

3 水中 3D スキャナーとナローマルチビームの適用条件

3.1 水中 3D スキャナーとナローマルチビーム活用の対象施設

水中 3D スキャナーとナローマルチビームの活用では、外郭施設・係留施設・水域施設が主な対象施設となる。

【解説】

水中 3D スキャナーとナローマルチビームは、音波を利用していることから水中の濁りの影響がなく、短時間で点検対象物全体の 3 次元データが取得可能となる。水中 3D スキャナーは水面付近から水深 12~15m まで、ナローマルチビームソナーは水底付近の深所への適用が可能である。水中部の点検・診断における現状・課題と水中 3D スキャナー、ナローマルチビーム活用による解決方策を表 3-1 に示す。

水中 3D スキャナーとナローマルチビーム活用では、外郭施設・係留施設・水域施設が主な対象施設となる。

表 3-1 水中部の点検・診断における現状・課題と水中 3D スキャナー、ナローマルチビーム活用による解決方策

水中部の点検・診断における現状（潜水調査）と課題		ナローマルチビーム活用による対応策	水中3Dスキャナー活用による対応策
点検精度	・目視困難な海象条件（濁り、波浪）	・音波を使用することで濁りに影響されない点検・診断が可能	・音波を使用することで濁りに影響されない点検・診断が可能
	・局所的な変状の把握は可能 ・大規模な変状全体を俯瞰することが困難 ・連続的・空間的な変状把握が困難	・水深の3倍以上のビーム幅で広域の変状把握が可能（海底部）	・ナローマルチビームより詳細に構造物の変状把握が可能 ・水面付近のデータを取得可能
点検記録の有効活用	・寸法計測によるスケッチは、潜水士の技量に左右	・客観的な3次元データとして、設計・施工に活用可能 ・災害発生時の初期データとして、有効利用可能	・客観的な3次元データとして、設計・施工に活用可能 ・災害発生時の初期データとして、有効利用可能
安全性・作業環境	・水中の厳しい作業条件（潜水事故・潜水病）	・潜水作業を伴わない海上作業により危険作業を低減	・潜水作業を伴わない海上作業により危険作業を低減
	・少子高齢化による潜水士の減少 歩掛6名体制 （技師捕1・助手1・潜水士2・連絡員1・送気員1）	・省人化が可能 歩掛3名体制（技師捕1・助手2）	・省人化が可能 歩掛3名体制（技師捕1・助手2）
生産性向上・点検費用	・潜水士目視調査の作業効率が低い 潜水調査1,200㎡/日	・作業効率 100,000㎡/日（計測面積） ・ナローマルチビームによるスクリーニングを実施し、潜水調査費用を低減	・作業効率 100,000㎡/日（計測面積） ・水中3Dスキャナーによるスクリーニングを実施し、潜水調査費用を低減 ・ナローマルチビームより安価に計測

3.2 対象とする変状

本書で対象とする変状は、詳細調査における潜水目視調査項目であるコンクリート・鋼材の穴開き・欠損、被覆工の移動・散乱等とする。

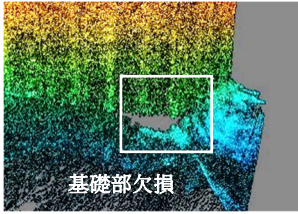
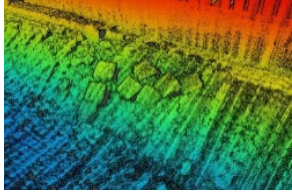
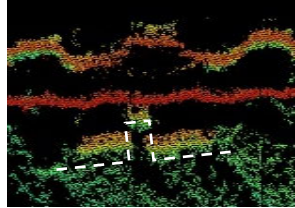
【解説】

