

4 水中 3D スキャナーとナローマルチビームの活用の考え方と計測

4.1 本手引きにおける水中 3D スキャナーとナローマルチビームの適用性

漁港施設機能診断における水中 3D スキャナー、ナローマルチビームなどの音響機器の活用は、詳細潜水目視調査箇所のスクリーニングや点検精度向上、点検費用低減、潜水作業の軽減を目的とし適用する。

また、音響機器により被災前後のモニタリングへの活用を期待することが出来る。

【解説】

作業日数 1 日間の詳細潜水目視調査範囲にナローマルチビームを適用してもコスト高となる。音響機器活用により得られる効果は、現場条件（調査対象の水深・面積）により異なるため、それらを考慮して適用を検討する必要がある。

各手法の点検費用を整理したのち、水中 3D スキャナーおよびナローマルチビームによるスクリーニングにより詳細潜水目視調査の点検数を絞り込むことで費用低減が可能となる点検規模を試算した（表 4-1、表 4-2）。

音響機器を用いたスクリーニングを実施後、点検箇所の 30% 詳細潜水目視調査を実施すると想定した場合、点検面積が 3,601 m² または 4,800 m² 以上で詳細潜水目視調査の総点検費用を低減できる結果となった（図 4-1）。

表 4-1 水中 3D スキャナーと詳細潜水目視調査を組み合わせた点検費用の比較

点検面積 (m ²)	3DS		潜水目視調査のみ
	潜水目視調査なし	詳細潜水目視調査 30%	
0~1,200	198	308	110
1,201~2,400	198	308	199
2,401~3,600	198	308	287
3,601~4,000	198	308	376
4,001~4,800	198	397	376
4,801~6,000	198	397	465
6,001~7,200	198	397	554
7,201~8,400	198	485	643
8,401~9,600	198	485	732
9,601~10,800	198	485	821
10,801~12,000	198	485	910

単位：万円

表 4-2 ナローマルチビームと詳細潜水目視調査を組み合わせた点検費用の比較

点検面積 (m ²)	NMB 潜水目視調査なし	NMB 詳細潜水目視調査 30%	潜水目視調査のみ
0~1,200	223	333	110
1,201~2,400	223	333	199
2,401~3,600	223	333	287
3,601~4,000	223	333	376
4,001~4,800	223	422	376
4,801~6,000	223	422	465
6,001~7,200	223	422	554
7,201~8,400	223	510	643
8,401~9,600	223	510	732
9,601~10,800	223	510	821
10,801~12,000	223	510	910

単位：万円

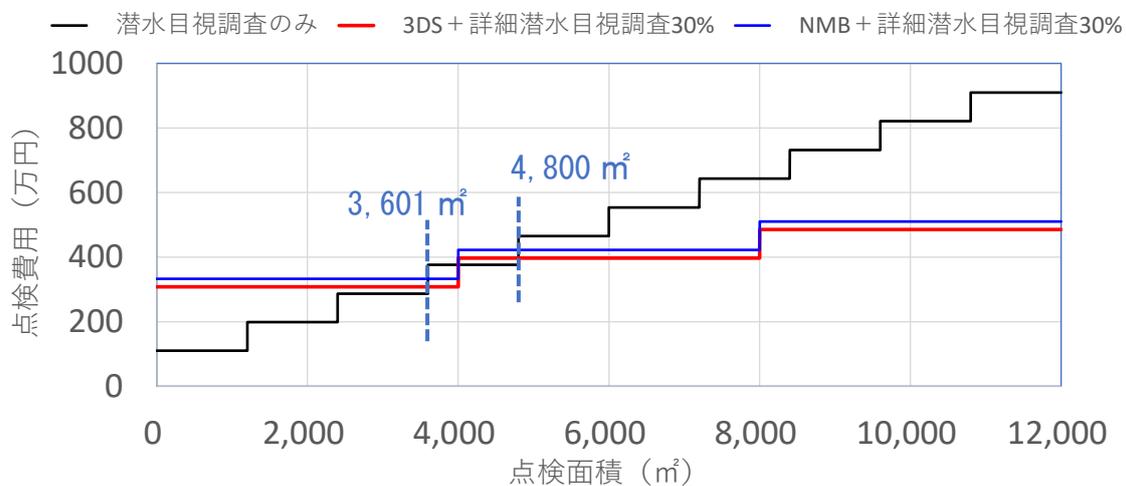


図 4-1 各種水中部点検技術の点検面積あたりの点検費用比較

水中 3D スキャナーおよびナローマルチビーム、潜水目視調査の計測条件および作業環境を表 4-3 に示した。

水中 3D スキャナーおよびナローマルチビームは、潜水目視調査と比べて 1 日あたりに計測できる面積が大きいため網羅的広域調査や災害時の状況調査に適している。一方で、ひびやさび、変色などの詳細な損傷は音響機器の性能上計測することが困難である。そのため、潜水土を用いた局所的な詳細潜水目視調査が必要となる。

水深や濁り、流速などの作業環境は前述の 3.3 で説明したため、本章では省略する。

表 4-3 各種水中部点検技術の計測条件および作業環境

計測条件 作業環境	濁水	水深15m 以深	流速 1m/sec	水際	網羅的 広域調査	災害時被災 状況調査	局所的 詳細調査
水中3D スキャナー	○	×	○	○	○	○	×
ナロー マルチビーム	○	○	○	×	○	○	×
潜水調査	×	△ (20mまで)	×	○	×	×	○

--- 【参考情報】 -----

外郭施設における被覆・根固ブロック飛散や係留施設の重力式本体工の大きな欠損等は、水中 3D スキャナーおよびナローマルチビーム測深により変状が概ね把握できる。水中部の点検にあたり水中 3D スキャナーおよびナローマルチビーム測深を用いたスクリーニングにより、詳細潜水目視調査の実施箇所を選定することで点検費用を低減することが可能である。

そこで、音響機器の活用により点検費用低減が可能となる点検規模（点検対象面積）の試算を行った。本年度は、3 回計測して統合・重ね合わせるため、水中 3D スキャナーおよびナローマルチビームの点検面積は、100,000m²/日として計算した。また、点検面積が増加した場合の点検費用についても算出した。

点検費用について算出した概算結果（表 4-4）、ナローマルチビームと比較して水中 3D スキャナー（POS）は、点検面積が 100,000（m²）の場合に約 32 万円、点検面積が 500,000（m²）の場合に約 96 万円安価となった。

また、点検面積増加に伴う音響機器および潜水目視調査の点検費用（見込み）の一覧を表 4-8 に示した。

表 4-4 水中 3D スキャナー (POS 使用) の点検概算費用

水中3Dスキャナー (動揺センサーはPOSを採用した場合) (点検面積100,000㎡の場合)

工種	細目	単位	数量	単価	金額	備考
測量準備						
	測量準備	式	1	374,508	374,508	
	機材運搬	式	1	72,911	72,911	25km未満
水深測量						
	艀装テスト	式	1	291,581	291,581	RTKGNSS
	水中3Dスキャナー計測	日	1	291,581	291,581	100,000㎡/日 (水深10m)
成果						
	報告書作成	式	1	957,490	957,490	
			上記の直接測量費合計		1,988,071	
				1㎡あたり	19.88	

水中3Dスキャナー (動揺センサーはPOSを採用した場合) (点検面積500,000㎡の場合)

工種	細目	単位	数量	単価	金額	備考
測量準備						
	測量準備	式	1	374,508	374,508	
	機材運搬	式	1	72,911	72,911	25km未満
水深測量						
	艀装テスト	式	1	291,581	291,581	RTKGNSS
	水中3Dスキャナー測深	日	5	291,581	1,457,905	100,000㎡/日 (水深10m)
成果						
	報告書作成	式	5	957,490	4,787,450	
			上記の直接測量費合計		6,984,355	
				1㎡あたり	13.97	

費用算定の参考資料

マルチビーム：漁港漁場関係工事積算基準 (水産庁)

表 4-5 水中 3D スキャナー (Ekinox 使用) の点検概算費用

水中3Dスキャナー (動揺センサーはEkinoxを採用した場合) (点検面積100,000㎡の場合)

工種	細目	単位	数量	単価	金額	備考
測量準備						
	測量準備	式	1	374,508	374,508	
	機材運搬	式	1	72,911	72,911	25km未満
水深測量						
	艀装テスト	式	1	253,506	253,506	RTKGNSS
	水中3Dスキャナー測深	日	1	253,506	253,506	100,000㎡/日 (水深10m)
成果						
	報告書作成	式	1	957,490	957,490	
			上記の直接測量費合計		1,911,921	
				1㎡あたり	19.12	

水中3Dスキャナー (動揺センサーはEkinoxを採用した場合) (点検面積500,000㎡の場合)

工種	細目	単位	数量	単価	金額	備考
測量準備						
	測量準備	式	1	374,508	374,508	
	機材運搬	式	1	72,911	72,911	25km未満
水深測量						
	艀装テスト	式	1	253,506	253,506	RTKGNSS
	水中3Dスキャナー測深	日	5	253,506	1,267,530	100,000㎡/日 (水深10m)
成果						
	報告書作成	式	5	957,490	4,787,450	
			上記の直接測量費合計		6,755,905	
				1㎡あたり	13.51	

費用算定の参考資料

マルチビーム：漁港漁場関係工事積算基準 (水産庁)

表 4-6 ナローマルチビームの点検概算費用

ナローマルチビーム（点検面積100,000㎡の場合）

工種	細目	単位	数量	単価	金額	備考
測量準備						
	測量準備	式	1	374,508	374,508	
	機材運搬	式	1	72,911	72,911	25km未満
水深測量						
	艀装テスト	式	1	413,681	413,681	RTKGNSS
	マルチビーム測深	日	1	413,681	413,681	100,000㎡/日 (水深10m)
成果						
	報告書作成	式	1	957,490	957,490	
			上記の直接測量費合計		2,232,271	
				1㎡あたり	22.32	

ナローマルチビーム（点検面積500,000㎡の場合）

工種	細目	単位	数量	単価	金額	備考
測量準備						
	測量準備	式	1	374,508	374,508	
	機材運搬	式	1	72,911	72,911	25km未満
水深測量						
	艀装テスト	式	1	413,681	413,681	RTKGNSS
	マルチビーム測深	日	5	413,681	2,068,405	100,000㎡/日 (水深10m)
成果						
	報告書作成	式	5	957,490	4,787,450	
			上記の直接測量費合計		7,716,955	
				1㎡あたり	15.43	

