算手法の概要
WAM モデル	<p>エネルギー平衡方程式を基礎方程式として、波の発生・発達・伝播および減衰に伴う波浪エネルギー（スペクトル）の変動を以下のようにして数値的に求める。</p> <p>④ WAM モデルの Cycle4 では、風から波へのエネルギー輸送の計算式に、Janssen の quasi-linear 理論を導入し、より現実に近い定式化に改良されている。</p> <p>⑤ エネルギー消散項では、白波砕波と底面摩擦の効果が考慮されている。</p> <p>⑥ 非線形相互作用によるエネルギー輸送は、4 波共鳴の非線形相互作用を考慮している。ただし、4 波共鳴の組み合わせは無数に存在することから、離散相互作用近似により、たった 1 組の組み合わせで代表させている。</p>
SWAN モデル	<p>WAM をもとに地形性砕波やウェーブセットアップを考慮できるよう拡張したモデルとして、であり、浅海域の波浪推算に用いられている。</p>
WAVEWATCHⅢモデル	<p>WAM の性能拡張版として開発されており、WAM に比較して、うねり性波浪を含む異常波浪ケースのピーク時付近や周期の全期間について再現性が優れている（鈴木ら、2016）。</p>

(2) 海上風推算モデルについて

波浪推算の精度は海上風の推定精度に大きく依存する。海上風の推算方法は、傾度風モデル、Cardone モデル、台風モデル、ハイブリッド法等がある。さらに、気象の客観解析値（気象 GPV）や、これを初期値・境界値とした局地気象モデルによる海上風の推算が行われている。海上風の推算には、漁港の立地の特性などから、陸上地形の影響を考慮できる推算方法を採用することが望ましく、局地気象モデルによって対象海域周辺の陸上地形が気象場に及ぼす影響を考慮した、より細かな時間及び空間解像度の気象場を推算することが可能である。局地気象モデルとして、MM5 や WRF が知られている。これらはプログラムのソースコードが公開されており、実用的なツールとして利用されている。

川口<sup>3)</sup>らによると局地気象モデルで得られる風場を入力値とした波浪推算結果は従来法による風場を用いた場合よりも精度が高いとされている。図 5-1 は傾度風モデル（以下、既往モデルと言う）と局地気象モデルである WRF で海上風を推算し、WAM を用いて波浪推算をした結果である。図より、局地気象モデルを用いた推算結果が地形の影響を考慮できていることがわかる。

また、鈴木<sup>4)</sup>らは陸上地形の影響が小さい海域では WRF と既往モデルは同程度の海上風推算精度を有しており、設計沖波の検討で WRF を用いることは有効である。WRF は既往モデルと異なり陸上地形の影響が考慮できるため、外洋、内湾に関わらず、全ての海域に適用可能であり、既往モデルと比較してより汎用性が高いモデルになると指摘している。

以上のことから、海上風推算には、漁港の立地の特性などから、陸上地形の影響を考慮できる局地気象モデル（MM5、WRF 等）を使用することが望ましい。ただし、気象の計算で用いた時間及び空間解像度が粗い場合には、変化の著しいところで気圧や風が十分に再現されていない場合もあり、観測値との比較により精度を検証しておくことが望ましい。

表 5-2 局地気象モデル

海上風推算手法の名称	海上風推算手法の概要
MM5 モデル	メソスケールの大気現象を対象とした、非静力学平衡・圧縮性の気象モデルであり、流体の基礎方程式に基づいて大気の運動を計算する力学モデルと、地表面過程、大気境界層過程等を取り扱う物理モデルにより構成される。鉛直座標系には $\sigma$ 座標系を採用しており、陸上地形（標高、土地利用）を考慮することができる。
WRF モデル	MM5 の後継モデルに位置付けられ、高精度な計算スキームを採用している。



## 6. 留意点

波浪の推算を実施する場合には、海上風・来襲波浪の条件が同様の範囲で実施することが望ましい。

(解説)

推算した海上風や波浪、算定した設計沖波の条件が近隣地域と不連続にならないよう、気象・海象条件が同様の範囲において、同時に点検・見直しを実施することが望ましい。

上記範囲として、天気や風向・風速、波の高さなどの海洋予報を発表している12の地方海上予報区（気象庁）がある。

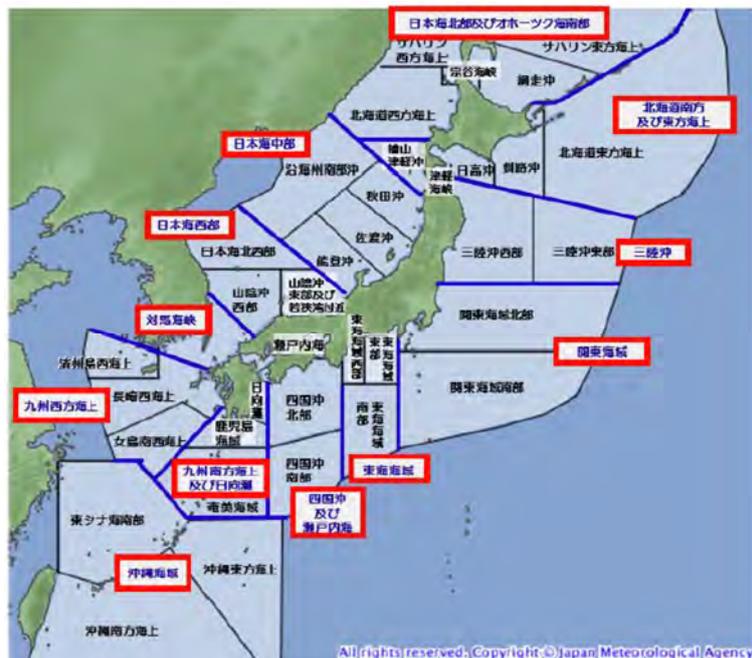


図 6-1 地方海上予報区（気象庁）

## 平成 30 年度水産基盤整備調査委託事業報告書

### a. 課題名

#### 「漁港漁場施設の設計手法の高度化検討調査」のうち (5) 沈設魚礁の流体力算定式及び着定基質の安定質量算定式の検討

### b. 実施期間及び担当者

国立研究開発法人水産研究・教育機構	水産工学研究所	
	水産土木工学部	生物環境グループ長 川俣 茂
	水産土木工学部	主任研究員 佐伯公康
	水産土木工学部	主幹研究員 三上信雄
国際気象海洋株式会社	銚子グループ	グループリーダー 小林 学
	常務執行役員	門 安曇
一般財団法人漁港漁場漁村総合研究所	第 2 調査研究部	部長 伊藤 靖
	第 2 調査研究部	主任研究員 廣瀬紀一

### c. ねらい

沈設魚礁の安全性の照査法と着定基質（石材）の安定質量算定法の見直しでは、これまでの検討の結果、浅海域での波動流に対する石材の安定質量や沈設魚礁の流体力には最大流速だけでなく、非対称な流速波形自体も影響することが明らかになっている。非対称な波動流速の算定手法の確立に加えて、これまで検討してきた最大力係数  $C_{Fmax}$  の式を非対称波形の波動流速に適用できるように見直しが必要である。また、沈設魚礁の設置海域では波と流れが共に重要な外力になっている波・流れ共存場になっていることが多いが、このような波・流れ共存場における流体力算定については、流速ベクトルの合成方法や流体力係数の決定方法が検討されておらず、適切な算定方法の確立が必要である。さらに沈設魚礁の安定性の照査法では、砂質底上では沈下、埋没等の影響により滑動抵抗が増加することや施設の形状によって揚力の作用が無視できなくなることが示されており、それらの新たな知見を反映した照査法の改訂案のとりまとめが課題として残されている。また、着定基質の安定質量算定式については、非対称波形の波動流速の算定手法が確立すれば、従来の施工法（石材を 1 層で設置する場合）に対応した式が整備されたことになる。しかし、近年、石材を積み上げて水深を浅くする場合があります、その場合に適用可能な算定手法の確立が必要となっている（マウンド状に石材を積み上げた場合、設計参考図書では「波力に対するブロック等の安定質量」を参照することになっているが、実際には適用可能な式がないため、着定基質の安定質量算定式が援用されており、被災も報告されている）。以上の課題に取り組み、体系的に見直した沈設魚礁の安定性の照査法と着定基質の安定質量算定式を提案・検証する。

本年度は、次の 5 つの項目について検討した。なお、マウンド状に石材を積み上げた場合の着定基質の安定質量算定式については、次年度の検討課題とした。

#### 1. 非対称波形の波動流速の算定手法の確立

現在の設計法では、流速の算定は非砕波領域と砕波領域で異なる。非砕波領域では有義波の波高と周期を持つ正弦波を仮定して微小振幅波理論で計算し、砕波領域では最大波高によって生じる岸向最大流速のみを微小振幅波理論で計算している。しかし、波動流中に作用する流体力は図 5.1 に示すように、岸向最大流速の大きい波（波 A）ではなく、流速

全振幅の大きい波（波 B）でより大きくなる。このことは、最大流体力が岸向流速振幅だけでなく、その直前の沖向流速振幅にも依存することを意味し、従来の設計法で算出している最大流速  $U_m$  の波ではなく、流速全振幅が最大の流速波形（「最大流速波形」という）が流体力算定には重要であることを示している。そのため、不規則波中での最大流体力または安定質量の算定に必要となる最大流速波形の特性値（図 5.2 に示す  $U_a$ 、 $u_{max}$ 、 $T_{zp}$  および  $T_{pp}$ ）を推定する手法の確立を検討する。

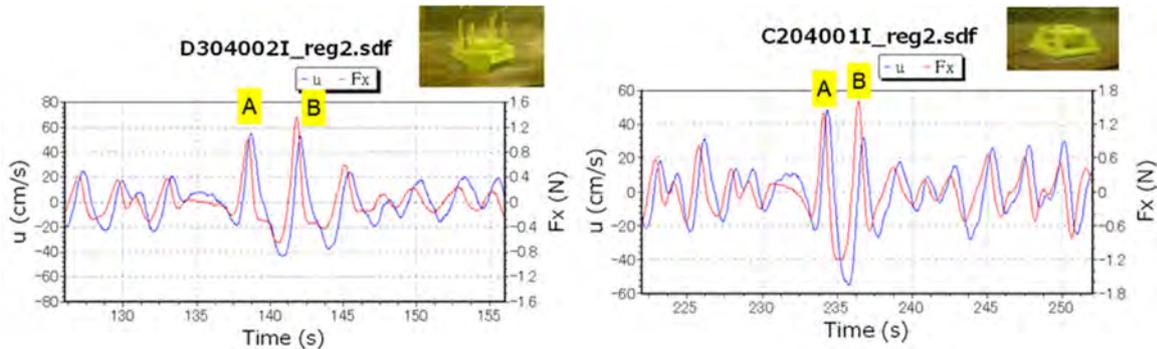


図 5.1 底面波動流速  $u$  と魚礁模型に作用する水平流体力  $F_x$  の測定例

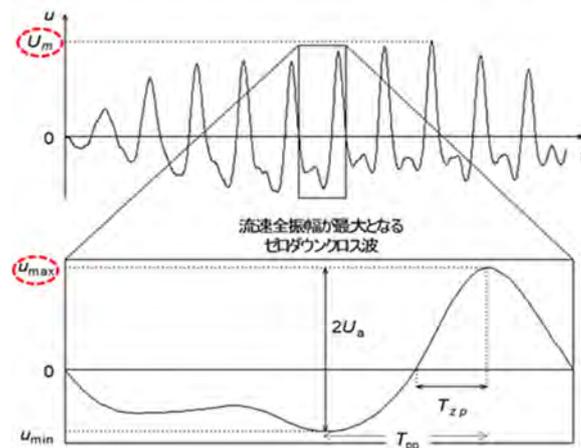


図 5.2 最大流速  $U_m$  と最大流速波形の特性値  $U_a$ 、 $u_{max}$ 、 $T_{zp}$  および  $T_{pp}$  の定義

## 2. 非対称波動流速にも対応した流体力算定手法の検討

平成 25～26 年度、高層魚礁模型を用いた流体力測定により、流速波形が正弦波に近似できる場合、最大力がモリソン式から導かれる次式により精度よく推定できることを示した。

$$F_{\max} = \frac{1}{2} \rho C_{F\max} A U_m^2 \quad \text{式 5.1}$$

ここに、 $C_{F\max}$ ：最大力係数で KC 数の関数、 $U_m$ ：最大波動流速。

しかし、平成 28～29 年度、浅い水深でのコンクリート魚礁を対象にした不規則波実験により、流速波形の非対称性が著しくなると、式 5.1 による推定誤差も増大することが示された。そこで本年度は、様々な流速波形に対しても最大流体力をより精度よく推定できるよう  $C_{F\max}$  の式を改良し、その検証を行う。また、前項の最大流速波形の算定式と組み合わせることにより、不規則波中での最大流体力を算定することができる。ここでは、その方法の妥当性についても検討する。

### 3. 波と流れの共存場における流体力算定法の検討

$C_{Fmax}$  の式 5.1 は波の場における流体力算定式であるが、沈設魚礁の設置条件は大部分が波・流れの共存場となっている。そのため、 $C_{Fmax}$  の式を波・流れ共存場へ拡張適用するため、次式を提案した。

$$F_{max} = \frac{1}{2}\rho C_{Fmax}AU_a^2 + \frac{1}{2}\rho C_{DS}AU_c^2 \quad \text{式 5.2}$$

ここに、 $C_{DS}$ ：定常流の抗力係数、 $U_c$ ：定常流速

沈設魚礁が設置される沿岸域では、波と流れがある程度、交差していると考えられる。式 5.2 は、最大流体力が波単独の場合の流体力と流れ単独の場合の流体力の和と同程度かそれ以下になるという理論的予測に基づくが、実験的検証がなされていない。その検証のためには、波と流れが交差する条件下で流体力を測定する必要があるが、そのような条件を再現できる実験装置自体が存在せず、実験による検証ができない状況にある。

そこで、その解決策として、回流水槽の一様流中で魚礁模型を流れと交差する方向に振動させることで再現した、波と流れが交差する擬似的条件下で、流体力を測定することを考える。本調査では、実際にその実験装置を構築するとともに、流れの中で振動させた魚礁模型に作用する力から波・流れ共存場で固定された魚礁に作用する最大流体力を推定するための解析手法を考案し、実際の実験により可能性と問題点を検討する。

### 4. 複合部材からなる構造物の流体力算定手法の検討

従来の流体力算定では、簡略化のための仮定（波動流中の  $C_D$ =定常流中の抗力係数  $C_{DS}$ 、 $C_M=2$ 、基準体積  $V$ =実容積）の下、魚礁の模型を用いた回流水槽または風洞での実験による  $C_{DS}$  の測定のみで適用することができた。しかし提案する新しい方法では、流体力係数 ( $C_D$ 、 $C_M$  または  $C_{Fmax}$ ) は KC 数の関数として扱うため、その関数は、複雑な形状の魚礁では新たに造波水槽での模型実験を行わないかぎり適切に決定することができない。利便性と新算定式への円滑な移行のためには実験によらない流体力係数の妥当な算定方法の確立が望まれる。

これまでの検討（平成 25-26 年度）では、高層魚礁の模型実験により全体模型法とともに部材流体力法（構成部材の流体力の合力から流体力を算定する手法）の妥当性を検討した。その結果、2次元部材に基づく部材流体力法により全体模型法に比較的近い推定値が得られる可能性が見出されたが、同時に部材間隔が狭い魚礁では閉塞効果により流体力を過小算定するという問題があることもわかった。閉塞効果は、特にこれまで検討してこなかったコンクリート魚礁で大きくなることが予想される。

そこで、本調査ではコンクリート魚礁を対象として、まず魚礁の類型化を行うとともに、その中で単純で基本的な構造の魚礁を取り上げて部材流体力法を適用し、問題解決の方向性を検討する。

### 5. 沈設魚礁の安定性の照査法の検討

これまでの模型実験による検討により、砂質底に設置された沈設魚礁では、洗掘により滑動抵抗が増加するため、わずかな移動、揺動は生じても、魚礁 1 個分以上の有意な移動は滑動ではなく、転倒によって生じることが示された。しかし砂を用いた模型実験に関して相似則の問題が指摘されている。そこで、模型実験の妥当性の根拠を示し、沈設魚礁の安定性に関する砂礫底での洗掘・埋没等の影響を考慮した照査法の素案を示す。

d. 方法

1. 非対称波形の波動流速の算定手法の検討

最大波を対象波として、最大流速波形の特性値  $U_a$ 、 $u_{max}$ 、 $T_{zp}$  および  $T_{pp}$  の算定式を検討した。この検討には、2次元造波水路で 1/50 と 1/30 の一様勾配上で不規則波を発生させて異なる水深で 250 波以上測定した底面流速と水面変位の時系列データ (108 データセット) (川俣 茂, 2018: 不規則波による最大流速波形の算定手法, 平成 30 年度日本水産工学会学術講演会講演論文集, p.43~46) を用い、非線形回帰分析等により上記特性値の算定式を構築した。

2. 非対称波動流速にも対応した流体力算定手法の検討

1)  $C_{Fmax}$  の式の改良とその有効性の検証

最大力係数  $C_{Fmax}$  の定義では、これまで代表流速として岸向最大流速  $u_{max}$  を用いてきたが、これを  $U_a$  に変更した、すなわち、

$$C_{Fmax, m} = \frac{F_{max}}{\rho u_{max}^2 A / 2} \tag{式 5.3}$$

$$C_{Fmax, a} = \frac{F_{max}}{\rho U_a^2 A / 2} \tag{式 5.4}$$

と定義した。ここに、 $C_{Fmax, m}$  と  $C_{Fmax, a}$  はともに KC 数  $KC_a (=2U_a T_{pp} / D, D: 魚礁の代表部材幅)$  の関数として、4つの魚礁模型 (表 5.1) を用いて造波水槽での規則波実験による流体力と流速の測定結果からその定式化を行った。

つぎに、同じ魚礁模型を用いて不規則波下で流体力と流速の測定を行い、以下の手順により  $C_{Fmax, m}$  から  $C_{Fmax, a}$  への変更の有効性を検討した。

- ①流速時系列をゼロダウクロス法により個々波に分解 (図 5.3)
- ②個々波において、 $U_{a, i}$  と  $T_{pp, i}$  から求められる  $KC_{a, i} = 2U_{a, i} T_{pp, i} / D$  を決定し、別途規則波実験によって決定された経験式を用いて  $C_{Fmax, m, i}$  と  $C_{Fmax, a, i}$  を算出
- ③個々波において、次の2式とモリソン式により最大力を推定し、実測値と比較

$$F_{p, i} = \frac{1}{2} \rho C_{Fmax, m, i} A u_{max, i}^2 \tag{式 5.5}$$

$$F_{p, i} = \frac{1}{2} \rho C_{Fmax, a, i} A U_{a, i}^2 \tag{式 5.6}$$

表 5.1 魚礁模型の諸元

名称	部材幅 $D$ (cm)	高さ $h$ (cm)	基準面積 $A$ (cm <sup>2</sup> )	実容積 $V$ (cm <sup>3</sup> )
A礁	2.0	5.1	60.8	229.8
B礁	1.2	6.0	93.9	257.1
C礁	1.2	8.0	59.5	110.6
D礁	1.0	13.0	227.6	347.52

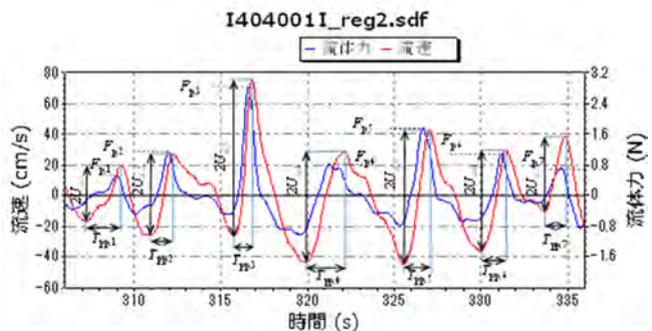
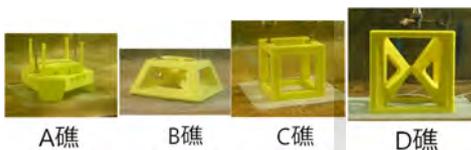


図 5.3 不規則波による魚礁模型に作用する流体力と底面流速の時間変化とゼロダウクロス波の測定例

ここに、 $u_{\max, i}$  は個々波内の最大流速。モリソン式による最大力は、実測流速を用いて各個々波内で流体力を測定時間間隔 (0.02s) で計算して求めた。その計算に用いた抗力係数  $C_D$  と慣性力係数  $C_M$  は、平成 29 年度に決定した、規則波実験から流速波形の谷から峰までのデータに当てはめて KC 数の関数として決定した  $C_D$  および  $C_M$  の実験式により求める。

## 2) 最大流体力算定法の検証

最大流速波形の  $U_a$  と  $T_{pp}$  の算定式と  $C_{F\max}$  の式を組み合わせることにより、不規則波中での最大流体力を算定することができる。その方法の有効性を以下の模型実験と現地事例により検証した。

### (1) 模型実験による検証

不規則波中での魚礁模型に作用する流体力に関する模型実験データを用いて、沖波から推定される模型の設置水深での  $U_a$  と  $T_{pp}$  を用いて、 $C_{F\max, m}$  の式と  $C_{F\max, a}$  の式により最大流体力を推定した。この検討では表 5.1 に示した 4 魚礁模型を対象としたが、A 礁、B 礁および C 礁については、平成 28、29 年度に実施した模型実験のデータを用い、D 礁については今年度新たに実施した模型実験のデータを用いた。いずれの実験も勾配 1/50 の斜面上に魚礁模型を設置したが、模型の設置水深は A 礁、B 礁および C 礁では 0.64m、D 礁では 0.745m とした。

### (2) 現地事例による検証

沈設魚礁または増殖場施設の被災／非被災に関する 6 現地事例 (表 5.2) については、すでに気象擾乱時の最大波が推算されている。その最大波に基づき、①従来法 (波動流速：有義波を基準波とした微小振幅波の軌道流速、 $C_D$ =定常流中の  $C_D$ 、 $C_M=2$ 、基準体積  $V$ =実容積)、②従来の設計法のうち波動流速の基準波のみを最大波に変えた場合 (修正法  $\alpha$  という)、最大流速  $U_m$  および最大流速波形の  $U_a$  と  $T_{pp}$  を推定し、代表流速と周期を、③  $U_m$  と有義波周期  $T_{1/3}$ 、および④  $U_a$  と  $T_{pp}$  とした場合の 2 通りの  $C_{F\max}$  の式、合計 4 通りの方法で最大流体力を推定し、移動 (被災) の有無を推定した。

表 5.2 最大流体力算定手法の検証に用いた現地事例

事例名	場所 (最大波時水深)	施設	検証擾乱	被災の有無と その状況	水中重量 $W$ と摩擦 係数 $\mu$
事例 1	長崎県野母崎沖 水深 13.9m	捨石マウンド 上の A 礁	台風 T1408	滑動、転倒	$W=47.36$ kN $\mu=0.6^{1)}$
事例 2	長崎県野母崎沖 水深 24.8m	層積みの B 礁	台風 T1408	上層の魚礁の 滑落	$W=55.18$ kN $\mu=0.5^{2)}$
事例 3	千葉県館山沖 水深 23.5m	層積みの D 礁	台風 T1418	被災なし	$W=72.87$ kN $\mu=0.5^{2)}$
事例 4	千葉県館山沖 水深 16.8m	事例 3 と同じ	台風 T1418	上層の魚礁の 滑落	事例 3 と同じ
事例 5	千葉県館山沖 水深 26.6m	事例 3 と同じ	台風 T1721	被災なし	事例 3 と同じ
事例 6	千葉県館山沖 水深 19.9m	事例 3 と同じ	台風 T1721	上層の魚礁の 更なる滑落	事例 3 と同じ

1) コンクリート-捨石間の摩擦係数

2) コンクリート-コンクリート間の摩擦係数

### 3. 波と流れの共存場における流体力算定法の検討

#### 1) 振動流中および定常流中での流体力係数の計測

図 5.4 および図 5.5 に示す常流を発生させた回流水槽（試験区）の上に設置した振動装置に魚礁模型を取り付け、擬似的に作り出した波・流れの交差条件の下で作用流体力を計測した。実験条件は、魚礁模型に D 礁（外寸  $13 \times 13 \times 13 \text{ cm}$ ；質量  $396.86 \text{ g}$ 、密度  $1.14 \text{ g/cm}^3$ ）を用い、下記の定常流速と振動条件の各組み合わせ条件下で交差角  $\theta$  を  $0, 30, 45, 60, 90^\circ$  に変えて計測を実施した。

定常流速： $U_c = 0.0, 7.1, 12.5, 14.2, 24.8, 28.4, 40.0, 49.7 \text{ cm/s}$

振動： $T = 2.0 \text{ s}$  のとき  $U_m = 6.4, 15.9, 25.2, 36.1, 62.5 \text{ cm/s}$

$T = 2.4 \text{ s}$  のとき  $U_m = 9.0, 17.9, 25.7, 35.6, 52.2 \text{ cm/s}$

$T = 3.0 \text{ s}$  のとき  $U_m = 9.1, 17.8, 24.9, 35.3, 41.6 \text{ cm/s}$

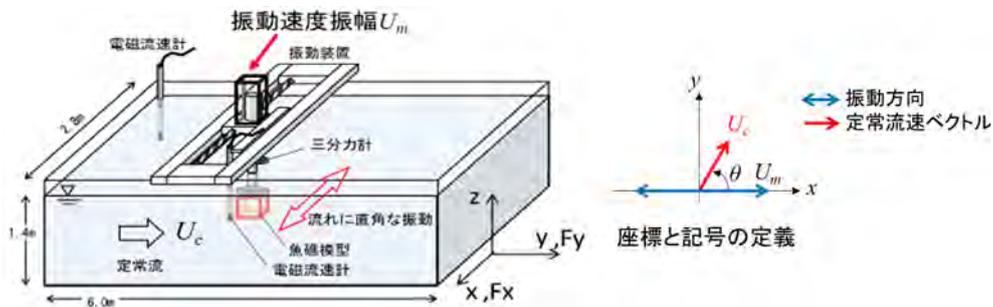


図 5.4 実験装置および座標と記号

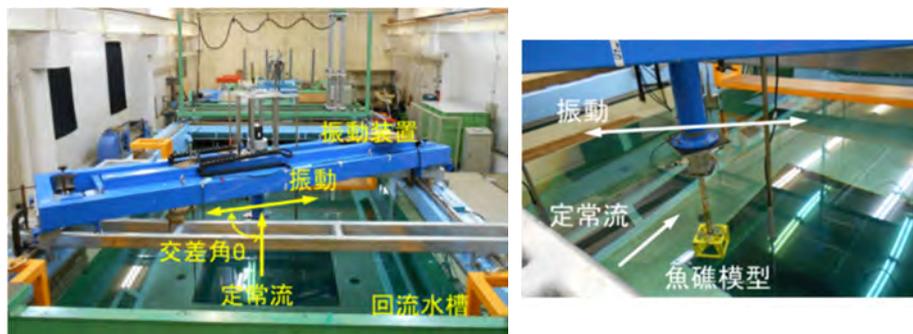


図 5.5 振動装置と魚礁模型の取付治具

魚礁模型の水面からの取付深さについては、浅過ぎると、流体力に水面の影響が生じる可能性があるため、水面の影響が無視できる深さを以下の予備実験により調べた。

予備実験では、水面から魚礁模型上面までの距離  $d$  を  $3.5 \sim 28.5 \text{ cm}$  まで  $5 \text{ cm}$  刻みで変化させ、振動（振幅  $200 \text{ mm}$ 、周期  $2.4 \text{ s}$ ）方向の流体力  $F_x$  を測定した。 $F_x$  の振幅  $F_{x, \max}$  は、 $d > 13.5 \text{ cm}$  でほぼ一定になった（図 5.6）ことから、その限界より  $10 \text{ cm}$  ほど深い位置を本実験における模型の固定深さとした。

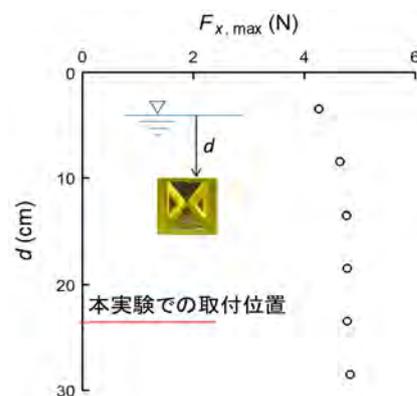


図 5.6 模型の設置水深  $d$  と  $F_{x, \max}$  の関係

## 2) 提案式の妥当性の検討

流体が振動する場合と魚礁が振動する場合では計測される力が異なるため、本実験では計測値から  $C_{Fmax}$  を直接求めることができない。そこでモリソン式に基づき、以下により  $C_{Fmax}$  を間接的に決定した。

静水中で魚礁を振動させる場合に計測される力は次式で表されると仮定できる。

$$F_x(t) = -(m + \rho C'_M V) \ddot{x} - \frac{1}{2} \rho C_D A |\dot{x}| \dot{x} \quad \text{式 5.7}$$

ここに、 $F_x$  : 計測される  $x$  方向の力、 $m$  : 魚礁模型の質量、 $C'_M$  : 付加質量係数、 $U_c$  : 定常流速、 $x$  : 振動装置の変位、 $\dot{\quad}$  と  $\ddot{\quad}$  は時間に関する 1 階及び 2 階微分。したがって、流れの中に固定されている魚礁に作用する流体力は次式で表される。

$$\tilde{F}_x(t) = -\rho(1 + C'_M)V\ddot{x} - \frac{1}{2}\rho C_D A |\dot{x}|\dot{x} = F_x(t) + (m - \rho V)\ddot{x} \quad \text{式 5.8}$$

ここに、 $F_x(t)$  は静水中で計測される  $x$  方向の力  
式 5.8 より推定される最大流体力  $\tilde{F}_{x,max}$  から次式により  $C_{Fmax}$  を決定する。

$$C_{Fmax} = \frac{\tilde{F}_{x,max}}{\rho A U_c^2 / 2} \quad \text{式 5.9}$$

$F_x$  は魚礁模型を付けたときの計測力から魚礁模型を付けないときの計測力を差し引いて求められるが、模型を付けないときに予想外の大きな短周期振動とうなりがみられた (図 5.7)。短周期振動は平滑化処理により除去できるが、うなりの影響の解消は困難であった。今回の解析では、一定振動期間の両端 2s を除く中間のすべての波を平均処理して  $F_x$  を求めた。

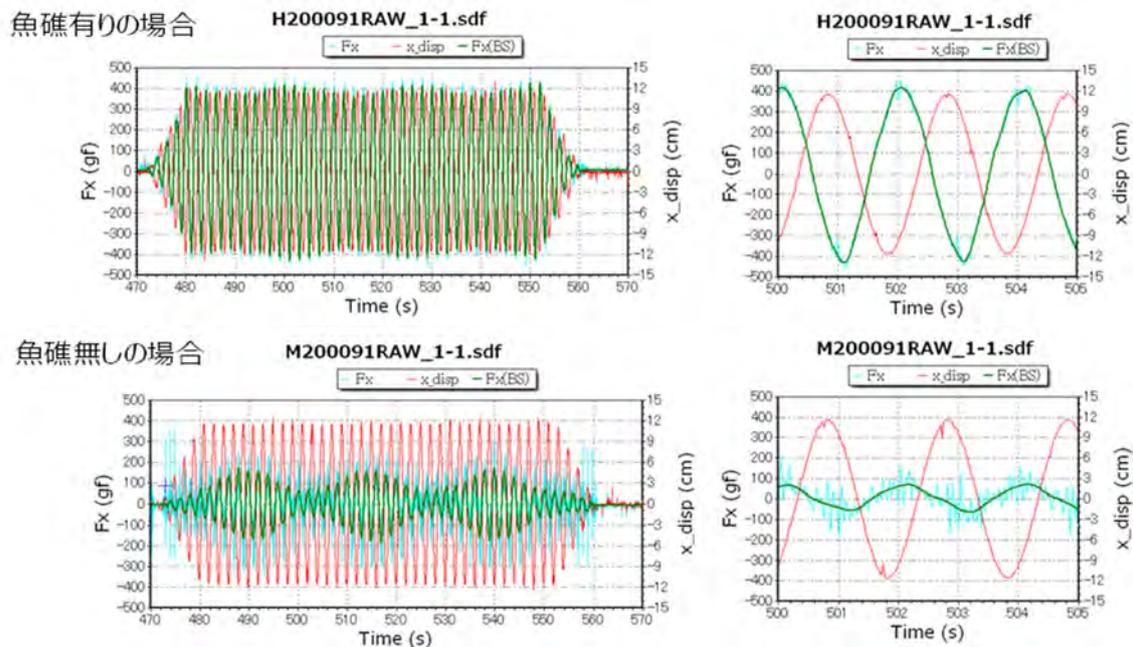


図 5.7 振動方向の力  $F_x$  とその平滑値  $F_x(BS)$  及び振動変位  $x\_disp$  の測定例

最後に、流れ (定常流) がある場合の最大流体力の提案式 (式 5.2) による推定値と実測値の比較を行った。ここで、実測に基づく最大流体力は式 5.8 による  $\tilde{F}_x(t)$  と  $y$  方向の計測力  $F_y(t)$  から次式で求められる力の最大値として求められる。

$$F(t) = \sqrt{\tilde{F}_x^2(t) + F_y^2(t)}$$

式 5.10

#### 4. 複合部材からなる構造物の流体力算定手法の検討

##### 1) 魚礁の類型化

一般社団法人水産土木建設技術センター発行「水産土木事業のための積算技術情報資料 2016 (H28) 年度版」より、魚礁・増殖礁用ブロック・(増殖礁用基質材) を対象として類型化を検討した。

##### 2) 部材流体力法のコンクリート魚礁への適用における課題の把握

形状が単純でよく使われているコンクリート魚礁の一つ「角型魚礁」を対象として、部材流体力法を適用し、全体模型法との比較を行った。実験には、角型魚礁の模型(外径 60×60×60mm, 梁断面 10×10mm) を用い、規則波中での流体力測定を行った。部材流体力法では、図 5.8 のように波を横切る方向の角柱部材 (A) 8 本と波動に平行な部材 (B) 4 本に分割し、2次元角柱の  $C_D$ 、 $C_M$  の実験値を用いてモリソン式により流体力を計算した。

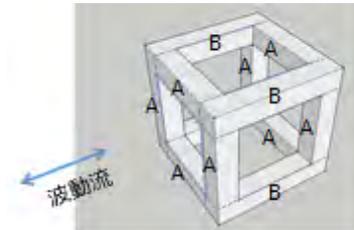


図 5.8 角型魚礁の部材の分割方法

#### 5. 沈設魚礁の安定性の照査法の検討

平成 28 年度に実施した砂質底上の沈設魚礁の移動に関する造波水槽実験の移動床の相似則について、研究の進んでいる砂れんの大きさから模型実験の妥当性を検討する。砂れんの波長と波高を Nielsen の公式 (Nielsen, P., 1992: Coastal Bottom Boundary Layers and Sediment Transport. World Scientific Publishing, Singapore) による推定値と比較し、相似性を検討した。また、実験結果を踏まえた場合分けにより、沈設魚礁の安定性の照査法の流れ(案)を提示した。

#### 6. 検討部会の実施

本業務の実施にあたって、専門分野の知見を有する学識経験者を委員とする検討委員会を設け、2回実施し、指導・助言を得ながら業務のとりまとめを行った。

##### e. 結果

##### 1. 非対称波形の波動流速の算定手法の検討

##### 1) $U_a$ の算定式

$U_a$  は、深い領域では最大波による微小振幅波の底面軌道流速  $U_{\text{Airy}}$  :

$$U_{\text{Airy}} = \frac{\pi H_{\text{max}}}{T_{1/3,0} \sinh \frac{2\pi h}{L_{1/3,0}}} \quad \text{式 5.11}$$