(1) 水中 3D スキャナー

水中 3D スキャナーを適用し点検の効率化・高精度化が期待できる主な対象部材は水中部の本体工および被覆工、矢板等である。「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 巻末資料 2 潜水目視調査に係る老朽化度の評価基準（参考）」の判断基準のうち、水深等の条件により異なるがどの対象施設についても「a」判定（部材の機能が著しく低下している状態）は判別可能である。また、「b」判定（部材の性能が低下している状態）は、重力式施設について小規模な欠損（10cm 程度）を、矢板式係船岸および浮体式係船岸について L.W.L 付近に孔食（10cm 程度）がある場合は判別可能である。

ただし、水中 3D スキャナーの機器分解能からコンクリートのひび割れや鋼材の発錆、変色は判別困難である。

表 3-2 水中 3D スキャナーによる老朽化度判定の適用性

構造	適用可能な判断基準	備考（判定例）
重力式	<p>【本体工（コンクリートの損傷）】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・部材の性能が著しく低下している状態「a」は判定可能。 ・小規模な欠損「b」に対し 10cm 程度以上の規模であれば判定可能。 ・幅 1cm 以上のひび割れ「b」は判定不可。 <p>【被覆工（移動・散乱）】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・「a」～「d」すべて判別可能。 	 <p>基礎部欠損</p> <p>本体ブロックの欠損</p>  <p>被覆工の移動・散乱</p>
矢板式 又は 杭式	<p>【矢板・杭式（鋼材の損傷）】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・10cm 程度以上の規模であれば判定可能。 <p>【電気防食工（陽極）】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・「a」～「d」すべて判定可能。ただし、「b」はボルトのゆるみ等、軽微な判定不可。 <p>【被覆工（移動・散乱）】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・「a」～「d」すべて判定可能。 	 <p>10cm 幅の陥没</p>
浅所	<ul style="list-style-type: none"> ・船揚場など水深の浅い箇所（水深-2m 以浅）でも音波を横向きに発振し計測可能。 	
深所	<ul style="list-style-type: none"> ・水深 15m 以深の深い箇所では、計測困難。 	

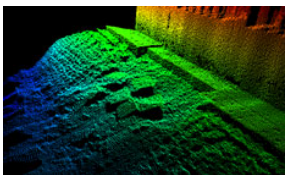
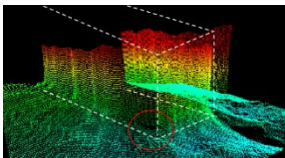
(2) ナローマルチビーム

ナローマルチビームを適用し点検の効率化・高精度化が期待できる主な対象部材は水中部の本体工・被覆工等である。「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 巻末資料2 潜水目視調査に係る老朽化度の評価基準（参考）」の判断基準のうち、水深等の条件により異なるが、おおむね「a」判定（部材の機能が著しく低下している状態）は判別可能である。また、水深 12～15m 以深の対象構造物についても計測が可能である。

ただし、ナローマルチビームの機器分解能からコンクリートのひび割れや鋼矢板の数 cm 程度の開孔は判別困難であり、より高精度な 3D スキャナー等のセンシング技術を適用する必要がある。

なお、水域施設ではナローマルチビームを使用した深淺測量により面的で詳細な洗掘・堆積状況を把握することが可能であるが、深淺測量については「漁港漁場設計・測量・調査等業務共通仕様書等」の基準が制定されており、本書では対象外とする。

表 3-3 ナローマルチビームによる老朽化度判定の適用性

構造	適用可能な判断基準	備考（判定例）
重力式	<p>【本体工（コンクリートの損傷）】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・部材の機能が著しく低下している状態「a」は判定可能。 ・小規模な欠損「b」に対し 50cm 程度以上の規模であれば判定可能。 <p>【被覆工（移動・散乱）】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・「a」～「d」すべて判定可能。 	 <p>被覆工の移動・散乱</p>
矢板式 又は 杭式	<p>【矢板・杭（鋼材の損傷）】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・船舶が衝突したような著しい損傷や 50cm 程度以上の規模の開孔であれば判定可能。 <p>【電気防食工（陽極）】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・「a」～「d」すべて判定可能。ただし「b」はボルトのゆるみ等、軽微なものは判定不可。 <p>【被覆工（移動・散乱）】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・「a」～「d」すべて判定可能。 	 <p>本体ブロックの欠損</p>
浅所	<ul style="list-style-type: none"> ・船揚場など水深の浅い箇所（水深-2m 以浅）では調査船の航行が困難。 	
深所	<ul style="list-style-type: none"> ・水深 12～15m 以深の対象構造物についても計測可能。 	