費用算定の参考資料

マルチビーム：漁港漁場関係工事積算基準（水産庁）

表 4-7 潜水目視調査の点検概算費用

潜水調査（点検面積1,200㎡の場合）

工種	細目	単位	数量	単価	金額	備考
調査・測量準備						
	計画準備	式	1	140,100	140,100	
	機材運搬	式	1	72,911	72,911	25km未満
現地調査						
	潜水調査（重点項目）	日	1	290	348,000	1,200㎡/日
成果						
	報告書作成	式	1	540,905	540,905	
			上記の直接測量費合計		1,101,916	
				1㎡あたり	918	

潜水調査（点検面積6,000㎡の場合）

工種	細目	単位	数量	単価	金額	備考
調査・測量準備						
	計画準備	式	1	140,100	140,100	
	機材運搬	式	1	72,911	72,911	25km未満
現地調査						
	潜水調査（重点項目）	日	5	290	1,740,000	1,200㎡/日
成果						
	報告書作成	式	5	540,905	2,704,525	
			上記の直接測量費合計		4,657,536	
				1㎡あたり	776	

費用算定の参考資料

潜水調査：維持管理計画書策定のための現地調査積算基準（国土交通省港湾局）

表 4-8 音響機器および詳細潜水目視調査の点検費用（見込み）一覧

調査 日数	水中3Dスキャナー（POS）		水中3Dスキャナー（Ekinox）		ナローマルチビーム		潜水調査	
	計測費用 （万円）	計測面積 （㎡）	計測費用 （万円）	計測面積 （㎡）	計測費用 （万円）	計測面積 （㎡）	調査費用 （万円）	調査面積 （㎡）
1	198	100,000	191	100,000	223	100,000	110	1,200
2	323	200,000	312	200,000	360	200,000	199	2,400
3	448	300,000	433	300,000	497	300,000	287	3,600
4	573	400,000	554	400,000	634	400,000	376	4,800
5	698	500,000	675	500,000	771	500,000	465	6,000
6	823	600,000	796	600,000	908	600,000	554	7,200
7	948	700,000	917	700,000	1,045	700,000	643	8,400
8	1,073	800,000	1,038	800,000	1,183	800,000	732	9,600
9	1,198	900,000	1,159	900,000	1,320	900,000	821	10,800
10	1,322	1,000,000	1,281	1,000,000	1,457	1,000,000	910	12,000
11	1,447	1,100,000	1,402	1,100,000	1,594	1,100,000	999	13,200
12	1,572	1,200,000	1,523	1,200,000	1,731	1,200,000	1,087	14,400
13	1,697	1,300,000	1,644	1,300,000	1,868	1,300,000	1,176	15,600
14	1,822	1,400,000	1,765	1,400,000	2,005	1,400,000	1,265	16,800
15	1,947	1,500,000	1,886	1,500,000	2,142	1,500,000	1,354	18,000
16	2,072	1,600,000	2,007	1,600,000	2,279	1,600,000	1,443	19,200
17	2,197	1,700,000	2,128	1,700,000	2,417	1,700,000	1,532	20,400
18	2,322	1,800,000	2,249	1,800,000	2,554	1,800,000	1,621	21,600
19	2,447	1,900,000	2,370	1,900,000	2,691	1,900,000	1,710	22,800
20	2,572	2,000,000	2,492	2,000,000	2,828	2,000,000	1,799	24,000

水深 10m を計測した場合

4.2 漁港施設点検で求められる精度

定期点検でのナローマルチビーム活用にあたり、点検に求められる精度を確保する必要がある。

【解説】

(1) 潜水目視調査における要求精度

適切な機能診断・劣化度評価を行うためには「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」を満足する必要がある。

評価基準のうち、音響機器が適用可能な点検項目を表 4-9、表 4-10 に示す。音響機器で確認した「a」判定（部材の機能が著しく低下している状態）や確認できない点検項目については、必要に応じ詳細潜水目視調査を実施するなどの措置を講ずるものとする。

--- 【参考情報】 -----

重力式防波堤等の施設では、ひび割れ・鉄筋露出を判断することは困難であるが、水中 3D スキャナーは 10cm 程度、ナローマルチビームは 50cm 程度以上の欠損、本体工・ブロックの移動等について適用可能である。

表 4-9 重力式防波堤の判定基準及び水中 3D スキャナーの適用性

対象施設	調査項目	調査方法	老朽化度の判断基準		3DS 判定可否	ナローマルチビーム 判定可否	
			a	b			
重力式 防波堤 (消波堤)	本体工 (側壁、 スリット 部)	コンクリートの 劣化、損傷 (RCの場合)	潜水調査 ・ひび割れ、剥離、 損傷、欠損 ・鉄筋露出 ・老朽化の兆候	a	中詰材が流出するような穴開き、ひび割れ、欠損がある。	○	○
				b	広範囲に亘り鉄筋が露出している。 複数方向に幅3mm程度のひび割れがある。	○ (10cm程度)	△ (50cm程度)
				c	一方向に幅3mm程度のひび割れがある。 局所的に鉄筋が露出している。	×	×
				d	老朽化なし。		
				a	性能に影響を及ぼす程度の欠損がある。	○	○
				b	小規模な欠損がある。 幅1cm以上のひび割れがある。	○ (10cm程度)	△ (50cm程度)
				c	幅1cm未満のひび割れがある。	×	×
				d	老朽化なし。		
	被覆工	移動、散乱	潜水調査 ・被覆工等の移動・ 散乱	a	被覆工の散乱があり、かつ捨石材の流出が見られる。	○	○
				b	被覆工の散乱がある。	○	○
				c	---	---	---
				d	老朽化なし。	○	○

また、矢板式係船岸等の施設では、被覆防食工の変状を判断することは困難であるが、鋼材の開孔や変形・著しい損傷等、a判定となるような老朽化については、水中3Dスキャナーで10cm程度、ナローマルチビームで50cm程度以上の変状であれば適用可能であった。

電気防食工や被覆工は水中3Dスキャナー、ナローマルチビームともa～d判定の老朽化判断に適用可能であった。

表 4-10 矢板式係船岸の判定基準及び音響機器の適用性

対象施設	調査項目		調査方法	老朽化度の判断基準		3DS 判定可否	ナローマルチビーム 判定可否	
矢板式 係船岸	矢板	鋼材の腐食、亀裂、損傷 (防食工を施している場合)	潜水調査 ・穴あきの有無 ・水面下の鋼材の腐食 ・表面の傷の状況 ・継手の腐食状況	a	腐食による開孔や変形、その他著しい損傷がある。	○	○	
					開孔箇所から裏理材が流出している兆候がある。	○	○	
				b	L.W.L付近に孔食がある。	○ (10cm程度)	△ (50cm程度)	
					全体的に発錆がある。	×	×	
		c	部分的に発錆がある。					
		d	付着物は見られるが、発錆、開孔、損傷は見られない。					
		被覆防食工	塗装の場合	潜水調査 ・欠陥面積率	a	欠陥面積率10%以上	×	×
					b	欠陥面積率0.3%以上10%未満	×	×
			c		欠陥面積率0.03%以上0.3%未満			
			d		欠陥面積率0.03%未満			
		有機被覆、 ペトリウム被覆、 モタル被覆、 金属被覆 の場合	潜水調査 ・鋼材の腐食、露出 ・被覆材の損傷 ・保護カバー等の状態	a	鋼材が露出し、錆が発生している。	×	×	
				b	被覆材に鋼材まで達するすり傷、あて傷、はがれ等の損傷が生じている。	×	×	
	c			保護カバー等に欠損がある。	×	×		
	d			被覆材に鋼材まで達していないすり傷、あて傷、はがれ等の損傷がある。 保護カバー等に損傷がある。				
	d	老朽化なし。						
	電気防食工	潜水調査 ・状況の確認(全数)	a	陽極の欠落又は全消耗。	○	○		
			b	陽極取付の不具合※	○	○		
			c	---	---	---		
			d	欠落等の異状なし。	○	○		
	被覆工	移動、散乱	潜水調査 ・被覆工等の移動・散乱	a	被覆工の散乱があり、かつ捨石材の流出が見られる。	○	○	
b				被覆工の移動、散乱がある。	○	○		
c				---	---	---		
d				老朽化なし。	○	○		

※ボルトのゆるみ等、軽微なものは判別不可

【音響機器で計測可能な変状サイズ】

水中 3D スキャナーとナローマルチビームにより岸壁壁面に設置した供試体を船速 2~3 ノットで計測した。

水中 3D スキャナーは 20cm と 10cm の凹凸は概形と幅・奥行きを計測することが可能で、5cm の凹部は隙間を確認できた。5cm の凸部は確認できなかった。ナローマルチビームは 20cm 程度の凹凸を計測可能であったが、10cm 程度の凹凸は計測できなかった。

供試体は、水中 3D スキャナー、ナローマルチビームとも最も点群密度が高く取得できる設定で計測した。水中 3D スキャナーの点群密度は 45 点/100cm²、ナローマルチビームは 26/100cm² となり、水中 3D スキャナーの密度はナローマルチビームの約 2 倍であった。

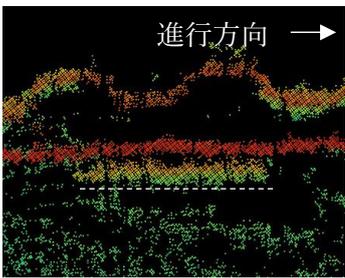
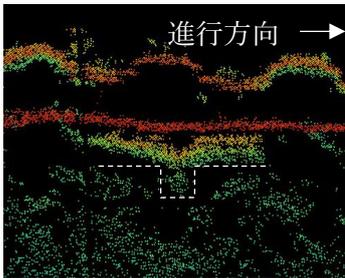
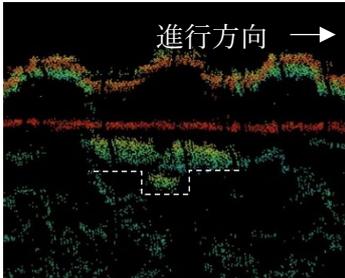
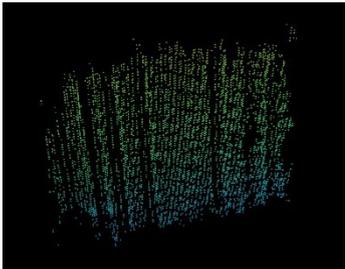
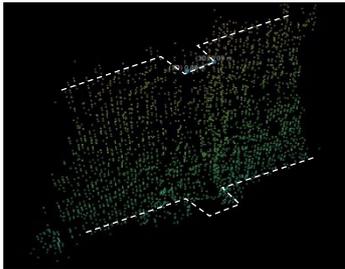
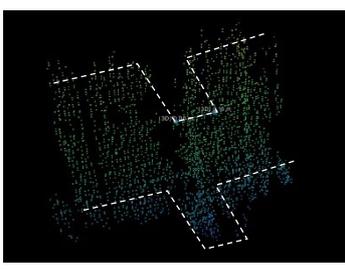
凸型供試体			
	凸 5cm × 5cm	凸 10cm × 10cm	凸 20cm × 20cm
平面図			
			
