

波高および水質条件よりみた港湾構造物の付着生物群集の評価

村上 和男* ・ 浅井 正** ・ 中瀬 浩太***
綿貫 啓**** ・ 山本 秀一*****

1. はじめに

港湾建設や埋め立てなど、沿岸部分で行われる開発行為には、環境保全および生物との共生が必須の条件となっている。このことは、運輸省港湾局のエコポート事業や港湾環境計画策定等を通じて、行政面でもオーソライズされ、実際に環境共生方策を盛り込んだ港湾計画も行われつつある。

港湾等で人為的に生物群集を形成させ、環境共生を行おうとするとき、現実にとりうる方策は構造物の設置や地形の改変といった土木的手法であることが多い。したがって、目標とする生物群集を設定する場合には、これらの群集を成立させるための条件を物理的な尺度で示す必要がある。

付着生物群集の成立条件を波浪等の外力条件により説明しようとする試みには、Hoshiai (1965)、西村 (1972) の天然岩礁の生物群集の出現種類や種組成を、波当たりの強さを定性的に表した「露出度」による区分、今野 (1985) の海藻群落に関する海水流動や外海へ向けての解放程度および水深と出現種との関係の定性的表現、および須藤 (1992) の漁港を対象に設計沖波波高 ($H_{1/10}$)、海底勾配 (水深 10 m に至る離岸距離)、2 月の水温と塩分、および COD (化学的酸素要求量) の 5~20 年間平均値をパラメータとして、種の分布を表現したものがある。

小笹ら (1994, 1995) は既存の港湾構造物等の生物調査結果を用い、調査地点の年間最大有義波高に相当する波浪 (構造物前面波高)、構造形式との比較による付着生物群集の成立条件の検討を行った。その結果、海藻は波高 2~3 m の範囲に、付着動物は波高 1.0~1.5 m の範囲に出現量のピークがあること、直立構造物では動物、傾斜構造物では海藻を主とする生物群集が形成されること、付着動物群集の多様度指数は、波高 1.5~2.0 m の範囲で高いことを明らかにした。

しかしながら、これらの研究では、内湾や外洋等で異

なる水質の要素を無視しており、また、優占種の種別の出現条件に関しての検討は行っていない。

そこで、本研究は小笹ら (1994, 1995) の検討に加え、水質条件を加味した生物の付着生物群集の成立条件、および主要な出現種に関する出現条件の検討を行った。

2. 調査方法

本研究では、港湾内のサンプリング地点が明記されており、かつサンプリング地点別に生物調査結果が記載されている全国 13 港湾等および海岸における既存調査結果を検討対象とした。これらの波浪条件、水質、構造形式および、データの特性等を表-1 に示す。

各調査地点の潮間帯および潮下帯の生物調査結果を用いて、出現量の集計、多様度指数の計算、および優占種の抽出をおこなった。これらの結果と各調査地点の波高、水質および構造形式を比較検討することにより、付着生物群集の成立条件として、港湾の計画や設計に用いることのできる知見や情報を抽出することを試みた。なお、データの整理方法には小笹ら (1994, 1995) に従った。

水質のデータには各種のものがあるが、ここではほとんど全ての港湾等で調査されている COD をパラメータとして選択した。COD は海域の有機物量を表すものである。有機物は濁りと関係があるので海藻の分布にも関係し、また濾過食性の生物の餌である有機性懸濁物やプランクトンにも関係している。

(1) 生物データの整理

各調査結果の記載方法、採集水深、年間調査回数は統一されていないので、付着生物の出現量は 1 m^2 あたりに換算し、港湾内の各調査地点の生物出現量は垂直方向および年間当たりのデータを単純平均した。

これらのデータから各地点ごとの動物、植物の質重量の多い上位 3 種を抽出した。また、付着動物の個体数を用いて Simpson による単純度指数 λ より 1 を減じた多様度指数 λ' を計算した。