3.3 水中 3D スキャナーとナローマルチビームの使い分け

音響機器は、点検目的に応じて適切に使い分けて活用する必要がある。

【解説】

水中 3D スキャナーとナローマルチビームは、点検目的に応じて使い分けて活用する。

水深 0～2m を対象に計測する場合は、周波数が高く浅所において対象構造物を詳細に計測することが可能な水中 3D スキャナーを活用する。

水深 2～15m 付近を対象に計測する場合は、水中 3D スキャナーとナローマルチビームのいずれの音響機器でも計測可能であるため対象とする施設および損傷に応じて選択する必要がある。特に、水深 12～15m 付近の計測は、矢板・杭式護岸等の凹凸が大きい施設では水中 3D スキャナー、重力式防波堤等の平面的な構造の施設ではナローマルチビームの方が、計測データのばらつきが少なく正確な形状を計測することが可能である。したがって、対象施設の水深が 12～15m の場合は、施設の形状によって計測機器を決定する。

水深 15m 以深を対象に計測する場合は、水中 3D スキャナーと比較して周波数が低く、音波の減衰しにくいナローマルチビームを活用する。

なお、ひび割れや錆、変色など水中 3D スキャナーとナローマルチビームで計測困難な変状は、潜水目視もしくは ROV（Remotely Operated Vehicle：無人操作艇）を用いたカメラ画像により確認する手法が有効である。

表 3-4 計測条件および作業環境に応じた点検手法

対象施設		老朽化度判定の適用性	
		水中3Dスキャナー	ナローマルチビーム
水深0m～2m		◎	×
水深2m～12m		◎	○
水深12m～15m	平面的構造	△	○
	鋼管狭小部	○	△
水深15m以深	平面的構造	×	○
	鋼管狭小部	×	△
構造物の垂直面（凹凸のある矢板等）		◎*	○
構造物の水平面（被覆工の天端等）		○*	◎
小規模なクラック、変色、発錆等の微細な変状		×	×

◎：効果的な判定が可（精度高）、○：可（精度中）、△：計測可だが点群がばらつく（粗い）、×：不可

※ 水中3Dスキャナーは機器の性能（仕様）水深15mが計測限界

3.4 使用機器の仕様・構成等

(1) 水中 3D スキャナーの使用機器・構成

水中 3D スキャナーは、音波を発信するソナーヘッドと上下・左右のパン・チルト回転する雲台から構成される。漁港施設の水中部は、水中 3D スキャナーを舷側に艀装し慣性航法装置、GNSS アンテナと同期させることにより航行しながら計測する。

【解説】

構造物の変状を詳細に把握し、その位置・寸法を記録するためには、深淺測量で使用する機器構成と同様にすることが望ましい。

機器	目的・機能
水中 3D スキャナー	海底地形等を面的に測深する機器
動揺センサ (慣性航法装置)	船体の動揺(ロール・ピッチ・ヒーブ)を計測し、各音響ビームの照射位置を補正
方位センサ (慣性航法装置)	船体(ソナーヘッドの方向)を計測し、各音響ビームの照射位置を補正
測位装置	船体(ソナーヘッド)の水平位置を検出
音速度計	水中音速を計測し、計測データに音速度補正を適用
データ収録誘導装置 (PC+ソフトウェア)	上記データを収録する

