

デジタル社会の形成に向けた ICT の活用による 漁港施設維持管理の 3 次元モデルの適用性

一般社団法人水産土木建設技術センター

松 本 力
武 田 真 典
完 山 暢
藤 田 孝 康

目 次

1. はじめに	84	3-3 水中部データ取得における設定条件 (ナローマルチビーム)	86
2. 漁港施設維持管理の現状	84	3-4 3次元モデル	87
3. 適用性の検証	85	3-5 詳細度および属性情報	89
3-1 対象施設	85	4. まとめ	90
3-2 陸上部データ取得における設定条件 (UAV)	86	5. おわりに	90

1. はじめに

我が国では、目指すべき未来社会の姿として、サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する、人間中心の社会Society5.0が提唱されている¹⁾。その実現に向けて国土交通省では、建設生産プロセスすべてを対象に、ICT等を活用するi-Constructionを推進し、特に建設生産・管理システム全体（測量・調査、計画・設計、施工、維持管理（点検・補修等）・更新の各段階）を3次元データ等をつなぐBIM/CIM（Building/Construction Information Modeling, Management）の本格導入に向けた取り組みを推進しているところである²⁾。

漁港施設等の水産基盤施設を所管する水産庁においても、主な漁港管理者である市町村における技術者不足や維持管理・更新コストの増大などの背景から、ICT活用や新技術の開発・普及を推進しており³⁾、新たな「漁港漁場整備長期計画」の共通課題においても社会情勢の変化への対応としてデジタル社会の形成

が施策として掲げられているところである⁴⁾。しかしながら、3次元データの活用については、設計や施工など限られた段階での部分的な活用がみられる程度で、特に維持管理の段階における実績は乏しく、将来的に建設生産・管理システム全体の高度化・効率化を図っていくうえで課題となることが懸念される。

そこで本稿では、漁港施設の維持管理の段階における3次元モデルの適用性について、近年水産庁において新技術を活用した点検の手引きとして公表されているUAV（unmanned aerial vehicle：無人航空機）とセンシング技術（ナローマルチビーム）を活用し^{5),6)}、先行する国土交通省の事例や既存の維持管理データ等に加えて、現地試験にて実構造物より取得した3次元データを用いて確認・検証した。

2. 漁港施設維持管理の現状

漁港施設の維持管理は、長寿命化と維持管理費用の縮減を図るために、水産庁において「インフラ長寿命化計画」を策定⁷⁾し、漁港施設のストックマネジメントを推進するとともに

に、「水産基盤施設ストックマネジメントのためのガイドライン」⁸⁾ならびに「水産基盤施設機能保全計画策定の手引き」⁹⁾に基づいて実施されている。このうち、点検・診断にかかる評価は施設別に基準が定められており、スパン単位で老朽化度を評価(表-1)した後、その結果を踏まえ、施設全体を集計して健全度を評価し、機能保全計画書としてとりまとめている。

これらの結果は、日常管理(日常点検、臨時点検、定期点検)において継続的に見直し・更新していくことが求められており、そのためには、老朽化箇所の進行状況を効率的に把握することと、新たに発生した老朽化を確実に発見することが必要である。そのため、変状写真や評価結果などの各種様式と重要な可視化情報である図-1に示す変状図(実際は平面、側面、断面の展開図の構成)を、既往の情報と比較することで維持管理していくことが求められている¹⁰⁾。

表-1 老朽化度評価基準(重力式防波堤の一例)
(上部工の損傷(ひび割れ、欠損))

ランク	老朽化度の評価基準
a	性能に影響を及ぼす程度の欠損がある。
b1	部材背面に達する幅1cm以上のひび割れがある。
	大規模(10%以上)の欠損がある。
b2	幅1cm以上のひび割れがあるが、部材背面までは達していない。
	小規模(10%未満)の欠損がある。
c	幅1cm未満のひび割れがある。
d	老朽化なし。