ここに、 $T_{1/3,0}$  : 深海波の有義波周期、 $h$  : 静水時の水深、 $L_{1/3,0}$  :  $T_{1/3,0}$  と  $h$  から求めた微小振幅波の波長

に近いが、水深の低下に伴い  $U_a/U_{\text{Airy}}$  は低下すると考えられる。検討の結果、 $U_a/U_{\text{Airy}}$  は  $H_{\text{max}}/h$  との間に密接な関係（図 5.9）が見出され、以下の実験式を得た。

$$U_a = \left\{ 1 - 0.384 \tanh \left[ 1.91 \left( \frac{H_{\text{max}}}{h} \right)^{1.81} \right] \right\} U_{\text{Airy}} \quad \text{式 5.12}$$

式 5.12 より  $H_{\text{max}}$  に合田のモデルによる  $H_{1/250}$  の予測値を用いて沖波から水深  $h$  での  $U_a$  を算出した値は実測値に概ね一致した（図 5.10）。

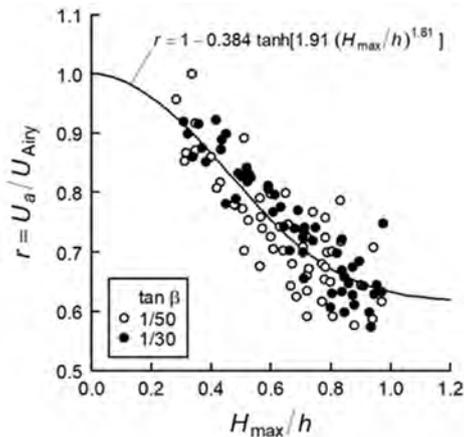


図 5.9  $H_{\text{max}}/h$  と  $U_a/U_{\text{Airy}}$  との関係

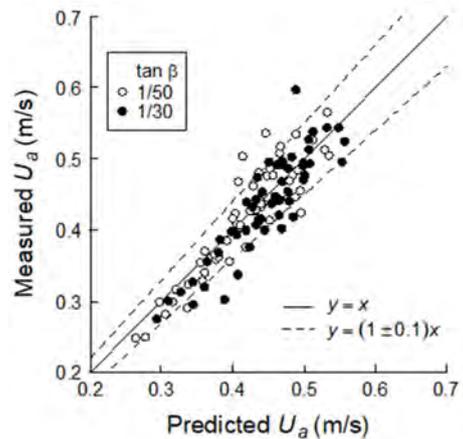


図 5.10  $U_a$  の予測値と実測値の比較

式 5.12 の妥当性について、これまでの調査で得られている徳島県志和岐沿岸および北海道増毛町での現地観測データを用いて検討した。これら 2 地点での  $U_a$  の観測値と算定値の比較を図 5.11 に示す。 $U_a$  の算定には、観測点での有義波周期と最大波高の観測値を用いた。算定値は、事例 B の相対波高の大きい領域で若干過小評価傾向がみられたが、全体的に観測値によく一致した。

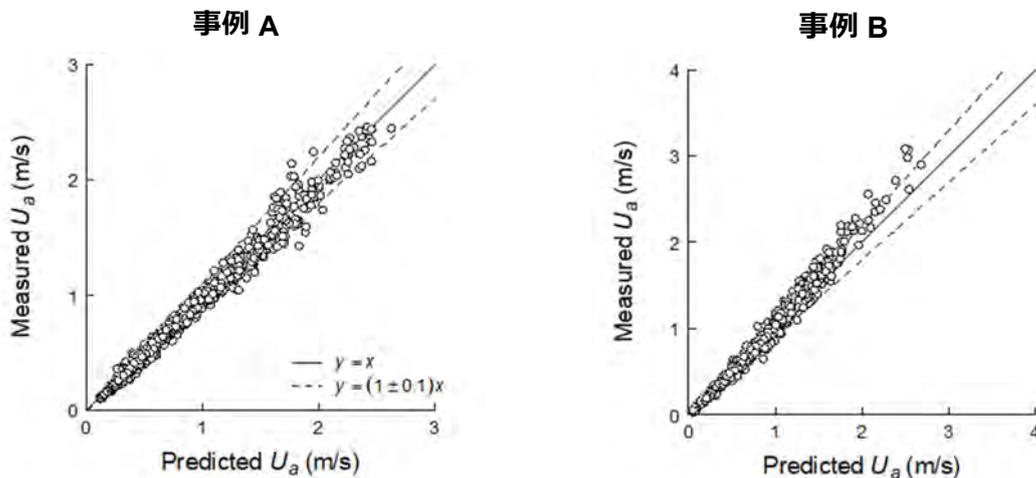


図 5.11 現地での  $U_a$  の予測値と観測値との比較

事例 A：2015/7/29～2015/11/17、徳島県志和岐沿岸（水深 7.7～10.4m）で 1h 間隔に 2Hz、20min 計測、事例 B：2017/10/9～2017/11/30、北海道増毛町沿岸（水深 7.1～8.3m）1h 間隔に 2Hz、20min 計測

## 2) $u_{\max}$ および $T_{zp}$ の算定式

$u_{\max}$  および  $T_{zp}$  は  $U_a$  とは異なり、長周期波成分の存在による変動が大きく、その予測は困難であった。しかし、これらの変数は、すでに検討済みの石材の安定質量算定式:

$$M_{50} = \alpha \rho_s D_{50}^3 \quad \text{式 5.13a}$$

$$\left( a - \ln \frac{u_{\max} T_{zp}}{D_{50}} \right) \frac{U_a^2}{\mu(\rho_s/\rho - 1)gD_{50}} = \phi_{cr} \quad \text{式 5.13b}$$

に  $u_{\max} T_{zp}$  の積の形でしか現れないことから、 $u_{\max} T_{zp}$  の算定式を無次元数  $r_{zp} = 4u_{\max} T_{zp} / (U_{\text{Airy}} T_{1/3,0})$  で検討したところ、 $r_{zp}$  が  $H_{\max}/h$  により比較的良好に説明できることがわかった (図 5.12)。  $U_{\text{Airy}}$  は現在の設計法では最大流速  $U_m$  の近似式となっている。  $U_{\text{Airy}}$  と  $U_m$  の比較を図 5.13 に示す。  $U_{\text{Airy}}$  は  $U_m$  より大きくなる傾向があるが、 $U_m$  の簡便な参照値としては有効である。したがって概ね

$$u_{\max} \leq U_m \leq U_{\text{Airy}}$$

の関係にあるが、設計の便宜のため、

$$u_{\max} = U_{\text{Airy}}$$

を仮定すると、図 5.12 中の回帰式より次式が得られる。

$$T_{zp} = \left\{ 1 - 0.737 \tanh \left[ 1.19 \left( \frac{H_{\max}}{h} \right)^{0.902} \right] \right\} \frac{T_{1/3,0}}{4} \quad \text{式 5.14}$$

また上記の仮定を設定すると、 $r_{zp}$  の実験式 5.14 は概ね実験値の下限値に相当する (図 5.14) ようになるが、 $U_{\text{Airy}}$  と式 5.14 より算定される  $T_{zp}$  との積は  $u_{\max} T_{zp}$  に等しいので、仮定による算定値への実質的な影響はない。

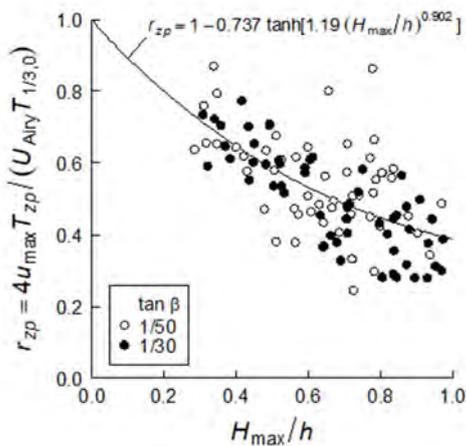


図 5.12  $H_{\max}/h$  と  $r_{zp}$  の関係

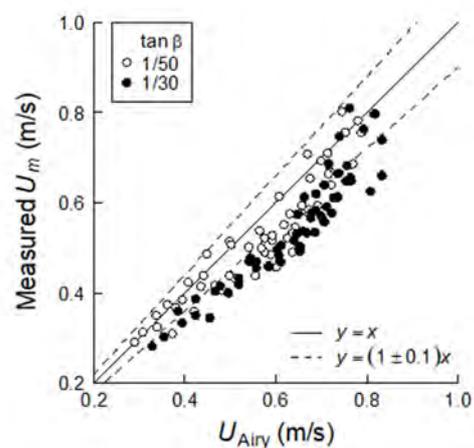


図 5.13  $U_{\text{Airy}}$  と  $U_m$  の比較

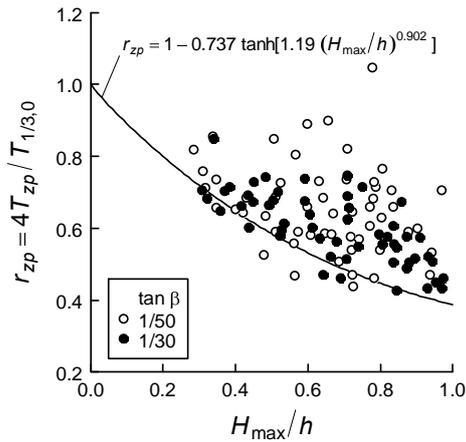


図 5.14  $u_{\max} = U_{\text{Airy}}$  と仮定した場合の  $H_{\max}/h$  と  $r_{zp}$  の関係

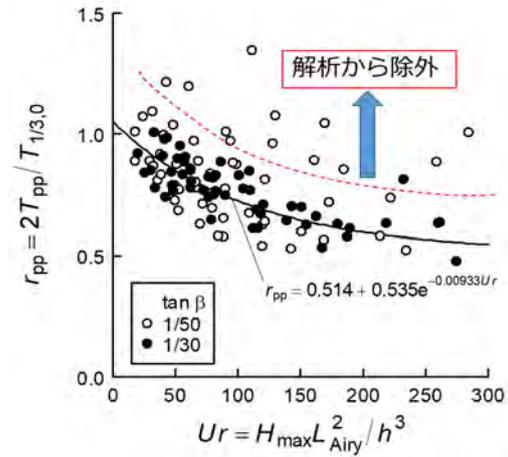


図 5.15 アーセル数  $Ur$  と  $r_{pp}$  の関係

### (3) $T_{pp}$ の算定式の検討

$T_{pp}$  の算定式は、無次元数  $r_{pp} = 2T_{pp}/T_{1/3,0}$  を目的変数として、水深・沖波波長比  $h/L_0$ 、 $H_{\max}/h$ 、アーセル数  $Ur (=H_{\max}L_{\text{Airy}}^2/h^3)$  などとの関連性を調べたところ、アーセル数との間に最もまとまりのある関係が見出されたが、大きく離れたデータもみられた (図 5.15)。これらのデータは、おそらく長周期波によるもので、その予測は難しい。しかし  $T_{pp}$  は  $KC$  数 ( $KC = 2U_a T_{pp}/D$ ;  $D$ : 構造物の代表幅) として設計に用いられ、流体力係数 ( $C_D$ 、 $C_{F_{\max}}$ ) は  $KC$  数の増加 (すなわち、 $T_{pp}$  の増加) に伴い低下すること、および  $T_{pp}$  の下限付近のデータは比較的まとまっていることから、安全設計の観点より、 $T_{pp}$  の上限付近のデータを外れ値として除外して図中の回帰式を決定した。その式より  $T_{pp}$  は次式で与えられる。

$$T_{pp} = (0.257 + 0.268e^{-0.00933Ur})T_{1/3,0} \quad \text{式 5.15}$$

## 2. 非対称波動流速にも対応した流体力算定手法の検討

### 1) $C_{Fmax}$ の修正式の有効性の検証

規則波実験により求めた 4 つの魚礁模型の  $KC_a$  と  $C_{Fmax, m}$  および  $C_{Fmax, a}$  との関係をもとに最小 2 乗回帰式とともに図 5.16 に示す。

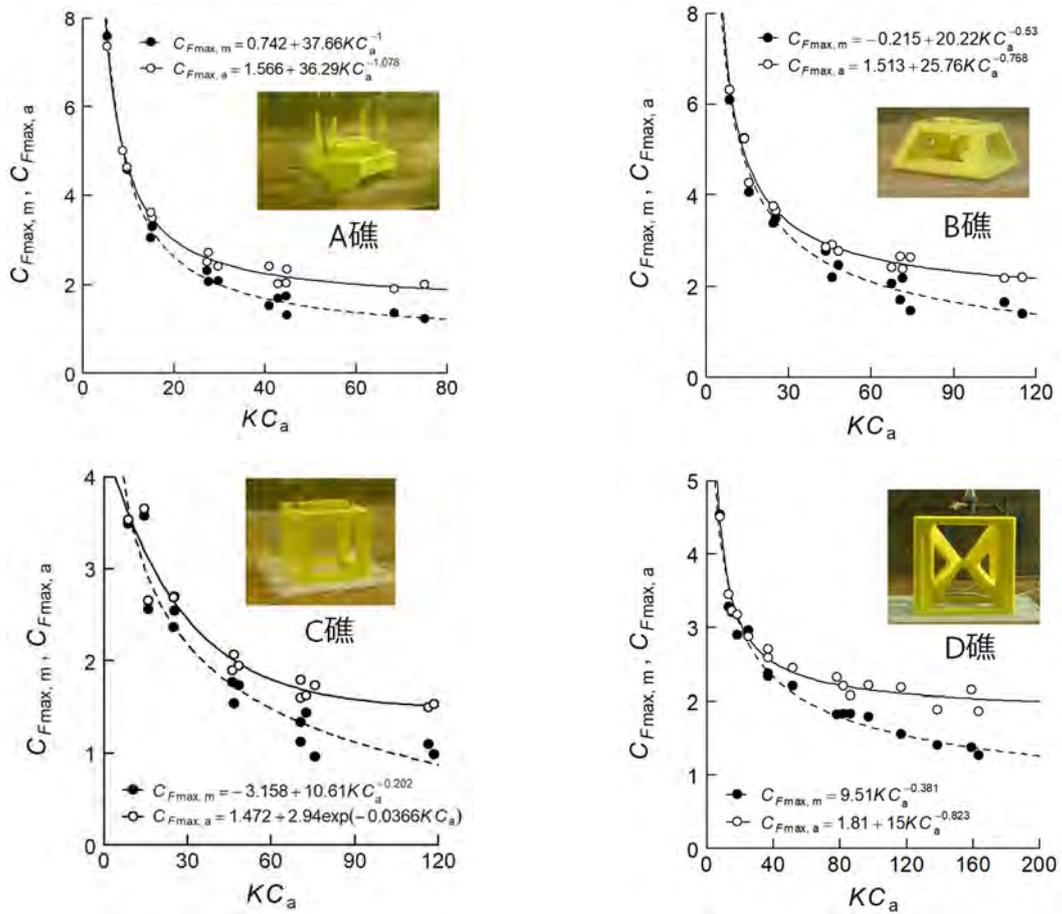


図 5.16 各魚礁模型の  $KC_a$  数と  $C_{Fmax, m}$  および  $C_{Fmax, a}$  の関係とその近似的

不規則波の個々波における最大力について  $C_{Fmax, a}$  と  $C_{Fmax, m}$  の式による算定値と実測値を比較した 6 例を図 5.17 に示す。いずれのケースでも、 $C_{Fmax, m}$  による予測誤差は大きかったが、 $C_{Fmax, a}$  による予測はモリソン式と同等もしくはそれ以上に実測によく一致した。

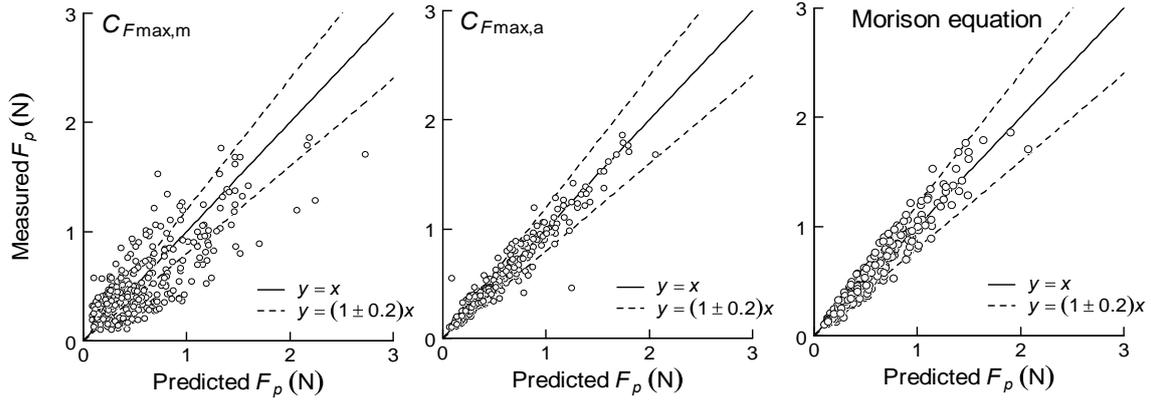


図 5.17A 個々波の最大力  $F_p$  の予測値 ( $C_{Fmax,m}$  の式、 $C_{Fmax,a}$  の式、モリソン式) と実測値の比較例 1 (A 礁、 $H_{1/3} = 22.2$  cm、 $T_{1/3} = 3.9$  s、 $h = 64$  cm の場合)

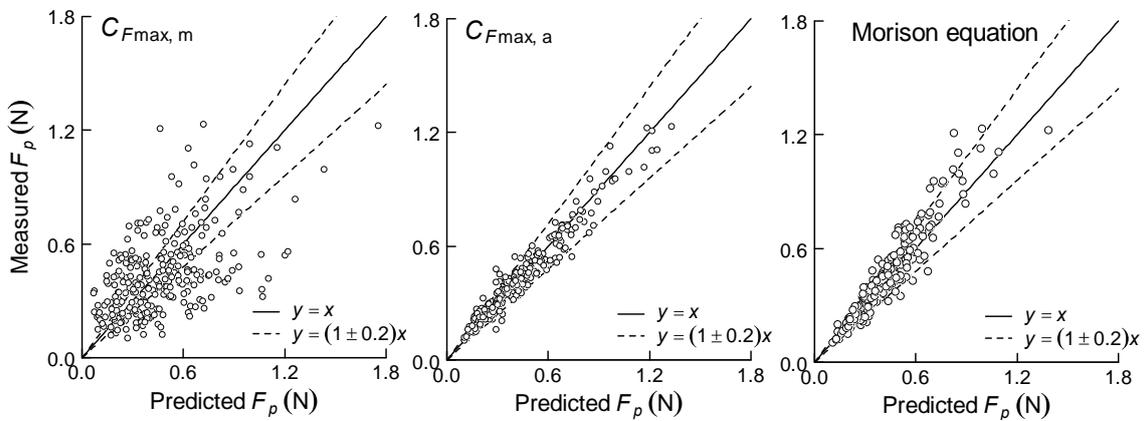


図 5.17B 個々波の最大力  $F_p$  の予測値 ( $C_{Fmax,m}$  の式、 $C_{Fmax,a}$  の式、モリソン式) と実測値の比較例 2 (A 礁、 $H_{1/3} = 21.1$  cm、 $T_{1/3} = 1.98$  s、 $h = 64$  cm の場合)

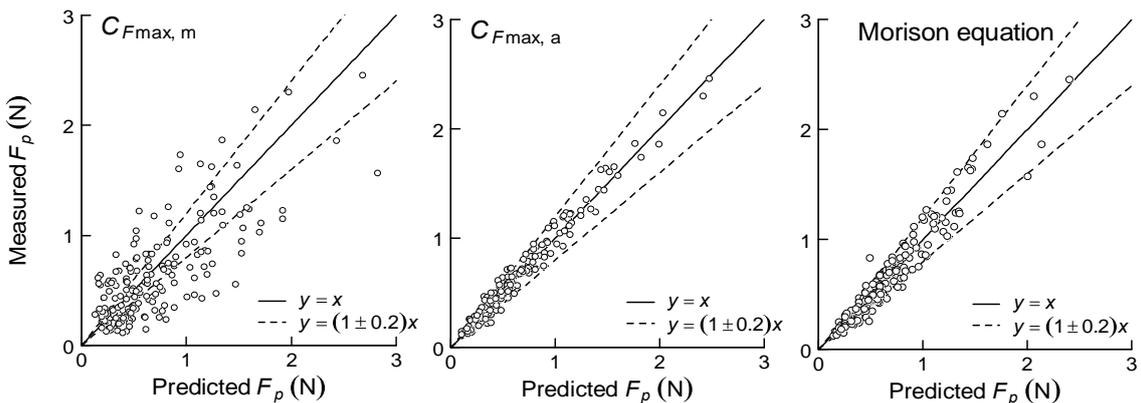


図 5.17C 個々波の最大力  $F_p$  の予測値 ( $C_{Fmax,m}$  の式、 $C_{Fmax,a}$  の式、モリソン式) と実測値の比較例 3 (B 礁、 $H_{1/3} = 17.7$  cm、 $T_{1/3} = 3.01$  s、 $h = 64$  cm の場合)

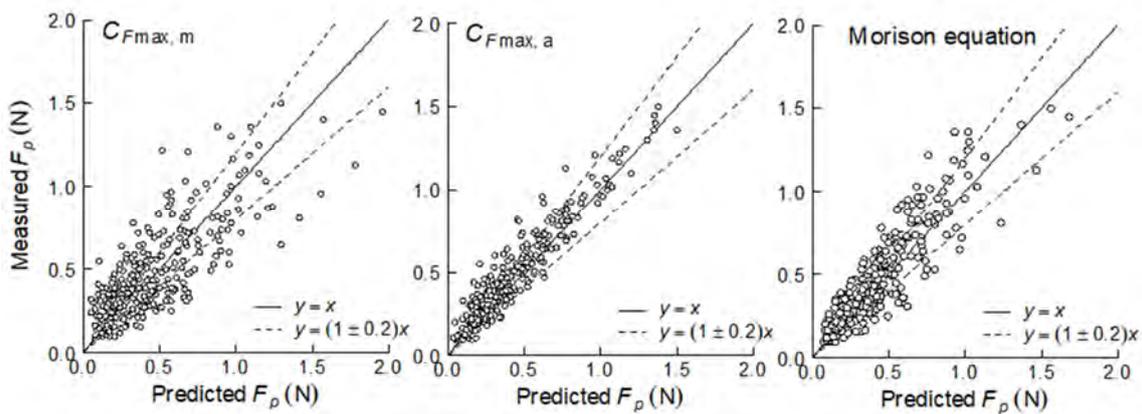


図 5.17D 個々波の最大力  $F_p$  の予測値 ( $C_{Fmax,m}$  の式、 $C_{Fmax,a}$  の式、モリソン式) と実測値の比較例 4 (C 礁、 $H_{1/3} = 21.9$  cm、 $T_{1/3} = 3.85$  s、 $h = 64$  cm の場合)

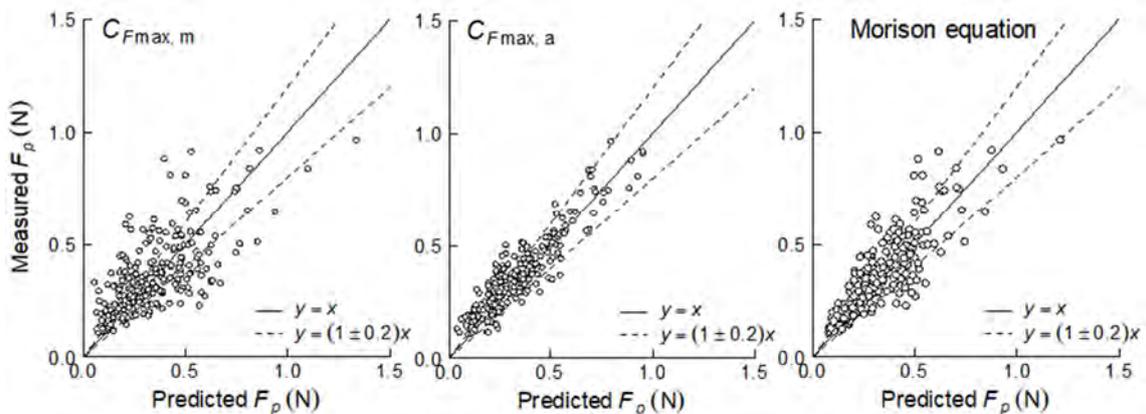


図 5.17E 個々波の最大力  $F_p$  の予測値 ( $C_{Fmax,m}$  の式、 $C_{Fmax,a}$  の式、モリソン式) と実測値の比較例 5 (C 礁、 $H_{1/3} = 20.9$  cm、 $T_{1/3} = 1.98$  s、 $h = 64$  cm の場合)

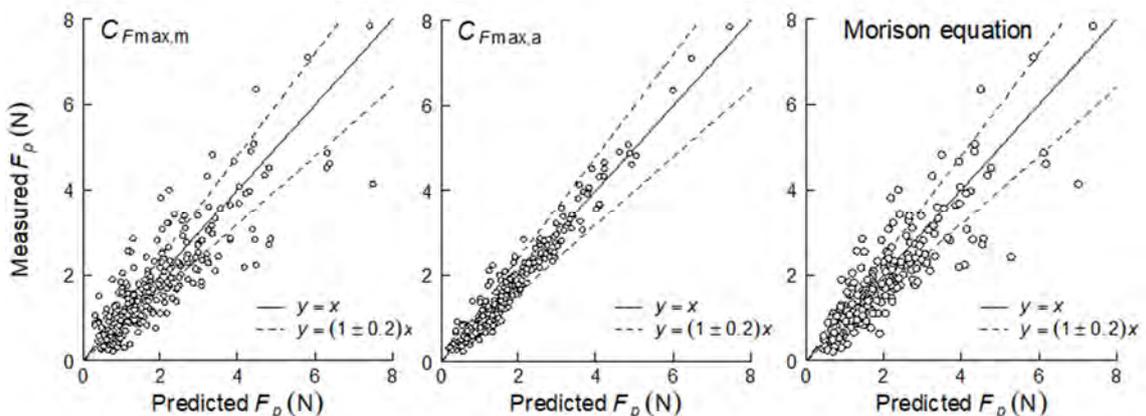


図 5.17F 個々波の最大力  $F_p$  の予測値 ( $C_{Fmax,m}$  の式、 $C_{Fmax,a}$  の式、モリソン式) と実測値の比較例 6 (D 礁、 $H_{1/3} = 25.4$  cm、 $T_{1/3} = 2.00$  s、 $h = 74.5$  cm の場合)

## 2) 最大流体力算定法の検証

### (1) 模型実験による検証

図 5.18 に模型実験における不規則波中の最大流体力の予測値と実測値を比較した。A 礁、B 礁および C 礁 (設置水深  $h=64$  cm) の試験では、 $C_{Fmax}$  の式に  $C_{Fmax,a}$  を用いると、 $C_{Fmax,m}$  より

も予測精度が向上し、ほとんどの場合、誤差は 20%以内になった。これに対して設置水深等 ( $h=74.5\text{cm}$ ) を変えて実験を行った D 礁の場合は、 $C_{F_{\max,a}}$  による最大流体力の予測が 20% 以上過小になるケースが多くみられた。しかし、D 礁の最大流体力の算定に最大流速波形の  $u_{\max}$ 、 $U_a$ 、 $T_{pp}$  の実測値を用いると、 $C_{F_{\max,a}}$  の式による計算値は実測値によく一致した (図 5.19)。したがって、D 礁における最大流体力の過小算定は最大流速波形、特に  $U_a$  の過小算定に因るもので、 $C_{F_{\max,a}}$  の式の妥当性が再確認された。

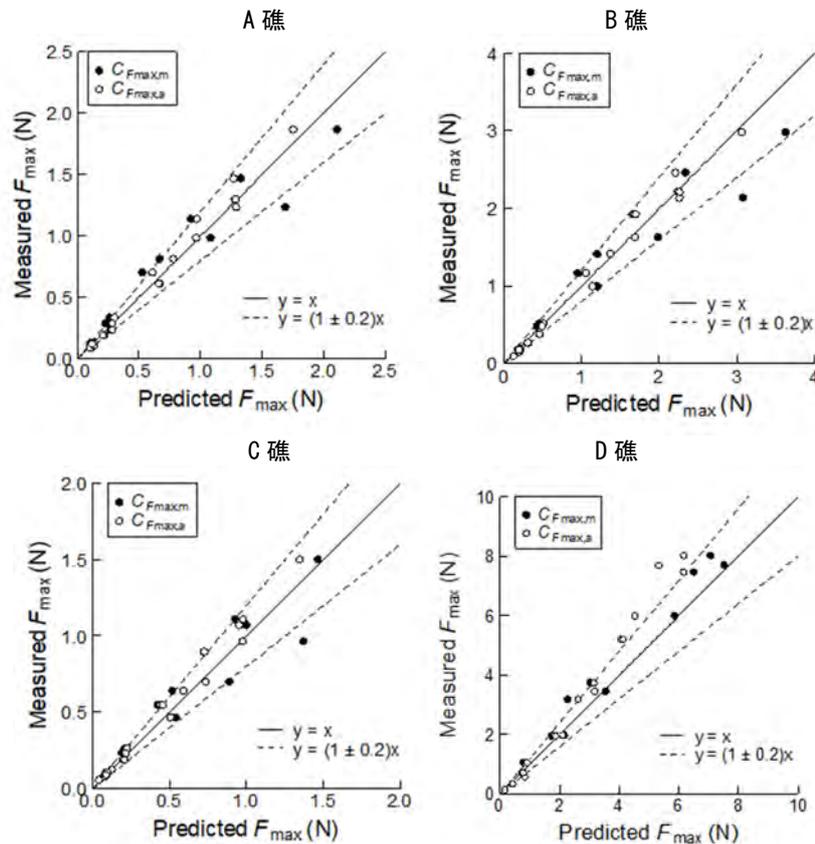


図 5.18 模型実験における不規則波中の最大流体力  $F_{\max}$  の予測値と実測値の比較

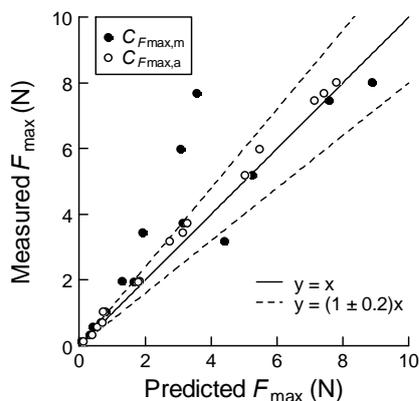


図 5.19 D 礁に作用する最大流体力を実測流速により算定した値と実測値との比較

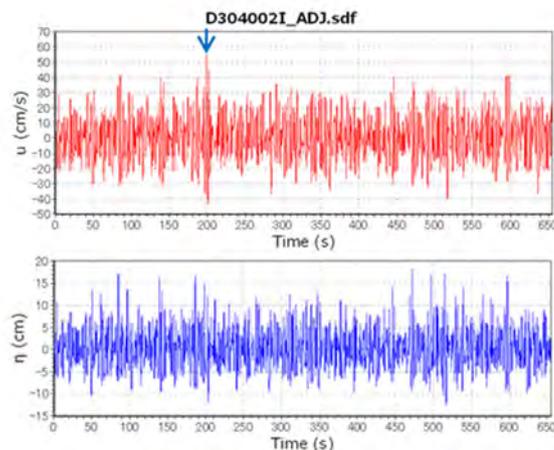


図 5.20 D 礁の最大流体力が過小算定されたケースでの底面流速  $u$  と水面変位  $\eta$  の時系列の測定例

図 5.20 に D 礁の最大流体力が過小算定されるケースでの底面流速  $u$  と水面変位  $\eta$  の測定時系列の例を示す。矢印で示す最大流速全振幅の発生時に、水面にはそれほど大きな波は発生していないことから、反射波により部分重複波が発生し、D 礁の測定位置が部分重複波の節に当たっていたと考えられる。

## (2) 現地事例による検証

事例 1～6 における各種流体力算定法による安全率  $R/F_{\max}$  の算定結果とその妥当性の判定を表 5.3 に記す。表中の  $R$  は滑動抵抗  $R = \mu W$  である。施設が被災した場合は、安全率が  $R/F_{\max} < 1$  になるはずであるが、波浪推算等にある程度の誤差があることを考慮し、 $R/F_{\max} < 0.9$  の場合を適 (○) とし、 $0.9 < R/F_{\max} < 1.1$  の場合を概ね適 (△)、 $R/F_{\max} > 1.1$  の場合を不適 (×) とした。逆に非被災の場合は、 $R/F_{\max} < 0.9$  のとき×、 $0.9 < R/F_{\max} < 1.1$  のとき△、 $R/F_{\max} > 1.1$  のとき○とした。従来法および修正法  $\alpha$  では不適が 2 件以上あったが、 $C_{F\max}$  の式は  $U_m$  基準と  $U_a$  基準ともにすべての事例で不適、すなわち明らかに事実と反することはなかった。

表 5.3A 事例 1 における流体力算定法による安全率の算定結果とその妥当性の判定

計算法	被災時最大波	波動流速	流体力係数	最大流体力 $F_{\max}$ (kN)	安全率 $R/F_{\max}$	判定 <sup>注4</sup>
従来法	$H_{1/3}=6.32\text{m}$ , $T_{1/3}=11.2\text{s}$	$U_m=2.25\text{m/s}$ $T=11.2\text{s}$	$C_D=0.6$ <sup>注1</sup> , $C_M=2.0$	9.62	2.95	×
修正法 $\alpha$ <sup>注2</sup>	$H_{\max}=9.98\text{m}$ <sup>注3</sup> $T_{1/3}=11.2\text{s}$	$U_m=3.56\text{m/s}$ $T=11.2\text{s}$		18.5	1.53	×
$C_{F\max}$ の式 ( $U_m$ 基準)	$H_{\max}=9.98\text{m}$ <sup>注3</sup> $T_{1/3}=11.2\text{s}$	$U_m=3.56\text{m/s}$ $T=11.2\text{s}$	$C_{F\max}=1.19$ ( $KC_m=78.9$ )	29.5	0.96	△
$C_{F\max}$ の式 ( $U_a$ 基準)	$H_{\max}=9.98\text{m}$ <sup>注3</sup> $T_{1/3}=11.2\text{s}$	$U_a=2.49\text{m/s}$ $T_{pp}=4.68\text{s}$	$C_{F\max}=2.15$ ( $KC_a=46.2$ )	26.1	1.09	△

<sup>注1</sup> 実際の設計では机上の値 ( $C_{D5}=1.10$ ; おそらく定常流中の実際の値よりも大きい) が用いられたが、ここでは  $KC$  数が大きい ( $KC=150$ ) ときの波動流中の  $C_D$  で推定した値を従来法の値として用いた。

<sup>注2</sup> 修正法  $\alpha$ : 従来法のうち、対象波のみを有義波から最大波に修正する方法

<sup>注3</sup> 砕波領域になるため、 $H_{1/3}$  の推算値から砕波の影響を考慮した  $H_{\max}(=H_{1/250})$  を、合田 (1975) のモデルにより推算 (海底勾配 1/50)

<sup>注4</sup> 非被災/被災の事実と矛盾しない場合を○、矛盾する場合を×とするが、波浪の推算精度等を考慮して  $\pm 10\%$  誤差範囲内の場合は△とする。