側面図			

図 4-2 凸型供試体を用いた精度試験結果（水中 3D スキャナー計測）

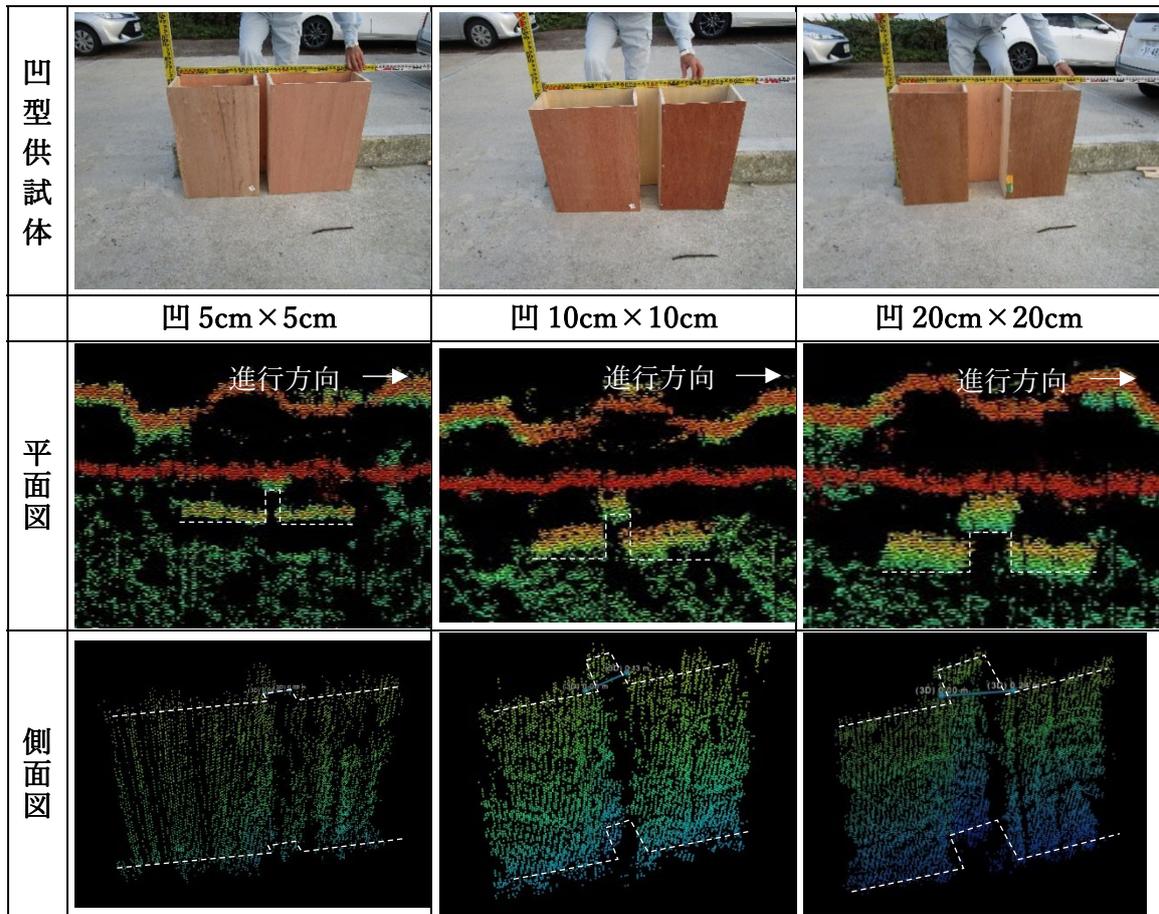


図 4-3 凹型供試体を用いた精度試験結果（水中 3D スキャナー計測）

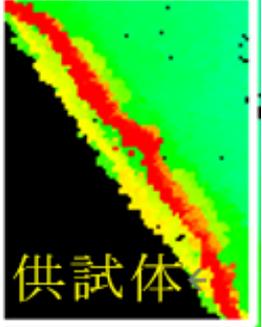
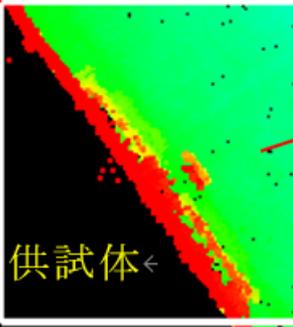
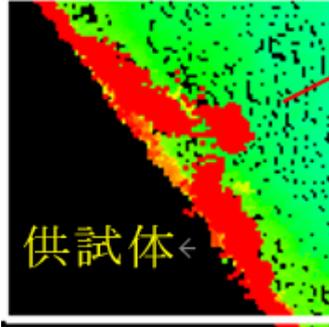
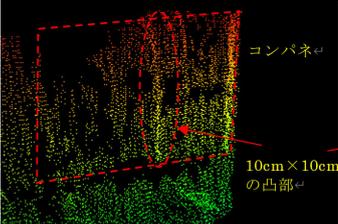
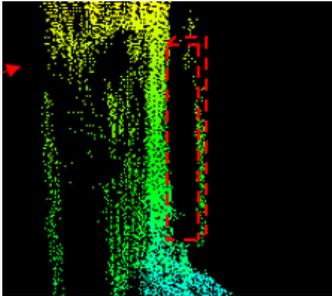
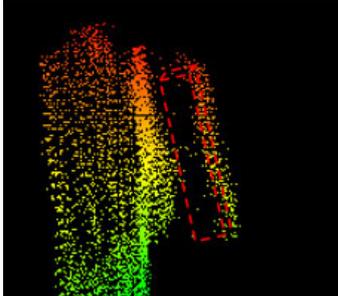
凸型供試体			
	凸 10cm×10cm	凸 20cm×20cm	凸 30cm×30cm
平面図			
側面図			

図 4-4 凸型供試体を用いた精度試験結果① (ナローマルチビーム計測)

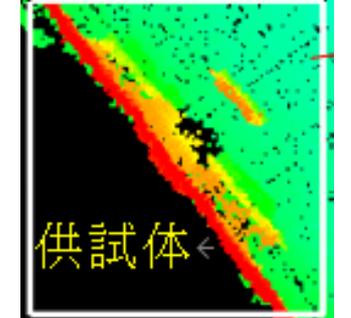
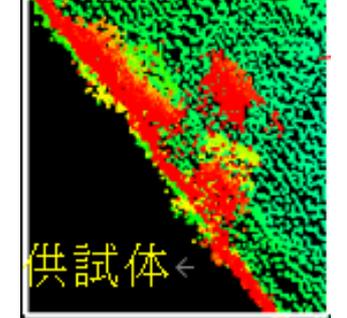
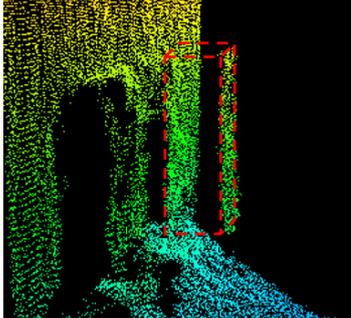
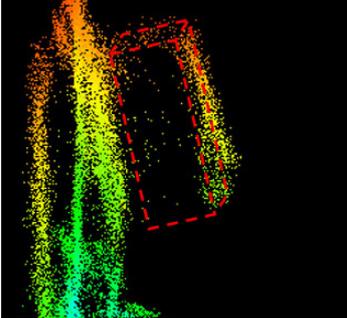
凸型供試体		
	凸 40cm × 40cm	凸 50cm × 50cm
平面図		
側面図		

図 4-5 凸型供試体を用いた精度試験結果②（ナローマルチビーム計測）

凹型供試体			
	凹 10cm×20cm	凹 20cm×20cm	凹 30cm×20cm
平面図			
側面図			

図 4-6 凹型供試体を用いた精度試験結果（ナローマルチビーム計測）

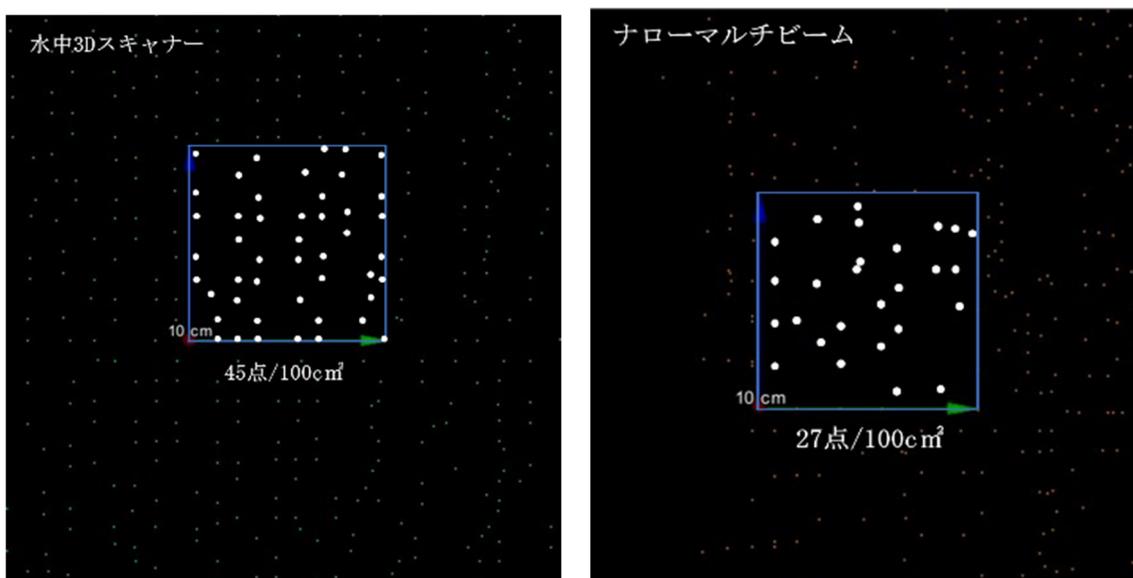


図 4-7 水中 3D スキャナーとナローマルチビームの最大点群密度

水中 3D スキャナーとナローマルチビーム精度検証結果は以下のとおりである。

【水中 3D スキャナー】

- ・凸・凹部の 20cm および 10cm 幅の供試体は明瞭に判別することができた。
- ・凸部の 5cm 幅の供試体は判別できなかったが、同じサイズの凹部は隙間があることが確認された。

