

# 沿岸構造物における環境共生機能の診断手法

佐藤 仁・三上信雄・大橋正臣（国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所）  
酒向章哲・佐藤 誠・綿貫 啓（株式会社アルファ水工コンサルタンツ）

## 1. はじめに

港湾・漁港周辺海域は、水産有用種の生息場・産卵場・幼稚仔の保護育成場として貴重な領域<sup>1)</sup>であり、生物環境の視点から構造上の工夫により、水質浄化、藻場造成、産卵礁・幼稚仔の保護育成といった環境共生機能の強化が期待できる。北海道内では20年以上前から防波堤や護岸等への藻場造成機能を付加した環境共生型沿岸構造物が整備されており、これに関連する設計マニュアル<sup>2)</sup>も刊行された。

しかしながら、これまで整備されてきた施設の藻場造成効果（藻場創出機能）が低下し、環境共生機能が十分に発現されない状況も見られるようになってきた。その原因として、温暖化や栄養塩減少等の海藻の生育環境の変化、ウニ等植食性動物による食圧の増大などが挙げられるが、現場の施設においては系統立てて究明されていないのが実態である。

本来は、整備当初に期待した藻場創出機能が発現されているかどうかという海藻生育環境としての適性を評価（機能診断）し、機能の維持に対する阻害要因を特定した上でその対策（機能回復）を施す、といった機能保全対策（ストックマネジメント）的アプローチが合理的である。しかしながら、コンクリートのひび割れや鋼材の腐食といった構造物の物理的・科学的な観点からの機能診断手法が数多く提示<sup>3)</sup>されているにもかかわらず、生物学的な面からの系統的評価手法が確立されておらず、環境共生型構造物の機能保全が進んでいないのが実態である。

本報告は、沿岸構造物の維持管理計画あるいは機能保全計画に環境共生型沿岸構造物の維持・管理手法を導入することを目的に、現状の機能把握・評価、阻害要因特定といった機能診断手法、並びに対策手法の検討やフォローアップに至る一連の評価体系について検討したものである。

## 2. 環境共生機能の診断方法(案)

### 1) 機能診断の全体スキーム

環境共生機能の診断方法として、既往資料の収集整理（先行ガイドラインやマニュアル、各種学会での論文報告、道内での自然環境調和施設の整備例・モニタリング事例など）から、藻場創出機能に係る知見を整理するとともに、機能診断の全体スキームを作成した（図-1）。

ここで簡易調査においては、例えば水中目視（潜水士）による海藻被度や食害生物による海藻の摂餌痕の有無を確認するなど、できる限り簡易に実施できる手法とした。なお、できるだけ指標の統一化を図る観点から、対象海域により分布する種が異なることもあり対象種の特定はしていない。

