

生物にやさしい港湾構造物の研究

——波浪条件および港湾構造物形式よりみた付着生物群集——

小笹博昭*・室善一朗**・中瀬浩太***
綿貫啓****・山本秀一*****

1. はじめに

表-1 既存港湾関係等の生物調査事例

現在ほとんどの建設事業において「環境との共生」が大きなテーマとなっている。港湾関係においても運輸省港湾局が平成6年3月に発表した港湾環境政策で「エコポート」整備構想を打ち出している。

エコポートのイメージには「自然にとけ込み、生物にやさしい港」や「積極的に自然環境の再生、整備を図る港」等がある。

これらの実現のためには、港湾本来の機能を満足しつつ、生物の生息に適した条件を備えた構造を考える必要がある。

防波堤や護岸は釣りの良いポイントとなっているように、港湾構造物は本来海岸地形に変化を与え、魚類などの生物を集める効果を持っている。このことから、表-1に示すように港湾構造物等の有用生物生産効果や魚礁効果に関する調査が行われている。また、水産土木研究部会(1976, 1977)は全国各地の漁港や港湾、護岸などの構造物に対して、有用水産生物の蝸集状況に関するアンケートを行っている。さらに、宇多ら(1993)は離岸堤を設置した場合に起こるであろう生物相の変化に対して定性的な予測を試みている。

しかしながら、ほとんどの調査は1つの港湾を対象としたものが多く、生物出現の一般的傾向に言及したものは見られない。また、港湾構造物の形状や外力条件と生物の出現との関わりについて論じたものは非常に少ない。

港湾構造物等に付着する生物の生息環境を規定する要因には、光、水質、海水流動、および付着基質の状態等が考えられるが、最も大きな影響を与える要因としては

地域	対象地区	構造物	調査内容				出典
			魚類	付着生物	海藻	有用生物	
北海道	瀬棚港	防波堤				ウニ・コンブ	武内ら(1991-1)
北海道	瀬棚港	防波堤		○	○	ウニ・コンブ	谷野ら(1993)
北海道	松前港	防波堤・護岸				ウニ・コンブ	武内ら(1991-2)
秋田県	戸賀・象潟・金浦港	防波堤			○	アワビ	佐藤(1976)
福島県	広野火力発電所	防波堤・護岸	○	○	○		山田ら(1985)
新潟県	新潟西海岸	離岸堤・潜堤	○	○	○		荘司ら(1992)
石川県	七尾港	多孔式防波堤	○	○	○		森平ら(1979)
静岡県	清水港・御前崎港	防波堤				イセエビ	伏見(1976)
静岡県	御前崎港	防波堤	○	○	○	漁獲魚種	武藤ら(1985)
静岡県	駿河海岸	新型離岸堤	○	○	○	漁獲魚種	宇多ら(1990)
大阪府	関西国際空港	人工島護岸	○	○	○		森ら(1991)
和歌山県	串本港	防波堤				イセエビ	中筋(1976)
高知県	高知海岸	離岸堤	○				木下ら(1988)
沖縄県	那覇港	防波堤				サンゴ	森田ら(1992)

注：○印は収集した資料中での記載のあった調査事項を示す

波浪と構造形式があげられる。そこで、本研究では共通するパラメタとして構造物前面の「波高」と「構造形式」に着目し、過去に実施された全国の港湾等の生物調査結果を共通の視点で見直し、港湾等における生物の分布の一般的傾向を見いだすことを試みた。

2. 調査方法

既存の港湾・空港等の生物調査結果を統一フォーマットで集計し、これらの結果を構造物前面波高および構造形式をパラメタとして、それぞれのサンプリングポイントにおける各種生物の出現状況を検討した。

(1) 調査対象の選定

生物調査結果は全国約20件について収集したが、調査方法、記録方法に関する基準が明確でないために、比較



図-1 調査地点位置図

* 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所
 ** 運輸省港湾技術研究所
 *** 正会員 五洋建設(株)
 **** 正会員 工修 日本テトラポッド(株)
 ***** 理修 (株)エコ