【ナローマルチビーム】

- ・凸部の 50cm、40cm、30cm、20cm、凹部の 30cm、20cm 幅の供試体は明瞭に判別することができた。
- ・凸部の 10cm 幅の供試体は判別できなかったが、同じサイズの凹部は隙間があることが確認された。

上記の結果を踏まえ、水中 3D スキャナーとナローマルチビームの精度検証結果について表 4-11 に示す。

以上から、水中 3D スキャナーで計測する場合は、**10cm 程度の変状（凸部・凹部）**、ナローマルチビームで計測する場合は、**20cm 程度の変状（凸部・凹部）**が適用限界と考えられる。

表 4-11 水中 3D スキャナーおよびナローマルチビームの精度検証結果

供試体	水中 3D スキャナー	ナロー マルチビーム	備考
① 凸部 20cm×20cm	形状判別可能	形状判別可能	船速 2~3 ノット
② 凸部 10cm×10cm	形状判別可能	形状判別困難	
③ 凸部 5cm×5cm	形状判別困難	—	
④ 凹部 20cm×20cm	形状判別可能	形状判別可能	
⑤ 凹部 10cm×10cm	形状判別可能	変状の有無を確認	
⑥ 凹部 5cm×5cm	変状の有無を確認	—	

4.3 水中 3D スキャナーによる計測の実施

計測計画に基づき、点検に求められる精度を確保しつつ、安全に配慮し計測を実施する。

【解説】

水中 3D スキャナーでの計測は、これまでマニュアル、手引きなどは公表されていない。そのため、水中 3D スキャナーによる計測も、以下に示す「ナローマルチビームを用いた深淺測量マニュアル（浚渫工編），令和 2 年 4 月改定版，国土交通省 港湾局」に準拠することを基本とする。

（1）計測角度と計測精度

水中 3D スキャナーの点群密度は、水深・船速・発振回数・計測回数により決まる。水中 3D スキャナーは、ナローマルチビームに比べてスワ幅（計測幅）が狭いため、センサーの上下の向き（チルト角）を対象構造物の形状や水深によって調整して複数回データを計測し、取得したデータを統合することで対象となる施設全体を計測する。また、ナローマルチビームに比べて高い周波数で音波を発振しているため、計測精度は高いが、音波の減衰により水深 15m 以深は計測が困難である。これらの機器特性を踏まえ、求められる計測精度を満たすよう計測計画を立案する必要がある。

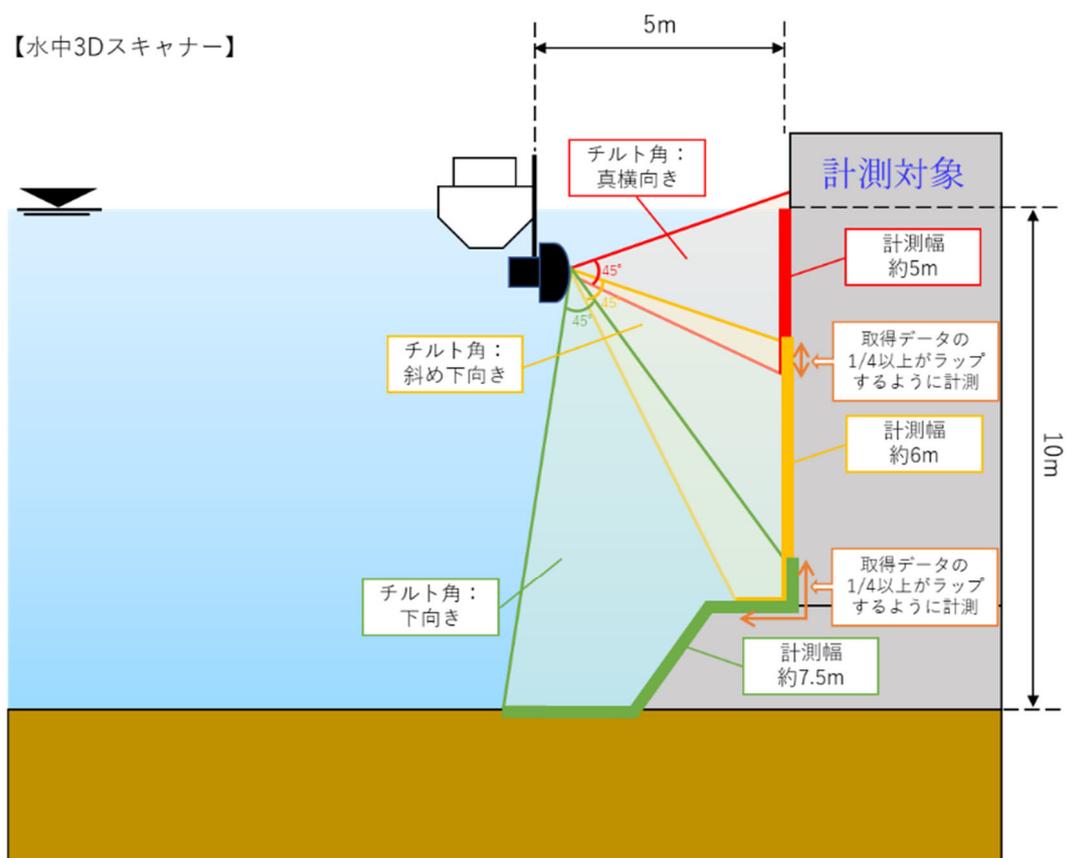


図 4-8 水中 3D スキャナーの計測範囲

(2) GNSS テスト

水深測量時に使用する基準点測量、海上測位方法に関して、十分な精度を有していなければならない。

GNSS は、測量実施前に以下の運用基準に則り、精度確認を行わなければならない。

- ・ 精度確認の方法は既設基準点における事前チェックとする。
- ・ 観測時間は 10 分以上、収録間隔は 1 回／秒以上で行う。
- ・ 海上測位結果は、測位誤差の許容範囲は 0.5m 以内とする。
- ・ 観測結果は、GNSS 精度管理表に取りまとめる。

(3) 機器の取り付け（オフセット）

水中 3D スキャナー測深機器本体および周辺機器の位置関係を明確にし、計測中も位置関係が変化しない様に機器を取り付けるものとする。

計測したオフセット値は、水中 3D スキャナー測深システム点検簿に記載する。艀装状況に変更があった場合必ず計測をやり直す。

(4) 喫水確認

喫水の確認は、バーチェックにより行うものとする。水面を基準(0m)とし反射板を吊り下げ数 m で固定し、ソナーヘッドから反射板の距離を水中 3D スキャナーで計測、記録する。水面を基準とした吊り下げ長から計測したソナーヘッドと反射板の距離を減じたものが喫水値となる。この作業を 3 回行いその平均値により喫水値の確認を行う。

また、標尺での計測や取り付けパイプに付した喫水目盛りを読み取るなども同時に行う。

(5) パッチテスト

水中 3D スキャナーは、水面に対しできるだけ水平、垂直に艀装することを基本とするが、船の形状や、固定時の固定ワイヤー等の張り具合により、必ず取付け誤差が発生する。この取付け角度の誤差（以下、バイアス値）と各機器の収録遅延（以下、レイテンシー）を求めるために、パッチテストを行う。パッチテストは、測深中艀装状況に変化がないことが前提であり、変化があった場合は必ず再計測を行う。

(6) 音速度測定

水中の音速度は水温・塩分で変化する。そのため、現地計測時に随時水温・塩分の測定を実施する。測定は、水中音速度計による測定を基本とする。

測定位置は計測海域の中央付近で可能な限り深い地点とする。汽水域など水温・塩分が変化する海域では、適切に測定点を配置することが望ましい。なお、測定は一日作業で 1 回以上行うものとし、計測位置の記録も同時に残しておく。測定結果は、音速度測定結果表に取りまとめる。

(7) 計測方法

変状判別の精度を左右する点群密度は水深・船速・発振回数・計測回数により決定される。現地状況や対象とする構造物や変状により、パン・チルト角・船速・計測回数をあらかじめ正確に計画することは困難であるため、1施設、又は1スパンの計測が終了した時点で、計測を中断し、取得データの確認を行い補測・再測の可否を判断する。

①パン・チルト角

水中 3D スキャナーは、センサーの角度を指定することで任意の角度で計測することができる。船舶に艀装した際のセンサーの稼働範囲は、左右方向（パン）で $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 、上下方向（チルト）で $-45^{\circ} \sim 60^{\circ}$ である（図 4-9）。4.3 (1) でも述べた通り、ナローマルチビームに比べてスワ幅（計測幅）が狭いため、チルト角を対象構造物の形状や水深によって調整して計測する。チルト角は、真横方向（ 15° ）、斜め下方向（ 30° ）、水底方向（ 45° ）、パン角は作業船に対して真横向き（ 90° ）を基本として計測する。計測対象に合わせて複数回計測したデータを統合することで対象となる施設全体の点群データを取得する。チルト角を変えて計測した事例を図 4-10、パン角を変えて計測した事例を図 4-11 に示す。