これらを実施した後、適切な評価基準により当該

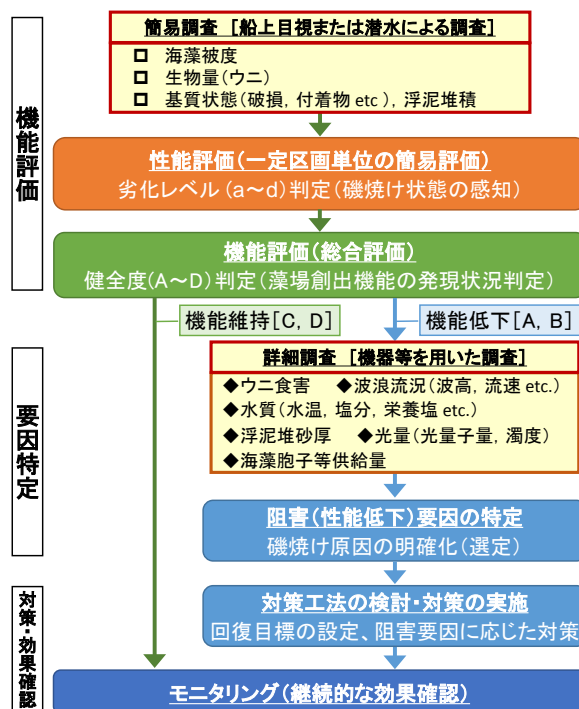


図-1. 機能診断の全体スキーム

施設の自然環境調和型構造物としての機能評価を実施する。具体的には、劣化レベルとして各項目で a (劣化あり) ~d (劣化なし) の 4 段階評価を行い、最終的に総合判定を行う。総合判定において機能低下の評価となった場合には、施設機能に対する阻害要因を明らかにするとともに、必要に応じた対策工法の検討をおこなうものである。阻害要因および対策の検討においては、詳細なデータを取得する必要があるため、観測機器による現地調査や数値シミュレーションを行う必要がある。

## 2) 簡易調査

簡易調査は、船上目視や潜水による調査を行い以下の項目のチェックする。

表-1. 藻場創出機能の評価指標 [チェックリスト]

一次項目	劣化レベル	海藻の被度	ウニの分布密度
	a	5%未満	3個/㎡以上
	b	5~10%程度	2個/㎡~3個/㎡
	c	10~20%程度	1個/㎡~2個/㎡
	d	20%以上	1個/㎡未満

二次項目	劣化レベル	基質の状態	浮泥の堆積
	a	基質の破損または飛散が認められる	長期にわたって基質または葉面に浮泥が堆積している
	b	基質凹凸の摩耗または軽度の欠損等が認められる	基質または葉面の全面に堆砂が認められる
	c	固着性動物等による基質の優占が認められる	基質または葉面に対し部分的に堆砂が認められる
	d	異常なし	異常なし

## 3) 施設機能の総合評価方法

施設全体の総合評価は表-2 のとおりとし、海藻の繁茂状況および食害に対して重み付けした評価とし

表-2. 総合評価

健全度	施設の状態	一次項目	二次項目
A	海藻被度が著しく低く、藻場創出機能が相当低下している状態	aが全数の2割以上	-
B	海藻被度が低く、藻場創出機能が低下している状態	a+bが全数の2割以上	-
C	海藻被度が低い、藻場創出機能は保持されている状態 将来的に機能低下の可能性があり、継続観察が必要	a+bが全数の2割未満	a+bが全数の2割以上
D	機能の低下は認められず、十分な機能を保持している状態	a+bが全数の2割未満	a+bが全数の2割未満
		すべてdである	-

表-3 評価結果に即した対応

評価結果	施設の状態	対応
A	自然調和型施設の機能が低下している状態	早急に改良の検討を行う
B	放置した場合に、施設の機能が低下する恐れがある状態	可能な限り対策を講じる
C	施設機能の低下は認められないが、継続して観察が必要がある状態	経過観察を行う
D	異常は認められず、十分な機能を保持している状態	地元利用者からの報告の収集、巡回時の状態確認

ている。この総合評価結果に対する対応としては、表-3 に示すような対応を考えており、C は経過観察、A および B では対策を講ずることを想定しており、藻場形成の阻害要因を検討する。

## 4) 阻害要因の診断方法 (詳細調査)

阻害要因の診断方法は表-4 に示すとおりであり、各阻害要因に対応した診断方法を行う必要がある。例えば、波高・流速計を用いた流況調査、光量子計・水温塩分計を用いた環境調査、採泥等底質調査、生物相調査などがある。

表-4 機能阻害要因と診断方法

疑われる機能阻害要因	原因	診断方法
ウニ類等による食害	摂餌行動や容易な環境にある	・波浪流況観測 ・数値解析 ・地形測量 ・ウニフェンス設置等食害試験
胞子不足	着生できる胞子が少ない	・母藻ロープ設置による試験
基質競合および不足	着底時期の異なる海藻、固着性動物の存在	・生物調査
浮泥堆積	懸濁物質の存在。払拭不可能である程に静穏である	・セジメントトラップによる観測 ・数値解析
光量不足	海水の濁り。水深が深く光が届かない	・光量子量観測
栄養塩不足	生長に必要な栄養塩の不足	・水質分析
高水温	夏季ではコンブの枯死が進む 冬季ではウニの行動が活発になり幼体コンブを捕食する	・水温観測
塩分低下	降水や河川出水等による淡水の拡散	・塩分観測
その他水質異常	有害物質等の存在	・水質分析