検討の対象とならない例が数多く含まれていた。各調査結果より、次に示す条件に適合する調査例を抽出した。

- a) サンプルングポイントが明記されている。
- b) 生物の調査結果（出現種別個体数、湿重量）が定量的に表記されている。
- c) サンプルングポイントの波高を特定できる。

以上の観点より図-1に示す5地点の港湾等の調査資料を検討対象とした。

(2) 調査地点における波高の検討

各調査地点で記録された有義波 ($H_{1/3}$) の年間における最大値を用いて、サンプルングポイントにおける波高に換算した。規準とする波高を年間最大の $H_{1/3}$ とした理由は以下の通りである。

- a) 沿岸波浪観測年報等で調査可能である。
- b) 設計波 (50年確率など) では明らかに過大である。
- c) 年間最大波は1波程度であるので、その場所に現存する生物はこれに十分耐えられると考えられる。
- d) 平均有義波では環境の相違が現れにくく、このため生物生息の限定要因とは考えにくい。

港湾構造物に生物が持続的に存在するという事は、年に1回、1日~半日程度持続する厳しい波浪条件でもこれらの存在が可能であることが条件であると考えた。

それぞれの調査地点におけるサンプルングポイントでの波高は、 $H_{1/3}$ 年間最大値と、回析および浅水変形をもとに算出した波高比を用いて計算した。また、波高分布数値計算結果がある場合には、これを参考にした。

(3) 構造物の形式

生物の調査は各種の港湾構造物を対象として実施されている。ここでは構造物の形式を直立構造物 (直立ケーソンおよび鋼製セル護岸) と傾斜構造物 (消波ブロックおよび緩傾斜護岸) の2通りに分類した。また光条件の検討のために、サンプルングポイントの面している方位 (8方位) を明記した。

(4) 生物データの規準化

既存の生物調査におけるデータのとりまとめ方法には規準がないため、単位とする面積、サンプルングポイントごとの調査水深の設定、および年間の調査回数等が様々に異なっていた。これらの調査結果を相互に比較するため、以下に示すように生物データの規準化を行った。

- a) 生物の出現量 (個体数と湿重量、植物は湿重量のみ) はすべて $1m^2$ あたりに換算した。
- b) 水深別に複数の調査ポイントがある場合には、これらの調査結果を単純平均した。
- c) 調査期間中に複数回の調査を実施している場合にはこれらの結果を単純平均した。
- d) 主要出現種は、各調査地点について上位3種以内を選択した。

単純平均によるデータの規準化の主旨は、その場を代表する群集及び群落を1つのデータとして表現することを考えたためである。ここでは、異なる調査地点間のデータを共通する物理的パラメータを用いて比較するため、あえて生物の地理的分布、分類、および種別の生態の相違 (生息場所の違い、餌の違いなど) 等を無視した。

(5) 生物の分類

出現する生物は「動物 (付着動物)」と「植物 (海藻)」に分類した。さらに、動物は移動能力を持たず基質に固着するフジツボ、カキ等の「固着動物」と、匍匐、遊泳の可能な巻貝やエビ、カニ等の「移動動物」に分類した。

3. 調査結果

(1) 調査地点及び波浪条件

検討対象とした港湾等は、収集事例の中から図-1に示す5地点を抽出した。各地点のデータ内容および用いた波浪条件をに表-2に示す。これらの波浪条件は1991年版沿岸波浪観測年報 (永井ら, 1993) によった (関西国際空港のみ, 1991年8月~1992年8月の計測記録によった)。

(2) 波高と付着生物の種類数、出現量との関係

各調査地点のサンプルングポイント前面波高に対する付着動物 (固着動物+移動動物)、および海藻の種類数と出現量 (湿重量) の状況 (最大、最小および平均値) を図-2に示す。