(2) 外力および水質条件

波高 (構造物堤前波高) は、原則として実測値より求めた 1 年確率の有義波高をもとに、浅水変形等を考慮して各サンプリング地点の構造物堤前波高を算出した。

* 正会員 工修 運輸省港湾技術研究所
** 正会員 工修 運輸省第一港湾建設局
*** 正会員 五洋建設 (株)
**** 工修 (株) テトラ
***** 学修 (株) エコー

表-1 各調査地点の波高・水質およびデータの状況

海域	対象地点名	立地	構造物	1年確率 H 1/3(m)	周期 (sec)	堤前波高範囲 (m)	水質 COD 年間 平均値 (mg/l)	備 考
日本海	秋田港	外洋	防波堤	6.0	10.4	0.60~4.50	1.60~2.70	種別出現量の記載なし
	新潟西海岸	外洋	突堤・離岸堤・潜堤	5.0	10.1	1.40~4.00	1.90	
	柏崎港	外洋	離岸堤	6.3	11.2	1.40~3.40	0.70	湿重量の記載なし
	七尾港	内湾	透過壁防波堤	3.2	8.6	0.30~0.80	2.00~3.00	多毛類は分類せず一括表示
	博多港	内湾	護岸	1.5	4.0	0.40~2.00	1.60~3.20	動物のみ記載
太平洋	横須賀港	内湾	護岸・離岸堤	1.0	5.0	0.40~0.88	2.30~3.30	
	御前崎港	外洋	防波堤	3.7	13.9	0.80~4.30	1.20~2.30	
	三河港	内湾	防波堤	1.6	5.0	0.58~0.69	3.00~3.30	
	四日市港	内湾	防波堤	1.0	4.5	0.40~0.80	3.00~3.20	海藻のみ記載
	瀬戸内	内湾	護岸	2.5	11.4	0.45~2.42	1.80~2.30	種別出現量の記載なし
	安下庄海岸	内湾	離岸堤	2.0	4.9	0.30~0.75	1.10	
	日良居海岸	内湾	離岸堤	0.8	2.3	0.24~0.60	1.10	
	大分港	内湾	防波堤・護岸	2.0	4.5	1.50~1.70	1.90~3.00	

構造物形式は傾斜（消波ブロック被覆構造を含む）構造物と直立構造物（矢板、ケーソン等）の2通りに分類した。

水質（COD）は既存調査結果を用い、比較対象の生物の出現状況に対応させるため、調査地点至近域のデータを年間および垂直方向に単純平均した。

（3）現地調査

平成8年3月14日に神奈川県横須賀港平成地区の隣接する2ヶ所の護岸で生物出現状況の現地調査を行った。調査地点は波浪条件（1年確率波を用いた堤前波高0.8 m）や対面方位が同一で、構造物形式が直立および一

部が傾斜となっている。

各サンプリング地点の望平均干潮位直下、マウンド直上堤体部分、およびその中間の3水深で、50×50 cm枠内の付着生物を採取し、動物と植物の別に種類ごとの個体数、湿重量を測定した。