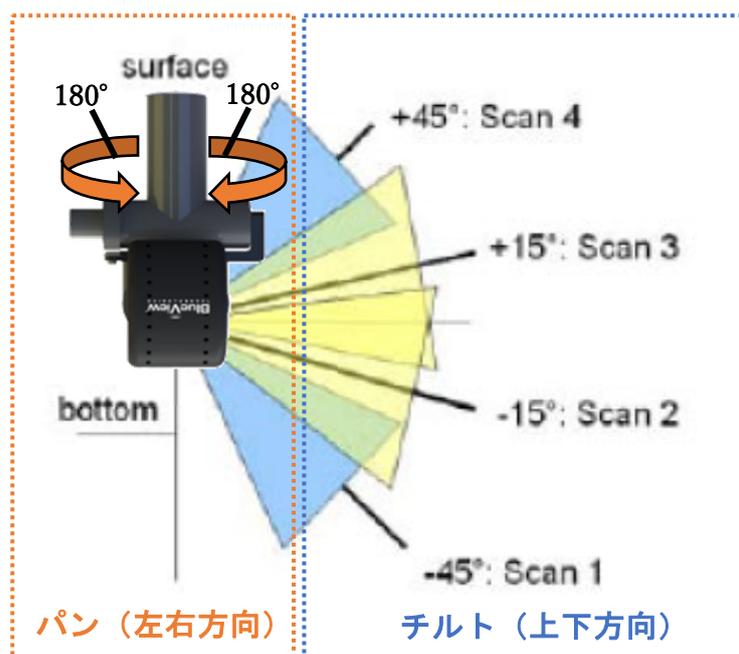


図 4-9 水中 3D スキャナーセンサー稼働範囲

【水中3Dスキャナー】：発振部の角度(横、斜め下、下)を変えて複数回計測しパーツを統合

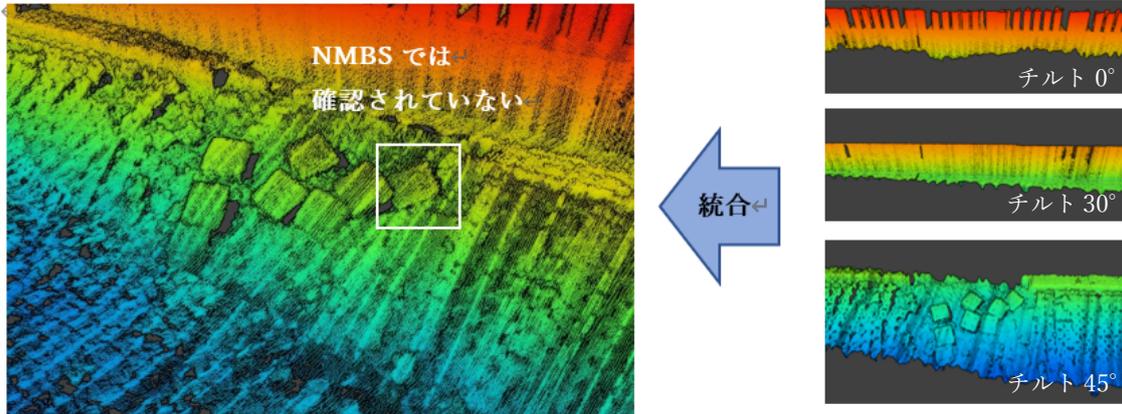


図 4-10 チルト角の違いに伴う矢板護岸の計測結果事例

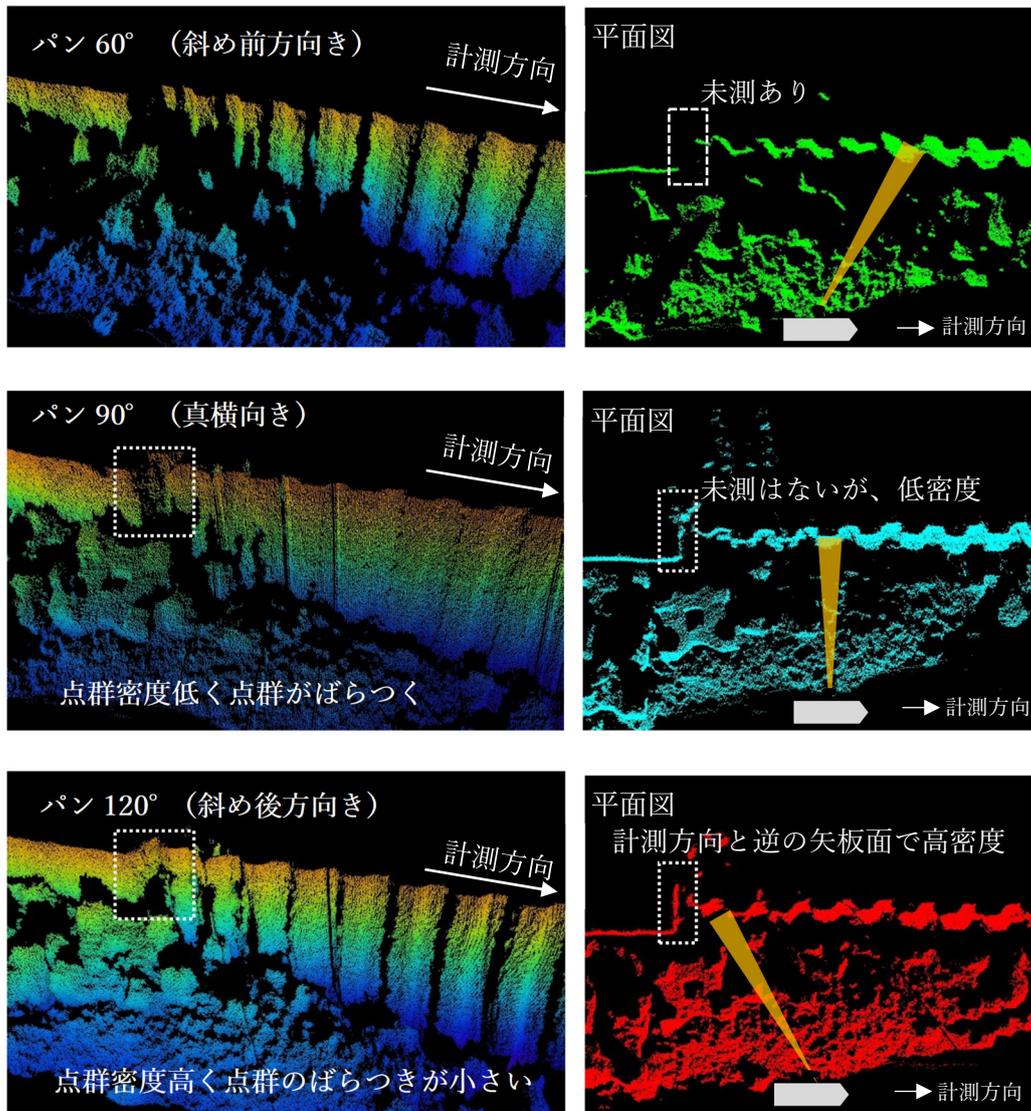


図 4-11 パン角の違いに伴う矢板護岸の計測結果事例

水中 3D スキャナーは、通常の計測では、作業船の進行方向に対して真横向き（パン 90°）を基本として計測を行う。一方、矢板護岸等の凹凸の大きい構造物を計測する場合、音波が垂直に当たる面は明瞭に計測可能だが、音波が垂直に当たらない面は計測が困難である。このような場合は、センサーのパン角を前後方向に変えてデータを取得し、計測データを統合することで複雑な凹凸形状を持つ構造物を未測なく計測することが可能である。

②船速

点群密度は船速に左右されるため、できるだけ低速で計測し、点群密度を大きくする必要がある。そのため、**船速は 2～3 ノット**が目安となる。一方、波浪・潮流等の影響がある点検区域では計画測線を低速で直進航行することは困難であるため、船速が目安より早い場合は、補測・再測を行い、十分な点群密度を確保する必要がある。

③計測回数

水中 3D スキャナーは、対象構造物の形状や水深によってチルト角を調整して複数回計測を行い、データを統合することで対象となる施設全体の点群データを取得する。水深 10m での計測時は、チルト角を真横方向（15°）、斜め下方向（30°）、水底方向（45°）の角度を基本として **3 回以上**の計測を行う。

④適用水深

水中 3D スキャナーは、ナローマルチビームに比べて高い周波数で音波を発振しているため、計測精度は高いが、音波の減衰により水深 20m 以深は計測が困難である。したがって、水中 3D スキャナーによる計測は構造物の水面から水深 12~15m 付近までが対象となる。

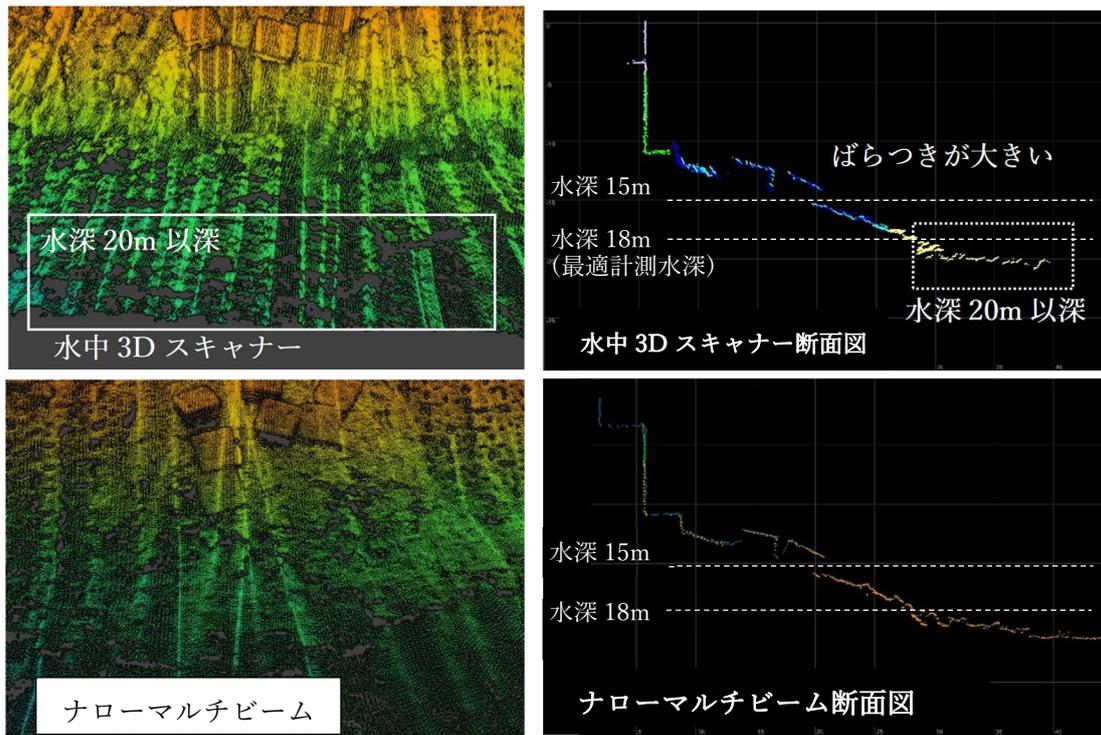


図 4-12 水深 20m 付近での水中 3D スキャナーとナローマルチビームの取得データ比較

4.4 ナローマルチビームによる計測の実施

測線計画に基づき、点検に求められる精度を確保しつつ、安全に配慮し計測を実施する。

【解説】

(1) 測線間隔と計測精度

点検精度は3次元データの点群密度により大きく異なる。3次元データの点群密度は、水深・船速・発振回数・計測回数により決まるため、調査実施前に現地状況を踏まえて、求められる点検精度を満たすよう測線計画を立案する必要がある。