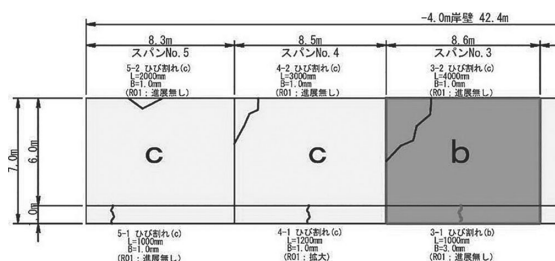


図-1 変状図(平面)の例

3. 適用性の検証

上述した変状図は展開図のため、専門でない利用者(管理者等)には理解するのが困難である。変状図を含む維持管理段階における記録データは、長期間にわたって様々な関係者が利用することから、作成する3次元モデ

ルは正確かつ利便性が求められる。

本稿では、3次元データを活用することで、変状情報の正確性や老朽化度評価基準に対してどこまで計測可能であるかや、3次元モデルのわかりやすさと利便性の観点から適用性を検証した。

ここでは、漁港の代表的な施設である重力式防波堤に着目し、UAVの活用により上部工の「ひび割れ」、ナローマルチビームの活用により本体工の「欠損」および施設全体の「移動・沈下」について3次元データを取得することとし、それぞれにおいて取得可能となる機種 of 最適な分解能、画角、解像度等の条件を検討後、その条件下においた現地試験を試行することで確認・検証した。

3-1 対象施設

現地試験は、過年度に点検実績があり変状図など維持管理情報のある漁港として、神奈川県東部漁港事務所が管理する三崎漁港の西

表-2 構造物諸元等

漁港名	三崎漁港
漁港の種類	特定第3種
所在地(市町村)	神奈川県三浦市
施設管理者	東部漁港事務所
施設名称	西口南防波堤
施設建設年月日	昭11年度
様式または形式	ケーソン式直立堤
主要用材	ケーソン、方塊ブロック
延長(m)	159.00m
幅員(m)	4.80m
天端高(m)	+3.00m
潮位	H. W. L.+1.86m, L. W. L.+0.15m

(様式1-2) 水産基盤施設履歴調査より抜粋



図-2 全景(起点→終点方向)

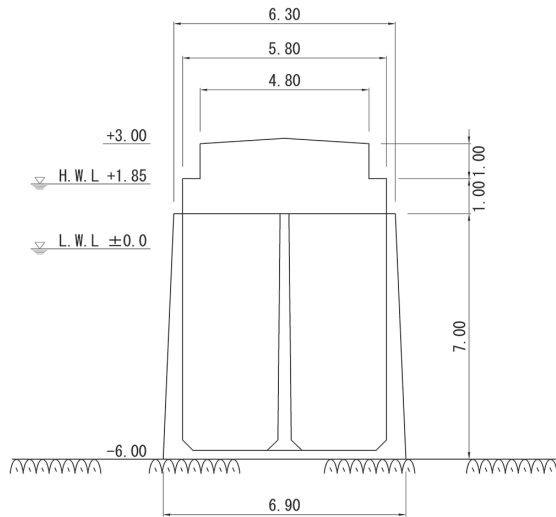


図-3 標準断面図(終点側ケーソン)

口南防波堤を対象とした(表-2、図-2、図-3)。

3-2 陸上部データ取得における設定条件(UAV)

陸上部における3次元データ取得の基本的な設定条件は、表-1に示す重力式防波堤における上部工の老朽化度判定基準の最小値であるひび割れ幅1cmを判別可能であることとした。

対象画素寸法の大きさは、UAV搭載のカメラの画素数、センサーサイズ、焦点距離および撮影距離(飛行高度)から計算される。

素子サイズ cz の算出は、式(1)に示す。

$$cz=c/\text{pix} \quad \dots (1)$$

ここに、

c : センサーサイズ(横or縦)(mm)

pix : 画素数(横or縦)(pix)