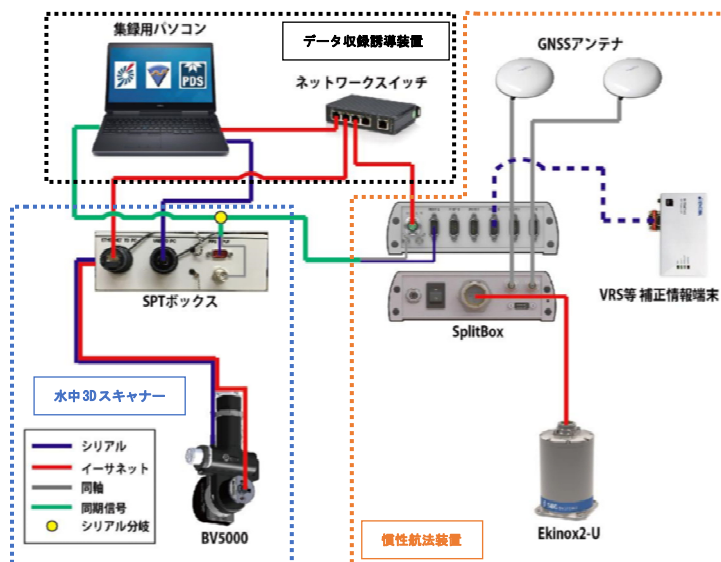




図 3-1 水中 3D スキャナーの構成例

出典 (株)ハイドロシステム開発

水中 3D スキャナーで計測する際は、求められている点検精度（変状の正確な位置、大きさ）や施設の立地（橋脚の下など衛星データの取得が一部困難な箇所が含まれている）によって使用する慣性航法装置を決定する。慣性航法装置は、通常の上陸測位で用いられる精度の DGNSS（測位精度 1m 程度）と、電子基準点を利用した航跡の後処理補正により、RTKGNSS（数 cm）レベルまで精度を上げることが可能な 2 種類から選択する。水中 3D スキャナーで使用する慣性航法装置の例について表 3-5 に示す。

表 3-5 水中 3D スキャナー計測で使用する慣性航法装置の例

機器名	慣性航法装置	高精度慣性航法装置
機器外観		
型式	SBG SYSTEMS 社製 Ekinox-2U	Applanix 社製 POS/MV WaveMaster
仕様	センサー仕様：慣性 6 軸センサー 精度：ロール、ピッチ：0.05° rms 方位角：0.1° rms ヒープ：5cm or 5% 出力間隔：最大 200Hz 防水	センサー仕様：慣性 6 軸センサー 精度：ロール、ピッチ：<0.02° rms 方位角：0.03° rms ヒープ：2cm or 2% 出力間隔：最大 200Hz 非防水
機能	海上測位、船体動揺、方位計測	海上測位、船体動揺、方位計測 <u>※電子基準点を利用した 後処理補正が可能</u>
測位精度	計測時 : DGNSS (1m 程度)	計測時 : DGNSS (1m 程度) <u>後処理補正後 : RTKGNSS (数 cm)</u>
使用目的	・変状の計測 ・ゴムボート等船体の安定しない船舶での計測の場合（浸水の可能性がある場合）	・変状の計測（設計図面への活用求められる場合） ・対象施設に衛星データの取得が困難な箇所が含まれている場合