波高による生物の種類数の分布状況は、付着動物では、ばらつきが大きい、概ね

表-2 調査地点の波浪状況

対象地点	構造形式	年最大沖波 $H_{1/3}$		堤前波高(m)	調査内容			サンプルング地点数
		波高(m)	周期(sec)		出現種	種別個体数	種別湿重量	
北海道 瀬棚道	直立ケーソン防波堤 消波ブロック被覆混成堤	5.48	10.4	13.0~1.9	上位種のみ		有用種のみ*1	21
福島県 小名浜港	直立ケーソン防波堤 消波ブロック被覆混成堤	6.67	11.4	5.9~0.5	上位種のみ*2			13
静岡県 御前崎港	直立ケーソン防波堤 消波ブロック被覆混成堤	5.24	13.8	5.5~0.3	○	○	○	4
新潟県 新潟西海岸	離岸堤・突堤・潜堤 (消波ブロック)	7.41	12.2	5.6~1.5	○	○	○	10
大阪府 関西国際空港	緩傾斜護岸(消波ブロック被覆・石張り) 鋼製セル、直立消波ケーソン防波堤	2.48	11.4	0.3~2.4	○	総個体数のみ*3	総湿重量のみ*3	5

*1: コンブ・ワカメ (海藻) のみ表記, *2: 出現量は被度表記のみ, *3: 出現量は森ら (1991) のグラフより読みとった。

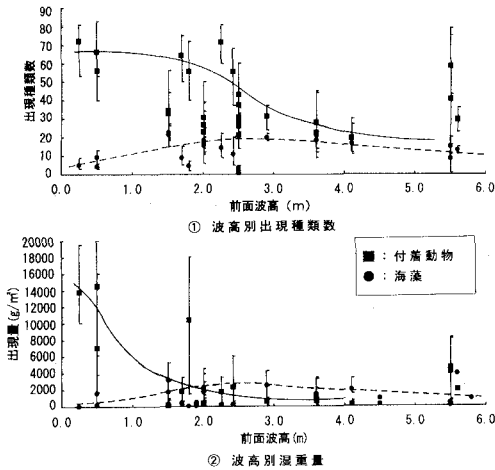


図-2 波高別生物出現種類数および炭現量

1~2m 付近をピークとして波高の増大とともに漸減する傾向が見られる。一方、海藻の分布状況では波高2~3m 付近に出現種類数のピークが見られる。

波高別の生物出現量についても、波高別の種類数の分布状況とほぼ類似した傾向を示している。また、海藻の出現量のピークである波高2~3m 付近より高波浪側では、海藻の出現量が付着動物を上回る傾向が見られる。

(3) 波高と付着生物の出現種の関係

付着動物と海藻の上位出現種の波高別出現頻度を図-3に示す。出現頻度は調査地点の中で対象種が上位3位以内に出現していた地点数の、全調査地点に対する割合を%で表したものである。

海藻は、全波高範囲にわたりワカメ、アオサ類、およびフダラク (ヒザリメン) の出見が見られる。ワカメは波高3~4m で多く見られ、アオサ類は波高1~2m での出現頻度が高い。また、「ガラモ場」の構成種であるホンダワラ類は波高1~3m の範囲のみに分布している。しかしながら、海中林の構成種として重要なアラメ・カジ