対象画素サイズスケール sk の算出は、式(2)に示す。

$$sk=d/cz \quad \dots (2)$$

ここに、

d : 対象画素寸法

撮影距離 le の算出は、式(3)に示す。

$$le=sk \times f \quad \dots (3)$$

ここに、

f : 焦点距離

使用したUAVの基本的な設定条件は、表-3に示すとおり。本稿では、対象画素寸法を1cmとし、画像合成による画質低下を考慮し半分の5mmとすると、飛行高度は10mとした。

表-3 UAVの設定条件

項目	諸元
センサーサイズ	6.4×4.8(mm)
画素数	4000×3000(pix)
焦点距離(mm)	4(mm)

3-3 水中部データ取得における設定条件(ナローマルチビーム)

水中部における3次元データ取得の基本的な設定条件は、表-4に示すとおりとした。

本稿では、重力式防波堤における施設全体の「移動・沈下」(表-5)、本体工の「欠損」(表-6)を対象に老朽化度ランクを $a=1\text{m}$ 以上、 $b=1\text{m}$ 未満～10cm以上、 $c=10\text{cm}$ 未満と解釈

表-4 ナローマルチビームの設定条件

基本性能	設定条件
分解能	1.25cm
ビーム角	0.5°
スワス角	100°
発振ビーム数	256本
発振ピングレート	50Hz
観測時の船速	3ノット

表-5 老朽化度評価基準(重力式防波堤)(施設全体の移動・沈下(目地ずれ、段差))

調査項目	老朽化度の評価基準	
移動	b	本体の一部がマウンドから外れている。
	b	隣接ケーソンとの間に側壁厚程度(40~50cm)のずれがある。
	c	小規模な移動がある。
	d	老朽化なし。
沈下	a	目視でも著しい沈下(1m程度)が確認できる。
	b	隣接ケーソンとの間に数十cm程度の段差がある。
	c	隣接ケーソンとの間に数cm程度の段差がある。
	d	老朽化なし。

表-6 老朽化度評価基準(重力式防波堤:水中部)(本体工の損傷(ひび割れ、欠損))

調査項目	老朽化度の評価基準	
コンクリートの劣化、損傷(無筋の場合)	a	性能に影響を及ぼす程度の欠損がある。
	b	幅1cm以上のひび割れがある。
		小規模な欠損がある。
	c	幅1cm未満のひび割れがある。
d	老朽化なし。	

し、適用可能な水深をフットプリントや測定間隔から算定し表-7に整理した。

表-7 老朽化度判定が可能と想定される水深

仮定ランク	適用可能な水深 (15m以浅を対象)	点群の取得点密度 (目安)	点群の測点間隔(目安)		ビーム角(0.5°) フットプリント
			左右方向	前後方向	
aおよびb	~15m	約230点/m ²	14cm	3cm	13.1cm
c	~5m	約690点/m ²	5cm	3cm	4.4cm

点群データから「移動・沈下」、「欠損」を抽出するために必要な基準は、設定規模の1/2以下の測定間隔とフットプリントから割り出すこととする。フットプリントとは、音響ビームを照射した時の照射幅(面積)のことであり、フットプリントが小さいほど分解能が高いとされる。

フットプリントfpの算出は、式(4)に示す。

$$fp = Z \tan \theta \quad \dots (4)$$

ここに、

Z : 水深 (m)

θ : ビーム角 (°)

点群の測定間隔(左右方向)lrの算出は、式(5)に示す。

$$lr = Z \tan (\theta / 2) \times 2 \quad \dots (5)$$

ここに、

Z : 水深 (m)

θ : スワス角 (°)

点群の測定間隔(前後方向)frの算出は、式(6)に示す。

$$fr = D / S \quad \dots (6)$$

ここに、

D : 船速より算出した1秒間に進む距離

S : 1秒間に発信するピングレート

aランクおよびbランクを認識するには、点群の測点間隔は14cm以下、点群密度は約230点/m²となり、ビーム角の設定0.5°において設定水深15mまで可能となる。