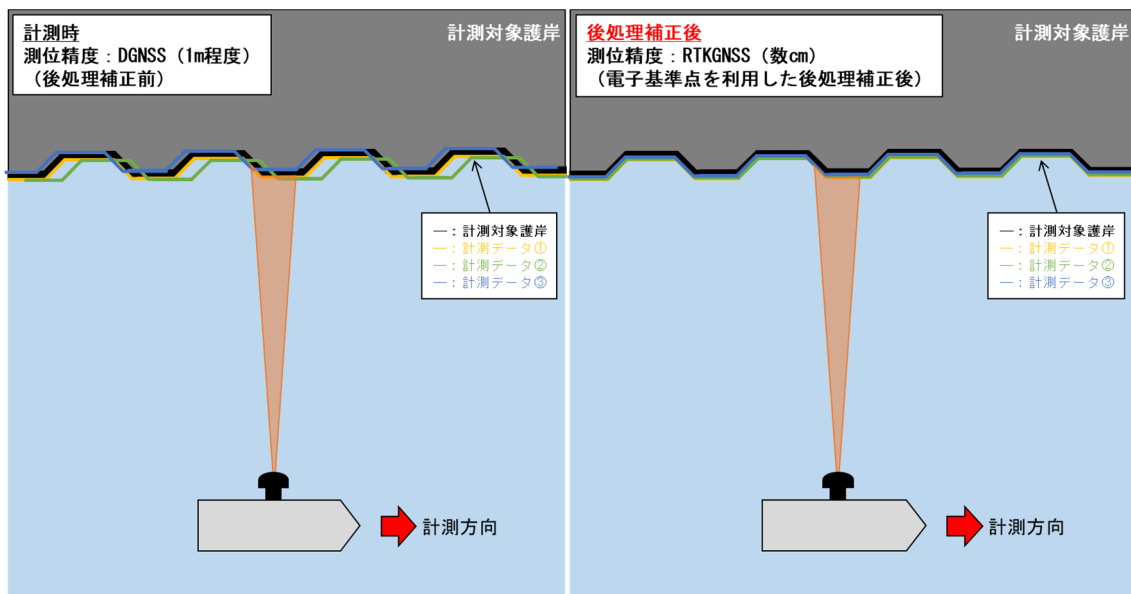


図 3-2 測位精度の違いによる計測データの違い

(2) ナローマルチビームシステムの使用機器・構成

ナローマルチビームシステムは、ナローマルチビーム測深器、慣性航法装置、測位装置から構成される。漁港施設の水中部は、ナローマルチビーム測深器を舷側に艀装し慣性航法装置、GNSS アンテナと同期させることにより航行しながら計測する。

【解説】

構造物の変状を詳細に把握し、その位置・寸法を記録するためには、深浅測量で使用する機器構成と同様にすることが望ましい。

表 3-6 ナローマルチビームシステムの機器構成

機器	目的・機能
ナローマルチビーム測深機	海底地形等を面的に測深する機器
動揺センサ (慣性航法装置)	船体の動揺(ロール・ピッチ・ヒープ)を計測し、各音響ビームの照射位置を補正
方位センサ (慣性航法装置)	船体 (ソナーヘッドの方向) を計測し、各音響ビームの照射位置を補正
測位装置	船体 (ソナーヘッド) の水平位置を検出
音速度計	水中音速を計測し、計測データに音速度補正を適用
データ収録誘導装置 (PC+ソフトウェア)	上記データを収録する