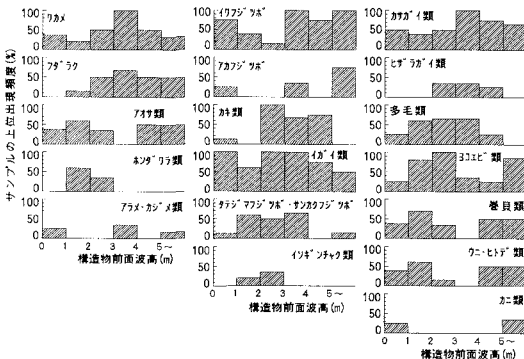


図-3 波高別主要生物出現頻度

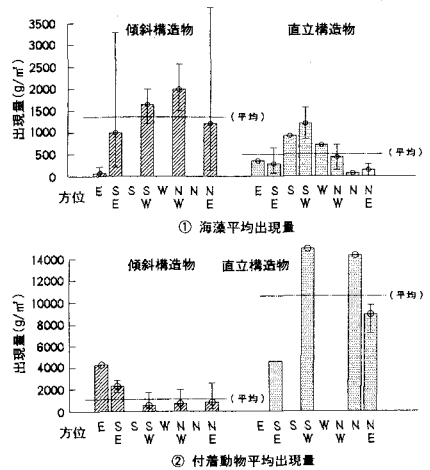


図-4 構造別・方位別付着生物平均出現量

メ類は出見が少ないため、波浪との関係は明確ではなかった。

固着生物はイガイ類およびイワフジツボ (殻径5mm 程度で密生するフジツボ) が全範囲にわたって出現している。イワフジツボは波高が3m 以上に高頻度で見られる傾向があった。また、特定の波高範囲に分布が集中するものは、イソギンチャク類が1~3m, カキ類が2~5m, サンカクフジツボ・タテジマフジツボ (殻径1cm 程度のフジツボ) が1~4m の範囲に出現頻度が高い。

移動動物では、多毛類 (ゴカイ・イソメ等), カサガイ類, ヨコエビ類 (小型甲殻類) が全範囲にわたって出現している。そのなかでも多毛類は波高1~4m, カサガイ類は3~4m に出現頻度のピークが見られる。

(4) 付着生物と構造形式および構造物の対面方位との関係

付着動物および海藻の平均出現量について、構造物形式および方位との関係を図-4に示す。

海藻は付着動物とは逆に、傾斜構造物の側に多く現れる傾向が見られた。また、直立構造物の場合にはサンプリングポイントが光を受けることに不利な、N方向側 (NW~NE 方向) に面している場合には海藻の出現量は平均以下であるが、傾斜構造物の場合にはNW 方向でも出現量は平均以上であり、N 方向側における出現量の減少傾向は見られない。

付着動物は直立構造物の出現量が傾斜構造物に比較して明らかに多い傾向が見られるが、方位との明確な関係は認められない。

(5) 付着生物のグループ間関係

海藻の出現量に対する、付着動物 (固着動物および移動動物) の出現量と、固着動物+海藻の出現量に対する移動動物の出現量を図-5に示す。

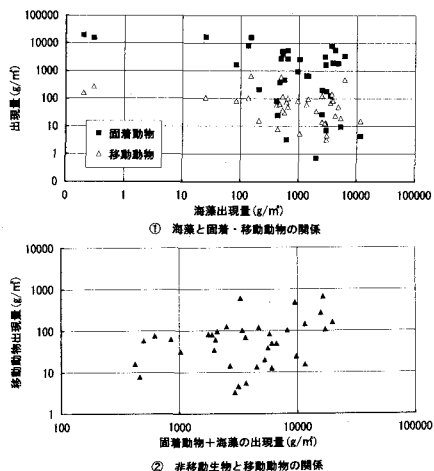


図-5 付着生物グループ間の関係

海藻と移動動物の出現量の関係は余り明瞭ではないが、海藻が約 100 g/m² 以上出現すると、海藻の出現量と固着動物の出現量との間には負の相関がみられる。また、移動動物と固着動物+海藻 (=非移動生物) との間には、非移動動物が 1,000 g/m² 以上出現する場合には、ばらつきは大きい、概ね正の相関関係が見られる。

以上の関係より、海藻および固着動物は、付着基盤をめぐって互いに競合していることが考えられる。一方、移動動物は海藻あるいは固着動物のように移動能力を持たない生物の存在に依存するものと考えられる。

4. 考 察

(1) 波高と生物相の関係

港湾構造物上の生物相の特性として、構造物の前面波高が 2~3 m を境として動物の多い生物相と、海藻の多い生物相に分かれる。

海藻は葉体表面より海水中の栄養分を吸収することから、ある程度の海水流動がある (=波がある) 場所の方が生息に有利であると考えられる。また、波浪が大きいと、海藻の表面などに付着する小型甲殻類 (ヨコエビ等) が脱落させられてしまうことも考えられる。

一方、波高が小さい場合には、海水の流動が小さく海藻の生育には不適当と考えられる。しかし、付着動物の種類数、出現量が増大する。これら付着動物の多くは自ら水流を起こして海水を濾過するので、海水流動の少ない場所でも餌をとることができる。