表 5.3B 事例 2 における流体力算定法による安全率の算定結果とその妥当性の判定

計算法	被災時最大波	波動流速	流体力係数 <sup>注4</sup>	最大流体力 $F_{max}$ (kN)	安全率 $R/F_{max}$	判定
従来法	$H_{1/3}=6.81\text{m}$ , $T_{1/3}=11.2\text{s}$	$U_m=1.58\text{ m/s}$ <sup>注2</sup> $T=11.2\text{s}$	$C_D=0.83$ , $C_M=2.0$	8.38~9.65	2.86~ 3.29	✕
修正法 $\alpha$	$H_{max}=12.26\text{m}$ <sup>注1</sup> $T_{1/3}=11.2\text{s}$	$U_m=2.83\text{ m/s}$ <sup>注2</sup> $T=11.2\text{s}$		22.35~ 24.86	1.11~ 1.23	△
$C_{Fmax}$ の式 ( $U_m$ 基準)	$H_{max}=12.26\text{m}$ <sup>注1</sup> $T_{1/3}=11.2\text{s}$	$U_m=2.83\text{ m/s}$ <sup>注2</sup> $T=11.2\text{s}$	$C_{Fmax}=1.58$ ( $KC_m=105.6$ ) $C_{DS}=0.83$	38.15~ 38.23 <sup>注5</sup>	0.72	○
$C_{Fmax}$ の式 ( $U_a$ 基準)	$H_{max}=12.26\text{m}$ <sup>注1</sup> $T_{1/3}=11.2\text{s}$	$U_a=2.30\text{m/s}$ <sup>注3</sup> $T_{pp}=4.68\text{s}$	$C_{Fmax}=1.88$ ( $KC_a=82.8$ ) $C_{DS}=0.83$	29.96~ 30.04 <sup>注5</sup>	0.92	△

注1 非碎波領域のため、レイリー分布より $H_{max}=1.8H_{1/3}$

注2 2層目の魚礁の頂上の高さ( $z=3\text{m}$ )における流速

注3 2層目の魚礁の図心の高さ( $z=1.5\text{m}+0.729\text{m}=2.229\text{m}$ )における流速

注4 流体力が大きくなる迎角 $45^\circ$ の値

注5  $C_{Fmax}$ を用いた波・流れ共存場の式を適用

表 5.3C 事例 3 における流体力算定法による安全率の算定結果とその妥当性の判定

計算法	被災時最大波	波動流速	流体力係数	最大流体力 $F_{max}$ (kN)	安全率 $R/F_{max}$	判定
従来法	$H_{1/3}=3.43\text{m}$ $T_{1/3}=11.2\text{s}$	$U_m=0.84\text{m/s}$ $T=11.2\text{s}$	$C_D=0.68$ <sup>注1</sup> , $C_M=2.0$	5.52	6.60	○
修正法 $\alpha$	$H_{max}=6.17\text{m}$ $T_{1/3}=11.2\text{s}$	$U_m=1.52\text{m/s}$ $T=11.2\text{s}$		13.21	2.76	○
$C_{Fmax}$ の式 ( $U_m$ 基準)	$H_{max}=6.17\text{m}$ $T_{1/3}=11.2\text{s}$	$U_m=1.52\text{m/s}$ $T=11.2\text{s}$	$C_{Fmax}=2.03$ <sup>注2</sup> ( $KC_m=68.0$ )	34.31	1.06	△
$C_{Fmax}$ の式 ( $U_a$ 基準)	$H_{max}=6.17\text{m}$ $T_{1/3}=11.2\text{s}$	$U_a=1.42\text{m/s}$ $T_{pp}=5.59\text{s}$	$C_{Fmax}=2.30$ , ( $KC_a=63.5$ )	33.98	1.07	△

注1 設計では、机上の設計値 $C_D=0.9$ が用いられたが、この $C_D$ 値は定常流中の実験値( $C_{DS}=0.68$ )より大きい。ここでは、実験値 $0.68$ を用いた。

注2 今年度実施した規則波実験による回帰式 $C_{Fmax,m}=8.83KC_m^{-0.348}$  ( $N=16$ ,  $R^2=0.975$ ,  $SE=0.14$ )による。

表 5.3D 事例 4 における流体力算定法による安全率の算定結果とその妥当性の判定

計算法	被災時最大波	波動流速	流体力係数	最大流体力 $F_{max}$ (kN)	安全率 $R/F_{max}$	判定
従来法	$H_{1/3}=3.11\text{m}$ $T_{1/3}=11.2\text{s}$	$U_m=1.00\text{m/s}$ $T=11.2\text{s}$	$C_D=0.68$ , $C_M=2.0$	6.94	5.25	✕
修正法 $\alpha$	$H_{max}=5.60\text{m}$ $T_{1/3}=11.2\text{s}$	$U_m=1.80\text{m/s}$ $T=11.2\text{s}$		18.08	2.02	✕
$C_{Fmax}$ の式 ( $U_m$ 基準)	$H_{max}=5.60\text{m}$ $T_{1/3}=11.2\text{s}$	$U_m=1.80\text{m/s}$ $T=11.2\text{s}$	$C_{Fmax}=1.92$ ( $KC_m=80.6$ )	45.41	0.80	○
$C_{Fmax}$ の式 ( $U_a$ 基準)	$H_{max}=5.60\text{m}$ $T_{1/3}=11.2\text{s}$	$U_a=1.62\text{m/s}$ $T_{pp}=5.36\text{s}$	$C_{Fmax}=2.27$ ( $KC_a=69.5$ )	43.67	0.83	○

表 5. 3E 事例 5 における流体力算定法による安全率の算定結果とその妥当性の判定

計算法	被災時最大波	波動流速	流体力係数	最大流体力 $F_{max}$ (kN)	安全率 $R/F_{max}$	判定
従来法	$H_{1/3}=3.72\text{m}$ $T_{1/3}=13.8\text{s}$	$U_m=0.93\text{m/s}$ $T=13.8\text{s}$	$C_D=0.68,$ $C_M=2.0$	5.57	6.54	○
修正法 $\alpha$	$H_{max}=6.69\text{m}$ $T_{1/3}=13.8\text{s}$	$U_m=1.66\text{m/s}$ $T=13.8\text{s}$		15.10	2.41	○
$C_{Fmax}$ の式 ( $U_m$ 基準)	$H_{max}=6.69\text{m}$ $T_{1/3}=13.8\text{s}$	$U_m=1.66\text{m/s}$ $T=13.8\text{s}$	$C_{Fmax}=1.83$ ( $KC_m=91.9$ )	37.16	0.98	△
$C_{Fmax}$ の式 ( $U_0$ 基準)	$H_{max}=6.69\text{m}$ $T_{1/3}=13.8\text{s}$	$U_a=1.56\text{m/s}$ $T_{pp}=6.77\text{s}$	$C_{Fmax}=2.20$ ( $KC_a=84.8$ )	39.43	0.92	△

### 3. 波と流れの共存場における流体力算定法の検討

#### 1) 提案式の妥当性の検討

KC 数と  $C_{Fmax}$  の関係と定常流中での抗力係数  $C_{DS}$  をそれぞれ図 5. 21 と図 5. 22 に示す。

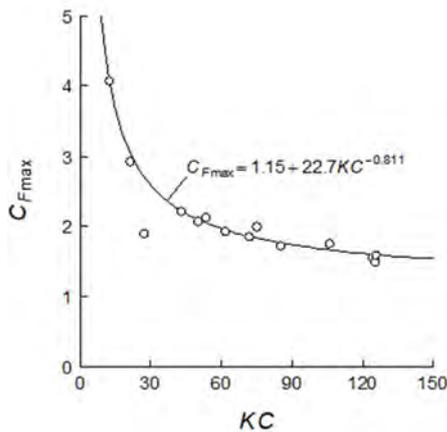


図 5. 21 KC 数と  $C_{Fmax}$  との関係と実験式

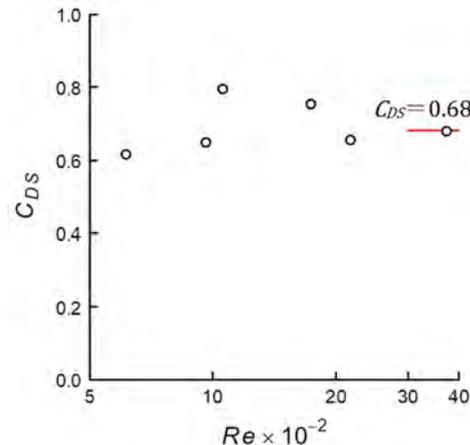


図 5. 22 定常流中での  $C_{DS}$   
(赤線の値が解析に用いた値)

これらの流体力係数を用いて提案式(式 5. 2)による最大流体力の算定値と実測値を図 5. 23 に比較して示す。図には  $C_{Fmax}$  の算定には KC 数  $U_a T/D$  と図 5. 21 中の式を用いた。 $r_u$  が 1 に近づくと、交差角  $\theta$  によらず、 $F_{max}$  の実験値と計算値の比は 1 に近づき、用いた魚礁模型の流体力係数の角度依存性が比較的小さいことが示唆される。 $F_{max}$  の実験値と計算値の比は、 $\theta=90^\circ$  のときはすべての  $r_u$  で、また  $\theta \geq 30^\circ$  のときは  $r_u < 約 0.4$  (すなわち、 $U_a/U_c > 約 1.5$ ) で、許容範囲の 1.2 以下となることが示唆される。しかし、 $\theta \geq 30^\circ$  のときは  $r_u$  が約 0.4 を超えると、提案式は  $F_{max}$  を有意に過小評価し、 $r_u$  が 0.7 前後で過小評価の程度が最大になった。またその過小評価の程度は予想通り、交差角の減少に伴い、大きくなる傾向を示した。

図 5. 24 に交差角  $90^\circ$  のときの y 方向 (定常流の方向) における計測力と抗力の計算値との比を示す。 $r_u$  が 1 に近づくと、予想どおり力の比は 1 に近づいているが、振動流速が相対的にある程度まで大きくなると、条件によって時々、大きく外れた計測値がみられた。この原因は、先述した魚礁模型を付けないときの計測力にみられたうなりが影響した可能

性がある。

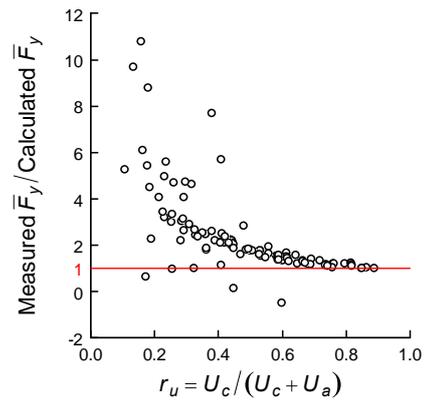
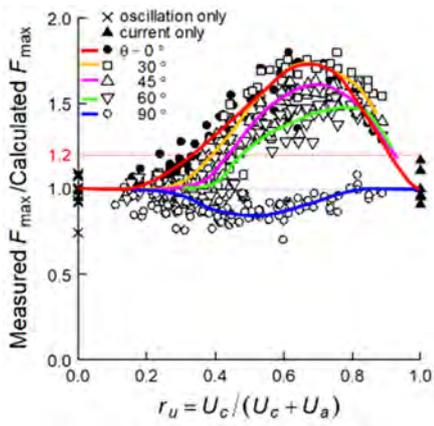


図 5.23 定常流速  $U_c$  と振動流速振幅  $U_a$  の流速比 と最大流体力の実験値と計算値の比 図 5.24  $\theta=90^\circ$  のときの y 方向の力の実測値と計算値との比

#### 4. 複合部材からなる構造物の流体力算定手法の検討

##### 1) 類型化

①柱・梁が主要な構造材か、②傾斜梁を有しているか、③面板（鉛直面、水平面、傾斜面）を有しているか、④全体形状が円筒形、長方形、多角形、錘台形、多段型、屋根付きのどれか、⑤海底との接地面の大きさ、⑥一つの部材として考えられるもの、を考慮してコンクリート魚礁の分類を行い、表 5.4 に整理した。

表 5.4 コンクリート魚礁の分類

多角形 (柱・梁構造)		<input type="checkbox"/> : 流体力測定実施済み
多角形 (面板付柱・梁構造)		
錘台形		
面板付筒状多角形		
斜板付積層型		
錐台形頂部付多角形		
積層型		
その他特殊形状型		

## 2) 部材流体力法のコンクリート魚礁への適用における課題の把握

規則波中での流速の時間変化に基づき、部材流体力法と全体模型法により角型魚礁に作用する流体力の推定値と実測値を図 5.25 に示す。全体模型法では、波の進行方向の力  $F_x$  の予測値は、実測値にほぼ一致したのに対して、部材流体力法では  $F_x$  の予測値は概ね最大流速（すなわち、最大抗力）のときに最大になり、かつその最大値の大きさが実測値にほぼ一致した。このことは、付加質量が部材間の相互作用により単独部材のときより増加するが、その一方で抗力係数が有限長部材の端部効果により 2 次元部材の場合よりも低下するため、部材流体力法では慣性力を過小に、抗力を過大に算定することを意味する。これらのメカニズムの理解は部材間隔が流体力係数に及ぼす影響を定量化する上で重要である。

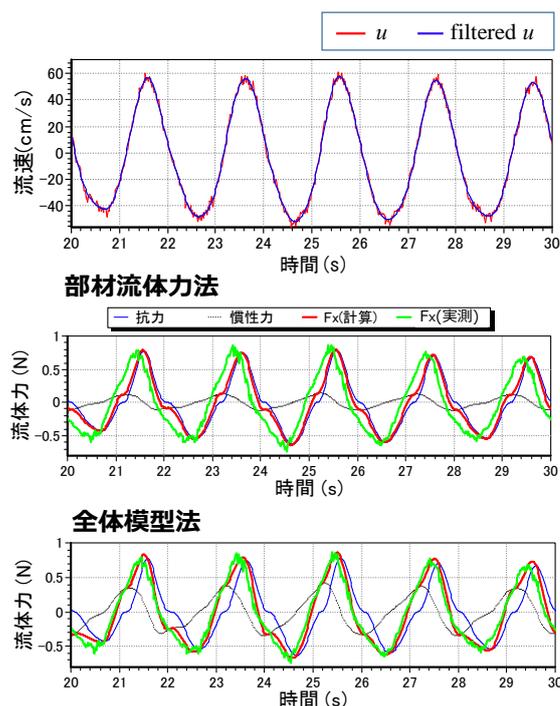


図 5.25 規則波中での角型魚礁模型の作用流体力：実験流速（上）からの部材流体力法（中）と全体模型法（下）による流体力予測と実測値との比較例

## 5. 沈設魚礁の安定性の照査法の検討

平成 28 年度に実施した砂面上での沈設魚礁の挙動に関する不規則波造波水槽実験（想定縮尺 1/25）での砂れんの大きさ（波高と波長）の実験値と現地換算（フルード相似則による）値を Nielsen の式による推定値とともに表 5.5 に示す。Nielsen の式の推定精度を考慮すると、砂れんの大きさについても模型と現地とは概ね相似形にあったと考えられる。したがって、本模型実験で観察された砂面上での魚礁模型の挙動も概ね現地スケールでの現象を再現していたと推論され、その実験での観察事実「砂質底上に設置された沈設魚礁の有意な移動は滑動では起こらずに転倒で起こる」が結論される。

以上の結論を踏まえた、沈設魚礁の安定性評価の場合分け（案）を図 5.26 に示す。

表 5.5 模型礁が転倒した波浪条件での砂れんの大きさの模型と現地での比較

諸元	模型	原型（現地）	備考
砂の粒径 $d$	0.12 mm	3 mm	
有義流速 $U_s$	26.68 cm/s	133.4 cm/s	
底面流速のピーク周期 $T_p$	3.68 s	18.4 s	
砂れんの波長 $\lambda$	実験値：5.7 cm 計算値：3.6 cm	142.5 cm 計算値：90.5 cm	$\Rightarrow 3.6/90.5 \approx 1/25$
砂れんの波高 $\eta$	実験値：0.4 cm 計算値：0.4 cm	10 cm 計算値：9.6 cm	$\Rightarrow 0.4/9.6 = 1/24$

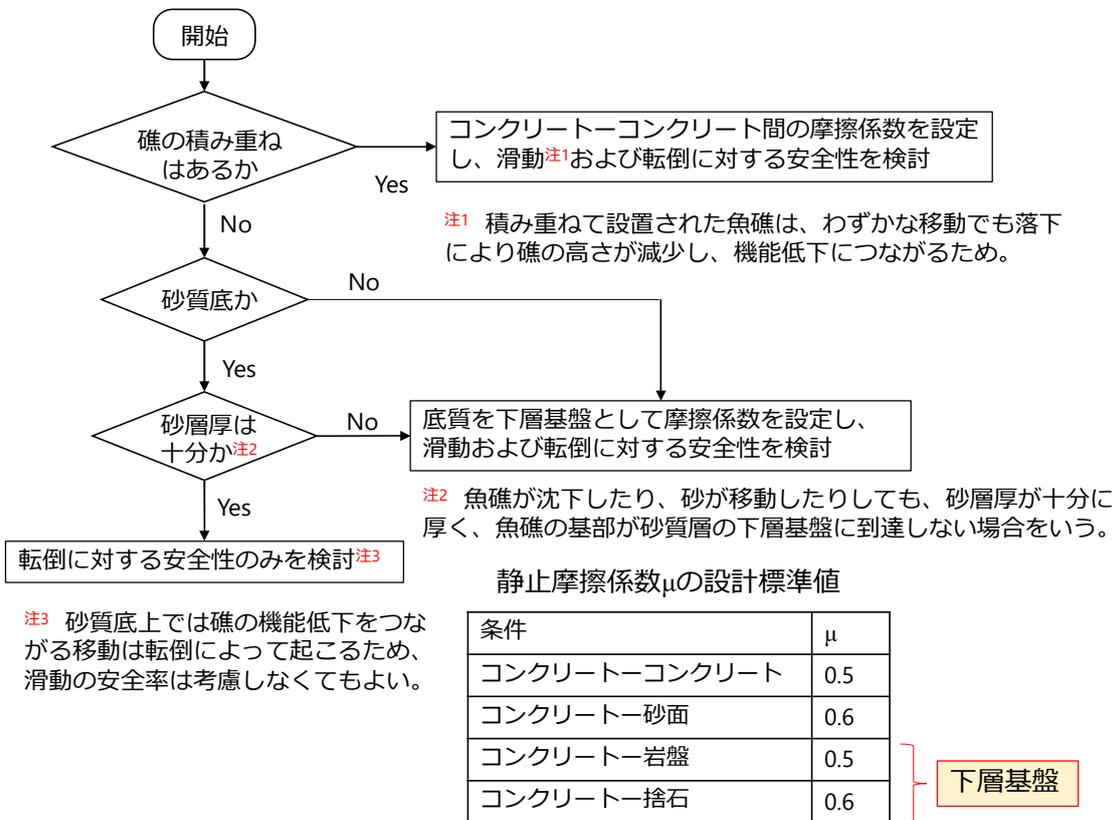


図 5.26 沈設魚礁の安定性評価の場合分け（案）

## 6. 検討部会の実施

本業務の実施にあたっては、専門分野の知見を有する学識経験者を委員とする検討委員会を設け、2回実施し、指導・助言を得ながら業務のとりまとめを行った。

委員は、専門を水産工学、海岸工学、沿岸域環境学とする各有識者とした。

- ・大竹 臣哉：福井県立大学海洋生物資源学部 教授
- ・岡安 章夫：東京海洋大学学術研究院 海洋資源エネルギー学部門 教授
- ・田島 芳満：東京大学大学院 工学系研究科社会基盤学専攻 教授

・ 榎田 真也：金沢大学 理工研究域 地球社会基盤学系 准教授

### 第1回委員会

日 時：平成30年12月27日(木) 9:30～12:30

場 所：アーバンネット神田カンファレンス 3A

議事内容：

- ① 漁場施設（沈設魚礁、藻場礁）の現行設計手法における課題・問題点と見直し方針
- ② 非対称波形の波動流速の算定手法の検討
- ③ 非対称波動流速にも対応した流体力算定手法の検討
- ④ 波と流れの共存場における流体力算定手法の検討
- ⑤ （報告事項）複合部材からなる構造物の流体力算定手法の検討

### 第2回委員会

日 時：平成31年2月13日(水) 13:30～16:30

場 所：エッサム神田ホール 701 会議室

議事内容：

- ① 平成30年度第1回委員会の指摘と対応
- ② 非対称波形の波動流速の算定手法について
- ③ 非対称波動流速にも対応した流体力算定手法について
- ④ 波と流れの共存場における流体力算定手法について
- ⑤ 沈設魚礁の安定性の照査法について
- ⑥ 複合部材からなる構造物の流体力算定手法について

第2回委員会で委員から受けた指摘のうち、次年度における対応を必要とするものが6件あった。その内容を表5.6に示す。同表に、次年度の対応に関する調査担当者の考えを併記した。

表 5.6 次年度における対応を必要とする指摘一覧

委員の指摘事項	調査担当者の考え
<b>「非対称波形の波動流速の算定手法の検討」 関連</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Ua の式についてフィッティング方法で改善できるかではないか。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Ua の実験式を決めるための相関図で、ばらついたデータの上側を通るよう、実験式を決めることも考えられるが、その場合は全体的に過大算定になるという問題が生じる。適用条件も含めて実験式の再検討を行う必要がある。</li> </ul>
<b>「非対称波動流速にも対応した流体力算定手法の検討」 関連</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>● 推定精度について、誤差分散などの客観指標を用いた方が理解しやすいのではないか。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 単純な誤差分散ではあまり重要でない値の小さいデータのばらつきが過大に評価されてしまうと考え、今回はグラフのみで評価した。しかし、ご指摘の客観指標は有益であり、今後の検討では適切な指標を盛り込むことを検討する必要がある。</li> </ul>
<b>「波と流れの共存場における流体力算定法の検討」 関連</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>● 合成力だけでなく、X、Y 成分ごとに整理するとわかりやすいのではないか。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ご提案について今後検討する必要があると考える。</li> </ul>
<b>「沈設魚礁の安定性の照査法」 関連</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>● 砂層厚はわかるのか。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 技術とコストの問題があり、それらを含めて「砂層厚が十分か」の判断方法を検討する必要がある。</li> </ul>
<b>「複合部材からなる構造物の流体力算定手法」 関連</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>● 期間を考えて、どれを扱うのかを検討して頂きたい。</li> <li>● 複合部材をどこまで簡略化するのか。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 3カ年の検討期間内にまとめられる内容として、①基本形状部材の流体力係数と、②単独部材の流体力の合力で適用できる条件、を基本として検討する。また、使用実績が多く、比較的単純な形状の角型魚礁とその組み合わせ礁を取り上げ、部材間隔の影響を考慮した部材流体力法を検討し、その結果から、手引改訂への反映や他魚礁への継続的検討の是非を判断する必要があるものと考えます。</li> </ul>

## f. 今後の課題

### 1. 非対称波形の波動流速の算定手法の検討

提案した最大流速波形の算定式については、概ね妥当な推定が得られたが、反射波の影響がある場合、部分重複波により  $U_a$  の過小算定が起り得ることが示された。どのような場合にどの程度の過小算定になり得るのかを精査し、適用条件も含めて式の再検討を行う必要がある。

### 2. 非対称波動流速にも対応した流体力算定手法の検討

$C_{Fmax}$  の修正式により非対称性の強い流速波形でも最大流体力の妥当な算定値が得られることが確認された。

### 3. 波と流れの共存場における流体力算定法の検討

波・流れ共存場における流体力の算定について、提案式の適用範囲（妥当な流体力が得られる流速比と交差角の範囲）を決定できる見通しが得られたが、魚礁模型自体に作用する力を求めるために必要となる基準となる力（模型なしの支持棒に作用する力）に無視できない大きさのノイズと“うなり”が発生し、結論には実験方法の改善が必要と判断された。

### 4. 複合部材からなる構造物の流体力算定手法の検討

コンクリート魚礁の基本形状の一つである角型魚礁について、部材流体力法を適用するための課題が明らかになった。それに基づき、角型魚礁に斜板等を組み合わせた、より複雑な構造物の流体力算定法を推定する手法を検討する必要がある。

### 5. 沈設魚礁の安定性の照査法の検討

提案している沈設魚礁の安定性評価の場合分け（案）では、「砂層厚が十分か」の判断が実際に可能かどうか、またはどのように判断するかが課題である。

また、沈設魚礁の安定性評価の場合分け（案）の影響及び必要性については、新しい流体力算定手法と組み合わせた場合、安定質量がどの程度に変化するのかを、沈設魚礁・増殖場施設の実施事例に適用して検討する必要がある。

## 平成 30 年度水産基盤整備調査委託事業報告書

### a 課題名

「漁港漁場施設の設計手法の高度化検討調査」のうち  
(6) 浮魚礁の合理的な機能保全手法の検討

### b 実施機関及び担当者名

一般財団法人漁港漁場漁村総合研究所		
第2調査研究部 主任研究員		廣瀬 紀一
第2調査研究部 部長		伊藤 靖
株式会社アルファ水工コンサルタンツ 東京本社		
執行役員		綿貫 啓
技術部 主任		加茂 崇
特任執行役員		中山 哲巖
国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産工学研究所		
水産土木工学部 主任研究員		佐伯 公康

### c ねらい

かつて漁港・漁場の設計の手引書は仕様規定であったが、「漁港・漁場の施設の設計参考図書 2015年版」は性能規定化され、具体的な設計手法については規定ではなく、参考記述という位置づけになった。しかし浮魚礁は各メーカーの設計方法の違いが大きい  
ため、個々の施設について「設計参考図書」の要求性能が満たされているか否かの判断が  
難しい状況にある。そのため、「設計参考図書」の浮魚礁の記述について、実態と整合を  
とりつつ、いっそう標準的な記述をめざして改良の余地がある。

また、「設計参考図書」の参考記述では、浮魚礁の供用期間は標準で10年と記されて  
いる。これはその他の漁港・漁場の施設に比べて短いことから、新造、撤去等を含めた  
トータルコストの低減をめざして供用期間の長期化を検討する余地がある。供用期間が  
短い主因として、浮魚礁に装着される流出警報装置の耐用年数が短め(10年)であるこ  
とが挙げられるが、供用期間の長期化の検討は、それ以外の種々の部材を含めて可能か  
否かの検討が必要である。そのため、自治体へのアンケートや浮魚礁専門メーカーへの  
ヒアリングを通して、10年経過後の部材の劣化具合を把握するなどして、供用期間を長  
期化するために今後どのような方策が必要かを検討する。

以上のように、本調査では、「設計手法の見直し」と「機能保全手法の構築」の二つを  
主な柱として、浮魚礁の合理的な設計および機能保全の実現に向けた検討を行い、改善  
が必要な設計条件、浮魚礁の耐用年数の延長及びライフサイクルコストの低減のために  
必要な機能保全の項目を明確にする。なお、表層型・中層型・浮沈式とも調査対象とす  
る。

## d 方法

### (1) 浮魚礁の概要の整理

浮魚礁の概要を把握するため、構造形式、構造形式毎の事例について整理した。

### (2) 既存資料の収集、整理

浮魚礁の設計手法、機能保全手法における現状や課題・問題点を把握するために既存資料を収集、整理した。収集対象は、下記の通りとし、浮魚礁担当者会議会員の11都県(東京都、神奈川県、三重県、和歌山県、徳島県、高知県、長崎県、大分県、宮崎県、鹿児島県、沖縄県)から以下の資料を収集した。

- ・「浮魚礁担当者会議」資料(H25年度～H29年度)
- ・浮魚礁設計業務の特記仕様書
- ・浮魚礁設置、撤去、更新工事の特記仕様書、設計書

収集した資料から浮魚礁の設計、機能保全に関する課題、問題について整理した。また、マリノフォーラム 21 発行の浮魚礁関連資料についても収集し、その概要等を整理した。

### (3) 関係事業主体に対するアンケート調査

収集した既存資料の整理結果を踏まえ、浮魚礁担当者会議会員の11都県を対象にアンケートを実施した。目的は浮魚礁の機能保全の実態と課題及び設計手法の課題を把握することである。質問全文を表6.1、6.2に示す。アンケート調査は、平成30年9月26日に電子メールにて発送し、提出期限を平成30年10月25日とした。アンケート回答について、質問毎に整理、分析を行った。

表 6.1 アンケートの質問全文(1)

【1】浮魚礁の稼働の現状と動向について	
質問 1	平成 15 年度～平成 29 年度に設置した浮魚礁は何基ですか。
質問 2	現在稼働している浮魚礁は何基ですか。
質問 3	現在までに撤去した浮魚礁は何基ですか。
質問 4	管理のしやすさや漁業者の操業のしやすさの観点から、今後どの浮魚礁が望まれますか。該当箇所に○印をご記入下さい。また、その理由について具体的にご記入下さい。
【2】機能保全に関する質問	
質問 5	貴都道府県では浮魚礁の機能保全対策(例えば、浮体部の損傷有無の点検や付着生物除去、観測機器のバッテリー交換等の修繕)を実施していますか。該当箇所に○印をご記入下さい。実施していない場合は、その理由をご記入下さい。
質問 6	機能保全を実施されている場合は、点検と修繕の実施内容についてお聞きします。また、今後、浮魚礁のライフサイクルコストを検討するための参考として、浮魚礁 1 基当たりの年間の維持管理費について費用負担も含めお聞きします。具体的には、以下の(6-1)～(6-3)にご回答ください。

表 6.2 アンケートの質問全文（2）

(6-1)	<p>点検の実施内容(浮魚礁のタイプ、点検箇所、点検方法、実施頻度)を具体的にご記入下さい。</p> <p>a. 浮体部における点検実施内容についてご記入ください。 (浮体自体、標識灯、観測機器類、位置監視装置、流出警報装置等)</p> <p>b. 係留部における点検実施内容についてご記入ください。 (係留索、連結部、基礎等)</p> <p>c. その他 (具体的にご記入ください。)</p>
(6-2)	<p>修繕の実施内容(浮魚礁のタイプ、修繕箇所、修繕方法)を具体的にご記入下さい。</p> <p>a. 浮体部における修繕の実施内容についてご記入ください。 (浮体自体、標識灯、観測機器類、位置監視装置、流出警報装置等)</p> <p>b. 係留部における修繕の実施内容についてご記入ください。 (係留索、連結部、基礎等)</p> <p>c. その他 (具体的にご記入ください。)</p>
(6-3)	<p>浮魚礁 1 基当たりの維持管理費(年間)について、浮魚礁のタイプ毎にご記入ください。なお、費用負担 (県単費、浮魚礁協議会など) についても併せてご記入下さい。</p>
質問 7	<p>機能保全対策の実施の有無に関わらず、すべての方に質問します。</p> <p>近年、公共事業全般にわたり施設の長寿命化が望まれており、浮魚礁については供用期間を 15 年～20 年程度に延長することを想定して実現可能性の検討が進められる予定です。ついては、この延長に伴って想定される課題や問題(部材の高強度化などの技術面、維持管理などの管理面、浮魚礁製作費などの財政面等)について、ご意見をご記入ください。</p>
<p><b>【3】設計方法等に関する質問</b></p>	
質問 8	<p>浮魚礁の設計では「漁港・漁場の施設の設計参考図書」を参考にしていると思いますが、追加して欲しい記述やその他要望があれば以下の項目ごとにご記入下さい。</p> <p>①設計条件の設定方法 ②浮魚礁に作用する外力の求め方 ③安定性の性能照査 ④係留部の性能照査 ⑤係留索の強度劣化の考え方 ⑥構造設計について</p>
質問 9	<p>浮魚礁の設計に関して不明な事項はどこに相談していますか。該当箇所に○印をご記入下さい。(複数回答可)</p> <p>メーカー、建設コンサルタント、大学等研究機関、水産庁、他の都道府県、その他</p>
質問 10	<p>もし、浮魚礁に関する事例集が発行されるとしたら、具体的にどのような項目 (浮魚礁の設計、施工および回収における) があると良いですか。ご意見をご記入ください。</p>

#### (4) 浮魚礁専門メーカーへのヒアリング調査

浮魚礁を扱っている専門メーカーは表 6.3 に示した 4 社のみである。この 4 社を対象に浮魚礁に関する設計や機能保全の具体的な課題を把握するため、ヒアリング調査を実施した。ヒアリングでは各都県に対して実施したアンケートの結果を説明し、浮魚礁メーカーの視点からの意見や具体的な設計・製作・施工の観点から見た長寿命化に関する課題について質問した。

表 6.3 ヒアリング調査対象の浮魚礁専門メーカー

	企業名	取り扱い製品
1	A社	表層型、中層型、浮沈式
2	B社	中層型
3	C社	表層型
4	D社	表層型

#### (5) 調査結果のとりまとめ

以上の調査結果より、浮魚礁の設計および機能保全に関する現状と課題、さらに長寿命化の検討結果についてとりまとめ、改善が必要な設計の条件および、流出事故等の防止のため検討が望まれる機能保全の項目を明確にした。

e 結果

(1) 浮魚礁の概要

1) 浮魚礁の構造形式

現在、各地で施工されている浮魚礁は図 6.1 に示す 3 形式である。各特徴を表 6.4 に示した。

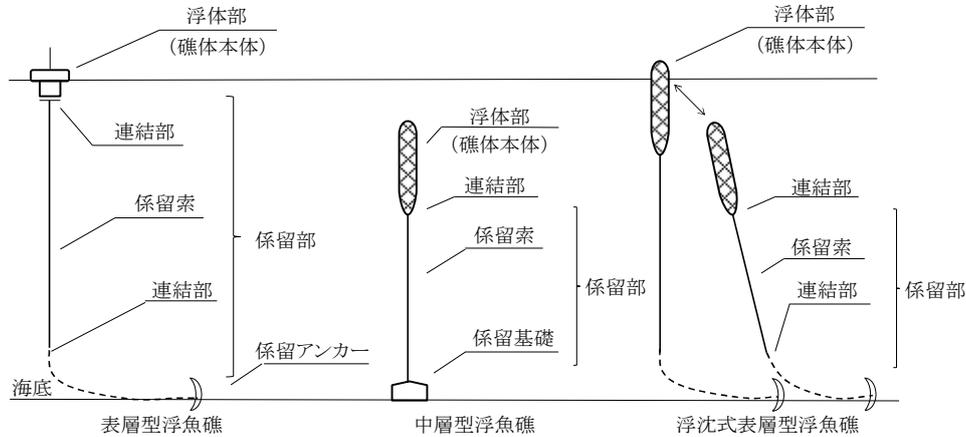


図 6.1 浮魚礁の構造形式 (出典 ; 漁港・漁場の施設の設計参考図書)

表 6.4 浮魚礁の特徴

形式	特徴
表層型	<ul style="list-style-type: none"> <li>・従来から実績のある形式であり、カツオ、ブリ、カンパチ、シイラ等が蛸集する。</li> <li>・黒潮の北上に沿って高知沖や和歌山沖、宮崎沖に配置されている。</li> <li>・様々な計測機器を搭載し、海洋情報を発信している。</li> <li>・航路標識としても認められるので、位置は海図上に示されている。</li> <li>・表層は外力が大きいため、係留索強度を高くする必要があり、費用は高額となる。</li> <li>・係留索はチェーン・ワイヤーの場合や合繊ロープの場合がある。</li> <li>・アンカーはダンフォースかコンクリートブロックで、前者が多い。</li> </ul>
中層型	<ul style="list-style-type: none"> <li>・平成 13 年頃から、価格が表層型の 1/10 と安価であり採用が増えた。</li> <li>・浮体の頂部水深は 30~100m、係留索は合繊ロープ、アンカーはコンクリートブロックである。</li> <li>・ヒラマサやウマヅラハギ等が蛸集する。</li> <li>・計測機器の取付けはなく、維持補修はほとんど行わない。</li> </ul>
浮沈式 (表 中層型)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・流速が小さい時は海面に浮いているが、流速が大きくなると(約 2.5 ノット以上)、海中に没水する形式であり、平成 19 年頃から施工実績がある。カツオ、カンパチ、カジキ類が蛸集する。</li> <li>・海面に浮いた状態は表層型、没水時は中層型の設計法を運用する。</li> <li>・価格は表層型より安価であり、中層型より高価である。</li> <li>・対応可能なメーカーは 1 社 (A 社) のみである。</li> </ul>

## 2) 表層型浮魚礁の例

表層型浮魚礁は最も歴史のある浮魚礁である。海面に浮いていることから、灯標の設置が義務付けられている。そのほか、風向風速計や水温や流速の鉛直分布を計測するための計測機器、レーダーレフレクター、流出警報装置等が搭載されている。