## 5) 対策・効果確認

阻害要因が特定された場合、回復目標の設定や阻害要因に応じた対策工法の検討を行い、対策を実施する。そして、継続的なモニタリングにより効果の確認を行う必要がある。

## 3. 診断事例 (寿都漁港)

北海道西部に位置する寿都漁港周辺の浅瀬はウニ・アワビの好漁場となっており、防波堤自体に藻場創出機能を付加することで背後水面等の高度利用を図った第2北外防波堤がある (図-2、3)。しかし、近年、ウニによる食害などによって海藻が十分に生育しない状況となっており、著者らは当防波堤背後の調査を継続的に実施している。本施設はスパン2においてウニの食害を抑制する物理的環境を創出することを目的に、背後小段の天端高を

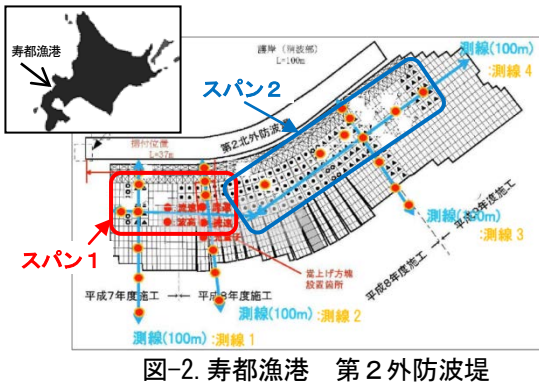


図-2. 寿都漁港 第2外防波堤

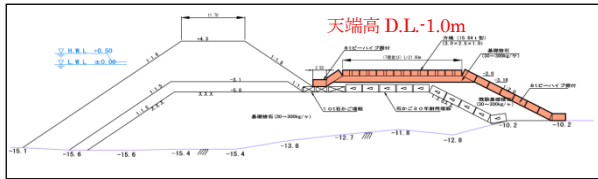


図-3. 標準断面図 (改良後)

-3.6m から-1.0m まで嵩上げ改良が行われている (スパン1は工事中)。この改良前後のデータを用いて本診断方法の妥当性の検証を行うものである。

1) 簡易診断結果と施設の総合評価 (改良前)

改良前の調査結果を表-5に示す。海藻の被度はアオサ目やフクロノリが大きく、ホソメコンブはスパン1の測点4-2、スパン2の測点4-5、4-7のみに見

表-5 藻場調査結果 (改良前 H25. 2)

測 線	測線4											単 位	
	1					2							
スパン	1					2							
測 点	4-1	4-2	4-3	4-4	4-5	4-6	4-7	4-8	4-9	4-10	4-11		
距 離	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	m	
緑藻類	アオサ目												%
褐藻類	フクロノリ												%
	ワカメ												%
	ホソメコンブ												%
紅藻類	イキス												%
	アカバ												%
	ダルス												%
	不明												%
	モロイトグサ												%
動物	不明生き貝類												%
	クボカイ類												個/m <sup>2</sup>
	ユキノガサガイ												個/m <sup>2</sup>
	ヨシガサ												個/m <sup>2</sup>
	キタムラサキウニ												個/m <sup>2</sup>
	エノ/フクウニ												個/m <sup>2</sup>
	ヤドカリ類												個/m <sup>2</sup>
	マナボコ												個/m <sup>2</sup>
	ゴボヤ												個/m <sup>2</sup>
	キヒトデ												個/m <sup>2</sup>
	エゾアワビ												個/m <sup>2</sup>

表-6 簡易診断結果 (改良前)

1次項目	スパン	1					2					
		測点	4-1	4-2	4-3	4-4	4-5	4-6	4-7	4-8	4-9	4-10
海藻の被度	ウニの分布密度	d	d	c	c	d	d	a	a	a	a	a
	ウニの分布密度	b	d	a	a	a	a	d	c	c	b	c
2次項目	浮泥の堆積	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d
	基質の状態	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d
総合評価		B					A					