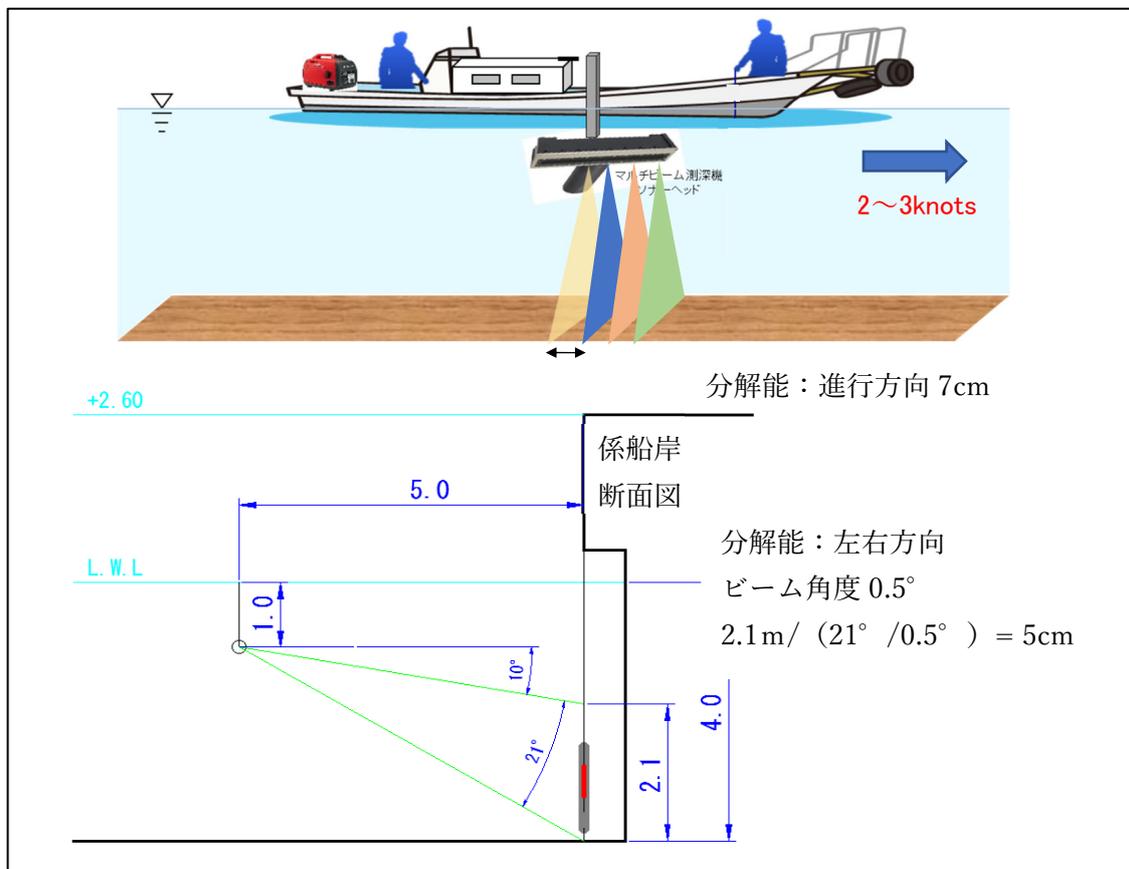


図 4-13 点群密度の計画例

(2) GNSS テスト

水中 3D スキャナーと同様

(3) 機器の取り付け (オフセット)

水中 3D スキャナーと同様

(4) 喫水確認

水中 3D スキャナーと同様

(5) パッチテスト

水中 3D スキャナーと同様

(6) 音速度計測

水中 3D スキャナーと同様

(7) 計測方法

変状判別の精度を左右する点群密度は水深・船速及び計測回数により決定される。現地状況や対象とする構造物の変状により、測線位置・船速・計測回数をあらかじめ正確に計画することは困難であるため、1施設、又は1スパンの計測が終了した時点で、計測を中断し、取得データの確認を行い補測・再測の可否を判断する。

ナローマルチビーム : 点群密度の薄いデータを角度を変えて3回計測し、全てのデータを重合せ

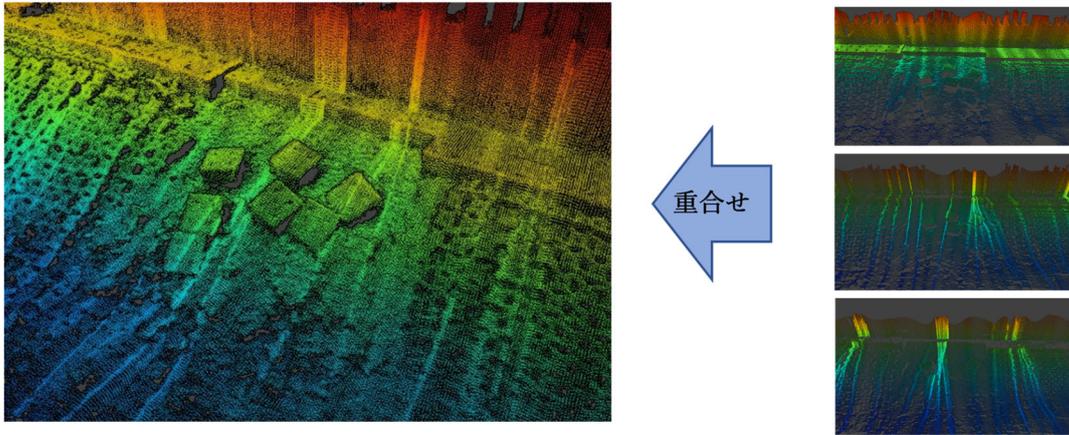


図 4-15 ナローマルチビーム計測のデータ重ね合わせ

④適用水深

海底面のブロック移動等の判定可否は水深により異なる。水深の違いによるセンサー直下及びビーム端部でのビーム間隔を下表に示す。対象物の大きさにもよるが、**水深 20m 程度**であればセンサー直下のビーム間隔は 20cm となり、**ブロック移動を判別可能**といえる。

岸壁側面などの欠損等の変状を対象にする場合、分解能はセンサーと構造物との離岸距離及び船速により決まる。岸壁に近づけない場合や高速（4ノット以上）の場合は、水深（分解能）に留意する。

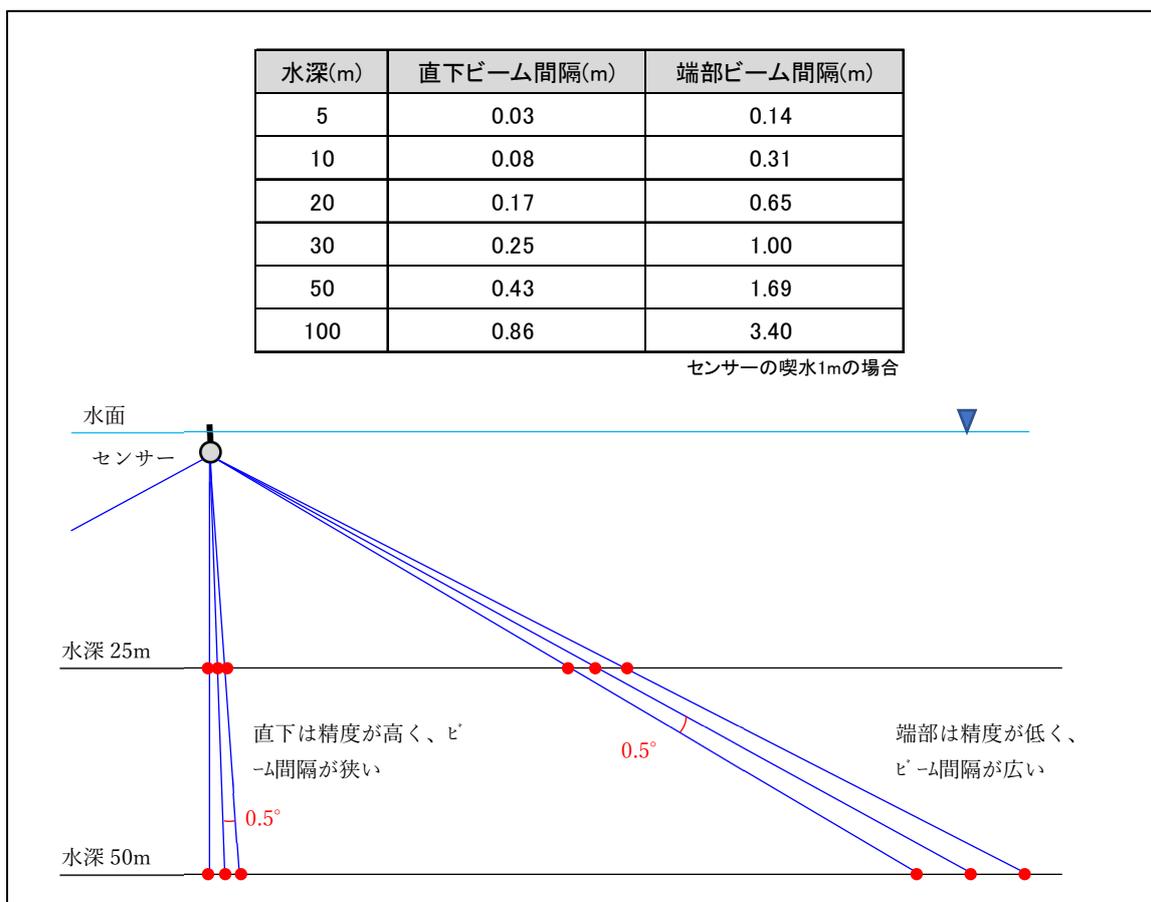


図 4-16 水深とビーム間隔

--- 【参考情報】 -----

【浚渫工の施工管理等を目的とした場合の点群密度】

「マルチビームを用いた深浅測量マニュアル(浚渫工編), 令和2年4月改定版, 国土交通省 港湾局」では点密度を1.0m 格子3点以上と規定しているが、ナローマルチビームを構造物の点検に適用する場合は、更に点群密度を大きくし、変状を判定する必要がある。