係留索は合成繊維ロープの場合もあるが、下図のようにチェーンとワイヤーを使用する事例が多い。アンカーは把駐力が大きいダンフォースアンカーが使用されている。

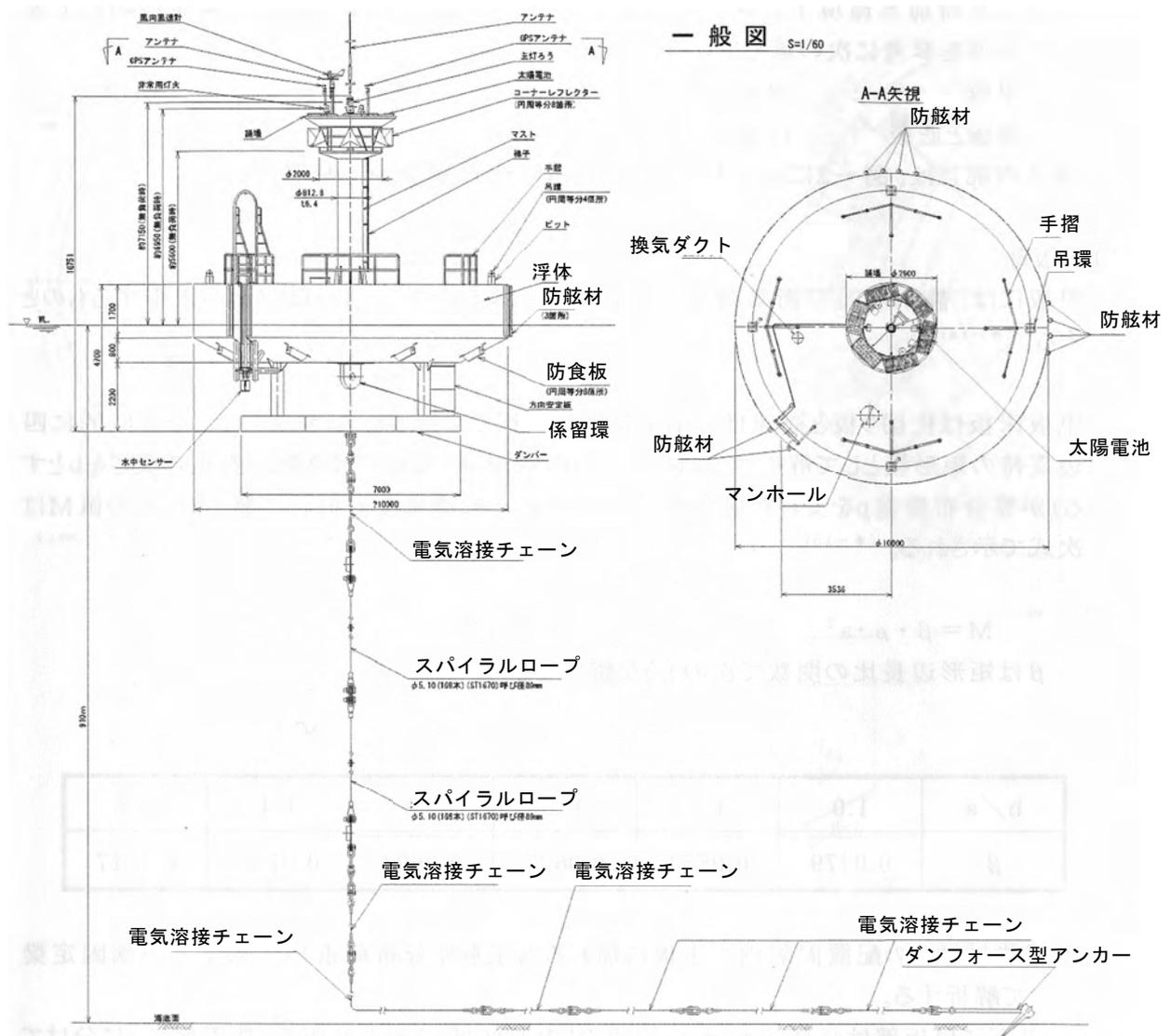


図 6.2 宮崎県表層型浮魚礁 (H19)



図 6.3 表層型浮魚礁の浮体部（宮崎県のうみさち4号）



図 6.4 係留索を繋ぐシャックル



図 6.5 ダンフォースアンカー

### 3) 中層型浮魚礁の例

中層型浮魚礁の一般的な構成は礁体（浮体）、副係留索、主係留索、アンカーからなっており、礁体にはソナーレフレクター、流出警報装置（発信側）を備えている。係留索は漁具による損傷の恐れがある場合には擦れに強い特殊ロープを用いている。係留索にワイヤロープを使用する場合は、防食の為に樹脂被覆を行っている。係留索は緊張係留であり、アンカーはコンクリートブロックを使用している。下図は浮体頂部の水深  $R_0$  が浅い例である。一般的には  $R_0$  は水深 30m から 100m が多い。

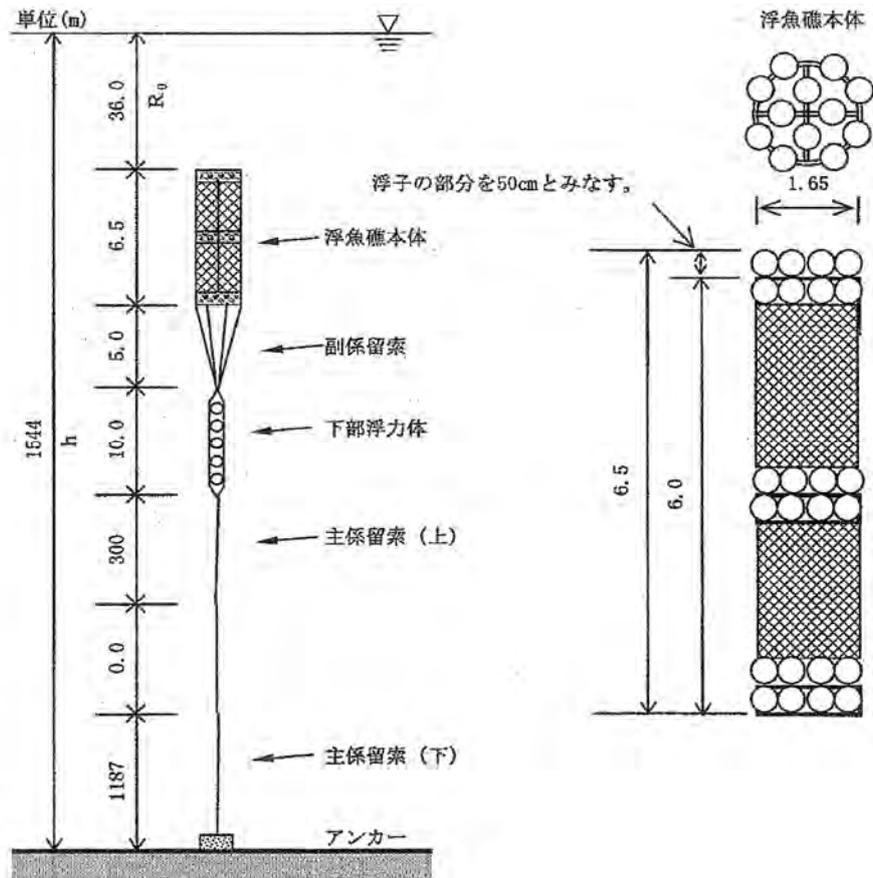


図 6.6 鹿児島県中層型浮魚礁 (H24)



図 6.7 中層浮魚礁とコンクリートブロックアンカー

#### 4) 浮沈式（表中層型）浮魚礁の例

潮流が緩やかな状態では浮体は表層浮魚礁として海面に位置し、流速が2～2.5ノット程度で浮体は海中に引き込まれ水没する。浮体部の構造はFRP製およびABSフロート製で、係留索には、漁具対策として繊維ロープ表面に「樹脂チューブ+ワイヤーネット+樹脂チューブ」の3層の被覆を施した高機能繊維ロープを使用している。浮体上部には、ソーラー電源方式の耐水圧型標識灯および位置監視装置を搭載し、耐水圧小型標識灯ブイを浮体よりロープで係留させることにより、浮体が海面直下に水没した状態でも航行船舶に対して浮魚礁の存在を知らせるようにしている。アンカーはコンクリートブロックの場合とダンフォースアンカーの場合がある。

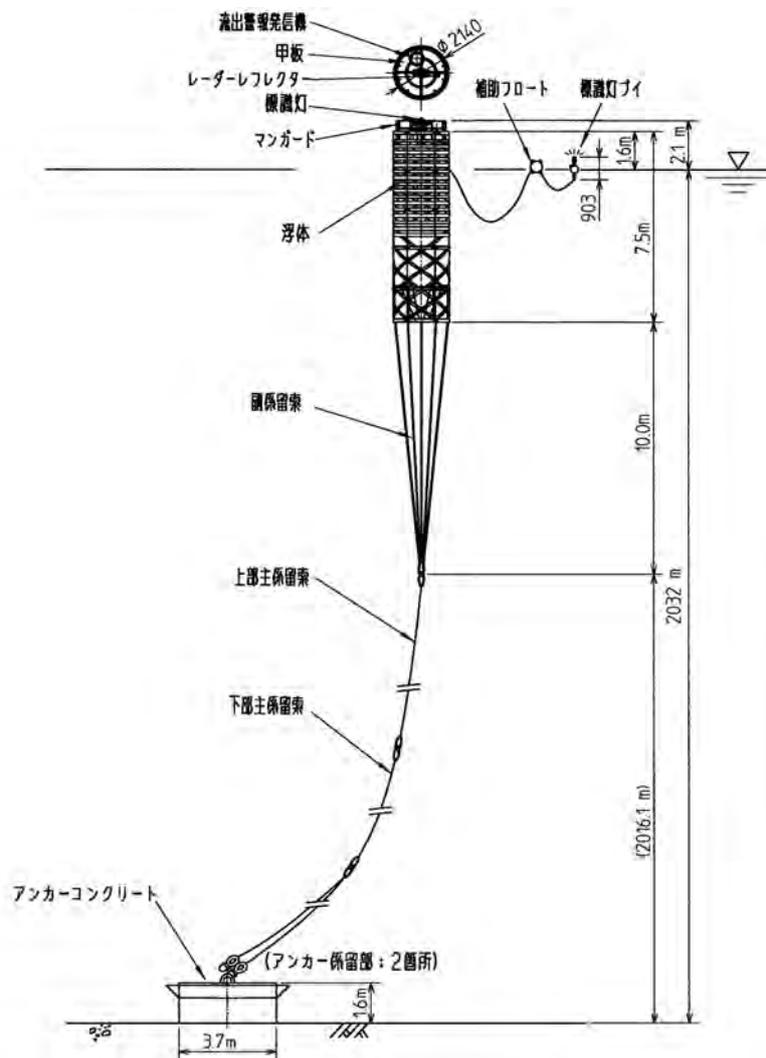


図 6.8 鹿児島県 AK 表層浮魚礁（浮沈式）（H24）



浮体



副係留索



係留索



アンカー



耐水圧型標識灯



耐水圧小型標識灯ブイ

図 6.9 浮沈式浮魚礁の主要な部材 (A 社の HP から引用)

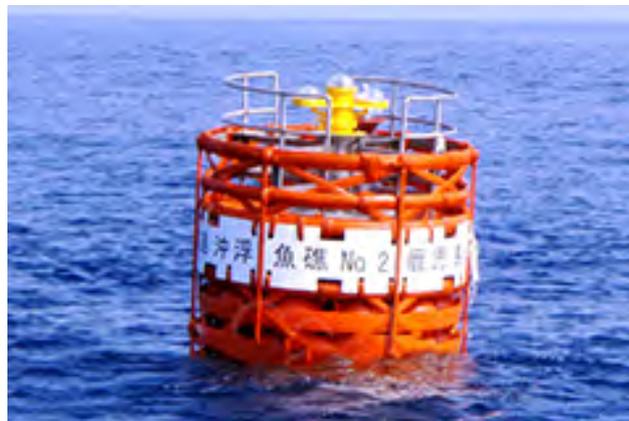


図 6.10 海面上に出ている浮沈式浮魚礁

## (2) 既存資料の収集、整理結果

### 1) 浮魚礁担当者会議資料より現状と課題の抽出

浮魚礁担当者会議は、浮魚礁を設置している地方公共団体(現在 11 都県)を会員として、年に 1 回の会議が開催され、浮魚礁の計画、設計、積算、施工及び管理等について情報交換が行われている。新たに浮魚礁を計画・実施する場合、参考になる会議である。この会議では予め各県で疑問に思ったことを提示し、幹事県が各県から回答を集め、Q&A を作成・配布し、その内容を会議で報告することとなっている。

そこで、本業務では、平成 25 年度～平成 29 年度における直近 5 年分の浮魚礁担当者会議の会議資料を収集し、「保守点検に関する項目」、「耐用年数、耐久性に関する項目」、「設計に関する項目」、「回収に関する項目」について管理者がどのような議論をしているのか現状を整理した。そして、各項目の課題および問題点を抽出した。表 6.5～表 6.7 にその結果を示す。なお、設計に関する議題は少なく、特に浮沈式については一件も記載がなかったため、表には示していない。

表 6.5 浮魚礁担当者会議における保守点検に関する項目

項目	現状	課題および問題
保守点検	<ul style="list-style-type: none"><li>・表層型は、標識灯や観測機器などの点検や、喫水より上部の目視点検を実施している。</li><li>・中層型は、位置の確認や流出警報装置の点検を行っている自治体があるが、礁体自体の点検を実施している自治体はない。</li><li>・浮沈式は、標識灯の点検を実施している自治体では、潜水士が潜れる範囲で係留索の目視点検を実施しているが、点検内容や点検箇所、点検の水深帯等の詳細は不明である。多くの浮沈式は点検を実施していない。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・浮魚礁本体の点検は表層型の水面上の部分の目視観察程度であり、長寿命化のためには流出警報装置のみならず、点検手法の確立及び本体の機能点検調査の実施が課題となっている。</li><li>・浮魚礁の形式ごとに点検手法が確立されていない。</li></ul>

表 6.6 浮魚礁担当者会議における耐用年数/耐久性に関する項目

項目	現状	課題および問題
耐用年数 /耐久性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・耐用年数を伸ばすと、各種機器や部材が大型化し、管理が困難になり、製作費の高騰が懸念されるという意見がある。</li> <li>・耐用年数の延長は流出警報装置の寿命を 10 年以上とすることが前提である。</li> <li>・10 年を超えても設置している事例がある(理由は予算が確保できなかったためであるが、中層型から表層型への移行を計画しており、その際に撤去するためとの理由もあった)。</li> <li>・回収後に係留索の残存強度試験を計測している事例がある(高知県の表層型は 10 年後に 25%、鹿児島県の中層型 4 基はポリエステル副係留索及び下部係留索は 60~90%、ポリアリレート系高強度繊維の上部係留索は 100%の残存強度があった)。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・流出警報装置の耐用年数を 10 年以上とする技術開発が課題である。</li> <li>・部材の中でも係留索は、耐用年数の延長に伴い想定摩耗量も増大するので、現状の係留索よりも径を太くする必要はあるが、現状の径よりも太い径の係留索を生産することが可能かどうかは不明である。</li> <li>・係留索の大型化に伴い、浮体部やアンカーも大型化し、製作費用が増大する。施工及び回収工事も再検討が必要である。</li> <li>・供用期間経過後の係留索の残存強度試験結果から、設計参考図書に掲載の設計強度の妥当性を検証する必要がある。</li> </ul>

表 6.7 浮魚礁担当者会議における回収に関する項目

項目	現状	課題および問題
回収	<ul style="list-style-type: none"> <li>・表層型や中層型の回収実績はあるが、浮沈式の回収実績は無い(浮沈式は設置後 10 年を超えるものが現状で存在していない)。</li> <li>・回収工事中に係留索が切断・落下した場合は、基本的に回収は不可能である。</li> <li>・中層型の回収工事の積算はマリノフォーラム 21 に積算指針がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・回収工事に関しては中層型についてはマリノフォーラム 21 がマニュアルを発行しているが、表層型と浮沈式については回収工事に関するマニュアルがない。なお、浮沈式は平成 30 年頃から回収が始まる。</li> </ul>

## 2) マリノフォーラム 21 発行等の技術資料整理結果

浮魚礁の技術的な指針はマリノフォーラム 21（以下、MF21 と称す）が中心となって作成されてきた。まず、MF21 に昭和 61 年度に設置された浮魚礁システム研究会により、表層型浮魚礁に関する技術的な内容が整理され、各基準が作成された（表 6.8 の No. 1～4）。現在でも表層型浮魚礁の工事発注時の特記仕様書には「浮魚礁設計・施工技術基準」（No. 2）が参考図書に指定されている。

その後、中層型浮魚礁のニーズが高まり、MF21 に中層浮魚礁造成技術の開発検討会が結成され、平成 13 年以降に中層型浮魚礁に関する各技術資料が整備された（No. 5～7）。浮魚礁の流出警報装置の耐用年数が 10 年であるため、構造部材の耐用年数も 10 年に設定されており、耐用年数を経過した魚礁は撤去する義務があることから、回収が難しい中層型浮魚礁の回収方法が検討された（No. 8）。一方、中層型浮魚礁の流出事故が続き、その原因究明の結果、流出警報装置の耐久性に課題が認められ、装置の耐久性の向上に関する検討が実施された（No. 9～11）。

表 6.9 から判るように、表層型と中層型の技術資料や基準は整備されているが、浮沈式浮魚礁については、技術的な基準等はまだ整理されていない状況にある。

表 6.8 浮魚礁に関する技術資料や基準書

No	報告書名	研究会等	発行年	種類	概要
1	浮魚礁設計・施工技術暫定基準(案)	MF21 浮魚礁システム研究会	平成 2 年	表層型	「沿岸漁場整備開発事業施設設計指針」を補強する内容が記載されている(暫定版)。
2	浮魚礁設計・施工技術基準	同上	平成 4 年	表層型	No.1 の完成版。現在でも利用されているが、掲載内容が古く改訂版作成の要望がある。
3	浮魚礁による漁場造成効果検討報告書	MF21 浮魚礁システム研究会	平成 4 年	表層型	表層型浮魚礁の効果調査方法と主な結果を紹介している。
4	浮魚礁保守・点検要領	MF21 浮魚礁システム研究会	平成 5 年	表層型 中層型	表・中層型浮魚礁の保守点検要領を整理したもの。点検時の判断基準がやや不明確。ほとんど利用されていない。
5	中層型浮魚礁共通仕様書	MF21 中層浮魚礁造成技術の開発検討会	平成 13 年	中層型	中層型浮魚礁の設計および施工時の標準的な仕様が示されている。
6	中層型浮魚礁積算マニュアル	MF21 中層浮魚礁造成技術の開発検討会	平成 13 年	中層型	No.5 の積算資料。容易に積算できるようにしたマニュアル。中層型の普及に貢献した。
7	中層型浮魚礁共通仕様書(改訂版)	MF21 浮魚礁協会第 2 部会	平成 15 年	中層型	No.5 は事業実施上で不備が指摘され、また、技術的進展が見られたことから改訂された。
8	中層浮魚礁回収方法の開発	MF21	平成 24 年	中層型	中層型が耐用年数に達したため、回収方法が開発された。一部の魚礁に利用されている。
9	H27 中層浮魚礁の保守管理方法の開発	MF21	平成 28 年	中層型	回収した中層浮魚礁の点検データから「流出警報発信機の保守管理方法の手引き」が作成された
10	H28 中層浮魚礁の流出軽減技術の検討	MF21	平成 29 年	中層型	流出警報発信機の確実な警報システムの構築と流出事故の軽減技術が検討された
11	H29 中層浮魚礁の流出軽減技術の検討	(株)エコー	平成 30 年	中層型	No.10 の完成版

### (3) 関係事業主体に対するアンケート調査の結果

浮魚礁担当者会議に参加している管理者 11 都県（東京都、神奈川県、三重県、和歌山県、徳島県、高知県、長崎県、大分県、宮崎県、鹿児島県、沖縄県）を対象として実施したアンケートの結果を要約して以下に示す。

#### 1) 浮魚礁の稼働の現状と動向について

平成 15 年以降の設置で平成 30 年に稼働している浮魚礁は表層型浮魚礁 20 基、中層型浮魚礁 139 基、浮沈式浮魚礁 14 基の合計 173 基であった。設置年を 5 年ごとに集計（図 6.11）すると、平成 15 年～19 年に中層型浮魚礁が 9 割近くを占めたが、平成 20 年～24 年には浮沈式が増加し、平成 25 年～29 年には中層型が再び増加する傾向が見られた。年度別の設置基数を図 6.12 に示す。これによると、耐用年数 10 年を経過した中層型浮魚礁も稼働中のものがあることが判明した。浮魚礁を導入する自治体は東京都以西に分布し（図 6.13）、黒潮の影響の強い鹿児島県、宮崎県、高知県、和歌山県には回遊魚が蝟集する表層型浮魚礁が多く採用されており、沖縄県では中層浮魚礁が多い傾向が見られた。

今後の動向を管理者に質問したところ、魚礁の位置を確認でき、観測装置を搭載できる表層型浮魚礁のニーズが高かった。ただし、表層型浮魚礁の工事費は高額であることから、工事費の安価な中層型浮魚礁の採用が多い傾向が見られた。中層型浮魚礁の維持管理はその魚礁の存在確認と流出警報装置の点検（水深が深い場合は点検なし）のみであった。中層型浮魚礁は観測機器の搭載が無く、その維持管理が不要なため、維持管理費が安価であるというメリットがある。一方、浮沈式浮魚礁を望む自治体は鹿児島県のみと少なかった。

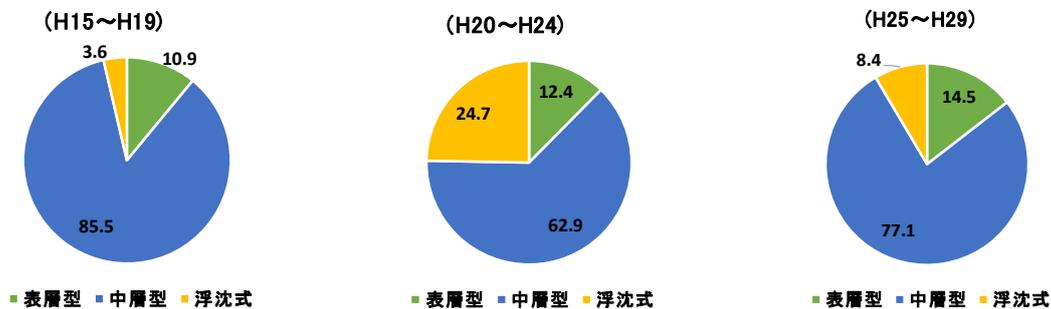


図 6.11 浮魚礁設置基数の割合(平成 15 年～19 年、平成 20 年～24 年、平成 25 年～29 年)

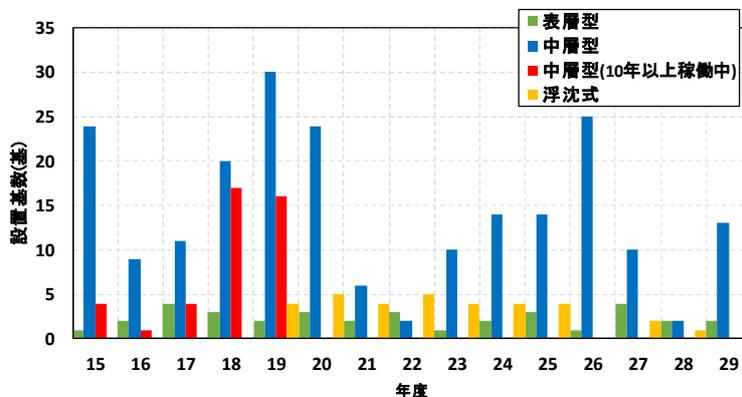


図 6.12 浮魚礁の設置基数の推移 (平成 30 年現在)

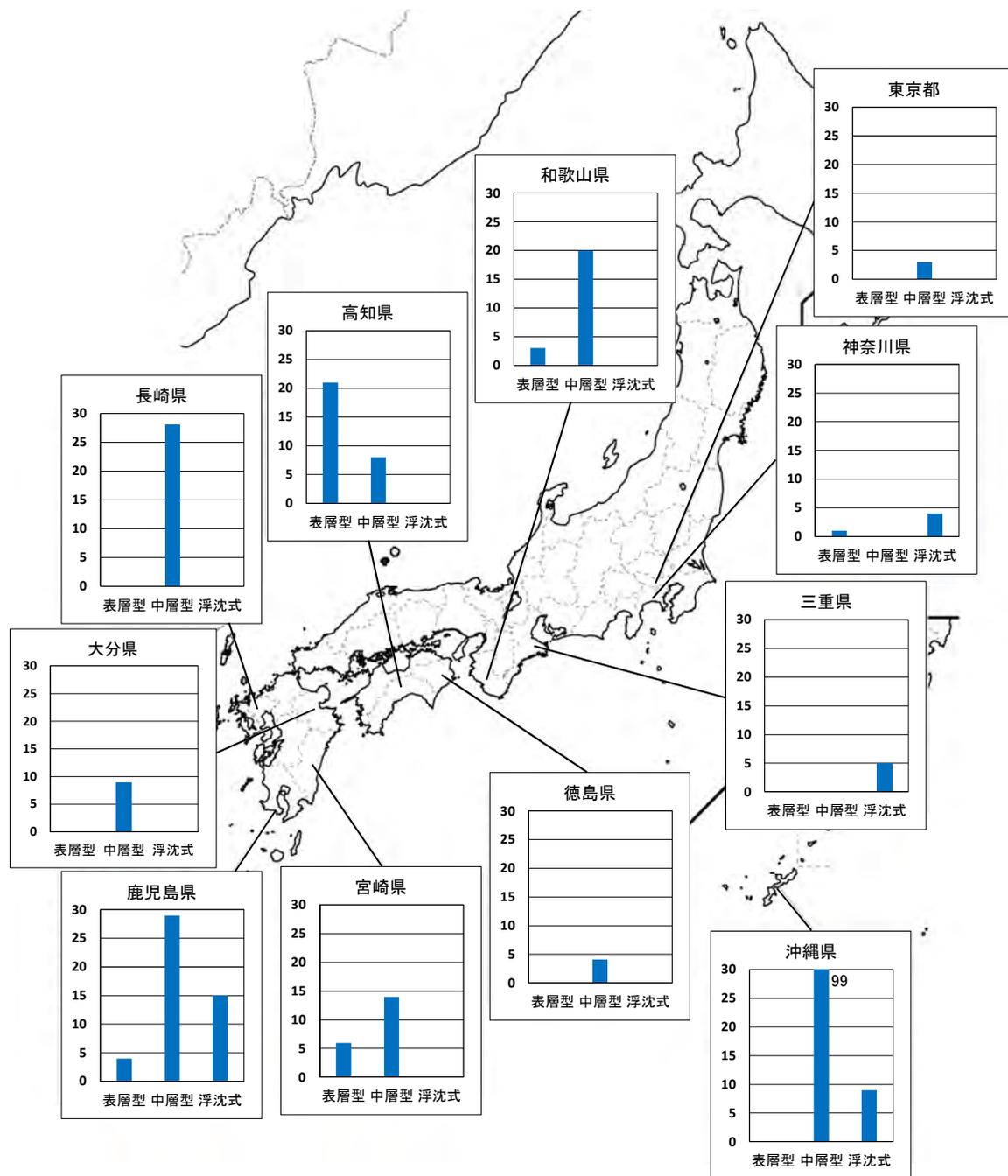


図 6.13 平成 15 年～平成 29 年の浮魚礁の設置基数 (平成 30 年現在)

## 2) 機能保全について

機能保全の有無を管理者に質問したところ、浮魚礁自体の機能保全対策を実施している回答は、東京都の表層型浮魚礁、三重県での浮沈式浮魚礁、和歌山県の中層型浮魚礁の3件のみであった。その他は、実施していない、もしくは無回答であった。回答内容を表6.9に示す。なお、浮魚礁の長寿命化を考える際に想定される課題として、表6.10の回答があった。

表 6.9 機能保全の現状に関する管理者へのアンケート結果

形式	回答内容
表層型	<ul style="list-style-type: none"> <li>・浮魚礁上に搭載された計測機器の維持管理が主である。</li> <li>・浮魚礁自体の点検としては、浮体の乾舷の高さの確認と浮体部の目視点検のみである。</li> <li>・東京都では観測機器のメンテナンスに対し、維持管理費は540万円/年・基であり、さらに高額な保険料を支出している</li> </ul>
中層型	<ul style="list-style-type: none"> <li>・機能保全未実施の理由は、礁体(浮体)の水深が深く施設の点検が困難なことなどである。</li> <li>・浮体が浅い場合のみ、流出警報装置の点検を行っている。</li> <li>・和歌山県で流出警報装置の陸上受信局の保守を40万円/年で実施しているが、その他では漁業者による魚礁位置の確認を依頼し、年間で0.5万円～10万円程度の費用である。</li> </ul>
浮沈式	<ul style="list-style-type: none"> <li>・三重県の浮沈式浮魚礁では観測機器を搭載しているため、年間100万円の維持管理費を計上して機能保全に取り組んでいる。</li> <li>・他の浮沈式浮魚礁では点検作業は行っていない。</li> </ul>

表 6.10 長寿命化する際に想定される課題に関する管理者へのアンケート結果

分類	回答内容
機器	<ul style="list-style-type: none"> <li>・流出警報装置の耐用年数が10年であるため、浮魚礁の供用年数を延長するには警報装置の延命化が必要である。</li> <li>・供用期間内に流出警報装置が故障する例があり、供用期間内の確実な稼働を確保する必要がある。</li> </ul>
設計	<ul style="list-style-type: none"> <li>・供用年数が増えると、付着生物量の増加により浮力が減じるので、浮体の大型化が必要である。</li> <li>・浮体が大型化することにより、ロープ強度の強化、コンクリートシンカーの大型化を検討する必要がある。</li> </ul>
施工	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現在供用されている浮魚礁より大型化した浮魚礁の撤去方法の工夫が必要となる。</li> </ul>
工費	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大型化するので、10年に1回更新することと比較して経費節減が可能なか検討が必要である。</li> </ul>

### 3) 設計方法等に関する要望、事例集等の要望について

「漁港・漁場の施設の設計参考図書」の記載事項への追加について、ほとんど記載なしの回答であったが、1 県のみ以下の回答があった。

- ・中層型浮魚礁共通仕様書 (MF21) の取り扱いを明示すべきである。
- ・回収時に必要な係留索の安全率を示すべきである。

また、今後必要と思われる技術資料や事例集については、以下の回答があった。

1. 保守点検の方法に関する事項、特に通常の保守点検に関するガイドライン
2. 水中部の点検方法、生物除去方法、チェーン等の摩耗を計測する方法
3. 施工方法に関する事例集
4. 流出事故のトラブルを受けての設計の改善事例集
5. 浮魚礁の撤去マニュアル
6. 設計・施工・回収すべての事例集

上記の回答のうち回収作業については設計参考図書等に記述が無い。今後、回収時に作用する外力を想定し、安全に回収するための性能照査が必要と考えられる。

### 4) 浮魚礁の再利用の可能性に関する追加調査

表層型浮魚礁では1 基当たりの建設費が数億円の事業費となるため、可能な限り経済的に事業を進めることが望まれている。その解決策として、浮魚礁の耐用年数の延長による供用期間の延長のほかに、再利用 (リサイクル) による経費節減が考えられる。そこで表層型浮魚礁を採用した5 県 (神奈川県、和歌山県、高知県、宮崎県、鹿児島県) を対象にアンケートとは別に、浮魚礁の再利用 (リサイクル) に関する意見を直接ヒアリングした。表 6.11 に、その回答を示す。

表 6.11 表層型浮魚礁の再利用 (リサイクル) に関する管理者 (5 県) の意見

分類	回答内容
現 状	・各県とも現状では、撤去した浮魚礁はスクラップとし、産廃処理をしている。
今後に対する 考え	・10 年以上は使えないという認識や耐用年数が10 年であることから、事故等の可能性も危惧されるため、浮魚礁を再利用する考えはない。(4 県) ・スクラップにする前に、次の浮魚礁の設計に活かすために劣化状況の調査を行っており、現時点では具体的な再利用案はないが、今後検討したい。(1 県)

以上から、表層型浮魚礁を採用している5 県中4 県については、リサイクルの必要性はないとしたが、1 県については可能性があれば検討したいとの回答であった。リサイクルの可能性があるならば、その手法について検討する必要がある。リサイクルについては浮魚礁の専門メーカーに知見があると想定されたため、次項のヒアリング調査ではリサイクルの可能性についてもメーカーに確認することとした。

#### (4) 浮魚礁専門メーカーへのヒアリング調査結果

浮魚礁専門メーカー4社に対するヒアリング結果について、浮魚礁の動向に関する回答を表 6.12、機能保全に関する回答を表 6.13 および表 6.14 に示す。供用期間の延長に関する回答を表 6.14 および表 6.15、部材の再利用(リサイクル)に関する回答を表 6.15、設計参考図書への要望、事例集に関する希望、その他に関する回答を表 6.16 に示す。

表 6.12 浮魚礁メーカーへのヒアリング調査結果（浮魚礁の動向について）

ヒアリング項目	A社	B社	C社	D社
<p>最近の浮魚礁の採用のトレンドおよび今後の需要についてのコメント、分析。 （アンケート結果では、表層型・中層型は安定、浮沈式は少ない傾向および浮沈式は望まれていない）</p>	<p>・浮沈式は中層型より見つけやすく、価格も表層型と中層型の中間なので採用が増えたが、事故が発生し採用が伸び悩んでいる。 ・浮沈式は更新時期を迎え始め、三重県、神奈川県、沖縄県、鹿児島県から撤去・更新の要望がきている。 ・中層型は低価格であり、事故が少ないことからニーズは現状維持と考えている。</p>	<p>・全体的な基数のところは、金額で割合をみると違った結果になる。表層型は中層型の5～6倍の工費となる。 ・表層型は航路標識に位置づけられるが、浮沈式は水没するので、航路標識として海上保安庁に認可されていない。鹿児島や沖縄の浮沈式は航路標識に登録されてない。中層型と同様に海中構造物に近い扱である。 ・海上保安庁から航路標識として許可されると販路は大きい。 ・表層型浮魚礁は更新で約3億円かかるが、浮沈式なら3～4基用意できる。今後、漁業者が減少すると、安価な魚礁が望まれる。</p>	<p>・浮沈式は没水するときの位置がわかりにくいとの話があり、それで減っているのではないか。 ・表層型はデータをとれるのがメリットと考えており、スマート漁業にも向いている。漁業者、漁獲が減少していく中で漁業を効率的に進めて行くには表層型が一番伸び代があると考えている。 ・表層型の高機能化の要望がある。例えば、地震の観測計、携帯電話の基地局、魚群探知、水深200m以深のデータ取得など。KDDIからも要望があった。</p>	<p>・表層式のみを扱っているため、他の形式の浮魚礁の動向はよく把握していない。 ・表層式は高知県、宮崎県などで安定して採用されると考えている。 ・表層式の更新費用は、海域条件によるが、2～3億円のオーダーである。</p>
<p>浮魚礁の動向について</p>	<p>沖縄県は表層型にしたいが、流出事故の経緯から中層型にシフトしていることに対するコメント</p>	<p>・沖縄県では、表層型はなく、中層型と浮沈式が採用されている。ただし、地元の協議会では表層型の要望もある。 ・久米島ではすべて表層型から中層型に切り替えている。発見しにくいという問題はあったが、慣れはだいぶある。今はほとんど中層型の方がいいと言われる。 ・表層型は水深の1.5倍くらいローブがあるので、2kmぐらい移動することがあるが、中層型は200～300mくらいしか移動しない。表層型が切れるリスクのほうが大きい。そういうリスクを考えると、安定して大型魚が捕れる中層型に依存してきている。</p>	<p>・施工当初は設計、施工の基準がなく、表層型の事故があったのは確かだが、中層型は安価であるため採用が増えている面もある。</p>	<p>・特になし</p>