られた。また、ウニは両スパンで出現していた。

簡易評価結果は表-6 のとおりであり、「海藻の被度」や「ウニの分布密度」によりスパン1は総合評価B、スパン2は総合評価Aとなった。

2) 詳細診断結果 (改良前)

上述のとおりスパン2は、簡易診断結果はAであり阻害要因を究明する必要がある。観測として流況、光量子量、栄養塩、水温・塩分等および波動場解析によるウニの摂餌行動の能否について評価した。

(1) 現地観測結果

主要な現地観測結果と考察を以下に述べる。

- 観測期間 (H25. 2. 6~3. 5) において小段上 (水深-3. 6m) の流速は、ウニの摂餌を抑制する流速 (0. 25m/s 以上) の出現頻度はわずか2. 2%であり、ウニの摂餌行動を制限できない環境であったと推察される。よって、流速を増加させウニの摂餌圧を低減させる構造形式とすることが重要である。
- 小段表層付近の光量子量は  $200 \mu \text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  を超えており、これまでコンブの強光阻害について報告されていないことから、光環境については十分に確保され、コンブ生育の阻害要因となっていない。
- 冬季 (H25. 2. 18) の栄養塩の調査結果は表-7 のとおりであり、硝酸態窒素は窒素の閾値である  $0. 014\text{mg}/\text{l}^{(4)}$  以上となり、栄養塩に問題ないとする。
- 調査日 (H25. 2. 18) の水温は  $6. 64\sim 6. 78^\circ\text{C}$  と比較的高く、キタムラサキウニの活動活性化に影響を及ぼしている可能性がある。

表-7 水質分析結果

項目/地点	TS-1			TS-2			単位	定量的限界	分析方法
	表層	中層	下層	表層	中層	下層			
アンモニア態窒素 (NH <sub>4</sub> -N)	0.04	0.05	0.07	0.03	0.02	0.03	mg/L	0.01	JIS K 0102 42.1及び42.2 インドフェノール青分光光度法
硝酸態窒素 (NO <sub>3</sub> -N)	0.069	0.065	0.068	0.071	0.064	0.068	mg/L	0.005	JIS K 0102 43.1,1及び43.2,3 銅-カドミウムカリウム還元 -ナフチルエチレンジアミン分光光度法
リン酸態リン (PO <sub>4</sub> -P)	0.012	0.010	0.011	0.011	0.011	0.009	mg/L	0.002	JIS K 0102 46.1.1 モリブデン青(アスコルビン酸還元) 分光光度法
イオン状シリカ	0.39	0.38	0.38	0.37	0.39	0.38	mg/L	0.05	JIS K 0101 44.1.2 モリブデン青分光光度法

(2) 流れ場の解析による対策工法の検討

現地観測結果よりウニの摂餌行動を制限できない環境であった。このため非定常緩勾配不規則波動方程式により底面波動流速を算定し、ウニの摂餌行動を制限する流速 0. 25m/s、摂餌限界流速 0. 40m/s を

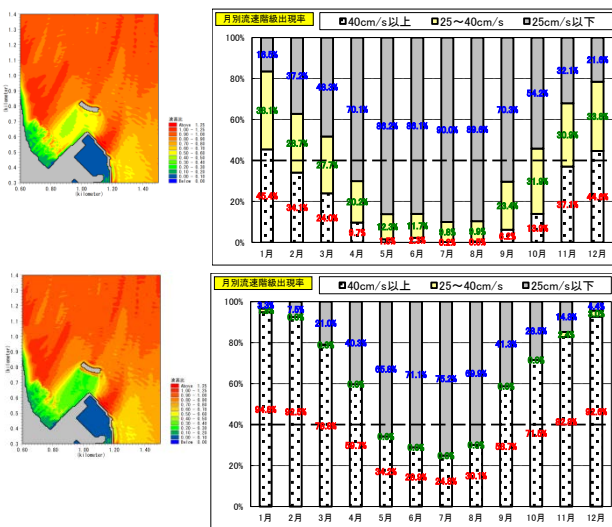


図-4 波高分布と流速出現率(上:改良前,下:改良後)