＜取得点密度＞

取得点密度は、スワス角、水深、船速、周波数、重複度合いの組み合わせで決まってくる。船速は遅いほどデータの密度を高くすることができ、測深時の船速が速すぎると調査船の動揺で誤差が生じやすく、またデータ間隔が粗となるため、事前の測量計画時に船速上限を決めて、測深時に注意するものとする。ただし、潮流の激しい箇所、輻輳した航路、泊地等では、安全面から、むやみに船速を遅くすることはできない。このため必要な最低の船速を確保する必要がある場合、測線間隔を狭める等スワス幅の重複を考慮しつつ、取得点密度を確保可能な測深計画を策定する必要がある。浚渫工に係る測深では、一般的には片舷ビーム幅100%以上の重複率が設定されている。

測深時に設定するスワス角は、1.0m 格子3点以上の性能を満たせるように90°～120°程度範囲で計画し測深することとする。

(一般海域での運用基準)

- (1) 海底地形、水深を考慮し、測深作業が効率的に実施できるように計画する。
- (2) 航路、泊地、錨地、岸壁およびその付近においては、使用するナローマルチビーム測深機の有効測深幅および測量船の偏位を考慮して、未測深部分がないように計画する。この場合、有効測深線幅の20%を重複させることが一般的である。
- (3) 岩礁、漁礁、沈船等海底障害物が存在する海域、もしくはその存在が想定される海域では、最浅部が明確に捕捉できるよう隣接測線が十分に重複する測線を計画する(片側のビーム幅100%以上の重複率を推奨)。

「海洋調査技術マニュアルー深浅測量ー ((社) 海洋調査協会)」より転載

4.5 解析方法

点検に求められる精度を考慮し計測データから変状抽出などの解析を行う。

【解説】

解析により作成した3次元データから変状を抽出する。この際、ナローマルチビームの特性や構造物変状の発生しやすい箇所などを考慮しながら解析する必要がある。

(1) ノイズ除去処理

ノイズには音響的、電気的なものの他、浮遊物、魚群、泡など海中を浮遊する物体などがある。ノイズの除去は、解析ソフトにより統計的にある程度削除することができるが、統計的な処理では限界があるため、最終的にはプロファイル表示し手作業による除去作業を行う必要がある。判断に迷う記録については画像等を残し他測線の記録などから総合的に判断する。

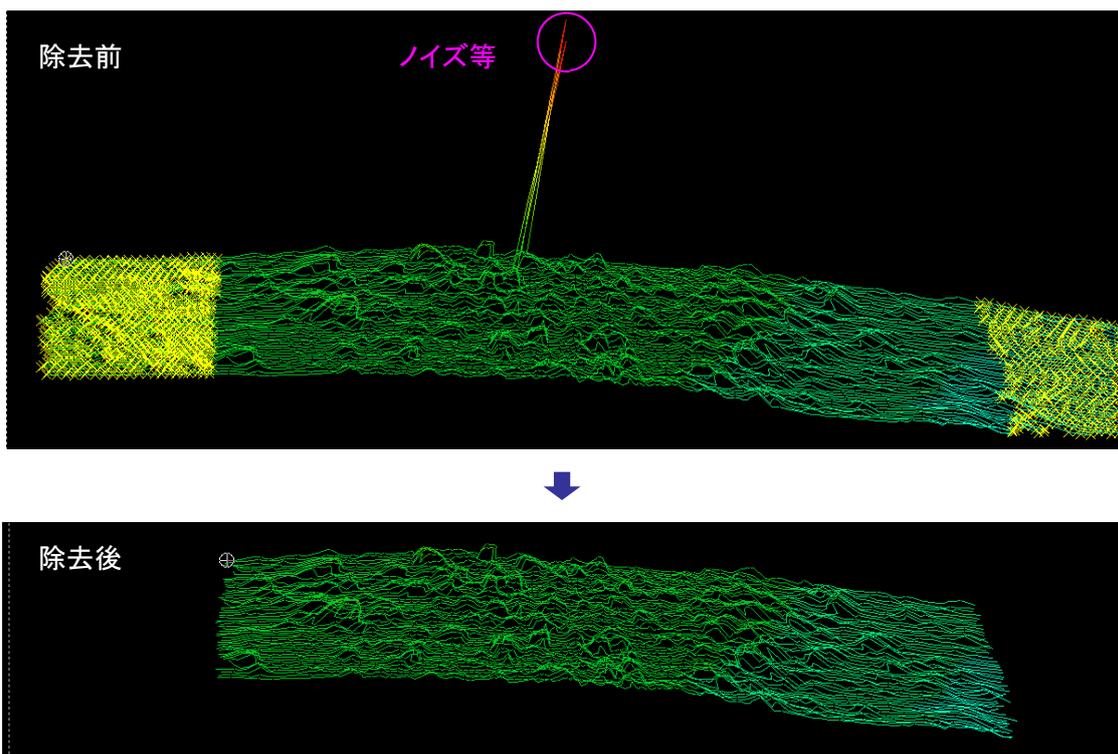


図 4-17 エラーデータ等の除去処理例

水中 3D スキャナーでの計測は、4.3 (7) ①で述べた通り、センサーの上下の向き（チルト角）を対象の形状や水深によって調整して計測し、複数回の計測で取得したデータを統合することで対象となる施設全体を計測する。そのため、各測線のデータが違和感なく合成するようにデータを除去する必要がある。

水中 3D スキャナーで取得できるデータ形式は 3 次元点群データであるため、ナローマルチビームや陸上レーザースキャナーで計測した点群データと統合することが可能である。陸上の点群データと統合することで、陸上～水中をシームレスな空間情報として表現することができる。

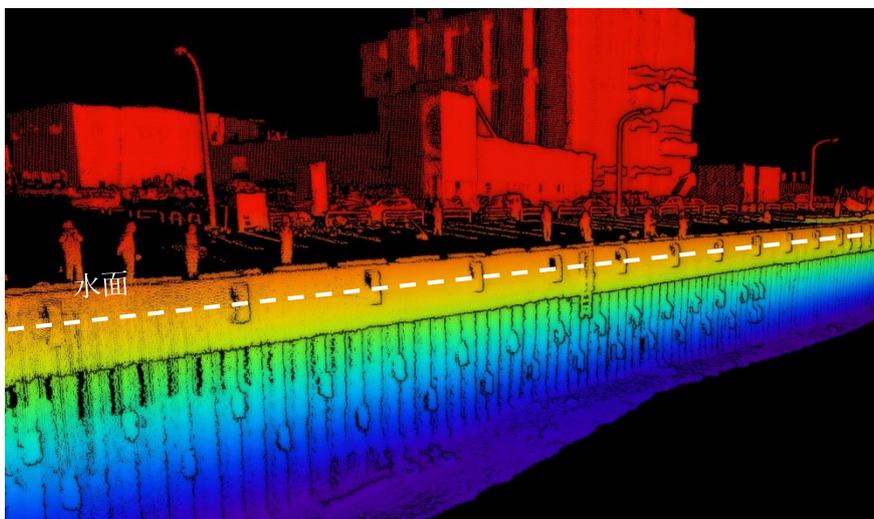


図 4-18 陸上データと水中データの統合（矢板岸壁）

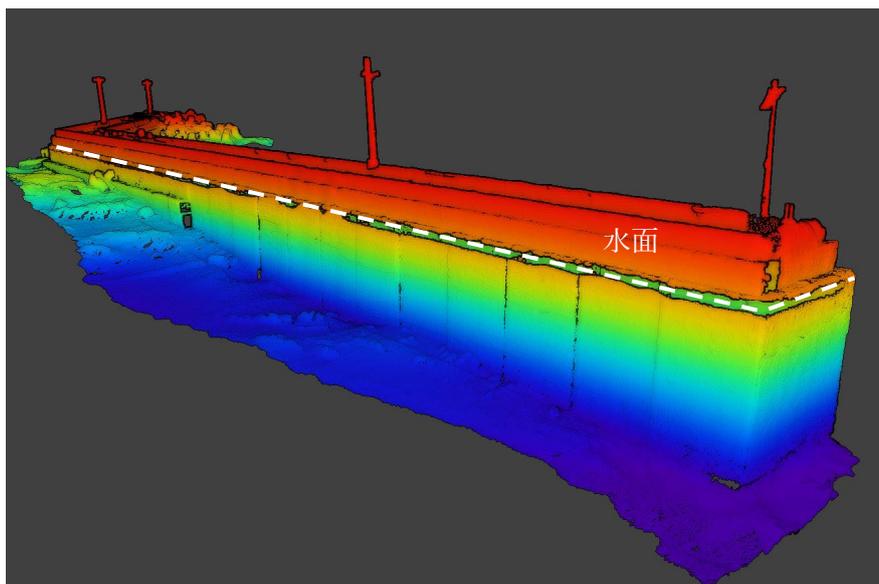
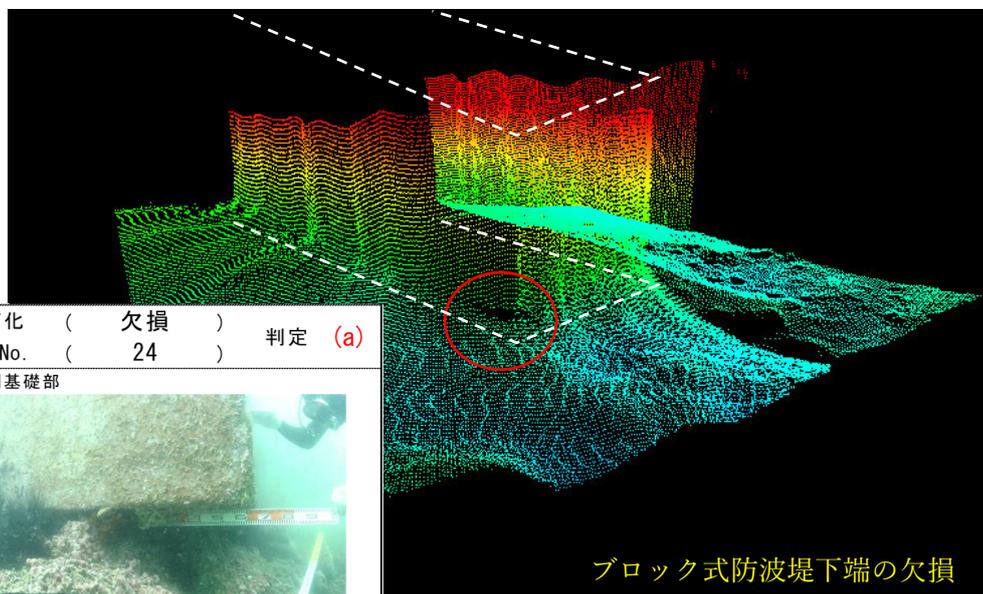
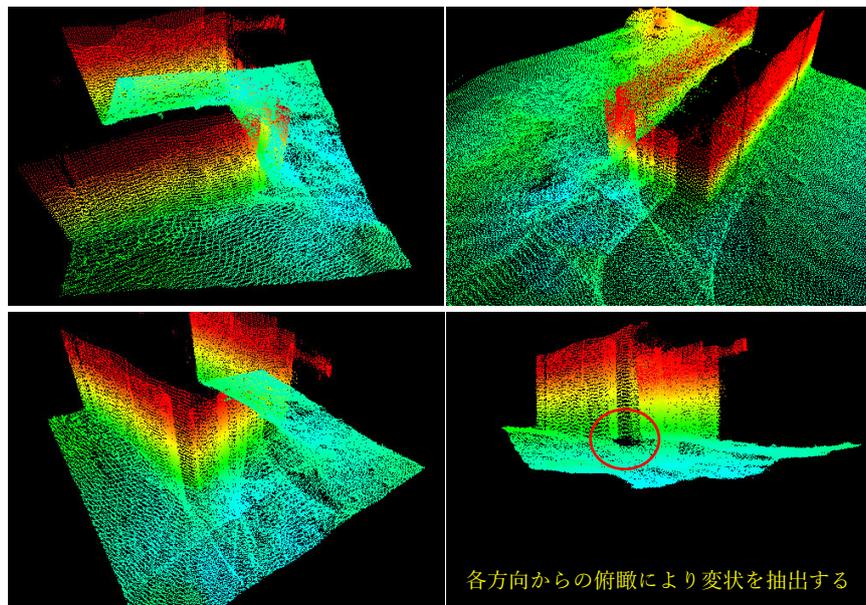