10cm規模のcランクを認識できるのは、測点間隔が5cm程度、点群密度は約690点/m²となり、ビーム角0.5°において設定水深5m以下での取得が必要となる。

3-4 3次元モデル

(1) 点群モデル

条件設定に基づいて取得した3次元データのUAVとナローマルチビームの統合した点群データを図-4に示す。

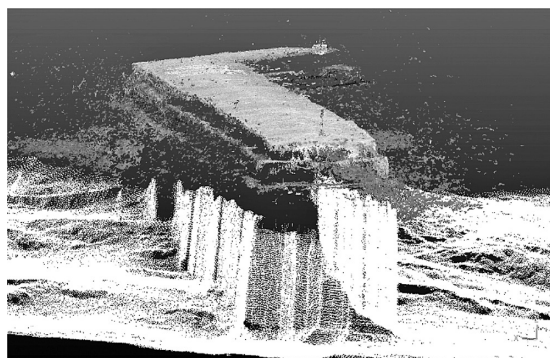


図-4 UAVとナローマルチビームの統合点群データ(終点→起点方向)

陸上部の取得データでは、①幅1.2mmのひび割れが確認できた。点群データからの実測では幅5mmまでの設定条件としていたため幅の計測はできなかったが、二値化などの処理をすることで計測可能となった。条件設定どおりひび割れ幅1cmを確認・計測可能であった。なお、分岐する幅0.8mmのひび割れについては確認できなかった。

また、欠損については過年度結果の規模②0.9×0.2m、③1.3×0.6m(図-6)に対し、それぞれ②0.8×0.2m、③1.1×0.8m(図-5)とおおよそ一致した。端点の取り方で誤差は生じるものの、同じ条件設定でデータ取得することで誤差の軽減と進行の有無の把握は可能であると考えられる。

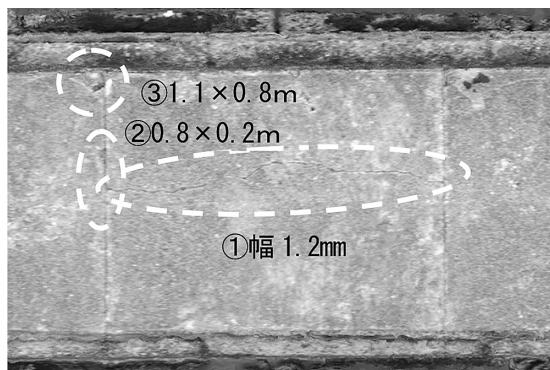
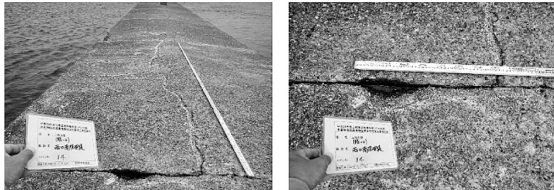
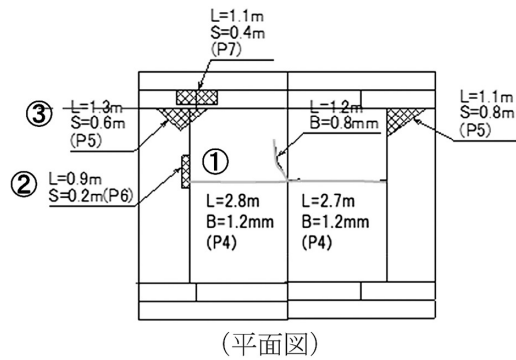


図-5 UAVによる上部工3次元データ(ひび割れ、欠損)



(ひび割れ P4) (欠損 P6)

図-6 過年度変状データ
(上: 変状図, 下: 変状写真)

水中部の取得データでは、移動・沈下（目地ずれ、段差）において過年度結果の①目地開き20cm、②目地ずれ15.5cm（図-8）を確認できた。点群データからの実測においても、それぞれ①17.4cm、②16.1cm（図-7）とおおよそ一致した。