目安とした評価を実施した。

嵩上げ前では 0.40m/s 以上の流速が 40%以上出現するのは 1 月、12 月に限られ、0.25m/s 以上の出現頻度を加えれば 1~3 月と 10~12 月(秋季~冬季)において摂餌行動の抑制が可能である。一方、嵩上げ後は、天端水深が浅くなり 0.40m/s 以上の出現頻度が 1~4 月と 9~12 月で 40%以上発生することが確認された(図-4)。つまり、嵩上げによりこの期間におけるウニの摂餌行動を抑制することができるがわかる。

### 3) 簡易診断結果と施設の総合評価(改良後)

改良後(H26.2)の調査結果を表-8に示す。ここでスパン1は未改良である。改良されたスパン2では海藻被度が大きく、ウニの出現数が減少(測線4⑦で1個体/m<sup>2</sup>のみ)していた。

表-8 藻場調査結果(改良後 H26.2)

測点	測線1			測線2			測線3			測線4			測線5			単位
	①	④	⑦	①	④	⑦	①	④	⑦	①	④	⑦	①	④	⑦	
緑藻綱																
褐藻綱																
植物																
紅藻綱																
軟体動物																
動物																
植物出現種数	2	2	2	3	1	1	7	6	5	6	7	4	7	8	4	種
動物出現種数	2	2	1	1	1	1	2	3	2	1	0	0	2	0	0	種

\* 1m<sup>2</sup>当りの個体数、本数、個体数を表示する。また、「+」表示は被度5%未満を示す。

表-9 機能評価結果(改良後)

スパン	1							2							
	①	④	⑦	①	④	⑦	①	④	⑦	①	④	⑦	①	④	⑦
測点	小段	小段	小段	小段	小段	小段	小段	小段	小段	小段	小段	小段	小段	小段	小段
1次項目	海藻の被度	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d
	ウニの分布密度	a	a	b	a	a	a	d	d	d	d	d	d	d	d
2次項目	浮泥の堆積	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d
	基質の状態	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d
総合評価	A							C							

簡易診断結果は表-9のとおりであり、未改良のスパン1は総合評価Aであるのに対し、改良したスパン2は総合評価Cとなった。これは改良による環境共生機能の回復を適正に捉えたものであり、この診断法の妥当性を示していると考えられる。

### 4. まとめと今後の課題

自然環境調和型構造物の維持管理手法の導入を目的に、環境共生機能(藻場創出機能)の機能保全を評価する手法を提案した。また、本診断方法について寿都漁港を対象に診断を行ったところ、改良前は機能低下が生じていたものが、要因特定(詳細調査)と対策検討により改良された後には、機能が回復された結果となっており、診断方法の妥当性が得られたものと考えられる。

今後は当診断方法を多くの施設で実施、検証を進め、項目や劣化レベル指標の見直し等の改善を図ることで、より汎用性の高い診断方法となると考えられる。また、機能診断にあたって、特に「海藻被度」については調査時期によって被度が異なり評価に差異が生ずることが予想される。この点についても留意が必要であり、今後の課題とする。

### 参考文献

- 1) 明田定満・山本泰司・小野寺利治・鳴海日出人・斉藤二郎・谷野賢二：複断面構造を有する港湾構造物への海藻群落形成について、海岸工学論文集、第44巻、pp.1131-1135.
- 2) 岡元節雄・佐藤仁・大橋正臣・山本潤・田川人士・城敏也：北海道太平洋沿岸の港内消波施設における環境調和を把握する現地観測、平成25年度日本水産工学会学術講演会
- 3) 三上信雄、藤田孝康、保坂三美、極檀邦夫、重松宏和、笠井哲郎：沿岸構造物の効率的な維持管理のための簡易的な老朽化診断手法に関する研究、海洋開発論文集、Vol.26, pp.165-170, 2010.
- 4) 水田浩之、鳴海日出人、山本弘敏：ホソメコンブ配偶体の生長・成熟に及ぼす窒素・リンの影響、水産増殖49(2), 175-170, 2001.