(2) 波高と主な出現種の関係

海藻を中心とする生物相では、波高に応じて生物相のなかで出現頻度の高い種が変化する。すなわち、構造物の前面波高が 1~3 m の範囲ではホンダワラ類が多く出現し、それ以上ではワカメおよびフダラクが高頻度に出

現する。また、アオサ類は波高 5 m 以内の全範囲に出現している。

アラメ・カジメ類の分布は今回の研究では波浪による出現傾向を明確に特定できなかったが、今野 (1985) はアラメ・カジメはホンダワラ類よりも、より波浪の影響の強い場所に分布するとしている。

動物の出現状況では、イガイ類とイワフジツボが全ての波浪状況において出現し、波浪の程度によって、これらに各種の生物が加わる状況であると考えられる。波高が 2~5 m ではマガキを中心とするカキ類が、また波高が 1~4 m ではサンカクフジツボ・タテジマフジツボがイガイ類とイワフジツボの群集に加わる。

海藻および付着生物の波浪による出現種の変化傾向は、Hoshiai (1965) が指摘しているように、自然岩礁の潮間帯において、サンカクフジツボ・ムラサキイガイを中心に、波の遮蔽程度に応じ、ホンダワラ類や各種フジツボ類等が交代して出現するという傾向に一致している。

(3) 構造物の形式と出現種の関係

調査結果より、直立構造物には動物が、傾斜構造物には植物が卓越して出現するという明確な区別ができた。

特に、傾斜構造物では日射条件が海藻にとって不利である北側に面した地点においても海藻の出現量が減少しない傾向が見られた。これは、構造物が傾斜しているため、直立構造物に比較して日光を受ける時間が長く、かつ積算照度 (光量) が大きいことによるものと考えられる。

傾斜構造物では日射条件が良好で海藻が多く分布するため、付着場所をめぐる競合により固着動物が少なくなると考えられる。また、直立構造物の場合には、この逆の現象が起こっているものと推察される。

(4) 波高から見た生態的ゾーニング

調査結果より、構造物の前面波高と生物の分布状況には一定の関係があることが明らかになった。このことは、港湾構造物によって形成される環境の性格を生物相によってゾーニングするための基礎的情報となる。

構造物の前面波高が 2~3 m 付近は、付着動物を主とする生物相か、海藻を主とする生物相かに分かれる境界であるが、同時に、どちらのグループの生物にも好適な波高であるとも言える。この範囲には、海藻はホンダワラ類が分布するし、付着動物はイガイ類、カキ類、イソギンチャク類、およびフジツボ類が、移動動物は魚類等の餌として重要なヨコエビ類や多毛類が出現する。そして、これら全体での出現種、出現量が共に多く、生物相が豊かな範囲であると言える。

波高が 2~3 m よりも大きくなると、ワカメ等の大形褐藻の多くなる範囲となる。動物はイガイ類・イワフジツボに加えカキ類が多く分布し、移動動物は表面を匍匐

するカサガイ・ヒザラガイが多くなる。

一方、波高が2~3mよりも小さい静穏海域では、イガイ類を中心とする固着動物が多く出現し、海藻ではアオサ類およびホンダワラ類が現れる。このような場所は港内でも奥まった部分であり、透明度が低いことが多く、水質が悪化すると、藻場は成立しにくい。

5. おわりに

今回の調査では、既存の調査資料をもとに、構造物前面の波高をパラメタとして、極めて大づかみな生物相の把握を試みた。このため、垂直分布は上から下まで平均して表したり、生物の分類方法に関しては、「××類」のような分類学的ではないまとめを行うなど、大胆な割り切りを行なっている。

しかし、既存の生物関係の研究例においても定量的な波高等をパラメタとした生物分布に関するものは見当たらないことから、今回の試みは物理的外力条件と生物の分布を関連づける第一歩と位置づけることができよう。

本研究では、調査地点について全国を網羅したとは言えず、重要な海藻であるアラメ・カジメ類およびコンブ類等の情報も十分ではない。このため、今後更に調査地点を増やし、データの信頼性を増してゆく必要がある。