欠損については、最小規模1.3×0.2mが別スパンの目地沿いに存在したが、幅14cmの目地開きと同化したデータとなり確認できなかった。

水深5m以深であったため、仮定ランクcは計測できなかったが、条件設定どおり14cm以上の規模の変状は確認・計測可能であった。

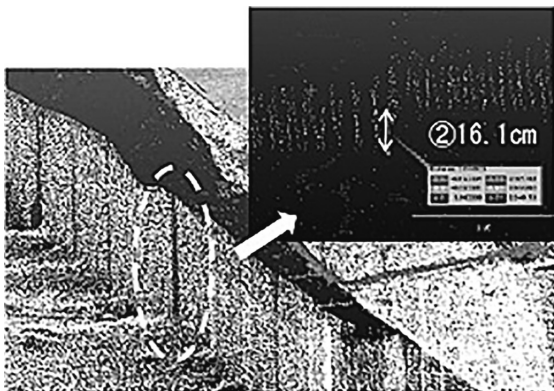
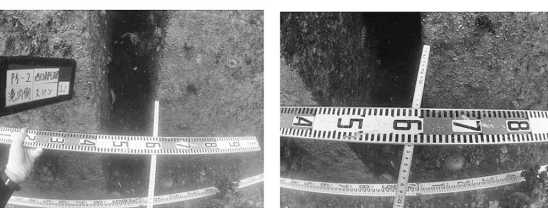
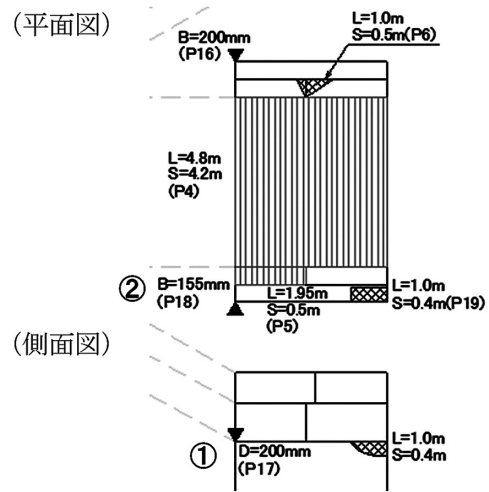


図-7 ナローマルチビームによる本体工3次元データ(目地ずれ・開き)



(開き P17) (ずれ P18)

図-8 過年度変状データ
(上: 変状図, 下: 変状写真)

(2) サーフェスモデル

3次元化モデルは、台帳や設計図などの既存情報、または現地にて形状測定した情報から作成するのが一般的である。本稿では維持管理情報として、スパン間のずれや段差などがどこまで表現可能であるかを踏まえ、取得した点群データから3次元モデルを作成した（図-9）。

サーフェスモデルでは、スパン間の目地ずれについては、点群モデルと同等の精度で検出可能であったが、目地開きについては検出できなかった。

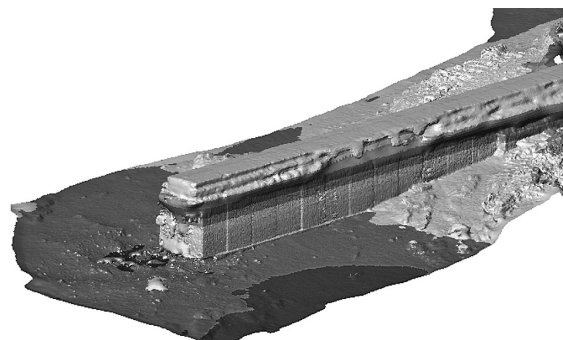


図-9 詳細度300のサーフェスモデル

(3) ソリッドモデル

サーフェスモデル同様に取得した点群データから3次元モデルを作成した(図-10)。

ソリッドモデルでは、スパン間の目地ずれに加え、目地開きについても検出可能であった。ただし、検出精度は点群モデルと同等の精度を確保するのは困難であった。なお、海底地形については、既に適用性が確認されているサーフェスモデルで作成している。