表 6.13 浮魚礁メーカーへのヒアリング調査結果（浮魚礁の機能保全について）

ヒアリング項目		A社	B社	C社	D社
浮魚礁の機能保全について	表層型の機能保全を受注した事例。 ある場合は点検内容、頻度、概算金額について	・表層型の機能保全を受注したことはない。	※B社は中層型に関して。 ・本体自体の機能保全を受注した実績はない。	・表層型の機能保全を受注したことはない。	・神奈川県から受注した事例がある（計測機器の動作確認、清掃等）。 ・観測機器（流速計）は引き上げて点検しているが、魚礁自体の点検はしていない。 ・ダイバーやROVは入れておらず、付着生物も確認していない。 ・高知県では航路標識燈や無線機の機能点検をメーカーが実施しているようだ。
	中層型の点検方法の有無 ある場合は具体的な方法	・神奈川県、三重県の浮沈式の機能保全をA社が受注している。 ・神奈川県から浮体の喫水、灯火の異常、警報装置・通信装置の蓄電池交換を年1回40万円で受注した。 ・三重県では浮沈式に対して、沈み込み状況の観察（沈みすぎる場合は付着物の除去作業を実施）、通信・標識灯の点検を年4回行っている。 ・水深10m程度までの潜水調査はメーカーが自主検査として行っている。	・基本的にメンテナンスはできない。 ・ROVで係留索の点検はできなくはないと思うが、金額的に合わなくなる。見に行くだけで200万円とか300万円とかかかる。	・中層型、浮沈式は点検できない。礁体が100mくらいの深さにあるので無理だろう。	・中層型はメンテナンスできないのが実情で、メンテナンスフリーにせざるを得ない。
	中層型の流出警報装置の点検が実施されている場合、具体的な点検内容	・大分県が2年に1回警報装置を礁体から外して陸上で点検している（A社が約80万円で実施）。水深が約15mと浅いことから可能。 ・中層型の点検方法としては、マリノフォーラムから保守点検ガイドラインが発行されている。	・流出警報装置のメンテナンスは設置水深が水深100mよりも浅いところは実施したことがある（対馬は150mくらい）。 魚礁(浮体部)の水深は20～30mくらい。基本的にROVしか入れたことがない。 ・高知の年1回の流出警報装置の点検は受信機（陸上部）。 ・水深が浅い(設置水深80mくらいのところで浮体部が20mくらい)大分はダイバーを入れているかもしれない。		・不明である。

表 6.14 浮魚礁メーカーへのヒアリング調査結果（浮魚礁の機能保全・長寿命化について）

ヒアリング項目		A社	B社	C社	D社
浮魚礁の機能保全について	三重県で100万円をかけて実施している機能保全の点検内容と課題（A社のみ質問）	・浮沈式浮魚礁において、浮体の喫水、付着物除去、標識灯・通信関係の点検を年4回実施した。100万円以上かかっている。			
	魚礁の保険の現状、課題についてのコメント。一般的な金額の情報。	・保険は船舶保険の特約であり、メーカーは保険には関与していない。 ・礁体の保険は200万円/年くらいである。	・東京都は浮魚礁というより観測ブイである。したがって、観測機器の整備が重視されている。 ・高知県の維持管理費はおそらく陸上の受信機に対する費用と考えられる。 ・表層型は航路標識等の保険を適応している可能性がある。 ・中層型浮魚礁は保険の適応にならなかった。	・浮体の大きさは変わらなくても、海域のリスクによって保険料は異なる。保険会社が判断するが、海域の条件が厳しい場合は保険料が高くなる。	・保険については不明である。 ・東京都八丈島の浮魚礁はこの4社ではなく老舗の造船会社で製作し、当社が設置した。
浮魚礁の長寿命化について	長寿命化の可能性についてのコメント	・表層型の浮体は問題ないが、合繊ロープは現状で設計可能な径に到達している。静穏海域なら可能だが、そうでないなら、一般的には困難である。	・中層型は無理である。警報装置の電池は無放電の電池を使っているが、メーカ保証が10年なので10年の縛りになる。機械自体の耐用年数ではない。 ・表層型に搭載された計測機器は10年の耐用年数を目標にしていると思う。しかし、維持管理をしていなければ、10年は持たないと考えている。	・観測機器の耐用年数は10年である。これは実績から言えるが、長寿命化は計測機器メーカーで判断できないと思う。 ・耐用年数15年とした場合、実績が無いので係留索の腐食、摩耗代を想定できない。 ・長寿命化は流出しないことが大前提である。10年後に回収した状況では、船の衝突などによる損傷が多く、一般論だが、耐用年数は10年が適当と思う。	・チェーンは摩耗が進むため、太さが必要だが、製作可能な太さに限界がある。 ・チェーンが重くなれば、沈まないように浮体を大きくする必要がある。 ・コストが高く、長寿命化は厳しい。 ・高知県では、φ132～136mmの国内最大のチェーンを使用しているが、これ以上の規格は国内にはない。 ・耐用年数を15年とすると、摩耗量は1.5倍だが、チェーンは3次元なので、かなり太くする必要がある。 ・大型化により建設機械も限定され、コスト増となる。

表 6.15 浮魚礁メーカーへのヒアリング調査結果（浮魚礁の長寿命化について）

ヒアリング項目		A社	B社	C社	D社
浮魚礁の長寿命化について	耐用年数を延ばすために必要な検討項目について各形式のコメント	・中層型のシンカーは最大15t程度だが、20t位になると、ウィンチの能力やロープの劣化により撤去できない可能性がある。	・引き上げた繊維ロープの強度試験をMF21で実施しているが、設計に反映されていない。今後反映していただきたい。 ・被覆ロープと裸ロープの劣化率は分けて考える必要がある。	・浮体、係留索の電気防食の見直しが必要となる。 ・付着生物の増加やロープの大径化による重量増で浮体の浮力確保が必要となる。	表層型浮魚礁では、耐用年数の長寿命化に伴い呼び径の大径化が発生する。
	耐用年数を15年とした場合の浮魚礁の製作費、設置費等の試算	・中層型は可能性があるが、係留索が太くなるので工事費は約1.4倍となった。 ・表層型は多くの場所で製作不可能な係留索になるようである。可能性のある条件で試算すると、工事費は約1.6倍になった。	・中層型ではロープ径を+2mm～+4mm（強度；+50kN～+100kN）で設計可能である。 ・流出警報装置の電池の自然放電による電圧低下カーブが10～11年間辺りで必要電圧を下回るのが問題である。 ・ロープ結束部摩耗や生物付着等の設計に出てこない部分の耐久性は検証が必要である。	・表層型では10年の腐食代を1.5倍として重量等を出せば概算は出せるが、10年以上の摩耗に関する実績が無いので、試算は困難。我が国では調達できないチェーンになる可能性がある。	・大型化の際に製造可能な呼び径ではない可能性があり、試算は不可能である。製造可能としても大径化による製造コストが相当大きい。 ・チェーンの大径化に伴い、浮体の浮力の増大が必要で製造コストが上がる。 ・計測機器の維持管理コストが増大する。 ・浮体の塗装が剥がれ、腐食による亀裂が鋼材に発生するため、海水の浸水、沈没が危惧される。
	リサイクルの可能性	・浮体本体：弊社の浮体は強度を鋼材で補強し、腐食対策としてFRPを積層する。FRPの剥離や破損が無ければ、浮体の再利用は可能だが、保障出来ない。 ・観測・位置監視など機器類：メーカー保証を求めなければ、家電など同様壊れるまで使用可能。 ・係留索（合繊ロープ）：経年劣化が認められるので、再利用は困難である。 ・係留索（ワイヤー）：知見はないが、合繊ロープと同様、再利用は困難である。 ・係留索（下部チェーン・鋼錨）：過去の調査において腐食・摩耗は殆どなく、再利用は可能であろう。 ・陸上局（PC）：家電と同様に考える。 ・アンカーが再利用できない場合、新規製作に半年を要す。	・係留索の再利用は不可能と考える。	・材料のリサイクルは現実的ではない。使用した場合は、メーカーは保証ができない。アンカーなら可能性があると思われるが、アンカー製作会社が品質保証しない可能性もある。	・チェーンは摩耗しているので再利用不可である。 ・観測機器は10年以上は、交換用の部品がない可能性があり、新品の購入となる。 ・浮体は、回収後の状況を見ると、衝突の跡、特にエッジ部分の塗装のげ・サビ、回収時の傷等があるので再利用は無理である。また、浮体部は金額的に高くなく、補修費は新品とほとんど変わらない。 ・アンカーは使える可能性が高い。鋳物であり、部材をどのように検査するのが課題である。アンカーの金額は2～3千万円程度である。

表 6.16 浮魚礁メーカーへのヒアリング調査結果（設計参考図書への希望、事例集への希望、その他）

ヒアリング項目		A社	B社	C社	D社
設計参考図書への希望	漁港・漁場の施設の設計参考図書に関する意見	<ul style="list-style-type: none"> <li>機能保全、維持管理について記述して欲しい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高知県の仕様書を指針の中に出してほしい。一般化した方が良い。</li> <li>被覆ロープと裸ロープの劣化は違うので、何かしらのデータは必要になってくる。これは、MF21でもあまり詰めていない。</li> <li>結束箇所の強度の仕様を明確にすべきである。</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>摩耗量の推定式を掲載して欲しい。条件毎の摩耗量推定式が必要である。高知県では特記仕様書に過年度の計測結果を参考にした摩耗量の値が載っている。現状では、客先仕様（自然条件）に合わせている。</li> <li>浮体やチェーンに作用する張力を算定するための外力の推定式が正しいのか、疑問を感じることもある。</li> <li>MF21のガイドライン等はオレンジ本を解説したもので、詳しいが内容が古く、改訂版が必要である。</li> </ul>
事例集への希望	自治体から事例集作成に関するいくつかの要望があるが、メーカーとしての意見	<ul style="list-style-type: none"> <li>事故時のマニュアル作りをお願いしたい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>浮沈式の設計指針がないので浮沈式的事例集が必要である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>社内にノウハウ的なものがあり、特に事例集は必要ない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>浮魚礁の設置・回収の事例集。例えば、起重機船の仕様等がわかるもの。</li> <li>現在の積算は実態と合っていない。浮魚礁は沖合で施工するので、潮流も速く、大型の機械が必要である。</li> <li>耐用年数を15年にすれば、さらに積算と実態との乖離がひどくなる。</li> </ul>
その他	水産庁、水工研に対するメーカーとしての要望	<ul style="list-style-type: none"> <li>実情にあった管理費を計上して欲しい</li> <li>浮魚礁設置の注意喚起をしてほしい（漁業者が浮魚礁の存在を知らないことが多い）。</li> <li>開発実験は自社で行っているが、波力などに関する基礎的な実験は水工研にお願いしたい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>浮体の挙動は水工研で実施すべきだが、広島大学に依頼している。</li> <li>結束の強度は昔(昭和30年代～40年代?)はやられてたかもしれないが、それ以後論文が全然出ていない。最近、洋上風力発電の関連でポリエステルロープを九州大学が検討しているようである。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>浮魚礁のIT化、効率的な漁業のためには、どのような魚礁が推奨できるのか、マニュアルのようなものが欲しい。</li> <li>効率的な漁業だけではなく、その他にも海洋のデータが使える。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>摩耗量や設計外力の算定の妥当性の評価等の実験を行い、黒本や事例集へ反映して欲しい。現在は規模に応じて、自社あるいは大学、水工研の水槽を借りて実験している。</li> <li>洋上風力施設（浮体式）の知見も取り込めたら良いのではないか。現状では、これらの施設は海外のコンサルタントが示した検討方法によるもので、国内のガイドライン等はない。</li> <li>施工可能な期間を見込んだ工期設定をお願いしたい。海上作業の稼働率がとれない時期に発注されることがあり、苦勞している。</li> </ul>

ヒアリング結果のまとめを以下に示す。

### 1) 浮魚礁の動向について

浮魚礁の採用実態は図 6.12 に示したが、メーカーでは表 6.12 に記した動向を把握している。これを要約すると以下の通りである。

- ・表層型浮魚礁の工事費は高いものの、黒潮の影響の強い海域で回遊魚の集魚効果が非常に高く、該当する県（鹿児島、宮崎、高知、和歌山等）では安定したニーズがある。
- ・中層型浮魚礁は表層型浮魚礁の価格の約 1/10 と安価であるため、採用が増えている。
- ・中層型浮魚礁開発当初は表層型浮魚礁に比べ、目視で確認出来ないことから漁業者の利用は少なかったが、中層型浮魚礁は緊張係留であり、表層型に比較して浮体の位置が大きく水平移動しないため、GPS を利用して発見しやすく、なにより漁業者の慣れもあり、中層型浮魚礁は利用しやすいとの漁業者の意見が増えている。
- ・浮沈式は開発当初は採用が増えたが、流出事故があったこともあり、当時に比較して採用は少し減少している傾向がある。

### 2) 機能保全の現状に関するメーカーの回答

メーカーの回答を要約して表 6.17 に示す。

機能保全には浮魚礁の現状把握が重要であるので、維持管理のための点検業務を浮魚礁専門メーカーに依頼している可能性が高いと考えられたが、特殊な事例を除いて、浮魚礁の点検業務を依頼されることは無いとの回答であった。

表 6.17 機能保全の現状に関するメーカーへのヒアリング調査の回答の要約

形式	回答内容
表層型	<ul style="list-style-type: none"> <li>・上載している観測機器のメンテナンスは実施されているが、浮魚礁本体あるいは係留索の調査は実施されていない。</li> <li>・観測機器の点検時に浮体上部の状況や乾舷の高さの確認などの目視観察程度は実施されているようである。</li> </ul>
中層型	<ul style="list-style-type: none"> <li>・浮体の水深が 30m 程度の浅所に設置された魚礁の場合、流出警報装置のメンテナンスで潜水調査が実施されたことがあるが、中層魚礁の浮体は水深 50m 以上で潜水調査は困難であり、実施されていない。</li> <li>・維持管理では定期的に魚探で中層型浮魚礁の存在を確認する程度である。</li> <li>・無線の受信側である陸上局の機器の維持管理は定期的に行われている。</li> </ul>
浮沈式	<ul style="list-style-type: none"> <li>・一部の浮沈式浮魚礁で維持管理のための点検を行っているが、一般的には存在の確認程度で定期的な部材の点検は行っていない。</li> <li>・三重県の例では、浮魚礁メーカーが浮沈式浮魚礁の浮体に設置された計測機の点検を依頼されており、その際に、浮体の浮力の確認と付着生物の除去も行っている。</li> </ul>

### 3) 供用期間の延長に関するメーカーの回答

メーカーの回答を要約すると以下の通りである。

- ・10 年以上の使用を想定すると、相応の摩耗量を付加して設計するため、係留索（特にチェーン）の径を太くする必要がある。

- ・現在使用しているチェーンは最大級のものもあり、現場の条件にもよるが、現状より摩耗量を多く設定すると、我が国では生産が不可能なチェーンになる可能性もある。
- ・繊維ロープでも同様にこれまで以上のロープ径が必要であると生産ができない可能性が出てくる。
- ・係留索が太くなると、重量が増えるので浮力を確保するため、浮体を大きくすることになり、アンカーも含めて大型になるので、所要重機等の大型化が必要となる。さらに、据付、撤去方法も変更が必要となる場合がある。

このように、浮魚礁の供用期間の延長にとって、各社が考える最も重要な課題は係留索の耐久性のようである。浮魚礁の大型化を積極的に支持する意見はみられなかった。

#### 4) 部材の再利用（リサイクル）に関するメーカーの回答

メーカーの回答を要約すると以下の通りである。

- ・係留索のリサイクルは基本的に不可能である。
- ・表層型浮魚礁で使用されている下部チェーンやダンフォースアンカーについては回収時にほとんど損傷が見られないため、リサイクルできる可能性がある。
- ・中層型浮魚礁ではコンクリートブロックのアンカーはリサイクルの可能性がある。

上記の結果を踏まえ、ダンフォースアンカーの再利用の可能性について、係留索メーカーにヒアリングしたところ、再利用は可能かもしれないが現状では再利用の判断基準がない。もし、仮に再利用ができない場合には製作することになるが、製作に数ヶ月から半年位の工期が必要となるので留意が必要であるとの回答であった。

#### 5) 今後必要な資料に関するメーカーの回答

メーカーの回答を整理すると以下の通りである。

1. 事故時のマニュアルづくり
2. 中層型、浮沈式の保守管理ガイドライン（表層型はMF21 で出している）
3. 浮沈式浮魚礁の事例集
4. ロープの結束方法の妥当性
5. 浮魚礁の IT 化の検討
6. 効率的な漁業のための魚礁選定マニュアル
7. 係留チェーンの摩耗速度の資料
8. 洋上風力の知見を踏まえた設計ガイドライン
9. 高知県の仕様書に見られる部材の摩耗速度等の技術資料

## (5) 調査結果のとりまとめ

浮魚礁の管理者へのアンケート、浮魚礁専門メーカーへのヒアリング調査および過年度業務で指摘された設計上の課題を参考に、浮魚礁の機能保全手法の構築に向けての課題および設計手法の見直しについて以下に整理する。

### 1) 浮魚礁の機能保全手法の構築に向けての課題

#### ① 耐用年数の延長が可能になった場合の課題

浮魚礁に搭載されている流出警報装置に使用されているバッテリーの寿命が 10 年であることから、浮魚礁に使用される構造部材の耐用年数は 10 年に設定している。過去には 10 年未満で係留索が切断する流出事故が発生することもあったが、事故原因が検証され、その対応策が発注者の作成する浮魚礁設計の特記仕様にも反映されるようになってきている。また、メーカー側では係留索の使用材料の改良や工夫、施工方法の改良を行ってきている。これらにより、特殊な外力（船舶による衝突や漁具による係留索の切断等）が作用しなければ、供用年数 10 年を満足する技術に到達している。

本調査では、流出警報装置の交換等で耐用年数を 10 年以上とした場合、構造部材の供用期間の長期化（耐用年数を長く）することで、トータルコストの低減が可能ではないかという視点に立って、管理者や浮魚礁メーカーから意見や情報を収集した。

耐用年数の延長による意見を集約すると、

- ・ 耐用年数の長期化は各種部材の大型化となり、製作費・据付費の高騰が懸念される。
- ・ 搭載する観測機器は供用期間の長期化の可能性はあるが、交換の可能性が大きい。
- ・ 施設の大型化は回収時にも工夫が必要となる。
- ・ 係留索をさらに太くすると、国内で生産不可能な場合がある。

というものであった。

#### ② 表層型浮魚礁の耐用年数を 15 年とした場合の施設の大型化

上記①は定性的な意見であることから、定量的な視点での検討結果を以下に示す。

浮魚礁の耐用年数を 15 年とした場合、摩耗速度を考慮し、使用する構造部材について現状と比較する試算を行った。ここでは、工事費が高額な表層型浮魚礁を対象にした。試算の仮定としては、ある県で施工された表層型浮魚礁の設計条件を用い、耐用年数 10 年と 15 年に対する設計条件は同一とし、設計波は設計参考図書に準じて 30 年確率波の有義波高とした。なお、同県内で設置水深 850m は比較的深く、有義波高 12.5m は厳しい条件である。表 6.18 に試算結果を示す。

この表によると、係留索の摩耗速度から係留索の所要径を算出した結果、係留索の径が太くなるため気中重量が  $(111.09/87.16=)$  1.27 倍となる。また、浮体の浮力を確保するため、ブイ径は  $(9.00/8.00=)$  1.13 倍、アンカーの気中重量は  $(14/12=)$  1.16 倍となった。

この試算結果のように、耐用年数が長くなると、係留索の所要径が太くなって重量が増し、浮体の浮力を確保するため、ブイの径が大きくなり、アンカーも大型化が必要となる。上記①の定性的な指摘を裏付ける結果である。

表 6.18 表層型浮魚礁の耐用年数を長期化した場合の施設の試算結果

耐用年数: 10 年				耐用年数: 15 年			
設計条件	耐用年数 (年)	10		15			
	水深 (m)	850.00		850.00			
	有義波高 (m)	12.50		12.50			
	有義波周期 (sec)	16.00		16.00			
	設計風速 (m/sec)	59.00		59.00			
	海水流速 (m/sec)	1.54		1.54			
浮体諸元	パイ径 (m)	8.00		9.00			
	無負荷時の乾舷 (m)	1.19		1.13			
	無負荷時の喫水 (m)	1.41		1.47			
	浮体高 (m)	2.60		2.60			
係留構成		径 (mm)		長さ (m)			
	上部チェーン	76	×	25	87	×	25
	ワイヤーケーブル	83	×	768	92	×	768
	下部補強チェーン(上部)	76	×	25	105	×	25
	下部補強チェーン(中部)	105	×	80	132	×	80
	下部補強チェーン(下部)	70	×	25	100	×	25
	下部チェーン一般部	64	×	409	70	×	333
	合計			1332			1256
係留索重量		単位気中重量 (kN/m)		気中重量(t)			
	上部チェーン	1.302		3.32	1.71		4.35
	ワイヤーケーブル	0.242		18.95	0.32		25.14
	下部補強チェーン(上部)	1.302		3.32	2.48		6.33
	下部補強チェーン(中部)	2.484		20.26	3.93		32.04
	下部補強チェーン(下部)	1.104		2.81	2.25		5.75
	下部チェーン一般部	0.923		38.50	1.10		37.49
	合計			87.16			111.09
アンカー	気中重量 (t)	12.9		14			

### ③耐用年数を 15 年とした場合のライフサイクルコストの低減の可能性

上記②で試算した浮魚礁の大型化に要する費用を試算し、耐用年数の長期化によるライフサイクルコストの低減の可能性を検討した。

図 6.14 に表層型浮魚礁の部位毎の製作費比率の一例を示す。係留索とダンフォースアンカーの価格が全体の約 70%、浮体部の価格が約 10%となっているが、浮魚礁の製作費は最もコストが高い鉄の利用量に比例すると仮定する。表 6.19 の耐用年数 10 年の浮魚礁の製作費の概算額は 1.76 億円であったが、耐用年数を 15 年とした場合の係留索の重量は、耐用年数 10 年の場合の 1.27 倍になっているので、価格は 1.76 億円×1.27=2.23 億円になると想定される。

ここで、30 年間の運用を考えると、耐用年数 10 年では 3 回設置するので、1.76 億円×3 回=5.28 億円、耐用年数 15 年では 2 回設置するので、2.23 億円×2 回=4.46 億円となる。これから、一事例に基づく試算であるが、耐用年数を 5 年延長することで、5.28 億円-4.46 億円=0.82 億円が 30 年間で低減できる可能性がある。

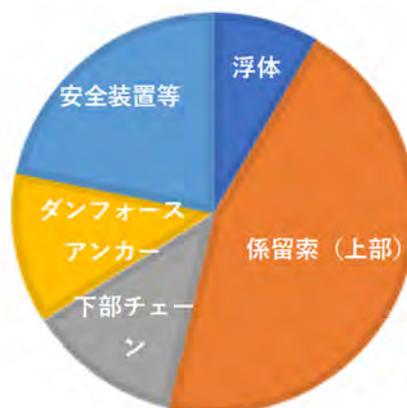


図 6.14 表層型浮魚礁の部位別製作費比率

今後の技術開発により流出警報装置の耐用年数の延長が可能となった場合、浮魚礁の耐用年数を延長することでライフサイクルコストを低減できる可能性が見いだされた。ただし、施設の大型化は発注者やメーカーの指摘のように、施工も難易度が増すものと推測される。浮魚礁の耐用年数を延長する場合には、施工の可能性の検討に配慮する必要がある。

#### ④浮魚礁の再利用（リサイクル）によるコスト縮減の可能性

本調査では、工事費が数億円と高額な表層型浮魚礁の再利用について、表層型浮魚礁を採用している自治体の5県のうち1県で、再利用の可能性があるなら検討したいという意見があった。表層型浮魚礁の専門メーカー2社からは、係留索の上部チェーンについては摩耗が進んでいるので再利用は不可能だが、下部チェーンおよび鋳物製のダンフォースアンカーの10年後の劣化は少ないので再利用の可能性があるとの意見があった。なお、中層型浮魚礁についてメーカーの意見では、係留索は繊維ロープなので経年劣化しているため再利用は不可能であるが、コンクリートブロックのアンカーは再利用が可能とのことであった。

図 6.15 は表層型浮魚礁の係留チェーンの切断例であるが、表層型浮魚礁では海底からの立ち上がり部のチェーンの摩耗が進むことが確認されている。波浪や流れにより海底から浮体までの係留索は移動や動揺で摩耗が進むが、アンカーおよび移動の少ない下部チェーンでは海域の条件にもよるが再利用の可能性があると推測される。



図 6.15 表層型浮魚礁のチェーンの切断事例 (或る県の平成 19 年度調査報告より引用)

再利用の可能性があるダンフォースアンカーと下部チェーンの割合は製作費全体の約25%である（図 6.14）。これらが再利用できれば、浮魚礁更新工事の経済性の向上に大きく寄与すると考えられる。工事費を 1.7 億円とすれば、ダンフォースアンカーと下部チェーンの再利用により、 $1.7 \text{ 億円} \times 0.25 = 0.425 \text{ 億円}$ の経費が節減できる可能性がある。

ただし、ダンフォースアンカーの製作期間は通常で数ヶ月、長い場合は半年程度とのことであるため、回収後すぐに再利用するのではなく、十分な検査後に再利用が可能と診断されたら、別の類似工事で再利用することが望まれる。その際は、保管に必要な費用が新たに発生するので、留意が必要である。

下部チェーンやダンフォースアンカーの再利用に当たっては、再利用の可能性を判定する機能診断の基準を早急に作成する必要がある。そのためには、過去に回収された各地の浮魚礁の劣化状況調査結果を収集し、管理者やメーカーおよび有識者の意見を参考にする必要がある。



図 6.16 回収後の浮体部



図 6.17 回収後のダンフォースアンカー

### ⑤定期点検について

浮魚礁の定期点検は、供用期間中の流出事故防止、軽減に必要である。しかし、管理者へのアンケートやメーカーのヒアリングの結果、一部の事例を除くと、搭載する計測機器の維持管理、陸上局の受信機の維持管理は実施しているが、浮魚礁本体を対象にした点検はほとんど実施されていないことが判明した。

表層型浮魚礁では乾舷の高さや海面上の浮体のへこみ等は目視で確認しているが、水中部については確認していないのが実態である。特に、中層型浮魚礁については、1年に1回程度の魚探による位置確認が行われている程度である。点検がほとんど実施されていない理由として、点検する費用がかかること、点検すべき部位、方法、頻度等の内容が明確になっていないこと、点検後の補修等を行うための機能診断方法も明確になっていないことなどが挙げられる。

表層型浮魚礁や浮沈式浮魚礁は浮体を観察できるため、供用期間中に浮魚礁の機能診断を実施することにより、劣化の早期発見が可能であり、補強等の対応策も実施できる可能性がある。また、近年では安価な ROV も開発されており、浮魚礁の浅い水中部の観察も可能である。以上から、表層型浮魚礁や浮沈式浮魚礁を対象に、できるだけ簡易な点検と機能診断方法をガイドライン化し、定期点検をすることで、劣化の早期発見、流出事故の軽減を図ることが望ましい。

## 2) 浮魚礁の設計手法の見直し

### ① アンケートとヒアリングでの指摘事項

「漁港漁場の施設の設計参考図書」に関する意見としては、

- ・ 中層型浮魚礁共通仕様書(MF21)の扱いの明記
- ・ 回収時の安全率の明記
- ・ 係留索等の摩耗速度の判断基準の事例紹介
- ・ 繊維ロープのタイプごとの劣化速度
- ・ ロープ結束強度の仕様

等が指摘された。

設計参考図書では、既往の浮魚礁に関する基準や技術資料の位置づけ等が記載されていない。県によっては特記仕様書に参考とすべき資料として、これらの資料が紹介されているので、各資料を改めて照査し、紹介すべき資料を掲載する必要がある。

回収時の係留索の安全率は参考図書に記載された安全率を保持していることが当然であるが、回収時の記載は欠けている。他の漁場施設と異なり、浮魚礁は耐用年数が経過したら撤去が義務づけられているので、撤去に関する技術基準を整備する必要がある。

係留索等の摩耗速度に関しては、回収後の劣化調査が反映され、詳細が明らかになっている。設計参考図書では係留索の強度劣化として、「係留索のチェーンや取付金具については、摩耗・腐食速度は当該海域の実測値を参考にして検定することが望ましいが、実測値がない場合、1mm/年を用いてもよい。ただし、係留索が重量のあるワイヤロープとチェーンで構成された表層型浮魚礁では、係留索の摩耗・腐食速度がさらに大きくなるので留意すべきである。既往の検証データによると、ワイヤとチェーンで構成された係留索である表層型浮魚礁の実測から求めた摩耗・腐食速度は、係留環や上部チェーンで 10mm/年を超える場合もある。」と記載している。一方、高知県の表層型浮魚礁の製作工事の特記仕様書には、表 6.19 のような計測結果に基づく摩耗量が示されている。この資料によると、係留環アイプレートは年間 18.6mm の摩耗があるとしている。この計測結果と照合すると、設計参考図書の記載は誤りではないが、摩耗量が小さい印象を与える。そこで、これまでに実施された係留索の劣化状況に関する情報を整理して紹介する必要がある。また、海域条件によって摩耗量は異なるので、波浪や流れの影響度に応じた摩耗量の推定式の確立が望まれる。

表 6.19 高知県の表層型浮魚礁の設計摩耗量

項目		設計摩耗量/10年	
係留環アイプレート		186	mm
係留環接続 アンカーシャックルピン		100	mm
係留環接続 特殊アンカーシャックルボディ		80	mm
上部チェーン	エンドリンク (上部)	119	mm
	スィベル	14	mm
	エンドリンク (下部)	51	mm
	アンカーシャックルボディ	51	mm
	一般部エンドリンク (上部)	17	mm
	一般部	10	mm
	一般部エンドリンク (下部)	10	mm
下部補強チェーン (上部)		20	mm
下部補強チェーン (中部)		58	mm
下部補強チェーン (下部)		20	mm
下部チェーン 一般部		10	mm

※ 項目名は既存黒牧で使用している部材名称。

繊維ロープの劣化速度については、設計参考図書に一般的なロープについて紹介している。しかし、現状では漁具による切断を防ぐ目的で、漁獲対象の水深までは被覆ロープが採用されている。被覆ロープに関する劣化は被覆なしのロープと異なるので、設計参考図書には被覆ロープに関する記載も掲載することが望ましい。

ロープ結束強度については、ロープメーカーに情報があるが、工学的な検証に関する研究事例は少なく、経験的な対応がなされている。設計参考図書では結束方法、結束箇所による所要強度までは記載していないので、既往資料を収集し、適切な結束方法による強度の仕様を記載することが望ましい。

## ② 既往資料で指摘されている技術的課題

「漁港・漁場の施設の設計参考図書」の出版準備の際、浮魚礁について設計上の課題が整理された。未だ解決していない事項もある。ここでは、「漁港漁場施設の性能規定化等技術検討のうち(4)魚礁の設計手法・漁場施設の設計手法,平成 26 年度水産基盤整備調査委託事業」を参考に浮魚礁の設計上の課題を再度、記載することとする。

### ア 設計波高の設定

設計参考図書では設計波高として有義波高( $H_{1/3}$ )を採用している。これは、これまでの設計体系を引き継いでいる。しかし、高知県や宮崎県では過去の流出事故を教訓に最大波高( $H_{max}=2.0H_{1/3}$ )を採用している。他の浮体構造物(浮標、GPS 波高計、洋上風力発電施設等)に対する設計波の扱いについては、その重要度に応じて、有義波高であったり、最大波高であったり様々である。最近は波浪による係留索の切断事故が少なく、大きな問題になっていないが、浮魚礁の形式によって設計波を  $H_{max}$  に決めるなど、実態に即した設計条件の設定が必要である。

### イ 流速分布の設定

設計参考図書では流速分布は水深が深くなると表層の流速が指数関数的に減少するとして、水深 100m 以下では 1/7 乗則を使用することになっている(次式;  $V_0$  海面での流速、 $h$  海底の深さ)。しかしながら、各地の流速の鉛直分布の計測結果を参照すると、密度成層や海流・潮流の影響があり、多くの場合、1/7 乗則で減少していないことが分かっている。実測値との対比では、次式で計算した流速は過大評価の傾向がある。正確な鉛直流速の予測は経済的な設計に繋がるので、さらなる検討が必要である。

$$V_z = V_0 \left( \frac{z}{h} \right)^{1/7}$$

### ウ 浮沈式浮魚礁の設計方法の検証

設計参考図書では浮沈式浮魚礁の設計方法は、設計事例の実態に則して、海面に魚礁が出ている場合には表層型浮魚礁、水面下に沈没している場合は中層浮魚礁の設計方法に準じるとしている。浮沈式浮魚礁は最初に施工されてから、10 年目を迎え、回収工事はこれから多くなる。したがって、設計方法の妥当性を確認するため、浮沈式浮魚礁の劣化状況の観察を実施し、設計方法にフィードバックすることが望まれる。

### 3) 今後準備すべき技術資料

アンケートやヒアリングにより、今後必要とされる技術資料等の要望があった。表層型浮魚礁や中層浮魚礁については、表 6.8 に示したように MF21 の参考資料が充実しているが、浮沈式浮魚礁に関する技術資料はない。浮沈式浮魚礁については設計、施工、撤去に関する技術資料の整備が望まれる。表 6.20 にアンケートやヒアリングで要望のあった技術資料を集約した。これらの資料は、優先順位を決めて逐次整備していくことが望ましい。本業務は、「機能保全手法の構築」を一つの柱としており、現在はほとんど実施されていない機能保全のための保守点検に関するガイドラインの策定が重要と考えられる。

表 6.20 アンケートやヒアリングで要望のあった技術資料と想定される内容

要望のあった技術資料	想定される主な内容
保守点検に関するガイドライン	浮魚礁の劣化の早期発見、流出事故の軽減のために形式毎に保守点検を行う部位、方法、点検頻度等を整理し、各対応策を示したガイドラインが想定される。
設計・施工・回収の事例集	事業主体、施工業者、メーカーから各形式の代表的な事例を収集し、一連の業務内容を理解し易いようにまとめたものが想定される。過去に浮魚礁の事例集はなく、担当者の理解のためにも作成が必要である。
流出事故後の改善事例集	流出事故の後の好適な対策について事業主体等から事例を収集し整理したものが想定されるが、事例が少なく、作成が可能であるか検討が必要である。
事故後の処理マニュアル	流出事故の発生後、初動対応や流出後の時間・段階的な処理方法を示したものが想定されるが、事例が少なく、マニュアル化の可能性について検討が必要である。
撤去マニュアル	使用する起重機船の規格や撤去方法がわかる事例集的なマニュアルが想定される。撤去工事が増えており、事例集を作成することが望ましい。中層型浮魚礁の撤去マニュアル(MF21)があるが、ROV を利用した撤去事例は少なく、改訂が望まれている。
浮沈式浮魚礁の事例集	事業主体、施工業者、メーカーから事例を収集し、設計・施工・回収を整理したものが想定される。浮沈式については、今後、回収が進むので、回収の事例が増えてくる。浮沈式のみならず、上記の他の形式も含めた事例集の検討に含まれる。
魚礁選定マニュアル	対象魚に応じた魚礁選定のポイントを示したマニュアルが想定される。魚種によって好まれる浮魚礁が異なるが、既往文献等を参考にすればよく、新たなマニュアルは必要ないと考えられる。
浮魚礁に関する積算資料	施工に要した機械や人工数のデータを事業主体や施工業者から収集した資料集が想定される。沿岸の施工と異なり、沖合の環境条件は厳しいことに配慮が必要である。