3. 調査結果

（1）優占種の波高別出現傾向

各調査地点における動物および植物の湿重量上位3位以内に出現した種およびグループのうち、主要なものの堤前波高と出現量との関係を図-1に示す。

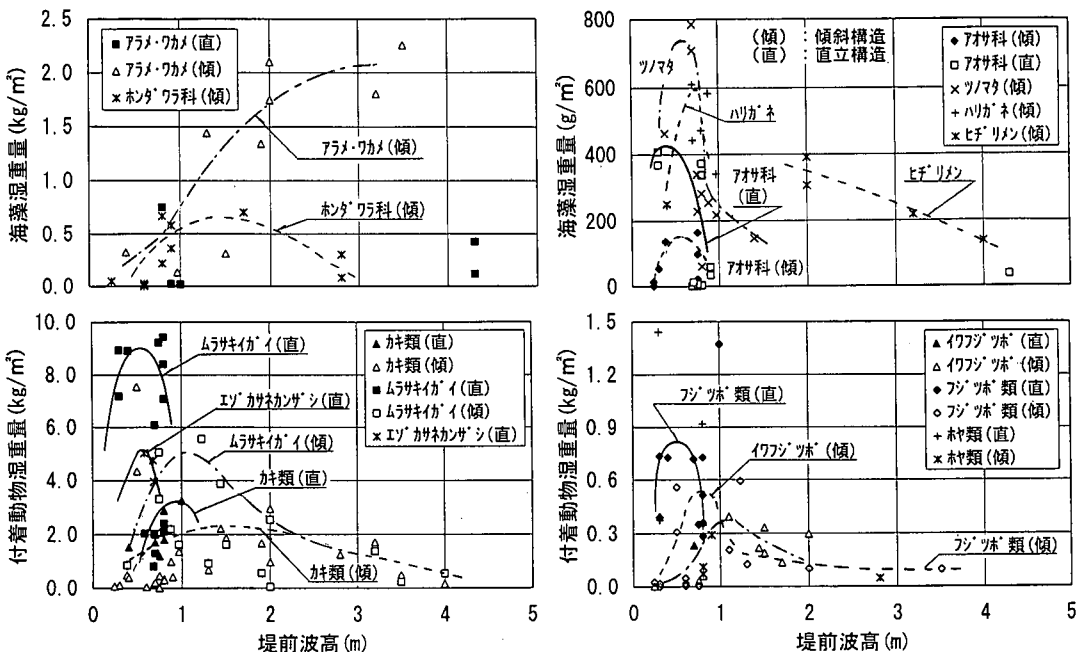


図-1 主要優先種の波高別出現傾向

植物では、大型褐藻類のホンダワラ類（ホンダワラ科の海藻）は波高 1.5 m 付近、アラメ・ワカメは波高 2.0~3.0 m 付近に出現のピークが見られたが、紅藻類のツノマタやハリガネおよび緑藻類のアオサ科（アナアサや各種のアオサ属を含む）は付着動物と同様の波高 0.5 m 付近に出現のピークが見られた。ただし、紅藻類のヒヅリメンは波高 1.5 m 付近に出現のピークとして波高 2.0 m 付近まで出現していた。動物では、ムラサキイガイが波高 0.5 m~1.0 m 付近に集中して出現しており、マガキ・イワガキなどのカキ類は波高 1.0 m 付近をピークにして高波浪側に緩やかに出現量が減じてくる傾向が見られた。

付着動物は各種類とも直立構造の方が傾斜構造より出現量が多く、出現ピーク部分を表す場合の波高は、直立構造の方が傾斜構造の場合よりも小さくなっていた。

(2) 波高と水質による出現傾向

a) 湿重量の分布

構造物形式別の堤前波高と COD 年平均值に対する付着動物と海藻の出現量を図-2 に示す。なお、直立構造の海藻出現量は最大でも 500 g/m² 以下であるため、ここで