また、今回検討に至らなかった微地形(材料表面の凹凸や角度など)、構造物の建設後経過時間による生態遷移、あるいは藻食動物による海藻の食害と構造の関連などについて具体的な指針の作成を目指して今後も研究を続ける予定である。

最後に、本研究を進めるに当たり、貴重な調査資料や波高データ等を御提供頂いた各港湾建設局および北海道開発局の関係者の皆様に感謝申し上げます。

参考文献

- 宇多高明・伊藤弘之・小西正純 (1993): 離岸堤の設置に伴う生態系変化の予測手法, 海洋開発論文集, Vol. 9, pp. 109-214.
- 宇多高明・松永博史 (1990): 有脚式離岸堤の魚礁効果に関する現地調査, 海洋開発論文集, Vol. 5, pp. 31-35.
- 木下 泉・石川 浩 (1988): 離岸堤と魚類, 月刊 海洋科学, Vol. 20, No. 6, pp. 377-382.
- 今野敏徳 (1985): ガラモ場・カジメ場の植生構造, 月刊海洋科学, Vol. 17, No. 1, pp. 57-65.
- 佐藤善雄 (1976): 堤防周辺における生物相の変化(アソビ・植生の変化等), 水産土木, Vol. 13, No. 1, pp. 3-8.
- 荘司喜博・田村政太郎・高橋豊喜・山本秀一・高橋由浩 (1992): 新潟西海岸における潜堤設置に伴う周辺生物相の変遷, 海岸工学論文集, Vol. 39, pp. 996-1000.
- 水産土木研究部会 (1976): 各種海岸構造物における水産生物集の事に対する各県のアンケート調査結果, 水産土木, Vol. 13, No. 1, pp. 29-42.
- 水産土木研究部会 (1977): 各種海岸構造物における水産生物集の事に対する各県のアンケート調査結果(2), 水産土木, Vol. 13, No. 2, pp. 77-78.
- 武内智行・増田 享 (1991): 松前港における水産生物生息分布状況調査, 海岸工学論文集, Vol. 38, pp. 921-925.
- 武内智行・宮本義憲・増田 享 (1991): 防波堤周辺の水産生物生息分布状況調査—瀬棚港での調査例—, 開発土木研究所月報, No. 463, pp. 2-16.
- 永井紀彦・菅原一晃・橋本典明・浅井 正 (1993): 全国港湾海洋波浪観測年報(NOWPHAS 1991), 港湾技研資料, No. 745, p. 304.
- 中筋 孝 (1976): 防波堤工事に伴う捨て石及び消波ブロックへのイセエビ集効果について, 水産土木, Vol. 13, No. 1, pp. 17.
- 伏見 浩 (1976): 堤防周辺におけるイセエビ集の実例, 水産土木, Vol. 13, No. 1, pp. 9-16.
- 武藤昭光・外崎昭男 (1985): 防波堤築造による魚礁効果について—御前崎港魚礁効果調査報告—, 港湾, 1985年, 5月号, pp. 73-72.
- 森 政次・野田頭照美・荒井洋一 (1991): 人工護岸の造成とその生物的效果について, 沿岸海洋研究ノート, Vol. 29, No. 1, pp. 37-50.
- 森田 晋・田淵郁男・前原弘海・進 明男・児玉理彦・山本秀一 (1992): サンゴの人工構造物への着生状況, 海岸工学論文集, Vol. 39, pp. 1001-1005.
- 森平倫生・笹島 博・久保省吾 (1979): 多孔式の魚礁効果, 第26回海岸工学講演会論文集, pp. 348-352.
- 谷野賢二・明田定満・佐藤 仁・大森康弘・富士 昭 (1993): 防波堤の疑似岩礁効果について, 海岸工学論文集, Vol. 40, pp. 1151-1155.
- 山田有一・杉原拓郎 (1985): 発電所港湾施設の生物生産に及ぼす影響について, 電力土木, No. 199, pp. 63-69.
- Takao Hoshiai (1965): Synecological study on intertidal communities VI. Bull. Mar. Biol. Start. Asamushi, Vol. 12, No. 2-3, pp. 93-126.