## f 明らかとなった技術的課題と今後の対応

浮魚礁の合理的な設計および機能保全を実現するための技術的課題と今後の対応を表 6.21 に示す。

表 6.21 合理的な設計および機能保全を実現するための技術的課題と今後の対応

分類	課 題	対 応
機能保全	<b>(定期点検)</b> 点検費用の負担や点検内容の未整備から、浮魚礁本体を対象とした点検はほとんど実施されていない。特に水中部の点検は実施されていない。	回収後の部材の劣化調査を参考に、点検対象を明確にし、経済的で簡易な点検方法（部材厚測定等）や機能診断指針を確立し、機能診断に関するガイドラインを作成する。
耐用年数	<b>(流出警報装置の耐用年数)</b> 表層型浮魚礁の耐用年数を長期化することでライフサイクルコストを低減できる可能性が見いだされた。流出警報装置の耐用年数の長期化が課題である。	流出警報装置の耐用年数延長の技術開発を支援することが考えられる。
	<b>(部材の再利用)</b> 下部チェーンとアンカーは劣化が少なく、再利用の可能性と工費縮減の可能性が確認された。部材の再利用の可否判断基準の確立が必要である。	回収後の部材の劣化調査を実施し、再利用可否の判断基準を早急に設定する必要がある。外見観察や形状寸法の計測のみならず、非破壊検査等による劣化診断による基準作りが必要である。
回収	<b>(回収時の技術基準)</b> 供用期間経過後、浮魚礁はすべて回収する必要がある。回収時の係留索の破断は回収不可能の原因となる。現状では回収に関する技術的指針がない。	回収後の部材の劣化調査結果をもとに、回収時の部材の安全率を想定する。回収作業時の外力を想定し、安全性の確認を行い、回収時の所要強度を設定するとともに基準化する。
設計	<b>(係留索の摩耗強度)</b> 係留索の摩耗速度は平均的に1mm/年となっているが、一部の事業主体では部材毎に数値が示されており、海域条件や部材毎のより詳細な係留索の摩耗速度の推定式が望まれている。	様々な海域の部材毎の摩耗量を調査し、摩耗速度の傾向から、海域条件、浮魚礁の形式に応じた摩耗速度の推定式を設定する。
	<b>(繊維ロープの強度)</b> ロープの結束方法によって結束部の強度が異なるが、結束部の強度に関する技術的指針がない。	ロープメーカーと協力し、結束方法毎の強度のデータからロープの結束部分に関する強度の指針を明確にする。
	<b>(設計波高)</b> 設計参考図書では $H_{1/3}$ を使用することとしているが、一部の表層型では過去の流出事故の経験をもとに $H_{max}=2.0H_{1/3}$ が採用されている。	水理模型実験で浮体や係留索に働く力を正確に推定し、浮魚礁の形式に合わせて、どのような設計波を用いれば良いかを明らかにする。
	<b>(流速の鉛直分布)</b> 外力算定に用いる流速の鉛直分布が現行の算定式では現地の現象を適切に表現していない。	多数の現地観測結果に基づいた設計流速算定式を新たに設定すべきである。

## I. 課題名

「漁港漁場施設の設計手法の高度化検討調査」のうち  
(7) 漁港漁場整備への新技術導入促進方策の検討

## II. 実施機関及び担当者名

一般社団法人漁港漁場新技術研究会  
技術研究主幹 真野 泰人  
国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産工学研究所  
水産土木工学部水産基盤グループ 主任研究員 佐伯 公康

## III. ねらい

漁港漁場整備事業に係る種々の技術開発の成果を現場に適用していくことは、漁港漁場整備の効率化、質的向上及び新たな事業展開のために非常に重要となっている。

一方で、公共事業において実績の少ない工法、製品など新たな技術の導入について、事業主体の担当者にとっては情報収集や技術の信頼性の判断などが容易ではない。

事業に新技術が一層使用されるためには、新技術に係る知見の共有、実績の少ない技術に対して信頼性を付与する審査制度の充実、事業への新技術導入を促進する評価制度の確立など、種々の方策が必要と考えられる。

本調査は、国や地方公共団体が実施する公共事業への新技術導入促進を目的とした種々の施策とその実績を調査し、制度やその運用の仕組みの特性を整理するとともに、それら施策のあり方に対する企業側の考えも把握して、漁港漁場整備事業への新技術の導入を促進するために今後必要な制度や仕組みを検討する。

具体的には以下のことを実施する。

### (1) 企業向けのアンケート

漁港漁場事業に関係する施工会社やメーカー等の企業へアンケートを行い、新技術導入のための施策（制度や仕組み）の現状の課題点と、今後のあり方について、企業側の考えを把握する。

### (2) 事業主体向けのアンケート

漁港漁場整備事業の事業主体である都道府県へアンケートを行い、新技術導入のための施策（制度や仕組み）の現状の課題点と、今後のあり方について、事業主体側の考えを把握する。

### (3) 情報収集

事業への新技術導入の促進を目的として国、地方公共団体等が実施している施策や、各種団体が実施している取組みの事例を収集、整理する。

### (4) とりまとめ

(1) (2) で収集した企業の意見と事業主体の意見を突き合わせるとともに (3) で得た施策情報を参考にして、新技術導入促進のために国、関連法人や研究機関等が今後講ずることが望まれるいくつかの方策を抽出する。それらを、漁港漁場整備事業

の現行の「技術活用パイロット事業・モデル事業」を普及、促進させる方策案として提示する。

## IV. 方法

### (1) 企業向けのアンケート

一般社団法人漁港漁場新技術研究会会員の 68 社に対して、新技術開発の取り組み、所有する新技術、それらの技術の事業への適用に当たっての障害、新技術の適用について事業主体への要望等に対するアンケートを実施した。

アンケートの前提として、新技術の定義は、以下のとおりとした。

#### 【新技術の定義】

ここでの新技術とは以下のように定義し、水産公共関連事業（漁港・漁場・漁村及び海岸等に係る事業計画・調査、構造、材料、施工、維持管理等）に利用若しくは、活用できると考えられるものを対象とする。

- ① 設計手法等が、基準化されていない技術
- ② 実績や適用例が無い、もしくは少ない技術

調査項目は、以下のとおりである。

質問 1. 新技術に係る取り組みの現状

1. 1 所有する新技術について

- ① 技術の名称
- ② 技術の分野（漁港・漁場・漁村・海岸、その他）
- ③ 開発の段階

1. 2 新技術に係る既存制度の活用の有無

- ① 技術の名称
- ② 活用した制度の名称
- ③ 登録や認証の時期

1. 3 新技術の採用実績

- ① 新技術が事業に採用された実績の有無
- ② 制度等活用の有無

1. 4 新技術の営業・広報活動の方法

質問 2. 新技術の事業への導入についての問題点

- ① 新技術の実事業への導入における障害の有無
- ② ①の障害の具体的な内容
- ③ 実事業への導入に際して障害と思われること

質問 3. 新技術の事業への導入に対する要望

- ① 制度に対する要望
- ② 事業主体に対する要望

質問 4. その他（新技術の実事業への導入促進に対する意見）

アンケートの質問及び回答用紙を、資料編 資料-1 に示す。

実施期間は平成 30 年 9 月にアンケートを配信し 11 月末に回答締め切りとした。依頼と回収は各社の担当者とのメール連絡により行い、68 社中、24 社より回答が得られ

た。依頼先の業種別の内訳、回答数、回答率を表 7.1 に示す。また、図 7.1 に業種分野別の回答数を示す。最も回答が多かったのはブロック・魚礁メーカーで、2 番目はマリコンとなっており、漁港・漁場事業において求められる新技術の特殊性が現れているものの、ほぼ全ての分野からの回答を得られている。なお、1 社が複数の技術について回答した場合があります、回答された技術の数は 39 となった。

表 7.1 アンケートの業種分野別回答数・回答率

業種分野		会社数	回答数	回答率
マリコン		5	3	60%
鉄鋼		6	2	33%
造船		5	2	40%
ブロック・魚礁メーカー		17	7	41%
防舷材・ゴム・マット		6	2	33%
防食関係		3	0	0%
ポンツーン		4	2	50%
土木資材	アースアンカー	4	1	25%
衛生管理	床材	2	1	50%
防災	避難タワー	1	1	100%
リサイクル	ガラス・陶器	1	1	100%
再生エネルギー		2	0	0%
情報通信 ・ 計測		3	0	0%
コンサルタント		9	2	22%
合計		68	24	35%

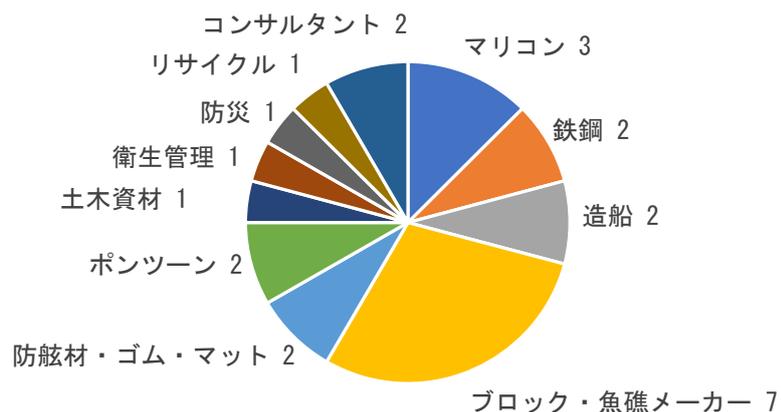


図 7.1 業種分野別回答数

## (2) 事業主体向けアンケート

漁港漁場整備事業等への新技術導入に係る課題や問題点を具体的に把握して、今後必要な新技術導入促進策の検討に使用することを目的として、水産基盤施設を所管する40都道府県に対するアンケート調査を実施した。

依頼と回収は水産工学研究所担当者と各都道府県担当者ととのメール連絡により行った。実施期間は平成30年9月7日～12月21日であった。

このアンケートでは「新技術」を以下のように定義し、水産公共関連事業（漁港・漁場・漁村及び海岸等に係る事業計画・調査、構造、材料、施工、維持管理等）に利用若しくは、活用できると考えられるものを対象とした。

- ① 設計手法等が、基準化されていない技術
- ② 実績や適用例が無い、もしくは少ない技術

このアンケートでは8つの質問を設けた。資料編 資料-2 にアンケートの質問及び回答用紙を示す。質問の要旨は次の通りである。質問1, 2, 5, 6については選択肢を用意した。選択肢の詳細は結果の章に示す。

【質問1】水産公共関連事業への新技術導入に対する県の認識

【質問2】水産庁の「技術活用パイロット事業、モデル事業」に対する県の考え

【質問3】都道府県あるいは管下の市町村の水産公共関連事業において新技術が導入された事例（最近10年間程度を対象）

【質問4】都道府県あるいは管下の市町村の水産公共関連事業において新技術の導入が検討されたが採用されなかった事例（最近10年間程度を対象）

【質問5】今後、新技術について特にどのような情報の充実が必要か

【質問6】新技術の採用を増やすため、今後、国、地方公共団体や公的機関等が特に実現すべきと思われる施策

【質問7】水産公共関連事業へ新技術導入の促進についてのアイディア

【質問8】都道府県における、公共事業へ新しい技術の導入を促進する事業や制度

## (3) 情報収集

現在の漁港漁場整備事業に係る新技術導入政策に不足している要素を明らかにし、今後導入すべき施策を明らかにするため、次の情報収集を行った。

### (ア) 国土交通省の新技術活用システム

国土交通省が新技術の峻別による有用な新技術の活用促進と技術のスパイラルアップを目的として運用している「公共工事等における新技術活用システム」について、公開されている資料を調査して同システムの要点を整理した。

### (イ) 他の公共事業に係る取り組み

漁港漁場整備事業以外の公共事業における新技術導入促進施策の情報を、新技術導入促進に資する事業を実施している外郭団体から収集した。収集対象は下水道事業と港湾事業とし、下水道事業については地方共同法人日本下水道事業団の担当者に聞き取り調査を行った。港湾事業については一般財団法人沿岸技術研究センターの担当者に聞き取り調査を行った。

(ウ) 地方公共団体における取り組み

事業主体向けアンケートで収集した、地方公共団体等が独自で行っている新技術導入促進の取組みのうち、独自性が見られるものについて、インターネットによって詳細な情報を収集した。

## V. 結果

### (1) 企業向けアンケート

以下に企業向けアンケートの回答結果を示す。

なお、本アンケートの記述式の回答には、口語的な記述や、各技術の具体的な特徴にまで言及した記述が多く見られた。そのため本報告書では、各々の記述の趣旨をくみ取りつつ、これらを要約し、一般的な表現に置き換えて記述した。

#### 「質問1 新技術に係る取り組みの現状」の集計結果

24社から39件の技術の回答が得られた。

まず、「質問1.1 所有する新技術」に対する回答の集計結果として、39件の技術の分野別内訳を図7.2に、公共事業での採択の実績の有無を図7.3に示す。約3分の2の新技術が公共事業での採択の実績を有している。

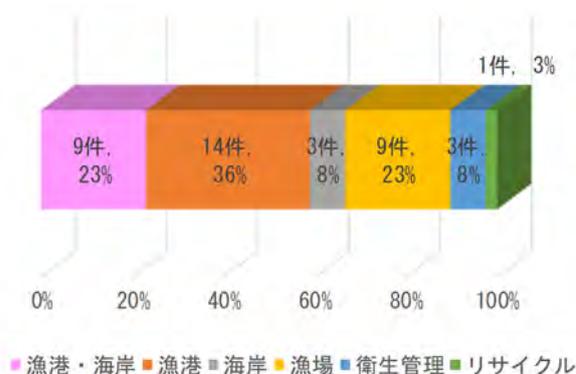


図 7.2 回答された技術の分野別内訳

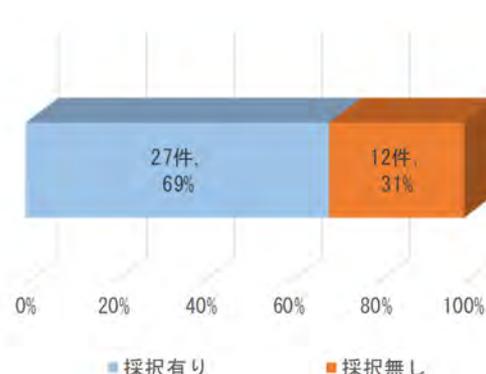


図 7.3 公共事業で採択の実績

「質問1.2 新技術に係る既存制度の活用の有無」の集計結果として、39件の技術における、第三者機関が実施している登録や認証の有無を図7.4に示す。登録や認証を受けている技術は67%で、公共事業で採択された比率とほぼ同じ割合となっている。なお、26件のうち、既に2010年以前から第三者機関の制度を利用していたものが5件ある（開発後10年近くを経た技術を新技術と呼ぶことがあまり適切とはいえないことから、便宜的に2010年を区切りとして分別した）。

次に、利用されている登録・認証制度の内訳を図7.5に示す。図7.5の母数は26件だが、複数の制度を利用している新技術があるため、比率の和は100%を上回っている。NETISと水産公共確認審査が多く利用されている。

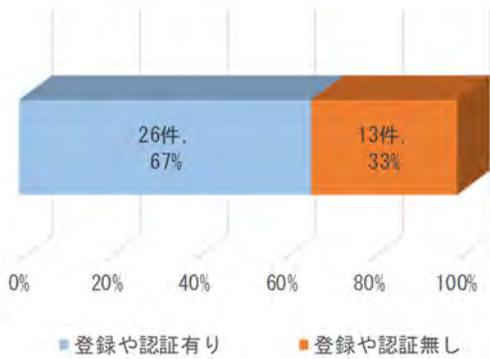


図 7.4 登録や認証の有無

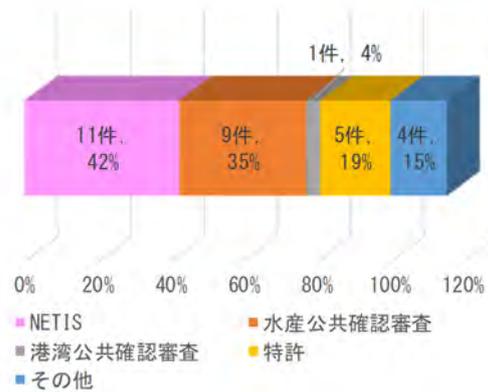


図 7.5 利用されている登録・認証制度

「質問 1.3 新技術の採用実績」に対する回答の集計結果として、回答していただいた全技術のうち、公共事業以外を含めた採用実績が有る技術の比率を図 7.6 に示す。回答があった技術のうち 30 件（77%）が、既にも実績が有ることとなっている。このうち 2010 年以前に採用された技術は 2 件で、回答があった技術の事業への導入は比較的近年になってから多くなっていることが窺える。

採用における登録・認証制度活用の有無を図 7.7 に示す。採用実績が有る技術のうち、第三者機関による制度が活用されたものは、僅かに 3 件（8%）と、制度が有効に使われていないような結果となっている。

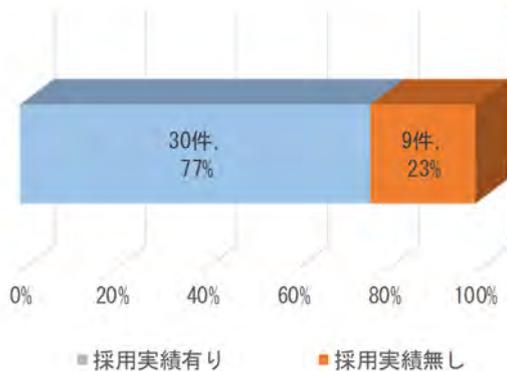


図 7.6 事業採用実績の有無

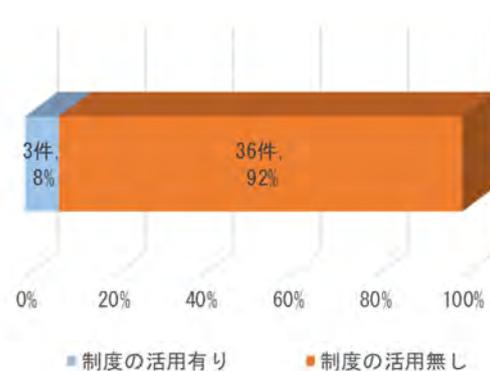


図 7.7 採用における登録・認証制度活用の有無

「質問 1.4 営業・広報活動の方法」について、得られた回答を分類すると下記のようなになった。

- \* 事業主体・漁協・コンサルタント・施工業者への説明会や提案、営業
- \* 自社 HP に技術の紹介・専門誌や業界紙への広告掲載
- \* 学会や講演会での発表

### 「質問 2 新技術の事業への導入についての問題点」の集計結果

まず、「① 新技術の実事業への導入における障害の有無」の集計結果を図 7.8 に示す。約半分が「障害有り」という回答であった。

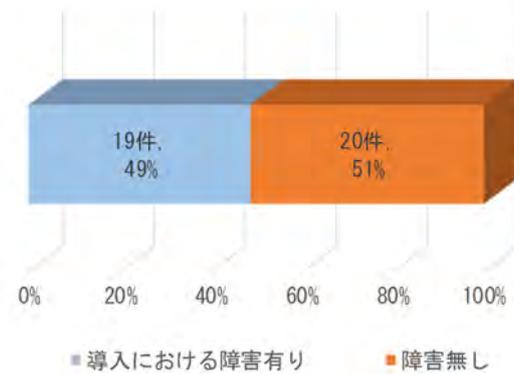


図 7.8 新技術導入における障害の有無

「② ①の障害の具体的な内容」への回答を要約して以下に示す。

- \* 導入実績（無いあるいは少ないことが障害）
- \* 設計、積算等の各種基準（確立されていないことが障害）
- \* 実績ある技術・材料・製品の使用を前提とするような仕様が示される

次に、「③ 実事業への導入に際して障害と思われること」への回答を要約して以下に示す。

- \* 価格（初期費用）が高価な新技術は採用されにくい
- \* 試験事業や水理模型実験が補助で認められない
- \* 業務工期が十分に確保できない
- \* 実績が無い（または少ない）新技術は、関心を持ってもらえず、採用に至らない
- \* コストアップを会計検査で指摘されることを事業主体が懸念している
- \* 設計参考図書に掲載されていない新技術は、たとえ従来工法より低コストで技術的に確立されていても事業主体や設計者から敬遠される
- \* 事業主体に新技術活用のインセンティブが無い
- \* 事業主体に新技術が認知されていない
- \* 事業主体の価格や仕様の設定が、前例主義になっている

### 「質問3 新技術の事業への導入に対する要望」の集計結果

まず、「① 制度に対する要望」への回答を要約して以下に示す。

- \* 新技術活用を促す加点制度（設計段階から）
- \* 試験事業の適用・拡大
- \* 新技術の特長を評価する加点制度
- \* 新技術を採用するに際しての試験フィールド等の貸与
- \* 施工者に新技術提案を求めるような発注制度
- \* 水産公共関連民間技術の確認審査・評価等第三者機関に評価された技術については総合評価入札方式で加点対象とする
- \* 設計参考図書に掲載されていない新技術に対して適切な評価の仕組みを設ける

次に、「② 事業主体への要望」への回答を要約して以下に示す。

- \* 新技術導入が必須となるような事業予算の確保
- \* 新技術の導入制度の確立

- \* 試験事業の拡大
- \* テーマ毎に新技術の試行工事を発注
- \* 試験施工場所の提供
- \* 国や自治体が漁協等関係団体に対して連携を図り、試験場所を確保し提供する
- \* 試験施工等で新技術のコスト縮減効果や有用性等を確認できたら従来工法と同等に採用可能となる仕組み作り
- \* 事業主体も一緒に工法開発に取り組む
- \* メリットがあった新技術の実績や評価をホームページ等で公表
- \* 新技術を導入した施工業者への評価（加点）
- \* 「実績がない」の一言で終わらせない考え方が必要

「質問4 その他（新技術の実事業への導入促進に対する意見）」の集計結果回答を要約して以下に示す。

- \* 新技術を簡単に試用できるパイロット工事制度を新設してほしい
- \* 新技術利用を促進する制度を確立してほしい
- \* 新技術導入にチャレンジする制度や試行工事などの事業を設けてほしい
- \* NETIS、NNTD（農業農村整備民間技術データベース）といった新技術に関する制度は、省庁横断で、認知し、採用できるような仕組みを工夫してほしい
- \* 既存技術で構造物が被災した場合、同技術での原形復旧がほとんどだが、同じような被災が起こらないように、復旧の際は新技術の導入を検討してほしい

## （2）事業主体向けアンケート

アンケートには28道府県から回答があった。以下、質問別に集計結果を示す。

なお、回答数を記す際、道・府の回答数も含めた意味で「15県」のように記すこととする。

### 「質問1 新技術導入に対する認識」への回答

質問1は、現時点での制度や組織体制等を前提として、3つの選択肢から一番近いものを選択していただいた。

選択肢とそれぞれの回答数を図7.9に示す。

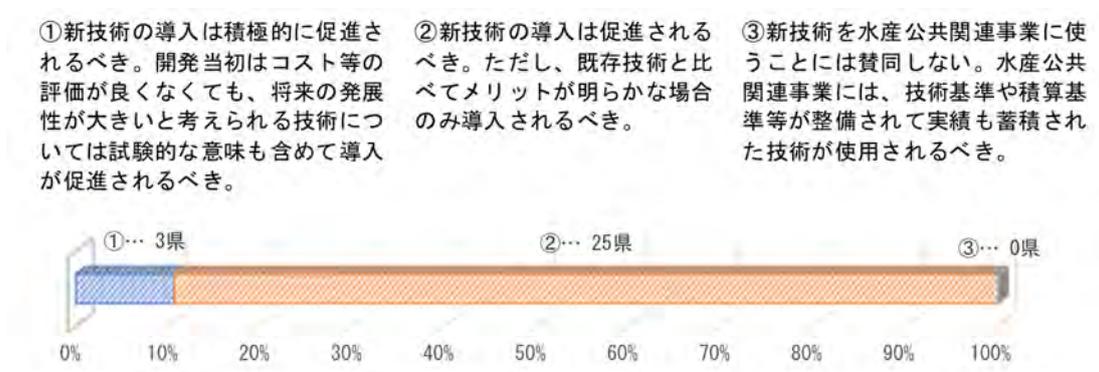


図7.9 水産公共関連事業への新技術導入に対する認識

また、質問1に対して下記のようなコメントを頂いた。

[主なコメント]

- \* 技術の選択肢が広がることはいいこと
- \* 会計検査対策として、費用対効果等を考慮する必要がある。
- \* 将来新技術によって省力化などが図られるのであれば、長期的な目線で積極的に新技術を促進されるべき。
- \* 補助事業においては、既存技術と比較検討し、有利性がなければ使いつらい。
- \* トータルコスト及び工事実績を考慮して決定している。
- \* 会計検査を念頭に置いたうえで採用する必要があるため、試験的には取組づらい。構造面、機能面はもちろん、LCCまで含めた経済面でも有利な条件がそろわなければ公共事業では使用できないと考える。
- \* 離島は傭船費の割合が高いため工期短縮を図る技術は促進されるべき。
- \* 補助事業で採択できるならば、積極的に活用できると考える。

「質問2 技術活用パイロット事業、モデル事業に対する考え」への回答

質問2は、3つの選択肢から一番近いものを選択していただいた。  
選択肢とそれぞれの回答数を図7.10に示す。

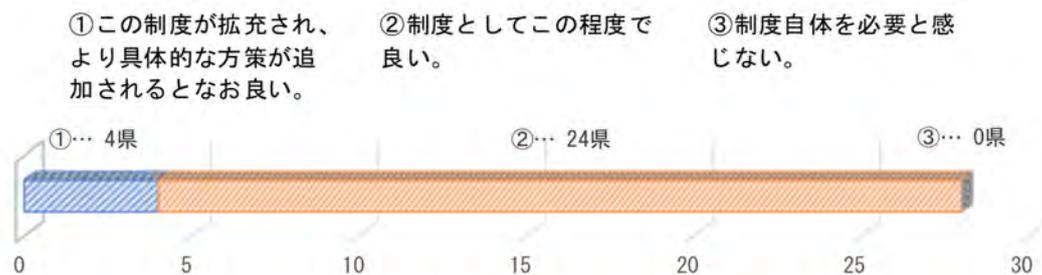


図7.10 水産庁の「技術活用パイロット事業、モデル事業」に対する考え

また、質問2に対して下記のようなコメントを頂いた。

[主なコメント]

- \* 活用事例を知りたい。
- \* より有用な新技術の普及に貢献されるような制度の拡充であれば賛同する。
- \* 実態としては、この制度の活用の仕方を、よく理解していない。

「質問3 新技術が導入された事例」への回答

- \* 間伐材（丸太）を用いた液状化対策 1件
- \* 用地造成へのICTの活用 1件
- \* 二重締切鋼矢板工法 1件
- \* プレキャスト製品による堤防工 1件
- \* プレキャスト残置型枠工法 6件
- \* ジャケット工法 1件
- \* 水中トランスポンダーによる沈設位置確認システム 1件

[主なコメント]

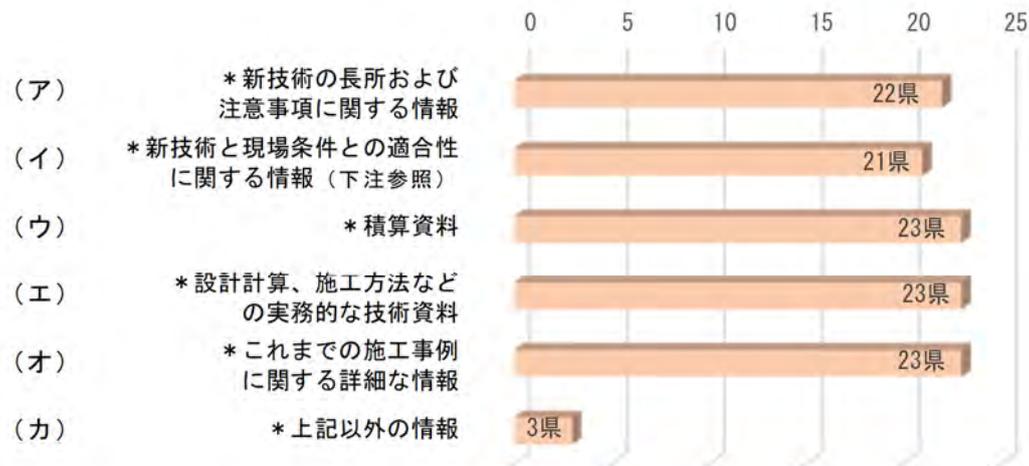
- \* 受注者起案による施工承諾の事例がある（設計積算は鋼製型枠だったが、残置型枠工法で施工）
- \* 税金が原資である地方自治体としては、設計手法が基準化されていない技術について積極的な導入が難しい。
- \* 補助事業においては、会計検査対応が困難なため導入していない。

「質問4 新技術の導入が検討されたが採用されなかった事例」への回答

- \* カルシア土を用いた土質改良（要因：技術的優位性が小さい）
- \* 丸太打設液状化地盤対策（要因：岸壁の構造上の問題から丸太打設が困難）
- \* 残置型枠（要因：コスト高め）
- \* 残置型枠（要因：情報不足、施工実績が無い、積算方法が未確立）
- \* プレキャストコンクリート製残置型枠工法（要因：コスト高め、施工実績が無い）

「質問5 今後どのような情報の充実が必要か」への回答

質問5は、6つの選択肢から選択していただいた。複数選択可とした。選択肢とそれぞれの回答数を図7.11に示す。



(注) イに該当する情報は、適用可能な現場条件、適用メリットが大きい現場条件など。

図 7.11 新技術について特に充実が必要な情報

「(カ) 上記以外の情報」として、下記の回答があった。

- \* 新技術を導入後のメンテナンスに関する資料、費用等の情報
- \* 新技術における効果の確実性を証明できる情報
- \* 新技術を採用するに至った現地の情報

また、質問5に対して下記のようなコメントを頂いた。

[主なコメント]

- \* 上記情報は、採用を判断するに当たり全て必要。

- \* 施工事例が重要。実際の施工コスト、効果等が定量的に検証されれば実用化の方向に向かいやすい。
- \* 維持管理も検討項目となるので、情報があれば提供してほしい。
- \* 机上で優良と評価されていても、実際に活用できるかの担保がない場合は採用に踏み込みがたい。
- \* 採用しようとする現場との比較を行うための情報がほしい。

### 「質問6 今後特に実現すべきと思われる施策」への回答

質問6は、7つの選択肢（ア～キ）から選択していただいた。順位付けして3つまで選択可とした。選択肢を下記に示す。

- (ア) 施設管理者が抱えている現場の課題・問題等について、その課題・問題等を克服する新技術の開発に企業が乗り出すような仕組みを設ける
- (イ) 企業が、開発途中の新技術について、漁港や漁場で実証試験を行うことを希望している場合、申請手続きを簡素化するなどして、容易に試験を行えるように配慮する。
- (ウ) さまざまな新技術の情報をデータベース化し、一括してインターネットで公開する。
- (エ) 企業が開発した新技術に対し、公的機関が有用性、安全性、経済性などの観点から審査し、優れたものに対して認証を与える
- (オ) 事業における設計、施工等に係る提案を企業等から募る際、新技術を使用する提案が優遇されるように制度を適用する
- (カ) 新技術を適用した事業について、施工中の状況やその後の経過等、実態を詳細に公表する仕組みを設け、全国の事業主体が参考にできるようにする。
- (キ) 上記以外の施策

回答を順位別に集計し、1位を3点、2位を2点、3位を1点とみなして点数化すると図7.12のようになった。（キ）を選択した県は無かった。

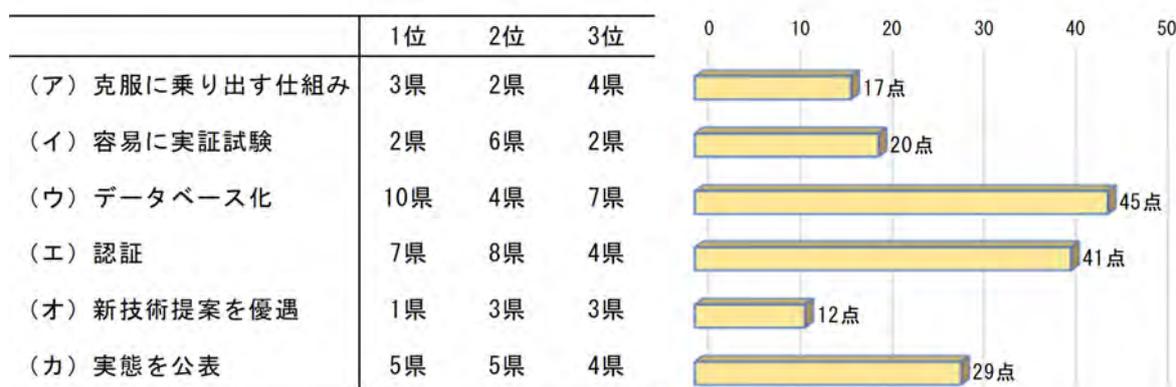


図 7.12 今後特に実現すべきと思われる施策

[自由記入]

- \* 地方自治体が実施する公共工事において、設計手法が基準化されていない新技術を採用するのは現実的に難しい。実用化に向けた効果などの検証は民間企業が行うのが現実的、地方自治体の公共予算を検証に使用することは難しい。
- \* 国土交通省の新技術情報共有システム（NETIS）のようなものがあればよい。
- \* 施策的に新技術を導入しなければ、委託業務の際に検討・選択することは少ない。

「質問7 新技術導入の促進についてのアイデア」への回答

- \* 港湾事業と情報共有、共同技術開発。
- \* 技術開発とセットで標準歩掛（案）の作成に努める。こうすることにより経済性の観点からも導入に向けた検討を加えやすい。
- \* 新技術を用いた事例発表会の開催。インターネットの情報だけでなく、実際に活用した事例の発表を聞いて、気を付ける点や工夫を要する点などを聞きたい。

「質問8 公共事業へ新しい技術の導入を促進する事業や制度」への回答

16 県から 18 件の回答があった。すべての回答を表 7.2 に示す。

このうち◎印を付した3つの事業や制度は、オリジナリティが高く、水産基盤整備事業への新技術導入施策を検討するうえで特に参考となることから、次項「(3) 情報収集」の中で解説を行う。

表 7.2 公共事業へ新しい技術の導入を促進する事業や制度

県名	事業・制度名
岩手	岩手県新技術等活用促進事業
山形	建設やまがた県産技術活用支援事業 ※募集中止
茨城	建設工事における新技術等の活用促進のための実施要領
茨城	茨城県土木部が発注するICT活用モデル工事（土工）の実施要領
神奈川	環境農政局の公共工事に関する情報提供
神奈川	県土整備局の総合評価方式、プロポーザル方式
新潟	Made in 新潟新技術普及・活用制度
富山	富山県建設優良工事表彰
石川	石川県建設新技術認定・活用制度
福井	チャレンジ発注推進事業
兵庫	ひょうごの土木技術活用システム
鳥取	鳥取県新技術・新工法活用システム
島根	◎「しまね・ハツ・建設ブランド」登録制度
広島	◎広島県長寿命化計画活用制度
長崎	新技術・新工法・新製品等の提案に関する要領
熊本	熊本県新技術・新工法活用促進支援
宮崎	宮崎県新技術活用促進システム
鹿児島	◎トライアル発注制度

（注）県のみならず県の外郭団体による事業・取り組みも含まれる。  
情報の提供先を県担当者限定している事例もある。

### （３）情報収集

#### （ア）国土交通省の新技術活用システム

国土交通省では新技術の峻別による有用な新技術の活用促進と技術のスパイラルアップを目的とした「公共工事等における新技術活用システム」を平成18年8月から本格運用している。

漁港漁場への新技術導入施策の検討の参考とするため、公開されている資料<sup>1,2)</sup>を調査して同システムの要点を整理した。その結果を以下に示す。

「公共工事等における新技術活用システム」では、新技術情報提供システム（NETIS）

を中核とする新技術情報の収集と共有化、直轄工事等での活用導入の手続き、交換の検証・評価、さらなる改良と技術開発という一連の流れが体系化されている。当システムの活用方式として、下記の5つが設定されている。

- ①試行申請型 : 成立性を確認する必要がある新技術を対象に、民間からの申請に応じて試行及び事後評価を行うタイプ。
- ②フィールド提供型 : 現場ニーズ等により民間から新技術の募集を行って、フィールドを提供し、事後評価を行うタイプ。
- ③施工者希望型 : 自社の請負工事等において、請負者の申請により活用し、事後評価を行うタイプ。
- ④テーマ設定型（技術公募） : 現場ニーズ・行政ニーズ等により民間から新技術の募集を行って、公示等の発注にあたり発注者が新技術を指定し活用して、事後評価を行うタイプ。平成26年に新設。
- ⑤発注者指定型 : 直轄における現場ニーズ・行政ニーズにより、必要となる新技術を発注者の指定により活用し、事後評価を行うタイプ。