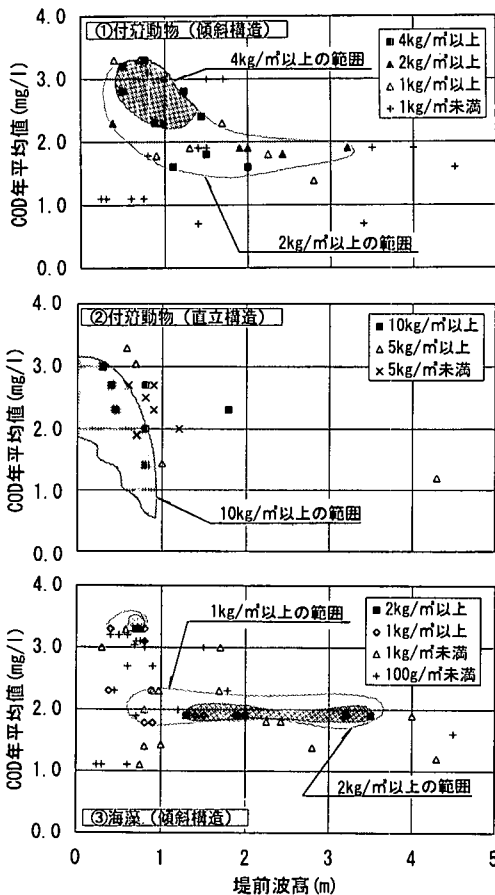


図-2 波高・水質別湿重量分布

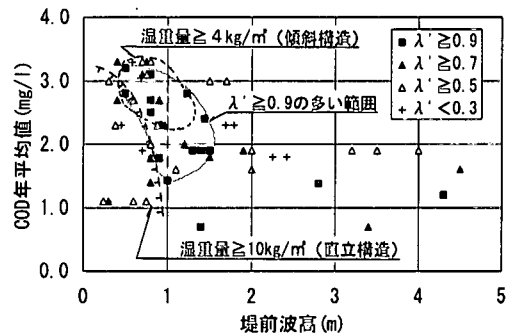


図-3 波高・水質別多様度指数分布

は省略した。

傾斜構造において、付着動物群集の湿重量が 4 kg/m² 以上と多いのは、COD 年平均值 2.5~3.5 mg/l、波高 0.5~1.5 m の範囲に中心があり、この範囲から高波高・低 COD 側に湿重量が 2~4 kg/m² の範囲が広がっていた。

直立構造における付着動物群集は、傾斜構造に比較して出現湿重量が多く、これらの 10 kg/m² 以上の分布範囲は、波高 1.0 m 以下の範囲に見られた。

海藻の湿重量が 2 kg/m² 以上の範囲は、COD 年平均值 2.0 mg/l 付近、波高 1.5~3.5 m の範囲であり、付着動物の出現ピークを示す範囲よりも COD が低く、波高が大きかった。また COD 年平均值 3.2 mg/l、波高 0.8 m の範囲にも 2 kg/m² 以上の出現量の範囲があった。

一方、傾斜構造で付着動物の湿重量が 4 kg/m² 以上と多い範囲では概ね海藻の湿重量は 100 g/m² 未満となっていた。

b) 多様度指数の分布

堤前波高および COD 年平均值別の付着動物多様度指数の分布傾向を図-4 に示す。多様度指数 λ は 1 に近づくほど多様性が高いことを意味する。付着動物群集の多様度指数 λ が 0.9 以上の分布が多い範囲は COD 年平均值が 1.5~3.0 mg/l、波高 0.5~1.5 m の範囲であった。この範囲は付着動物が傾斜構造において 4 kg/m² 以上みられる範囲にほぼ等しいが、直立構造において 10 kg/m² 以上見られる範囲とは一致していない。

c) 優占種の分布

各調査地点の優占種グループの波高・水質による分布位置を図-5 に示す。調査範囲が広い範囲であったにもかかわらず、優占種グループは限られたものに集約されていた。

海藻が優占種である場合、アラメ・ワカメは COD 年平均值が 2.0 mg/l 以下で波高 1.0~4.0 m の範囲に見られ、波高 1.0~3.0 m に出現量のピークがあった。また、紅藻類は COD 年平均值 3.0 mg/l 以上かつ波高

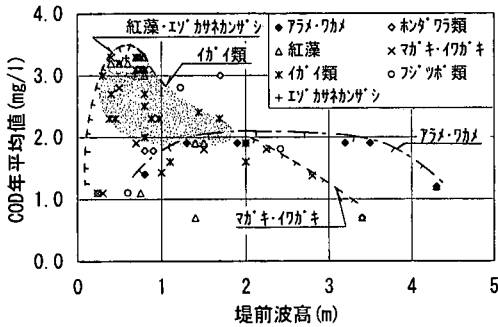


図-4 波高・水質別優占種分布

0.5~0.8 mの内湾性の強いと考えられる部分に分布していた。この部分の紅藻の構成種は、ヨツガサネとハリガネであった。また、ホンダワラ類はアラメ・ワカメの分布域のより低波高域に見られた。