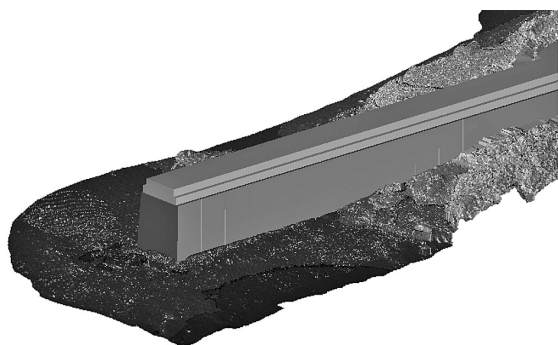


図-10 詳細度300のソリッドモデル

また、作成したソリッドモデルに変状図を付与したモデルを作成した(図-11)。既存の変状情報は前述したとおり、展開図の構成で変状図を作成しているため、「わかりやすさ」には欠ける情報であった。本モデルでは、変状情報が施設と一体となることで、明確に変状を把握することが可能となる。なお、変状図の付与はサーフェスモデルにも適用可能である。

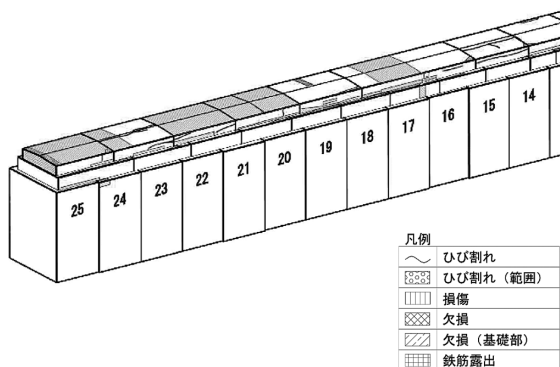


図-11 変状情報を付与したソリッドモデル

3-5 詳細度および属性情報

(1) 詳細度

詳細度の適用にあたり、維持管理において

必要となる主な情報や特性を以下に示す。

- ①施設単位で管理計画を作成
- ②一施設に複数断面の構成あり
- ③スパン単位で老朽化度を評価
- ④スパン毎に形状変化あり
- ⑤対策検討にて数量計算あり 等

このことから、漁港施設における重力式防波堤の詳細度は、港湾における栈橋を例とした詳細度(案)¹¹⁾に示す「詳細度300」相当が妥当であり(表-8)、栈橋を「重力式防波堤」、鋼杭を「ケーソンまたは方塊式など」とすることで適用可能である。

表-8 BIM/CIM モデルの詳細度(案)(例: 栈橋)

詳細度	共通定義	工種別の定義 構造物(栈橋)のモデル化
100	対象を記号や線、単純な形状でその位置を示したモデル。	対象構造物の位置を示すモデル。栈橋の配置が分かる程度の矩形形状もしくは線状のモデル。
200	対象の構造形式が分かる程度のモデル。標準断面で切土・盛土を表現、又は各構造物一般図に示される標準横断面を対象範囲でスライス※させて作成する程度の表現。	構造形式が確認できる程度の形状を有したモデル。栈橋では、栈橋の構造形式わかる程度のモデル。モデル化対象は主構造程度で部材厚の情報は持たない。地形との高さ関係から概ねの規模を想定してモデル化する。
300	附帯工等の細部構造、接続部構造を除き、対象の外形状を正確に表現したモデル。	主構造の形式が正確なモデル(栈橋)計算結果を基に主構造をモデル化する。主構造は本土工(鋼杭)及び上部工を指す。外形形状及び配置を正確にモデル化。
400	詳細度300に加えて、附帯工、接続構造等の細部構造及び配筋も含めて、正確に表現したモデル。	詳細度300に加えて接続部構造や配筋を含めてモデル化(栈橋)する。また、主な附属工(防舷材、係船柱)の配置と外形を含めてモデル化する。
500	対象の現実の形状を表現したモデル。	-