上記のうち①②④では、新技術が申請・応募され受理されると、地方整備局等に設置され、産学官で構成される「新技術活用評価会議」で事前審査され、試行調査の場所、方法、調査方法について確認・承認がなされると、直轄事業の発注業務の中で試行される。③では、発注者による確認又は承認（入札方式によって手順は異なる）を得た後に直轄事業の発注業務の中で試行される。①②③④とも、試行結果を踏まえ、「新技術活用評価会議」で、技術の成立性や技術特性について事後評価がなされる。

⑤の場合、直轄事業の発注業務の中で試行されたら、その試行結果を踏まえ、「新技術活用評価会議」で、技術の成立性や技術特性について事後評価がなされる。

新技術情報提供システム（NETIS）に掲載される情報は、申請情報と評価情報から成るが、その評価情報として、「新技術活用評価会議」による事前審査、事後評価結果に関する情報等が掲載される。

なお、④においてこれまでに設定された技術テーマには「コンクリートのひび割れを遠方より検出できる技術」「表面に凹凸がある護岸背面の空洞化を調査する技術」「鉄筋コンクリートならびにプレストレストコンクリートのかぶり部における塩化物イオン含有量の非破壊、微破壊調査が可能な技術」等がある。

#### （イ）他の公共事業における取組み

下水道事業に係る新技術導入促進施策について地方共同法人日本下水道事業団の担当者に聞き取った結果および、港湾事業に係る新技術導入施策について一般財団法人沿岸技術研究センターの担当者に聞き取った。

聞き取りの詳細を資料編 資料-3 に示し、その要約を以下に示す。

\* 日本下水道事業団の取組み

地方共同法人日本下水道事業団は、日本下水道事業団設置法に基づき設立された組織であり、所掌業務のひとつに「下水道に関する技術開発及び実用化のための試験研究等」がある。

同事業団では、この所掌業務に対応するものとして、下水道に係る新技術の新規性、有用性、市場性等の観点から審査して選定する「新技術導入制度」を実施している。

また、同事業団では「共同研究制度」を実施している。企業等が開発した新技術については、共同研究制度でフィールド試験等を実施の後、新技術導入制度による審査、選定がなされている。

さらに、新技術導入制度に基づき審査、選定された技術について、同事業団は当該技術の案件形成を進めることとしている。

このように、同事業団の取り組みは、新技術の審査・選定を中核とし、その前段階と後段階を含めた一連のフローを構成して、実用化への道筋を設けていることに独自性がみられる。

#### \* 沿岸技術研究センターの取り組み

一般財団法人沿岸技術研究センターは、民間で開発された技術を確認審査・評価して具体的な事業に活用されやすい環境を整えることを目的とした「民間技術確認審査・評価事業」を実施している。

また、同事業団では、技術情報の有効活用と普及を図るため、沿岸センターの自主研究、共同研究の成果等に基づき、設計・施工、維持管理、防災等に関する各種の指針や手引書等を作成、発刊する「出版物刊行等事業」を実施している。

さらに、同事業団では、港湾法および港湾法施行規則に定められた対象施設のうち、公共安全その他公益上の影響が著しく、かつ国土交通大臣が定めた設計方法によらずに設計を行おうとする場合、技術基準との適合性を確認する「港湾の施設の技術基準適合性確認事業」を実施している。これは新技術の導入促進そのものを目的とした事業ではないが、新技術の利用を推進する効果も副次的に有していると考えられる。

沿岸技術研究センターの上記の業務のうち、「民間技術評価事業」は漁港漁場整備事業においても一般社団法人漁港漁場新技術研究会が同様な事業を実施している。

一方、新技術に係る出版物の継続的な刊行と、技術基準への適合性確認の明確な体制のもとでの実施は、漁港漁場整備事業の関連団体には見られない取り組みである。

#### (ウ) 地方公共団体における取り組み

(2) で示した都道府県向けアンケートのうち、県の新技術促進施策を問う設問(質問8)に、16県から18件の回答があった。そのうち独自性が高いと思われる3つの事業や制度について、県のホームページを閲覧して詳細な情報を収集した。その結果を以下に示す。

＊島根県「しまね・ハツ・建設ブランド」登録制度

(概要) 県内の事業者等が開発した新工法及び新製品を登録し、利活用と全国市場への展開の促進を図る制度。「登録技術」「推奨技術」「実証フィールド工事対象技術」のいずれかに判定されて登録される。登録された技術は、インターネット上で、技術情報、過去の実績、単価・歩掛が公開されている。また、「実証フィールド工事対象技術」を実際の工事において使用し、「技術の成立性」及び「公共工事等への適用性」を確認することを目的として、「しまね・ハツ・建設ブランド実証フィールド工事実施要領」が制定されている。

＊広島県 広島県長寿命化計画活用制度

(概要) 維持管理に関する新技術の開発・導入、既存技術や他分野の技術の有効活用を推進する制度。申請された技術は、区分1「活用するには改良が必要な技術」、区分2「試験施工で効果を確認することが必要な技術」区分3「活用促進を図る技術」の3区分に評価され、区分2と区分3については広島県ホームページに情報を掲載して、維持・修繕等に関する公共事業への活用を推進する。また、区分2のうち試験施工対象技術として指定した技術には実証フィールドを提供するという。

＊鹿児島県 トライアル発注制度

(概要) 県内の中小企業等の振興を促進するため、県内に本社・本店を有する中小企業等が開発した製品等について、県の機関が試験的に発注し、販路の開拓や受注機会の拡大を図る制度。この制度を利用した発注は1回限りとし、選定された製品と使用後の評価を県のホームページ等で公表している。制度の利用実績としてはオフィス用品、照明器具等が多いが、舗装、造園技術など土木関連製品の実績もある。

(エ) 他事業等の施策の趣旨とメリットの整理

(ア～ウ) に示した施策について、その趣旨を6種類に分類して表7.3に示す。同表には企業側と事業主体側に及ぼすメリットを考察して併記している。

なお、同表で参考事例に挙げたのは他事業を対象とした事業・制度であり、直轄事業を対象としているものも含まれる。また、漁港漁場整備事業と比較すると事業規模に違いがあるものもある。そのため、同表のような趣旨の事業を漁港漁場整備事業に導入するには、漁港漁場整備事業の特徴を考慮に入れた制度設計や実施体制の検討が必要となる。

表 7.3 他省庁や県による新技術導入促進施策の趣旨とメリット

趣旨	参考事例	企業側のメリット	事業主体側のメリット
現場での試行	公共工事等における新技術活用システム（国土交通省） 共同研究制度（日本下水道事業団） 実証フィールド工事（島根県） 実証フィールド提供（広島県） トライアル発注（鹿児島県）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 試行結果に基づき、技術的な課題の洗い出しと改良ができる。</li> <li>・ 良好な結果であれば対外的なピーアール材料にもなる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 新技術の事業への適用可否やメリットデメリットを、実例を通じて直接知ることができる。</li> </ul>
新技術の登録制度	新技術情報提供システム（NETIS）（国土交通省） 新技術データベース（日本下水道事業団） 新技術登録制度・ホームページ掲載（島根県・広島県・鹿児島県）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 全国の事業主体から技術情報を参照できるようになり、採用が検討される案件が増えることが期待できる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 多くの新技術の内容を一括して閲覧でき、効果や適用条件等の比較が容易になる。</li> </ul>
技術資料の出版	出版物刊行等事業（沿岸センター）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 新技術の知見が一冊にまとまり対外説明が容易になる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 新技術について、適用対象・設計・施工方法などの全体把握が容易になる。</li> </ul>
積算資料の公表	単価・歩掛をホームページに掲載（島根県）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 全国の事業主体から積算資料を参照できるようになり、採用が検討される案件が増えることが期待できる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 新技術の事業への適用を検討する際に、コストの概略検討が可能になる。</li> </ul>
案件形成	選定された技術の案件形成を進める（日本下水道事業団）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 新技術を生かせる現場が見つかりやすくなる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 新技術の有用性や適用性について、仲介する団体からの第三者的な評価</li> <li>・ 見解を知ることができる。</li> </ul>
事業へ導入時の第三者評価	公共工事等における新技術活用システム（国土交通省） 港湾の施設の技術基準適合性確認事業（沿岸センター）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 良好な評価が得られれば、導入の妥当性に客観的な保証を得たことになる。</li> <li>・ 良好な評価は他の事業主体へのピーアールにもなる。</li> <li>・ 注意点などの指摘を、のちの技術改良に生かせる可能性がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 評価結果に基づいて、新技術の事業への適用可否や注意点が分かる。</li> <li>・ 評価結果を、監督官庁や納税者等への説明に使用できる。</li> </ul>

#### (4) アンケート結果の整理

本項では、(1) 企業向けアンケートと(2) 事業主体向けアンケートで得られた意見や要望を分類し、これに(3) 情報収集で得られた情報を加味して、次章の新技术導入施策の検討に役立つように整理を行う。

アンケートの回答を次のように整理する。まず、企業からの回答から、「新技术導入への障害」及び「事業主体に対する要望」に類する意見を整理する。次に、事業主体からの回答から、「新技术導入の前提条件」に類する意見を整理する。次に、新技术導入を促進する制度についての具体的な意見を、事業主体と企業の意見を対比させて、「試験的な事業制度」「場所の提供」等の項目別に整理する。

なお、アンケートでは一つの質問にも多様な視点からの回答が寄せられたことから、質問と下記の項目との対応は一対一とは限らない。一つの質問に集まった複数の回答を、内容に応じて複数の項目に振り分けている。

まず、企業向けアンケート調査に寄せられた意見のうち、「新技术導入への障害」と「事業主体に対する要望」に類する意見を整理して表 7.4 に示す。

「新技术導入への障害」は企業向けアンケートの質問 2-②と 2-③の回答から、「事業主体に対する要望」は質問 2-③と 3-②の回答から、それぞれ抜粋して整理したものである。「障害」には、新技术の基準類が未確立なこと、既存技術を前提とした発注がなされていること等、多様な意見が挙げられた。「要望」には、考え方の転換を求める意見が挙げられた。

企業の意見のうち、制度に対する具体的な要望や提案については本表に記さず、事業主体の回答と対比させて後述の表 7.6 に整理する。

表 7.4 企業からの意見

項目	企業からの意見
新技术導入への障害	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 仕様や価格の設定が”前例主義”になっており、採用実績が多い技術のほうが採用されやすい</li> <li>* 評価が費用(初期費用)に基づいており、初期費用が既存技術よりも高価な新技术が採用されにくい</li> <li>* 新技术の設計・積算等の基準が確立されていない</li> <li>* 事業主体側に新技术活用のインセンティブが無い</li> <li>* 設計参考図書に掲載されていない新工法を事業主体や設計者が敬遠する</li> <li>* 事業主体が、会計検査で指摘されることを懸念して、新技术導入に伴う費用増額を敬遠する</li> <li>* 試験事業や水理模型実験が補助で認められない</li> </ul>
事業主体に対する要望	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 仕様や価格の設定の”前例主義”からの脱却</li> <li>* 「実績がない」の一言で終わらせない考え方への転換</li> </ul>

次に、新技术導入の前提条件として事業主体から寄せられた意見を表 7.5 に示す。これは事業主体向けアンケートの質問 1、5 及び 6 の回答から抜粋して整理したものである。

事業主体からは、新技术の効果やメリットを評価する基準として、標準的な評価基

準（「経済性」や「費用対効果」）のほかに、「ライフサイクルコストを含む評価」「構造や機能の優位性」「省力化」「工期短縮」といった、効果やメリットを積極的に評価できるような細目を導入する提案があった。

なお、事業主体の意見のうち、制度に対する具体的な要望や提案については本表に記さず、企業の回答と対比させて後述の表 7.6 に整理する。

また、表 7.4 と表 7.5 より、事業主体と企業の共通な意見として「会計検査対応」が挙がっており、新技術を導入した際の選定理由や積算根拠等を説明する必要性とその作業量の多さを、事業主体と企業の両方が認識していることが窺える。

表 7.5 事業主体からの意見

項目	事業主体からの意見
<p style="text-align: center;">新技術導入の 前提条件</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 新技術の導入は促進されるべきだが、既存技術と比べてメリットが明らかな場合のみ導入されるべき。（質問 1 で大勢を占めた回答）</li> <li>* ライフサイクルコストを含む経済的な有利性が必要。</li> <li>* 検討・選択の対象とするためには、新技術導入を促す施策が必要。</li> <li>* 施工事例を通じて、コスト、効果等の定量的な検証が必要。</li> <li>* 既存技術と比較し、その効果やメリットの評価が必要。（構造や機能の優位性、省力化、工期短縮、経済性、費用対効果の観点など）</li> <li>* 会計検査対応が必要。</li> </ul>

次に、水産基盤整備事業への新技術の導入に関する具体的な要望や提案を、企業と事業主体とを対比させて整理し、表 7.6 に示す。

表 7.6 の「試験的な事業制度」は、事業主体向けアンケートの質問 2、6 の回答と、企業向けアンケートの質問 3①、3②、4 の回答から抜粋して整理したものである。事業主体は、「技術活用パイロット事業」や「モデル事業」の制度は現行のままで良いとする意見が多かったが、新技術導入のためには施策的な取り組みが必要との意見もあった。一方、企業からは、制度の適用の拡大・容易化を求める意見や、事業主体と企業の共同の技術開発を求める意見があった。なお、表 7.3 には、共同での技術開発の取り組みとして、日本下水道事業団における企業との共同研究制度を挙げている。

表 7.6 の「場所の提供」は、企業向けアンケートの質問 3①、3②の回答から抜粋したものである。上述の表 7.3 には、他省庁や県における、フィールドの提供に類する取り組みを挙げている。

表 7.6 の「技術の評価制度」は、事業主体向けアンケートの質問 1、6 の回答と、企業向けアンケートの質問 3①、3②の回答から抜粋して整理したものである。事業に新技術を導入した場合の建設コストや技術的な優位性の程度について、公的機関や第三者機関による評価制度を通じて適切な評価がなされることが望まれている。また、事業において、初期費用だけの比較ではなく、工期短縮効果やライフサイクルコストなども含めた総合的な評価の必要性が指摘されている。

表 7.6 の「加算制度」は、企業向けアンケートの質問 3①、3②の回答から抜粋して整理

したものである。ここに挙げた意見は、新技術が、上述の「技術の評価制度」によって優位性を評価された後、当該技術を事業へ適用する場合に加点を望む意見であると解釈できる。

表 7.6 の「技術情報の公開」は、事業主体向けアンケートの質問 5、6、7 の回答と、企業向けアンケートの質問 3②、4 の回答から抜粋して整理したものである。公開されるべき情報として、新技術の設計・施工方法、積算手法、維持管理手法、現場との適合性、施工事例の実状とその後の経過等が挙げた。これらは表 7.3 に示した「新技術の登録制度」「技術資料の出版」「積算資料の公表」と似た内容となっている。また、事業主体から、新技術活用事例の発表会を開催するアイデアも挙げられている。

表 7.6 の「その他」は、企業向けアンケートの質問 4 の回答からの抜粋である。原形復旧が原則となる災害復旧事業において、再度の被災を防止する効果が期待される新技術の導入を検討対象とする提案が挙げた。

水産基盤整備事業では既に「技術活用パイロット事業」や「モデル事業」が制定されている。表 7.6 より、新技術の利用を拡大させるには、それらの事業を活用しつつも、新技術の開発から普及に至る種々のフェーズ（技術シーズと現場ニーズのすり合わせ、現場での試行、試行結果の評価、情報の公開等）に対応した、より具体的な施策の必要性が窺える。

表 7.6 新技術導入を促進する制度についての意見

項目	事業主体からの意見	企業からの意見
試験的な事業制度	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 「技術活用パイロット事業、モデル事業」の制度はこのままでよい</li> <li>* 委託業務の際に検討・選択されるためには、新技術導入に向けた施策的な取組みが必要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 新技術導入にチャレンジする制度や試行工事などの事業を設ける</li> <li>* 事業主体がテーマ毎に新技術の試行工事を発注する仕組みを構築する</li> <li>* 事業主体と企業の共同で新技術開発に取り組む</li> <li>* 新技術提案を求める発注制度を設ける</li> <li>* 試験事業の適用の拡大・容易化を図る</li> </ul>
場所の提供		<ul style="list-style-type: none"> <li>* 試験フィールド等の貸与制度を設ける</li> </ul>
技術の評価制度	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 公的機関が有用性、安全性、経済性などの観点から審査して優れたものに認証を与える制度を設ける</li> <li>* 初期費用だけの比較ではなく、工期短縮やライフサイクルコストの節減効果なども含めた総合的な評価を行う</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 第三者機関の評価制度を活用する</li> <li>* 試験施工等によりコストダウンや技術の優位性を確認できた新技術を従来技術と同等に採用できる制度を設ける</li> </ul>
加点制度		<ul style="list-style-type: none"> <li>* 新技術活用を促す加点制度を導入する（設計段階から）</li> <li>* 新技術を導入した施工業者への評価（加点）制度を導入する</li> </ul>
技術情報の公開	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 新技術を適用した事業について、施工中の状況やその後の経過等、実態を詳細に公表する仕組みを設ける</li> <li>* 新技術を用いた事例発表会を開催して、事業主体が活用事例の情報を得られるようにする</li> <li>* さまざまな新技術の情報をデータベース化してインターネットで公開する（国土交通省の NETIS のようなもの）</li> <li>* 技術情報を示す（設計計算・施工方法の基準や技術資料、標準歩掛・積算資料、維持管理・メンテナンスの方法と費用、現場条件との適合性に関する情報、施工事例の情報、採用における注意事項）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* WEBを通じて新技術の実績やメリット、評価を公表する</li> <li>* 省庁を横断してデータベースを活用する</li> </ul>
その他		<ul style="list-style-type: none"> <li>* 既存技術の構造物が被災した場合、同様な被災が起こらないよう、復旧する構造は新技術の採用を含めて検討する</li> </ul>

## VI. 考察

本章では、現場のニーズに対応する新技術が開発され、実際の事業で新技術が試用され、一般事業へ活用されるまでの過程を示したのち、アンケートで得られた意見を踏まえて、漁港漁場整備事業への新技術導入を促進する具体的な施策の案を示す。

水産基盤整備事業にはすでに「技術活用パイロット事業」「モデル事業」の制度が存在しており、今後も新技術導入の際にはこれらの事業を大きな枠組みとして位置付けて活用することが期待される。そこで、本章では「モデル事業」を適用することを前提として、「モデル事業」実施中に同事業の進展をサポートする施策ならびに、「モデル事業」の前段階および後段階でなされることが望まれる施策を検討した。

まず、開発中の新技術が汎用的に使用されるまでの過程を大括りにフェーズに分けて整理して、施策を提案するための枠組みとする。図 7.13 に、開発中の新技術が一般化されるまでの過程を 6 つのフェーズで示す。

### 実用化への 進展の度合

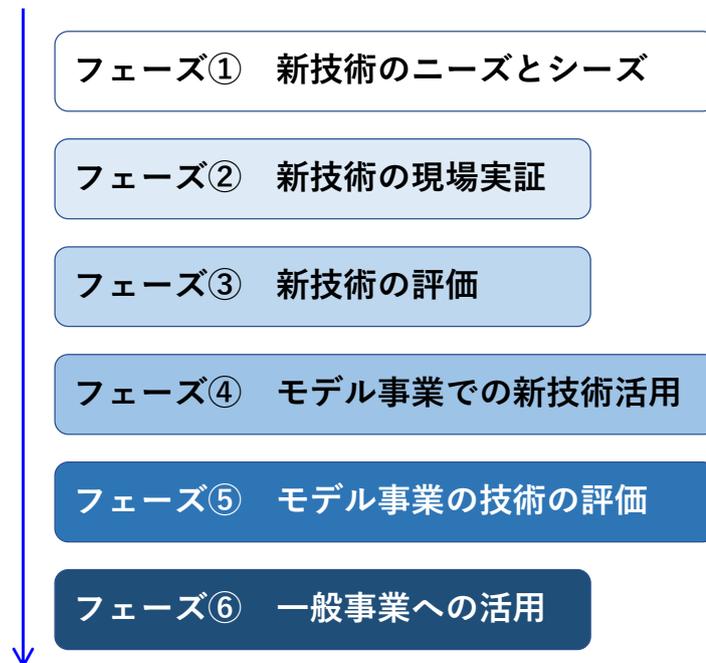


図 7.13 新技術の実用化が進む過程

図 7.13 の各フェーズは次のような意味を持つ。

【フェーズ①】：新技術のニーズとシーズ

企業が現在開発中の技術について、事業主体のニーズをもとに、漁港漁場整備事業で使える技術として成熟度を高めていくフェーズ。

【フェーズ②】：新技術の現場実証

新技術の実用化のための現地における試験施工や実証試験を実施するフェーズ。

【フェーズ③】：新技術の評価

事業主体が新技術を採用しやすいように設計・施工の技術的資料、積算の事務資料を整備し、ライフサイクル全体を見据えた維持管理のコストを明らかにし、国や自治体内からの各種の監査に耐えられるよう、有利性を客観的に評価するフェーズ。

【フェーズ④】：モデル事業での新技術活用

実用化の目途が立ち、技術的評価がされた新技術については、モデル事業などにより活用するフェーズ。

【フェーズ⑤】：モデル事業の技術の評価

モデル事業により実際に採用した事業主体による評価結果や、設計・施工を通じて発生した課題・問題点とその解決策などのノウハウを、蓄積して後に生かすフェーズ。

【フェーズ⑥】：一般事業への活用

新技術の一般事業への活用を促進・拡大するフェーズ。

上記のフェーズを素地として、漁港漁場整備事業への新技術導入促進に係る改善の方向性を表 7.7 に整理した。

同表ではまず、アンケートで得られた企業及び事業主体の意見を踏まえ、漁港漁場整備事業への新技術導入に関する「現状の問題点」をフェーズ別に整理した。

そして、地方自治体や他事業で実施されている制度や取り組みを参考として、今後漁港漁場整備事業への新技術導入のために行政機関や関係機関において実施を検討すべき施策を、「改善の方向性」としてフェーズ別に整理した。

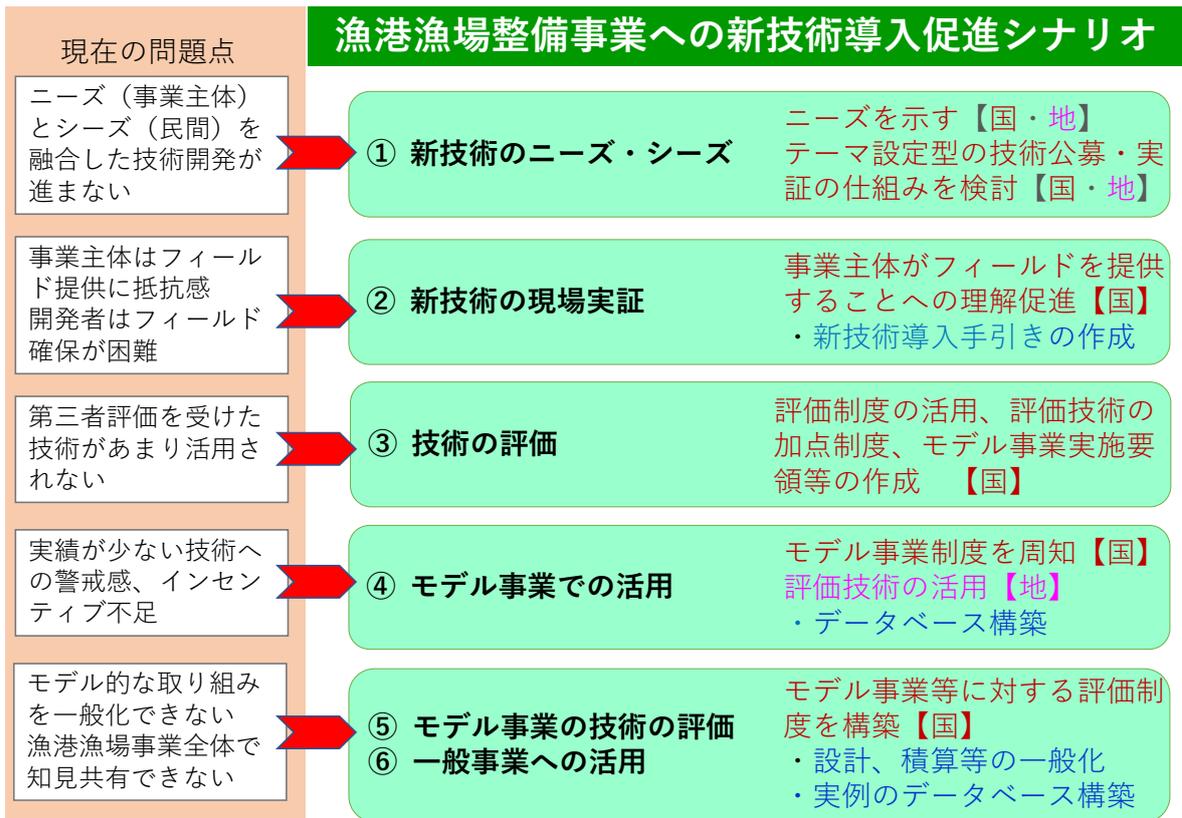
表 7.7 漁港漁場整備事業への新技術導入促進に係る改善の方向性（その1）

	現状の問題点	改善の方向性（案）
① 新技術のニーズ・シーズ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・事業主体側のニーズが十分に民間等開発者に伝わっていない。</li> <li>・ニーズ（事業主体）とシーズ（民間）が合致していない。</li> <li>・事業主体が抱える課題・問題に企業が技術開発に乗り出す仕組みがない。</li> </ul>	<p><b>（既往の取組み）</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・水産庁「漁港漁場整備事業の推進に関する技術開発の方向」<sup>3)</sup></li> <li>・水産工学研究所「『漁港漁場整備の推進に向けた技術開発テーマと問題解決の方向性』アンケート」<sup>4)</sup></li> </ul> <p style="text-align: center;">↓</p> <p><b>（改善の方向性）</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・事業主体のニーズを提示する。</li> <li>・テーマ設定型の技術公募・実証の仕組みを検討する。（国、地方の双方の体制）</li> </ul> <p>【参考】国交省「テーマ設定型実証」</p>
② 新技術の現場実証	<ul style="list-style-type: none"> <li>・開発者が新技術を実証するフィールドを確保することが困難。</li> <li>・事業主体側でのフィールド提供等に抵抗感、手続きが面倒との意識。</li> </ul>	<p><b>（既往の取組み）</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・北海道（冬島漁港）、千葉県（銚子漁港）では民間に対して漁港施設や水域の一部を提供。</li> </ul> <p style="text-align: center;">↓</p> <p><b>（改善の方向性）</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・事業主体が実証フィールドを提供できることへの理解を促進する。</li> <li>・理解促進のため、新技術活用促進の手引きを作成して事業主体への周知を図る。</li> </ul>
③ 技術の評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>・第三者評価機関（新技術研究会等）で評価を受けた技術があまり活用されない。</li> <li>・機関等の評価を受けた新技術であっても、実際の事業に適用するには評価の確実性が心配。</li> <li>・モデル事業の対象となる技術レベルが明確に規定されていない。</li> </ul>	<p><b>（既往の取組み）</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・新技術の認証・評価制度として、新技術研究会による制度等が運用されている。</li> <li>・モデル事業が制度化されている。しかし活用対象となる技術は事業主体の判断に委ねられており、その技術段階等の目安等は無い。</li> </ul> <p style="text-align: center;">↓</p> <p><b>（改善の方向性）</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・漁港漁場整備事業のモデル事業等で活用対象となる技術の範囲を明示する。</li> <li>・モデル事業等の実施要領等を作成する。</li> </ul>

表 7.7 漁港漁場整備事業への新技術導入促進に係る改善の方向性（その2）

	現状の問題点	改善の方向性（案）
④ モデル事業での活用	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実績がない技術を活用することに対する警戒感がある。</li> <li>・事業主体側の担当者にイニシャルコストを重視する意識、会計検査への心配等があり、新技術活用のインセンティブが働かない。</li> <li>・新技術の概要、効果、実績等のPRが乏しい。</li> <li>・事業主体がモデル事業等の制度をよく知らない。</li> </ul>	<p><b>（既往の取組み）</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・モデル事業等が制度化されている。しかし活用実績がほとんどない状況。</li> </ul> <p style="text-align: center;">↓</p> <p><b>（改善の方向性）</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・モデル事業等の制度を周知する。</li> <li>・新技術の概要、効果、実績等を情報提供するデータベースを構築する。</li> <li>・発注方法を工夫して、新技術の効果等に対する評価が遺漏なく行われるようにする。</li> </ul>
⑤ モデル事業の技術の評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>・モデル事業の制度で実施された事業が評価される仕組みがない。</li> <li>・モデル的に取り組まれた事業の効果等を評価して技術を一般化させていくスキームがない。</li> <li>・モデル的な調査や事業の評価結果が、他の事業主体や国と共有されていない。</li> </ul>	<p><b>（既往の取組み）</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・自然調査型漁港づくり、サンドバイパス、木材魚礁など、数々のモデル的な調査や事業が実施されている。</li> <li>・モデル的な調査の結果や事業の効果は、個々の事業主体において評価される。</li> </ul> <p style="text-align: center;">↓</p> <p><b>（改善の方向性）</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・水産庁において、モデル事業等（国費も投入して試行する技術を主とする）に対する評価制度を構築する。この中で設計、積算等の一般化を図る。</li> <li>・全国のモデル的な調査や事業のデータベースを構築する。</li> </ul>
⑥ 一般事業への活用	<ul style="list-style-type: none"> <li>・効果が確認された技術であっても設計、積算等の基準が未整備で、事業主体側に活用へのインセンティブが働かない。</li> <li>・技術の実績、効果等の情報が一元的に集まっていない。</li> </ul>	

また、表 7.7 の内容を要約し、フェーズ毎に、現状の問題点、新技術導入を促進するうえで中心となる取組みと想定される実施主体（国、地方公共団体）、付随する取組みをまとめ、新技術導入促進シナリオ（案）として図 7.14 に示す。



色分け：【国の取組み】 【地方公共団体の取組み】 付随する取組み

図 7.14 漁港漁場整備事業への新技術導入促進シナリオ（案）

図 7.14 に示すように、水産庁がすでに定めている「モデル事業」等の制度を主軸としつつ、同事業を実施しやすくする施策（実施要領の作成、評価された制度の加点制度の整備等）を講ずるとともに、前段階の施策（事業主体のニーズを明らかにしたうえで企業のシーズ技術を評価するテーマ設定型技術公募など）および後段階の施策（設計、積算等の一般化、実例データベースの構築など）を整えることで、漁港漁場整備への新技術導入が加速するものと考えられる。

## VII. 摘要

- ・漁港漁場整備の効率化、質的向上及び新たな事業展開のために、種々の技術開発の成果を現場に適用していくことが求められている。しかし、新技術の公共事業への導入には、事業主体の担当者が技術の信頼性を判断しづらい等、いくつかの障壁が存在している。そこで、漁港漁場整備事業への新技術の導入を促進する施策（制度や仕組み）を検討した。
- ・漁港漁場事業に関係する施工会社やメーカー等の企業へアンケートを行い、新技術導入のための施策（制度や仕組み）の現状の課題点と、今後のあり方について、企業側の考えを把握した。
- ・漁港漁場整備事業の事業主体である都道府県へアンケートを行い、新技術導入のための施策（制度や仕組み）の現状の課題点と、今後のあり方について、事業主体側の考えを把握した。
- ・新技術導入の促進を目的として国、地方公共団体等が実施している施策や取組みの事例を収集、整理した。
- ・企業の意見と事業主体の意見を突き合わせ、漁港漁場整備事業への新技術導入について現在の問題点を整理した。その整理を踏まえ、既存の施策や取組みの事例を参考にして、漁港漁場整備事業への新技術導入促進のため国、関連法人等が今後講ずることが望まれる方策として、実証フィールド提供への理解促進、モデル事業実施要領の作成、モデル事業に対する評価制度の構築等を抽出し、漁港漁場整備事業への新技術導入促進策の案を示した。

## Ⅷ. 引用・参考文献

- 1) 国土交通省パンフレット：「公共工事等における新技術活用システム NETIS 登録までの手続きと活用方法」  
<http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/NewIndex.asp>
- 2) 国土交通省ホームページ：NETIS 維持管理支援サイト  
<http://www.m-netis.mlit.go.jp/theme-koubo/?prev=1>
- 3) 水産庁：漁港漁場整備事業の推進に関する技術開発の方向，2017年.  
<http://www.jfa.maff.go.jp/j/press/seibi/170612.html>
- 4) 国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産工学研究所：平成29年度水産工学関係研究開発推進会議水産基盤部会報告書，pp.23-56，2018年.  
<http://nrife.fra.affrc.go.jp/kaigi/H29suisankiban.pdf>

資料編

資料-1 企業に対するアンケート

1. アンケート配布先

(一社) 漁港漁場新技術研究会会員全企業 68 社

分野	数	会社名	
マリコン	1	五洋建設株式会社	
	2	東亜建設工業株式会社	
	3	東洋建設株式会社	
	4	日特建設株式会社	
	5	若築建設株式会社	
鉄鋼	6	エム・エム プリッジ株式会社	
	7	JFEエンジニアリング株式会社	
	8	JFEスチール株式会社	
	9	神鋼建材工業株式会社	
	10	新日鐵住金株式会社	
	11	新日鐵住金エンジニアリング株式会社	
造船	12	株式会社大島造船所	
	13	株式会社名村造船所	
	14	日立造船株式会社	
	15	三井E&S鉄構エンジニアリング株式会社	
	16	ヤンマー造船株式会社	
ブロック・漁礁メーカー	17	岡部株式会社	
	18	株式会社海中景観研究所	
	19	海洋建設株式会社	
	20	海洋土木株式会社	
	21	技研興業株式会社	
	22	木曾興業株式会社	
	23	株式会社三基	
	24	三省水工株式会社	
	25	株式会社 三柱	
	26	株式会社チスイ	
	27	東洋水研株式会社	
	28	株式会社中山製鋼所	
	29	日建工学株式会社	
	30	日本コーケン株式会社	
	31	日本リーフ株式会社	
	32	株式会社不動テトラ	
	33	菱和コンクリート株式会社	
防舷材・ゴム・マット	34	シバタ工業株式会社	
	35	住友ゴム工業株式会社	
	36	西武ポリマ化成株式会社	
	37	日本海上工事株式会社	
	38	株式会社プリチストン	
	39	株式会社明治ゴム化成	
	防食関係	40	株式会社ナカボーテック
		41	日鉄住金防蝕株式会社
		42	日本防蝕工業株式会社
	ボンツーン	43	ゼニヤ海洋サービス株式会社
		44	株式会社モルテン
		45	ヤマハ発動機株式会社
		46	ヤンマー船用システム株式会社
	木資	アースアンカー	47 株式会社エスイー
		パイプ	48 弘和産業株式会社
コンクリート系		49 株式会社クボタケミックス	
衛生管理	床材	50 太平洋マテリアル株式会社	
	シャッター	51 株式会社エービーシー商会	
防災	避難タワー	52 三和シャッター工業株式会社	
	リサ	53 フジワラ産業株式会社	
再生エネルギー	ガラス・陶器	54 ガラスリソーシング株式会社	
		55 電源開発株式会社	
		56 古河電気工業株式会社	
情報通信・計測		57 日本無線株式会社	
		58 富士通株式会社	
		59 凸版印刷株式会社	
コンサルタント		60 株式会社アルファ水工コンサルタンツ	
		61 株式会社エコー	
		62 三洋テクノマリン株式会社	
		63 株式会社センク21	
		64 株式会社データ設計	
		65 日本海洋コンサルタント株式会社	
		66 株式会社日本港湾コンサルタント	
		67 パシフィックコンサルタンツ株式会社	
		68 復建調査設計株式会社	