付着動物では、マガキ・イワガキがCOD年平均値3.5 mg/l以下、波高約3.0 m以下の範囲に優占種として分布していた。この範囲の一部であるCOD年平均値1.8~3.2 mg/l、波高2.0 m以下の範囲にムラサキガイ類（ムラサキガイ、ホトギスガイ、ムラサキインコガイ）が優占種として分布していた。

(3) 現地調査結果

調査地点の生物付着状況を図-5に示す。調査した護岸は、L.W.L.以深は同一の直立構造であったが、St. AはL.W.L.以浅が石積み傾斜構造であった。なお、1年確率波高を用いた堤前波高は0.8 mであり、両構造とも同一の波浪条件であった。

付着生物はSt. A、St. BともL.W.L.直下に相当する上層で著しく湿重量が多かった。この護岸は北東方向に對面しており、直立部分には海藻はほとんど見られなかつ

たが、傾斜部分の上層（L.W.L.直下）では紅藻類のフシツナギの3.6 kg/m²にのぼる付着が確認された。一方、直立護岸のSt. BではSt. Aで海藻が分布していた場所にムラサキガイの7.2 kg/m²の出現が確認された。

中層と下層は全面が直立護岸のSt. Bではホヤ類（エボヤ）が1.8 kg/m²出現していた他は両者は、ほとんど同様の生物出現傾向であった。

4. 考 察

(1) 波高・水質と付着生物の出現傾向

「水質汚濁に係わる環境基準」による公共用水域の水質類型と波高別生物出現傾向を表-2に示す。

海藻はCOD年平均値が2.0 mg/l付近（A類型）で波高1.5~3.5 mの範囲に褐藻を中心として2 kg/m²以上の分布が見られる。一方、付着動物はこれよりCODが高く波高が低い範囲に分布のピークを持っている。

海藻は光合成に必要な光と栄養塩を要求するため、光の透過が確保できる程度の水質と栄養塩吸収、ガス交換、食害防止、堆積物除去（浮泥等の堆積防止により、光合成が確保される）に都合が良い程度の比較的高波浪が生息に有利であると考えられる。

一方、付着動物は、群集の湿重量の大部分を占める二枚貝類が、水中の懸濁物質やプランクトンを餌とする濾過食性であり、海中に有機懸濁物が多く存在する場所が生息に有利である。また、摂餌や脱落を考慮すると、波高が低いことが有利である。したがって付着動物はCOD年平均値2.0 mg/l以上（B類型）、波高約1.0 m以下の範囲が生息に適しており、この範囲に4~10 kg/m²以上の生息適地が見られたと考えられる。