図 4-19 陸上データと水中データの統合（重力式構造物 本体工）

(2) 変状箇所の抽出

対象施設ごと、または適当なスパン毎に3次元データを抽出し、変状の起こりやすい箇所(防波堤マウンド法肩・法尻など)を重点的に変状の有無を確認する。

なお、点群データは1方向からのみではなく、回転させてさまざまな方向から俯瞰することで、変状の把握が容易になる。



老朽化	(欠損)	判定 (a)
写真No.	(24)	

港外側基礎部

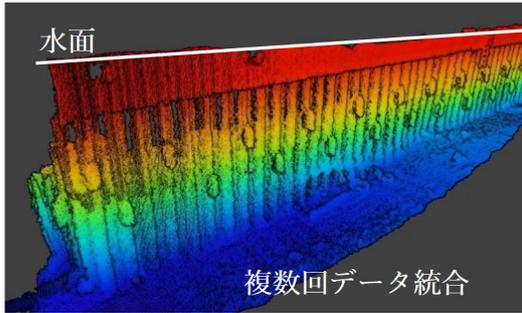
図 4-20 3次元点群データによる変状箇所の抽出

--- 【参考情報】 -----

【電気防食工の陽極の判定】

水中 3D スキャナーとナローマルチビームを用いた試験では、電気防食工の陽極 (L=700mm、B=280mm、H=300mm) を明瞭に把握することができた。

【水中 3D スキャナー】



【マルチビームソナー】

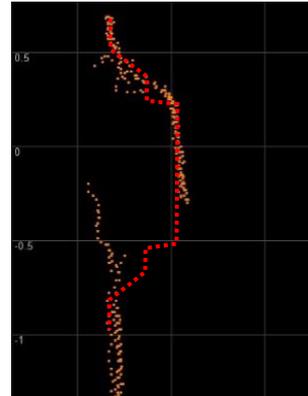
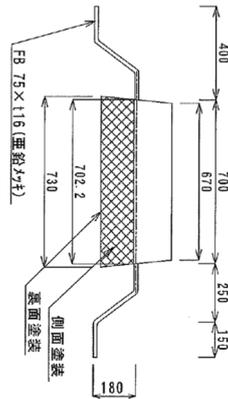
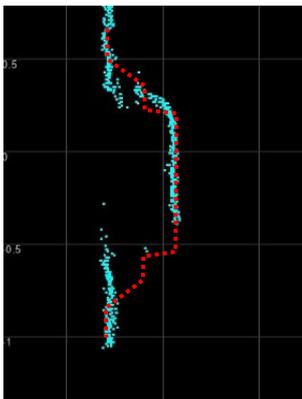
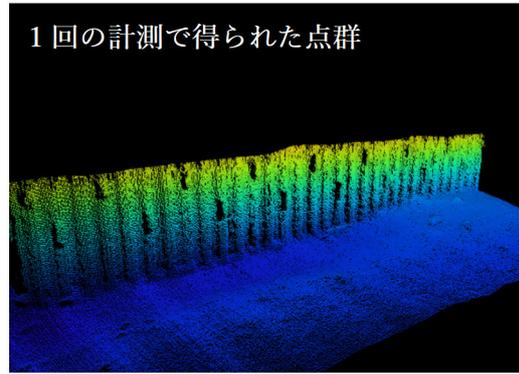
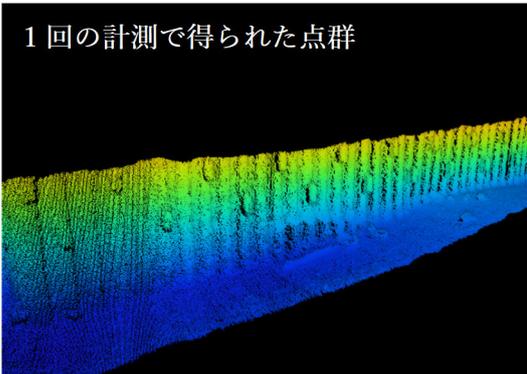
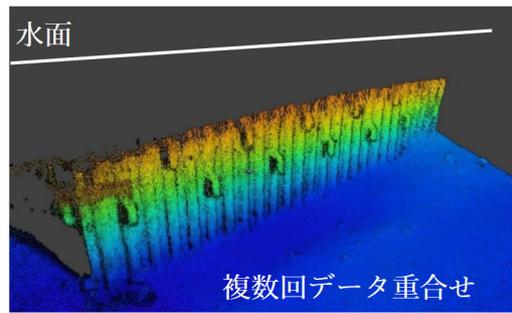


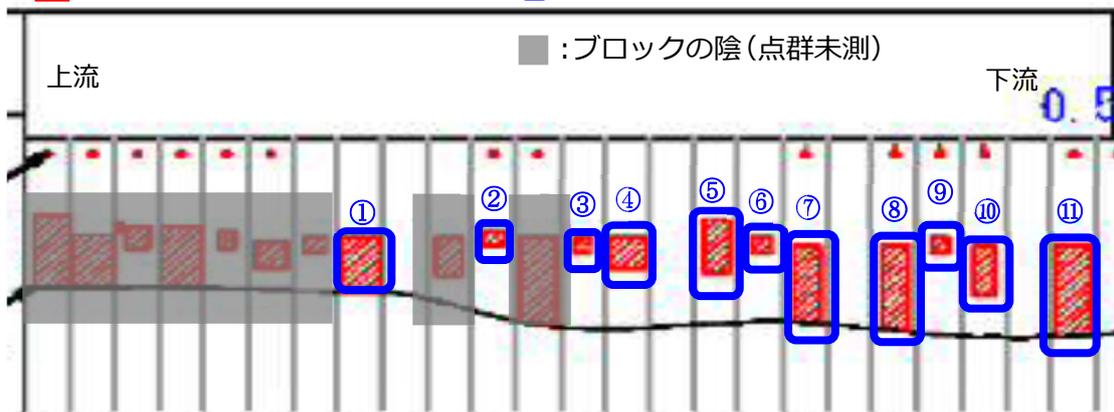
図 4-21 電気防食工の陽極

【矢板護岸の L.W.L 付近の開孔確認】

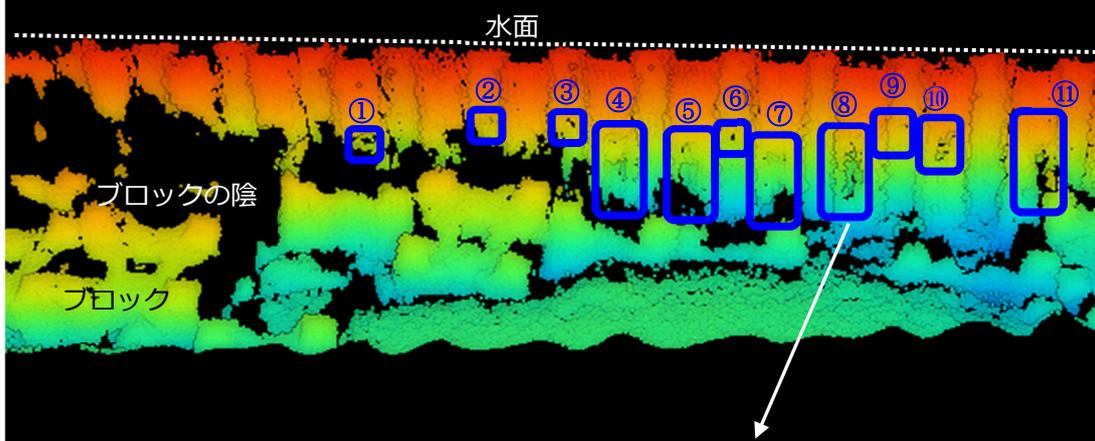
水中 3D スキャナーによる試験では、矢板護岸の L.W.L.付近の開孔部を明確に確認することができた。

■: 潜水目視で確認した開口部

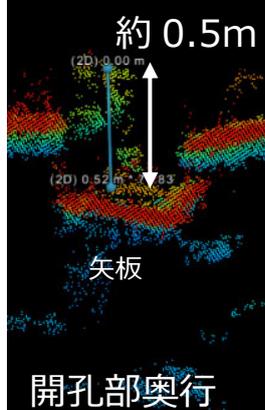
□: 水中 3D スキャナーで確認した開口部



水中 3D スキャナー計測結果



平面図



側面図