## 2. アンケートの内容

### アンケート用紙

平成30年9月7日

(一社) 漁港漁場新技術研究会 会員企業  
ご担当者様

水産庁漁港漁場整備部整備課  
設計班長 不動 雅之  
(一社) 漁港漁場新技術研究会  
会長 橋本 牧

#### 漁港漁場整備事業への新技術の導入に係るアンケート調査へのご協力をお願い

貴社ますますご盛栄のこととお喜び申し上げます。

平素は格別のご高配を賜り厚くお礼申し上げます。

さて、水産庁では、平成30年度水産基盤整備調査委託事業「漁港漁場施設の設計手法の高度化検討調査」の一環として「漁港漁場整備への新技術導入促進方策の検討」を進めています。(一社) 漁港漁場新技術研究会は、水産工学研究所と共同でこの調査を担当しております。

技術開発の成果を現場に適用していくことは、事業の効率化・質的向上及び新たな事業展開のために非常に重要となっています。一方、公共事業において実績の少ない工法・製品など、新たな技術の導入について、事業主体の担当者にとっては情報収集や技術の信頼性の判断などが容易ではない事から、新たな技術の事業への導入が進まない傾向がみられます。

本調査は、公共事業への新技術導入促進を目的とした種々の施策とその実績を調査し、制度やその運用の仕組みの特性を整理するとともに、それら施策のあり方に対する企業側の考えも把握して、漁港漁場整備事業への新技術の導入を促進するために今後必要な制度や仕組みを検討し、提案するものであります。

このたび、(一社) 漁港漁場新技術研究会の会員企業の皆様に、新技術開発の取り組みや、皆様がお持ちの新技術、それらの技術の事業への適用に当たっての障害、新技術の適用について事業主体への要望等につきまして、ご意見をお聞かせいただくべく、アンケート形式で調査をさせて頂きたくと致しました。

大変ご面倒をおかけしますが、ご協力の程よろしくお願い申し上げます。

#### 【新技術の定義】

ここでの新技術とは以下のように定義し、水産公共関連事業（漁港・漁場・漁村及び海岸等に係る事業計画・調査、構造、材料、施工、維持管理等）に利用若しくは、活用できると考えられるものを対象としております。

- ① 設計手法等が、基準化されていない技術
- ② 実績や適用例が無い、もしくは少ない技術

## 漁港漁場整備事業への新技術の導入に係るアンケート

- \* 技術開発中で、具体的な回答を控えたい場合は、回答できる範囲でご記入ください。
- \* 回答は、回答用エクセルファイルに入力願います。

### 1. 新技術に係る取り組みの現状

#### 1. 1 お手持ちの新技術について

水産公共関連事業に利活用できるとお考えの新技術をお持ちであればご紹介下さい。

- ① 技術の名称
- ② 技術の分野（漁港・漁場・漁村・海岸、その他（具体的にお書き下さい。））
- ③ それはどのような開発段階ですか。

（回答例）

研究段階、数値計算実施、実験実施、現地試験実施、試作機制作、事業採択、他

- ④ 補足（技術に関するURLや、補足することが有りましたら、自由にお書き下さい。）

#### 1. 2 新技術に係る既存制度の活用

貴社がお持ちの新技術で、既に、何らかの制度での登録や認証されているものがありますか。

（有・無）

- ① 技術の名称
- ② 制度について
  - 制度の名称
  - 制度の管理運営団体名称
- ③ 登録や認証の時期

#### 1. 3 新技術の採用実績

事業に採用された、若しくは適用例がある技術についてお聞きます。

- ① 新技術が事業に採用された実績がありますか。（有・無）
  - 採用された技術の名称
  - 実施の時期
  - 事業名
  - 事業主体
  - 実施場所
- ② 採用に当たり制度等が活用されましたか。（はい、いいえ）
  - 活用された制度の名称

#### 1. 4 新技術の営業・広報活動の方法

開発した新技術の活用を広めていく営業・広報活動についてお聞きます。

営業・広報活動はどのような方法で実施されているでしょうか。

回答は、下記の例を参考にいただき、複数回答でも構いませんが、その場合、主たる活動を示して下さい。

又、主たる活動が明確にできない場合は、その旨回答願います。

(回答例)

- \* 国（水産庁）へ周知を図り、事業主体への活用を呼びかけてもらう
- \* 事業主体（都道府県）への説明会や営業。
- \* 施工業者への説明会や営業。
- \* コンサルタントへの説明会や営業。
- \* 専門誌や、業界紙に、掲載し問い合わせを待つ
- \* 自社や関連業界のサイトに掲載し、インターネット情報とする。
- \* 学会や講演会の場で積極的に発表する。
- \* その他

#### 2. 新技術の事業への導入についての問題点

① 新技術の実事業への導入について、障害となったことがありますか。（有・無）

② 障害が「有」の場合、それはどのような障害ですか。

③ 新技術の実事業への導入に際して障害と思われる事は何か。採用の有無に関わらず、回答して下さい。

#### 3. 新技術の事業への導入に対する要望

① 制度に対する要望

新技術の事業への導入を容易にするために必要な制度や仕組等、お考えがあればお書き下さい。

(回答例)

加点制度、試験事業の適用・試験事業の拡大、等

② 事業主体に対する要望

新技術の事業への導入について、事業主体に対する要望があればお書き下さい。

(回答例)

実事業への導入の簡素化、試験事業への適用、実験場所の提供、  
メリットの明確化、新技術の導入制度の確立、等

#### 4. その他

新技術の実事業への導入促進に対するご意見を、お書き下さい。

質問は以上です。ご協力ありがとうございました。

なお、

- \* 回答は、「新技術導入関連企業アンケート【回答用】(企業名)」(エクセルファイル)に記入願います。
- \* 回答ファイル名に(企業名)を入れて下さい。
- \* 回答はメールにて、平成30年9月28日(金)までに下記宛に送付願います。
- \* 内容に対するお問い合わせは、下記宛に御連絡下さい。

(回答の送付先・お問い合わせ先)

(一社) 漁港漁場新技術研究会

〒101-0046 東京都千代田区神田多町 2-9-6

主幹 真野 泰人

03-5294-6868

mano@aitef.or.jp

# アンケート回答用紙

漁港漁場整備事業への新技術の導入に係るアンケート調査 回答票

御回答者の情報を記入願います。

会社名	
所属部署	
氏名	
連絡先	TEL
	E-mail

1	技術 (1)	技術 (2)	技術 (3)
① お手持ちの新技術について 水産公共関連事業に活用できるとお考えの新技術をお持ちであればご紹介下さい。			
① 技術の名称			
② 技術の分野			
③ 技術の段階			
④ 補足 (URL等、この技術に関し、補足事項がありましたら、ご自由にお書き下さい)			
1.2 新技術に係る既存制度の活用			
① 登録や認証がありますか	(有・無)	(有・無)	(有・無)
② どのような制度ですか?			
制度の名称			
制度の管理運営団体名称			
③ 登録や認証の年月	(西暦 年 月)	(西暦 年 月)	(西暦 年 月)
1.3 新技術の採用実績について			
① 採用実績	(有・無)	(有・無)	(有・無)
実施時期	(西暦 年 月)	(西暦 年 月)	(西暦 年 月)
事業名			
事業主体			
実施場所			
② 採用に当たり制度等が活用されましたか?	(はい・いいえ)	(はい・いいえ)	(はい・いいえ)
活用された制度の名称			
1.4 新技術の営業・広報活動の方法について			
① 主となる活動方法を挙げて下さい。			
② 従となる活動方法を挙げて下さい。 (複数回答可) (行不足の場合は補入して下さい)			
2 新技術の事業への導入についての問題点			
① 新技術の実事業への導入または採用について、障害となったことがあります	(有・無)	(有・無)	(有・無)
② 有の場合、それほどのような障害ですか			
③ 新技術の実事業への導入に際して障害と思われる事は何か。採用の有無に関らず回答して下さい。			
3 新技術の事業への導入に対する要望			
① 制度に対する要望			
② 事業主体に対する要望			
4 その他			
実事業への導入促進に対する自由なご意見をお書き下さい。			

## 資料-2 事業主体向けアンケート

事務連絡

平成30年9月7日

関係都道府県漁港漁場整備事業御担当者殿

水産庁漁港漁場整備部整備課

設計班長 不動 雅之

国立研究開発法人水産研究・教育機構

水産工学研究所 主任研究員 佐伯 公康

漁港漁場整備事業への新技術の導入に係るアンケート調査へのご協力をお願い

平素より漁港漁場行政の円滑な推進へのご協力ありがとうございます。

さて、水産庁では、平成30年度水産基盤整備調査委託事業の一環として「漁港漁場施設の設計手法の高度化検討調査」を実施しております。同調査では、漁港漁場施設の設計に係る課題を抽出・整理して問題解決を図り、より適切かつ高度な設計手法の確立を図ることとしております。

同調査の一つの項目として、漁港漁場整備事業への新技術導入促進方策の検討を進めています。近年、漁港漁場整備事業に関する技術的な課題・問題点を克服あるいは改善しうる新技術（工法、製品等）が開発されても、実際の事業への導入があまり進まない傾向がみられます。導入が進まない理由として、新技術に関する情報不足、有用性を確認することの困難性、計算手法や積算資料の不足等が考えられ、このような課題・問題点を把握して施策の見直しを講ずる必要があると考えられます。

そのため、漁港漁場整備事業等への新技術導入に係る課題や問題点を具体的に把握して、今後必要な新技術導入促進策の検討に使用することを目的としたアンケートを実施します。

質問ならびに回答方法につきましては別紙1，2をご覧ください。

以上、趣旨をご理解のうえ、ご協力のほどよろしくお願いいたします。

(参考)

「漁港漁場施設の設計手法の高度化検討調査」は、水産庁が、国立研究開発法人水産研究・研究機構を代表とする5団体で構成された共同研究機関に委託して実施しています。

上記調査のうち新技術導入に係る分野は、共同研究機関の5団体のうち一般社団法人漁港漁場新技術研究会および国立研究開発法人水産研究・教育機構が担当することとしております。

## 回答方法

別紙 2 (6 枚組) の質問 1～8 にお答え願います。回答は、別途送付するエクセルファイルの回答シートに入力ください。

選択式の質問について、回答シートに選択肢記入欄を設けています。選択肢記入欄には、質問の指示に従って数字やマル印をご記入ください。完全に合致する選択肢が見つからない場合は、最も近い選択肢を選択いただき、必要に応じて自由記入欄に補足説明を行ってください。

各質問には所定の回答欄のほかに自由記入欄を設けています。自由記入欄には回答に関する補足的なコメントなどをお書きください。

質問 3 と質問 4 について、複数個の回答がある場合、回答シートを複製してご使用ください。

回答を入力したエクセルファイルを、電子メールに添付して、下記のメールアドレス宛に 9 月 28 日までに送付ください。

## 回答の送付先・お問い合わせ先

国立研究開発法人 水産研究・教育機構

水産工学研究所 水産土木工学部 水産基盤グループ

主任研究員 佐伯 公康 (さえき きみやす)

〒314-0408 茨城県神栖市波崎 7620-7

## 漁港漁場整備事業等への新技術の導入に係るアンケート(質問)

## 【新技術の定義】

このアンケートにおいては「新技術」を以下のように定義し、水産公共関連事業（漁港・漁場・漁村及び海岸等に係る事業計画・調査、構造、材料、施工、維持管理等）に利用若しくは、活用できると考えられるものを対象とします。

- ① 設計手法等が、基準化されていない技術
- ② 実績や適用例が無い、もしくは少ない技術

この定義に従って、以下の質問 1～8 にご回答ください。

## 【質問 1】

貴都道府県において、水産公共関連事業への新技術導入に対する認識は、下記①～③のうちどれに最も近いですか。一つ選択してください。なお、現時点での制度や組織体制等を前提として回答してください。

- ①新技術の導入は積極的に促進されるべき。開発当初はコスト等の評価が良くなくても、将来の発展性が大きいと考えられる技術については試験的な意味も含めて導入が促進されるべきである。
- ②新技術の導入は促進されるべき。ただし、既存技術と比べてメリットが明らかな場合のみ導入されるべきである。
- ③新技術を水産公共関連事業に使うことには賛同しない。水産公共関連事業には、技術基準や積算基準等が整備されて実績も蓄積された技術が使用されるべき。

## 【質問 2】

現在、水産庁は「技術活用パイロット事業、モデル事業」（最終ページを参照）を制定していますが、これに対する貴県の考えは以下のうちどれに一番近いですか。

- ①この制度が拡充され、より具体的な方策が追加されるとなお良い。
- ②制度としてこの程度で良い。
- ③制度自体を必要と感じない。

## 【質問 3】

貴都道府県あるいは管下の市町村の水産公共関連事業において新技術が導入された事例をご記入ください。最近 10 年間程度を対象とします。

最低でも 1 事例の回答を記入していただくことを希望します。2 事例以上回答される場合はエクセルファイルの回答用シートを複製して記入してください。

(3-1) どのような事業でしょうか。

(3-2) どのような新技術でしょうか。

(3-3) その新技術の導入において、なにか新技術導入を促進する制度等が適用されましたか。適用された場合はその制度等の実施主体(〇〇省、〇〇県、〇〇財団等)と、制度等の名称をお書きください。無ければ名称欄に「なし」とご記入ください。

ここで、制度とは、認証制度、評価制度や入札制度等を対象とします。国の制度、地方公共団体の制度ともに対象とします。

制度等の実施主体 ( )

制度等の名称 ( )

#### 【質問4】

貴都道府県あるいは管下の市町村の水産公共関連事業において新技術の導入が検討されたが採用されなかった事例についてご記入ください。最近10年間程度を対象とします。

最低でも1事例の回答を記入していただくことを希望します。2事例以上回答される場合はエクセルファイルの回答用シートを複製して記入してください。

(4-1) どのような事業でしょうか。

(4-2) どのような新技術でしょうか。

(4-3) 採用に関する検討はどの段階まで至りましたか。以下の中から最も近いものを選択してください。

- ① 行政機関内で非公式に検討されたのみ。(調査、設計などの業務では検討対象にされず)
- ② 小規模な事業(県単独の工事等)で採用されたが、その結果が芳しくなかったため、本格的な事業では検討対象にされず。
- ③ 本格的な事業の一環をなす業務(調査・設計等)のなかで検討されたが、既存工法等との比較で評価が芳しくなく採用されず。

(4-4) 採用に至らなかった要因を下記の中からお選びください。(複数選択可)

- その新技術について、比較評価に必要な詳細情報が不足していた。
- 技術的な優位性や有効性について、不確実性が大きかった。
- 技術的な優位性や有効性が見られなかった、または、小さかった。
- 技術開発年数が浅く、耐用性を確認できなかった。
- コストが高すぎた。
- コストアップに関する費用対効果の説明が整わなかった。
- 県内に施工実績が無かった。
- その技術を実施できる業者が県内に無かった。
- 積算方法が確立していなかった。
- 実施に必要な技術計算(安定計算、配合計算等)の方法が確立していなかった。
- 施工方法が十分確立していなかった。
- 貴都道府県内における従来工法や他工区との整合性が必要だった。(一方に従来技術、他方に新技術という事態を避けた)
- 上記以外の支障。(例えば、施工ヤードを確保できない、騒音が大きい、漁船の係留に支障、など。具体的にお書きください)

**【質問5】**

水産公共関連事業において新技術が検討対象になるには、その前提として、新技術に関する種々の情報の充実が必要です。ついては、今後、新技術について特にどのような情報の充実が必要と思われますか。(下記の中からお選びください。複数選択可)

- 新技術の長所および注意事項に関する情報
- 新技術と現場条件との適合性に関する情報(適用可能な現場条件、適用メリットが大きい現場条件など)
- 積算資料
- 設計計算、施工方法などの実務的な技術資料
- これまでの施工事例に関する詳細な情報
- 上記以外の情報(具体的にお書きください)

**【質問6】**

水産公共関連事業において新技術の採用を増やすため、新技術の導入を促進する施策を充実させることが考えられます。以下に、今後、国、地方公共団体や公的機関等が実施することが考えられる施策の素案を列記しました。ついては、これらのうち特に実現すべきと思われる施策を3つまで選んでください。(優先順位1~3で回答してください。)

- ( ) 施設管理者が抱えている現場の課題・問題等について、その課題・問題等を克服する新技術の開発に企業が乗り出すような仕組みを設ける（例：公的機関が研究開発テーマを定め、実施する企業等を公募して研究開発費を補助するなど）
- ( ) 企業が、開発途中の新技術について、漁港や漁場で実証試験を行うことを希望している場合、申請手続きを簡素化するなどして、容易に試験を行えるように配慮する。
- ( ) さまざまな新技術の情報をデータベース化し、一括してインターネットで公開する。
- ( ) 企業が開発した新技術に対し、公的機関が有用性、安全性、経済性などの観点から審査し、優れたものに対して認証を与える。
- ( ) 事業における設計、施工等に係る提案を企業等から募る際、新技術を使用する提案が優遇されるように制度を適用する。（例：総合評価落札方式など）
- ( ) 新技術を適用した事業について、施工中の状況やその後の経過等、実態を詳細に公表する仕組みを設け、全国の事業主体が参考にできるようにする。
- ( ) 上記以外の施策（具体的にお書きください）

**【質問 7】**

水産公共関連事業へ新技術導入の促進について、質問 5、6 へのご回答以外にアイデアや考えがありましたらご記入ください。

( )

**【質問 8】**

貴都道府県における、公共事業へ新しい技術の導入を促進する事業や制度について、名称と、その趣旨が掲載されているホームページアドレスをご記入ください。

質問 8 は、質問 1～7 とは別に情報収集のためお聞きするもので、以下の通り対象範囲を広めにします。

- ◆ 公共事業の技術向上を目的とする事業・制度のみならず、地場産業の技術の利用促進を目的とする事業・制度なども対象とします。
- ◆ 水産公共関連事業以外の公共事業も対象とします。

質問 3 で回答された事業や制度と重複する場合であっても再度のご記入をお願いします。

名称 ( )

ホームページアドレス ( )

質問は以上です。ご協力ありがとうございました。

【参考】技術活用パイロット事業、モデル事業について

(取扱い)

技術活用パイロット事業、モデル事業

新技術を試行し、積算資料及び施工資料の整備等に関する事項を調査するための事業（以下、「技術活用パイロット事業」という。）、又は新技術を試行し、現場における適用性、活用の効果等を検証するための事業（以下、「モデル事業」という。）を行う場合は、技術活用パイロット事業（又はモデル事業）実施計画書を当該事業の実施に係る補助金交付申請書に添付するものとする。

なお、自然調和・活用型漁港漁場づくり推進事業、水産系副産物活用推進モデル事業、水産物流通機能高度化事業により実施する場合は、この限りでない。

技術活用パイロット事業（又はモデル事業）実施計画書

1. 事業名
2. 事業主体
3. 事業期間
4. 調査（又は検証）の内容とその必要性
5. 調査（又は検証）の方法
6. 調査（又は検証）に要する経費

漁港漁場関係事業事務必携 平成 29 年度版，（公社）全国漁港漁場協会刊 より

## 資料-3 ヒアリング記録

### 【日本下水道事業団へのヒアリング】

#### （調査の趣旨）

日本下水道事業団（以下、JS と称す）は、所掌業務のひとつに「下水道に関する技術開発及び実用化のための試験研究等」がある。この業務に対応した制度として、新技術導入制度を実施しており、下水道に係る新技術を新規性、有用性、市場性等の観点から審査して選定している。

また、JS では共同研究制度を実施している。企業等が開発した新技術については、共同研究制度でフィールド試験等を実施の後、新技術導入制度による審査、選定がなされている。さらに、新技術導入制度に基づき審査、選定された技術について、JS は当該技術の案件形成を進めることとしている。

このように、JS の取り組みは、新技術の審査・選定を中核とし、その前段階と後段階を含めた一連のフローを構成して、実用化への道筋を設けていることに独自性がみられる。そこで、漁港漁場整備事業への参考にするため、JS のホームページから情報を整理したのち、担当者に聞き取り調査を行った。

#### （組織の業務内容（JS ホームページから引用））

地方共同法人日本下水道事業団は、日本下水道事業団法に基づき設立された組織である。その主な業務内容は以下のとおりである。

1. 地方公共団体の委託に基づく終末処理場等の建設
2. 地方公共団体の委託に基づく下水道施設の設置等の設計
3. 地方公共団体の委託に基づく下水道の維持管理等に関する技術的援助
4. 地方公共団体の委託に基づく下水道の工事監督管理
5. 地方公共団体の下水道技術職員の養成・訓練
6. 下水道の設計担当者等の技術検定
7. 下水道に関する技術開発及び実用化のための試験研究等

#### （新技術導入制度の概要（JS ホームページから要約））

JS では新技術を受託建設事業に積極的に導入し、「技術の善循環」を円滑に実施するため、従来の制度を拡充した制度を平成 23 年度から運用している。この制度では新技術をⅠ類（JS が固有、共同研究によって開発した技術）、Ⅱ類（公的な機関により開発、評価された技術）、Ⅲ類（民間企業が独自に開発した技術）に分けて登録することとしている。

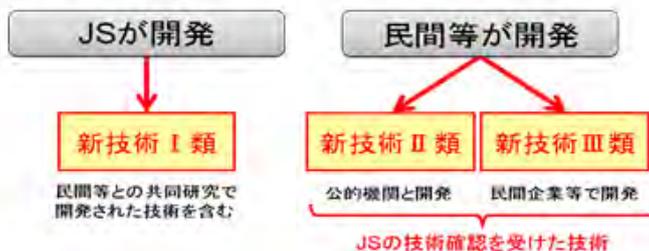
(新技術の定義(JS ホームページから引用))

### 新技術の定義

「新技術」:JSで導入実績がなく、かつ、次の①または②に該当する技術

- ①JSが関与して開発した処理プロセス、装置または機器に係る技術  
…(新技術Ⅰ類)
- ②JS以外の者が開発した処理プロセスのうち、JSの実施設適用性の確認を受けた技術  
…(新技術Ⅱ類、Ⅲ類)

「処理プロセス」とは、国土交通省下水道事業課長通知「下水道施設の改革について」(平成25年5月16日 国水事第7号)別表中の「中分類」以上の技術とし、「機器または装置」とは同「小分類」以下を指す。

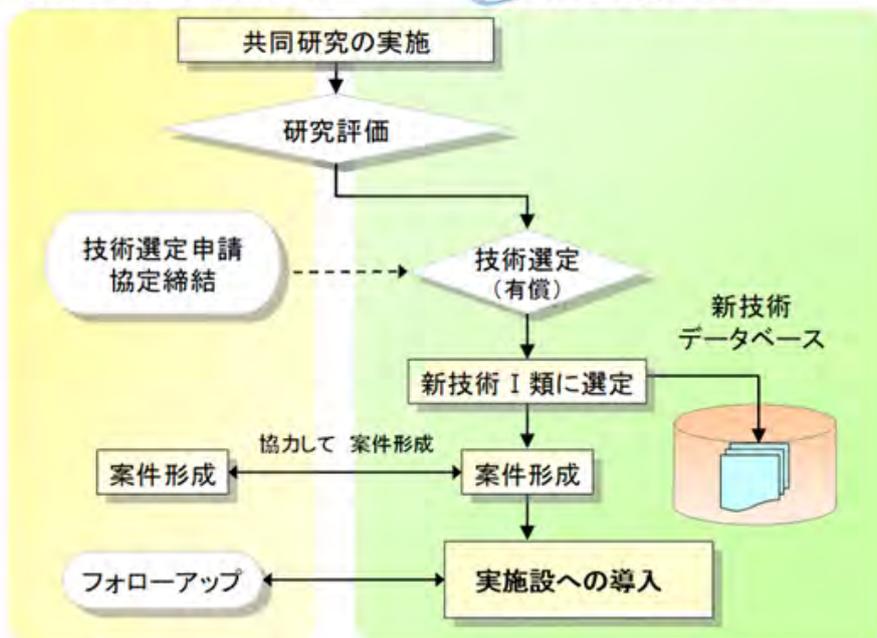


新技術の導入フロー(JS ホームページから引用)

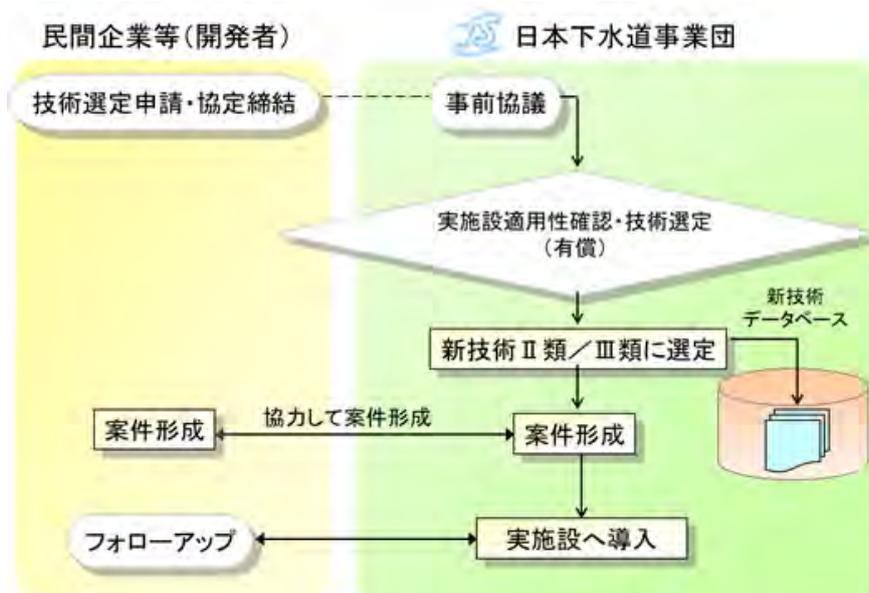
I類(JS開発技術)の導入フロー

民間企業等(共同研究者)

日本下水道事業団



## II・III類（JS 開発技術以外）の導入フロー



### (聞き取り調査)

#### 調査概要

日時 平成 31 年 2 月 14 日 14:00~15:00

場所 日本下水道事業団（東京都文京区）会議室

応対者 地方共同法人日本下水道事業団 技術戦略部

技術開発企画課 清水克祐様

訪問者 (一社)漁港漁場新技術研究会 技術研究主幹 真野泰人

衛生管理研究部会 広島 基

(国研)水産研究・教育機構 水産工学研究所 主任研究員 佐伯公康

以下、聞き取った内容を箇条書きで示す。

#### 1. JS の組織・業務について

- ▲ 日本下水道事業団法に基づき設置された組織。同法の中に、所掌業務の一つとして技術開発が記されている。
- ▲ 地方公共団体から業務を受託して実施している。
- ▲ JS 職員は、プロパー、国からの出向者、地方公共団体からの出向者などで構成されている。
- ▲ JS は、下水道に係る JS 独自の標準仕様書を作成している。

#### 2. 共同研究制度について

- ▲ JS と企業の間で締結する共同研究。制度上は新技術導入制度とは別のもの。
- ▲ 共同研究は企業が費用を負担する。JS の費用負担は無い。
- ▲ 新技術 I 類については、審査・選定を行う前に、共同研究の中でフィールド試験等を行っている。
- ▲ フィールド試験では、その新技術を導入することへのニーズがあり実証に適

した下水処理場を選定し、パイロットプラントを設置したり、試行的に処理プロセスに新技術を組み入れたりしている。フィールド試験の費用は企業が負担。新技術の試験によって処理場の業務に支障をきたすことの無いよう、処理能力に余裕がある処理場が選定され、1～2年掛けて実施することが一般的。

- ▲ フィールドを確保するため、企業からも自治体へ要請、交渉する。要請に応ずるか否か自治体の判断による。
- ▲ 企業は、ある程度、技術的な実績ができた段階で共同研究に応募している。
- ▲ 共同研究の成果を新技術に申請する場合、企業は申請の添付資料として技術資料などを作成する。

### 3. 新技術導入制度について

- ▲ 審査では、新技術が満たすべき条件として、JS 受託事業での導入事例が無いこと、新規性、市場性等が求められる。市場性の評価は、当該技術の適用が期待できる施設が全国にどれくらいあるかなどが評価される。
- ▲ JS 受託事業に導入した場合の品質に保証を与えるものであり、受託事業以外への適用まで保証するものではない。
- ▲ 導入実績は I 類が多い。
- ▲ II 類については、東京都、土木研究所の実績がある。
- ▲ 審査は JS 職員が行う。技術案件に係る委員会（月 1 回開催）において審査がなされる。審査にかかる期間は通常 2~3 ヶ月である。
- ▲ 上記の審査に先立って、企業がプレゼンテーションして議論する場が設けられる。議論を踏まえて企業に資料の修正を要請することもある。この議論を通過した技術が審査にかけられる。
- ▲ 審査費用は実費（審査に要する人工の積み上げ）となっている。

### 4. 登録された技術のその後について

- ▲ 選定された（＝審査を通った新技術）新技術は、JS 受託事業での機種・工法等の選定の際に比較検討対象となる。
- ▲ 比較検討対象とされても導入されるとは限らない。審査を通ったが未だ導入実績のない技術もある。
- ▲ 選定された（＝審査を通った）新技術は 28 件ある（平成 30 年 5 月末現在）。実施への導入実績は、11 件の技術を 49 施設に導入（平成 30 年 3 月現在）。
- ▲ JS 受託事業に導入し、その実績から技術的な改良や運用の見直しをすることもある。
- ▲ JS の審査を通れば企業側としても普及を進めやすいようである。
- ▲ 選定の有効期間は 5 年であり、5 年以降は必要に応じて延長を行う。
- ▲ 導入実績が増えた技術については、新技術から JS の標準仕様の技術に移行することもある。

### 5. 下水道事業一般について

- ▲ 気候や水質によって処理方法が異なる。
- ▲ 企業ごとに得意とする施設規模や水質がある。

## 【沿岸技術研究センターへのヒアリング】

### （調査の趣旨）

一般財団法人沿岸技術研究センター（以下、沿岸センターと称す）は、民間で開発された技術を確認審査・評価して具体的な事業に活用されやすい環境を整えることを目的とした「民間技術確認審査・評価事業」を実施している。

また、「港湾の施設の技術基準適合性確認事業」を実施している。これは、定められた対象施設のうち、公共の安全その他公益上の影響が著しく、かつ国土交通大臣が定めた設計方法によらずに設計を行おうとする場合、技術基準との適合性を確認する事業である。

また、「出版物刊行等事業」として、技術情報の有効活用と普及を図るため、沿岸センターの自主研究、共同研究の成果等に基づき、設計・施工、維持管理、防災等に関する各種の指針や手引書等を作成、発刊している。

漁港漁場整備事業の場合、「民間技術評価事業」については一般社団法人漁港漁場新技術研究会が同様な事業を実施している。「港湾の施設の技術基準適合性確認事業」については、これと同様な業務を、明確な体制のもとで実施する組織が存在しない。「出版物刊行等事業」については、このような業務を継続して実施している組織が見当たらない。

上記のうち「港湾の施設の技術基準適合性確認事業」の確認対象施設は港湾法（第五十六条の二の二）3項に示される「公共の安全その他の公益上影響が著しいと認められるもの」として、港湾法施行規則（第二十八条の二）に明確に規定されており、新技術の導入促進そのものを目的とした事業ではないが、新技術の利用を推進する効果も副次的に有しているように思われる。

そこで、漁港漁場整備事業への新技術導入施策の参考にするため、「港湾の施設の技術基準適合性確認事業」および「出版物刊行等事業」について、沿岸センターの担当者に聞き取り調査を行った。

### （聞き取り調査）

#### 調査概要

日 時 平成 31 年 2 月 15 日 15 : 00 ~ 16 : 00  
場 所 一般財団法人沿岸技術研究センター（東京都港区）会議室  
応対者 沿岸センター 研究主幹 高野誠紀様  
波浪情報部 山本浩之様  
訪問者 （一社）漁港漁場新技術研究会 技術研究主幹 真野泰人  
（国研）水産研究・教育機構 水産工学研究所 主任研究員 佐伯公康

以下、聞き取った内容を箇条書きで示す。

#### 1. 「港湾の施設の技術基準適合性確認事業」について

- ▲ 沿岸センターの定款に「港湾の施設の技術基準に関する確認業務に関する事業」が明記されている。

- ▲ 沿岸センターは港湾法（第五十六条の二の二）に基づく登録確認機関として、国土交通大臣の登録を受けた「確認審査所」を設置している。
- ▲ 確認審査所では、国以外の港湾管理者や民間事業者が技術基準対象施設を建設又は改良しようとする場合、依頼に基づいて技術基準に適合することの確認審査を実施している。（直轄事業の設計の妥当性は、地方整備局の技術調査事務所がチェックする。）
- ▲ 沿岸センターの「確認業務規程」に、確認審査に必要な事項を定めている。
- ▲ 審査に要する費用は、積算基準（港湾土木請負工事積算基準）に準じて算出しており、沿岸センターHPに掲載している。一例として、設計津波を考慮して設計した防波堤の場合で250万円。依頼者が費用を負担する。（整備事業が国の補助事業である場合は、確認審査費用も補助対象となっている。）
- ▲ 適合すると判断された案件には確認証を交付する。技術基準に適合することが認められない案件にはその理由を記載した通知書を交付している。条件付きで確認証を交付する場合もある（施工方法、施工後の技術的フォロー等）。
- ▲ 確認員は国への届出制となっており、港湾法（第五十六条の二の八）に基づき沿岸センターが指名している。沿岸センターでは約10名を指名。
- ▲ 申請があったら、1つの案件につき1名の確認員が担当者となり、書類審査やヒアリングを行う。確認員1名による審査が終了したのち、全確認員から成る委員会で審議を行う。委員会です承されたら、沿岸センターが機関として確認証を交付する。
- ▲ 近年は新設案件よりも耐震性向上や増深などの改良工事が多い傾向にある。
- ▲ 港湾法施行規則で規定された確認対象施設であっても、自治体や民間等の事業主体から依頼が無ければ、沿岸センターが該当事案全数を把握することは困難である。

（参考）

- ▲ 港湾法（第五十六条の二の二）に、登録確認機関による確認についての規定あり
- ▲ 港湾法（第五十六条の二の八）に、確認員の選任要件についての規定あり
- ▲ 港湾法施行規則（第二十八条の二）に、確認対象施設についての規定あり
- ▲ 同規則（第二十八条の四）に、登録確認機関についての規定あり

## 2. 「出版物刊行等事業」について

- ▲ 沿岸センターの定款に「技術マニュアル等の作成、管理及びサービス」が明記されている。
- ▲ マニュアル等の発刊までの段取りや体制は、一般に次の通りである。
  - ◆ 民間あるいは港空研等での実験等がひととおり済んで、新技術の有効性が確かめられ、実用化についてある程度の知見が揃ってからマニュアル化の作業がスタートする。現地で試行的な適用をすすめながらマニュアル化ということもある。

- ◆ 協会団体や、複数の民間企業にグループ（研究会）を結成してもらい、沿岸センターとの間で協定書を締結して共同事業でマニュアル作成を進める。（1社だけということはほとんどない。1社だけの技術では公益性が無いため。）
- ◆ 実験、検討、委員会開催に必要な費用等は研究会に負担してもらう。
- ◆ 沿岸センターは企画運営や技術指導を行い、沿岸センターの研究者を参画させる（沿岸センター人件費や会場費等は、沿岸センターが負担）。
- ◆ 1～2年間に、2～3回程度の検討会が組まれる。
- ◆ 港空研は組織として、あるいは研究者がマニュアル検討に協力する。
- ◆ 研究会と沿岸センターの協定書に基づき、販売管理と成果の管理は沿岸センターが行う。
- ◆ 研究会と沿岸センターが話し合ってマニュアル印刷部数を決め、それにかかる費用を研究会から徴収する。増刷分については沿岸センターが費用を負担する。
- ◆ 沿岸センターでは、発刊後の成果の管理を行うとともに、購入者からの内容の問い合わせにも応じる。

- ▲ マニュアルは定期的な見直しが必要であり、10年くらいで改訂している。
- ▲ マニュアルは企業独自で発行するよりも財団法人から発行するほうが客観性・信頼性が高まるようである。

(以上)