※スライス: 平面に描かれた図形をある基準線に沿って延長させて3次元化する技法

(2) 属性情報

属性情報については、直近の施設情報である下記を付与することが妥当と考えられる。

- ①機能保全計画書
- ②定期点検結果(各種様式および変状図)
- ③日常(臨時)点検結果(各種様式)

なお、属性情報の付与においては、諸元情報などの施設全体にかかる情報はモデル全体に、老朽化度評価などスパン単位で必要となる情報はスパン毎に付与など、適宜区分することで維持管理において有効となる。

4. まとめ

(1) 変状の検出

①UAV（陸上部）

老朽化度判定のひび割れにおける幅1cm精度を確保できるのは、約40,000/m²以上の点群データであり、防波堤上部工での垂直撮影で撮影高さが10mの撮影方法が妥当である。

②ナローマルチビーム（水中部）

老朽化度判定の移動・沈下（目地ずれ、段差）における10cm精度が確保できるのは約690/m²以上の点群データとなり、設定水深5mでビーム角0.5°のデータ取得が必要となる。

(2) 詳細度、属性情報

既存知見や漁港施設の特性を踏まえると、維持管理における3次元化モデルの詳細度は300、属性情報は直近の点検結果の付与が適当であり、施設全体とスパン単位で区分することが望ましく利便性向上にもつながる。

(3) 3次元化モデル

サーフェスモデル、ソリッドモデルともに適用可能である。維持管理においては、変状情報をモデルと結合させることでより有効な手段となる。

以上より、漁港施設における重力式防波堤の3次元化モデルを構築した結果、施設の重点箇所、変状ごとの場所と規模、その後の点検結果との比較等での維持管理での適用が可能であり、利便性の向上にも寄与できる可能性が示唆された。

5. おわりに

本稿は、漁港における3次元モデル活用的一部分に過ぎず課題も多いが、将来的に建設生産・管理システム全体の高度化・効率化を図っていくうえでの一助となることを願うと

ともに、今後も3次元データの活用・普及へ向けた調査・研究を継続していく予定である。

謝辞

本稿は水産基盤整備調査委託事業「漁港漁場分野における長寿命化対策検討調査」で実施した一部の調査内容を活用して3次元化の観点でとりまとめたものである。現地試験にあたり、神奈川県東部漁港事務所ならびに三和漁業協同組合に多大なご協力をいただいた。また、データ計測・解析等にあたっては、いであ株式会社、国際航業株式会社、日本ミクニヤ株式会社には多大なご協力をいただいた。すべての関係各位には、ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 閣議決定：科学技術・イノベーション基本計画. 令和3年3月26日, 2021.
- 2) 国土交通省：BIM/CIM活用ガイドライン(案). 令和3年3月, 2021.
- 3) 水産庁漁港漁場整備部：漁港漁場整備事業の推進に関する技術開発の方向. 平成29年6月, 2017.
- 4) 水産庁：漁港漁場整備長期計画. 令和4年3月, 2022.
- 5) 水産庁漁港漁場整備部整備課：無人航空機(UAV)を活用した水産基盤施設の点検の手引き. 平成31年3月, 2019.
- 6) 水産庁漁港漁場整備部整備課：センシング技術を活用した漁港施設の点検の手引き～水中3Dスキャナーとナローマルチビームの活用～. 令和3年3月, 2021.
- 7) 水産庁：インフラ長寿命化計画(行動計画). 令和3年3月31日改定, 2021.
- 8) 水産庁漁港漁場整備部：水産基盤施設ストックマネジメントのためのガイドライン. 平成27年5月改訂, 2015.
- 9) 水産庁漁港漁場整備部：水産基盤施設機能保全計画策定の手引き. 平成27年3月改訂, 2015.
- 10) 水産庁漁港漁場整備部整備課：水産基盤施設の維持管理点検マニュアル. 令和2年9月, 2020.
- 11) 国土交通省：BIM/CIM活用ガイドライン(案)第8編 港湾編. 令和3年3月, 2021.