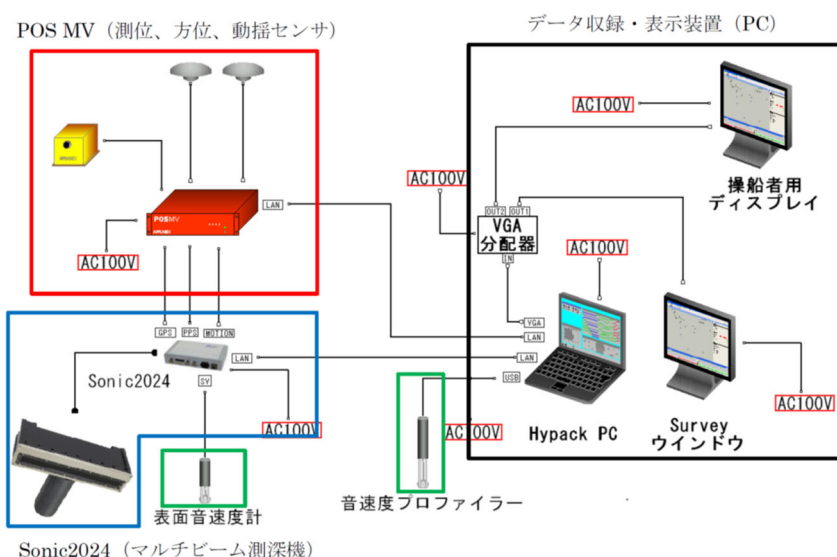


図 3-3 ナローマルチビームシステムの構成例

出典 (株)東陽テクニカHP

ナローマルチビームは、水中 3D スキャナーに比べて点群密度が低い。そのため、構造物を詳細に調査するためには、同一箇所を複数回計測してデータを重ね合わせて点群密度を大きくすることが必要である。データを重ね合わせるためには、航跡の後処理によって RTKGNSS (精度数 cm) レベルまで精度を高めることができる POS 等の慣性航法装置を使用して計測を行う必要がある。

(4) 代価表

マルチビーム測深 1 日当たり (km²)

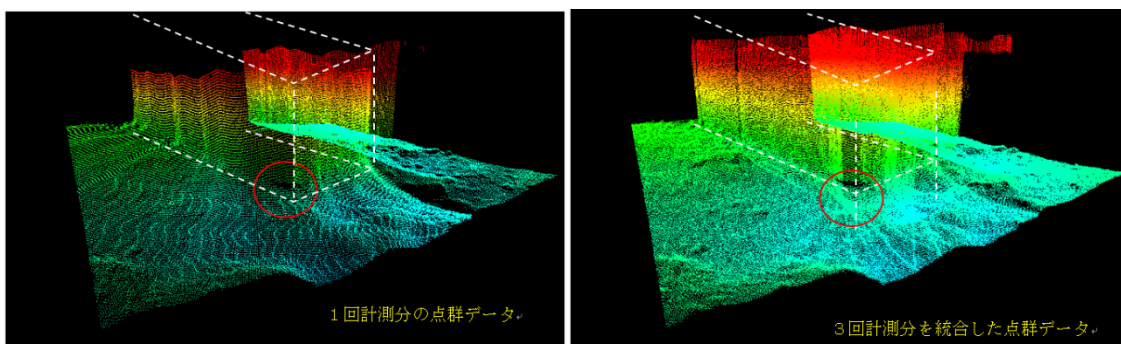
名称	形状寸法	単位	数量	摘要
交通車	ライトバン 2 台	日	1	運2H/就8H
測量船 運転	FRPD 70PS型	〃	1	就業8H
主任技師	測量	人	1	
技師	〃	〃	1	
技師 補	〃	〃	1	
助手	〃	〃	1	
G N S S		日	1	損料 注)
マルチビーム測深機		〃	1	損料 注)
雑 材 料		%	2	

- 注) 1. マルチビーム測深機の機種の設定は特記仕様書の定めによる。
 2. 測量機器の使用で、従局までの機械運搬が必要な場合は別途計上する。
 3. GNSSは、DGNS (海上保安庁中波ビーコン対応) を標準とする。なお、より高い精度を必要とする場合にはRTKGNS (特定小電力方式) を使用することができる。

損料は以下による。

GNSSおよびマルチビーム測深機 1 日当たり損料 = 供用 1 日当たり損料 × α (供用係数)

出典 漁港漁場関係工事積算基準 参考資料-2 マルチビーム測深



複数回の計測データを統合することで変状の形状・寸法をより明瞭に判別できる

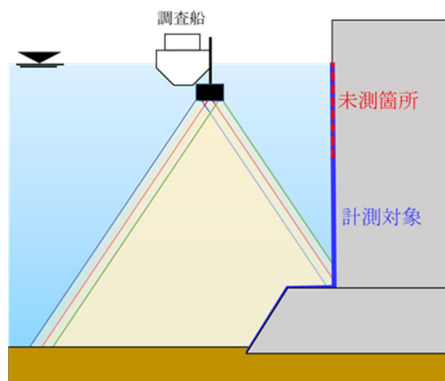


図 3-4 計測回数による点群密度