また、付着動植物とも波高が0.5 m未満になると構造

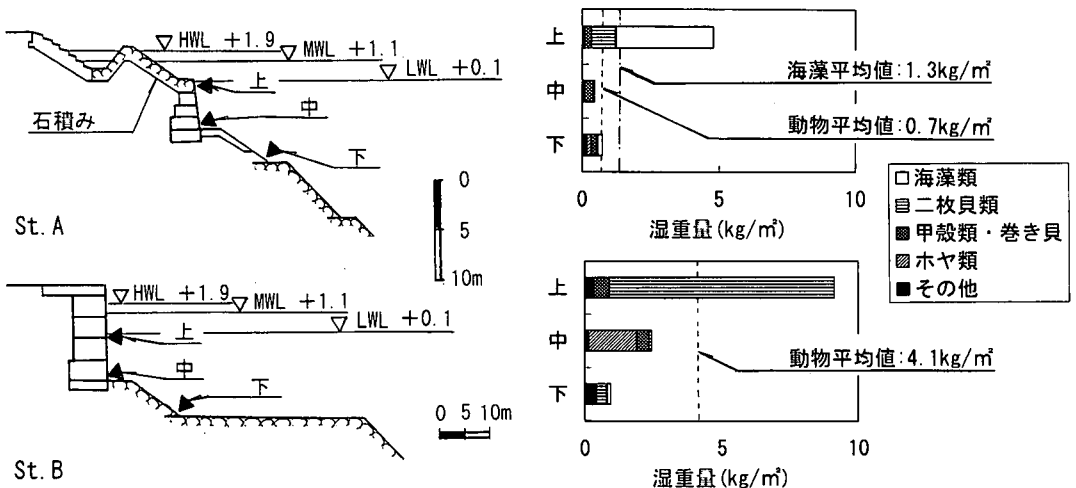


図-5 調査地点の断面形状と生物付着状況（横須賀港）

表—2 環境基準による水質類型と生物出現傾向

類型	利用目的の 適応性	COD	波高別生物出現の傾向
A	水産1級 水浴 自然環境保全	2 mg/l 以下	波高 1.0 m 以上 (ピーク: 1.5~3.5 m) 大型褐藻優占 (2 kg/m ² 以上) 波高 1.0 m 以上: マガキ類優占 (2 kg/m ² 以上)
B	水産2級 工業用水	3 mg/l 以下	波高 1.0 m 以下: 付着動物 4~10 kg/m ² (ムラサキイガイ優占)
C	環境保全	8 mg/l 以下	波高 0.5 m 以上: 付着生物急減

自然環境保全: 自然探勝等の環境保全

水産1級: マダイ・ブリ・ワカメ等の水産生物用

水産2級: ボラ・ノリ等の水産生物用

環境保全: 日常生活において不快感を感じない程度

形式に関わらず出現量が急減するが、これは海水交換不足や浮泥の堆積によるものと推察される。

なお、直立構造の生物出現量が多い範囲は付着動物の多様度指数が高い範囲と一致せず、直立構造物において、付着動物が多量に付着していても動物群集の多様性が大きいとは言えないと考えられる。

(2) 港湾構造物形状による付着生物相制御の可能性

図—2, 4 に示したように COD 年平均値が 2.0 mg/l 以上 (B・C 類型) かつ波高が 1.0 m 未満の直立護岸では、ムラサキイガイが優占種として 10 kg/m² 以上出現することが多い。このような場合、矢持ら (1995) が指摘しているように、これらの生物が脱落した場所、その場所の水深が深い場合には、分解時に海中の酸素を奪い、生物群集にマイナスの影響を与えることがある。

しかし、この部分に傾斜構造を取り入れることで付着動物の出現量を直立構造の約 1/2 程度に抑えることが可能であり、かつツノマタ、フシツナギといった各種の紅藻類の生息を期待することが可能となる。

現地調査を行った横須賀港は COD 年平均値 3.2 mg/l (C 類型)、堤前波高 0.8 m であり、図—2 によると、直立構造では 10 kg/m² 以上の付着動物出現域に近く、傾斜構造では動物 4 kg/m²、海藻は 1~2 kg/m² の出現があると考えられる範囲である。

実際には、直立構造上層ではムラサキイガイが最大 7.2 kg/m²、傾斜部分では付着動物は平均 0.8 kg/m² と少ないが、紅藻のフシツナギが 1.3 kg/m² 出現しており、構造形式の一部改変により付着生物相を制御できる可能性

を示しているものと考えられる。

5. おわりに

港湾構造物等の付着生物群集の優占種とその出現量を、波浪条件と構造形式に対する付着生物の出現状況の關係に、水質条件である COD 年平均値を加味することで、以下のように概略推定できることが明らかになった。

a) 水質 A 類型の場合、波高 1.0 m 以上で海藻はアラメやワカメ等大型褐色藻類が、付着動物ではマガキ・イワガキが、年平均で約 2 kg/m² 程度で出現する。

b) 水質 B・C 類型の場合波高 1.0 m 以下で付着動物が卓越し、ムラサキイガイを優占種として、出現量は傾斜構造で 4 kg/m² 以上となる。この範囲では直立構造の場合には傾斜構造の約 2 倍の出現量となる。

以上の検討は、既存資料を所定の条件のもとに解析した結果得られたものであり、コンブ類の分布する東北以北等は検討の範囲外である。今後、データの空白域を埋める調査を行う必要がある。

最後に、本研究を進めるにあたり、運輸省各港湾建設局の関係者の皆様より貴重な現地調査記録をご提供いただいた。横須賀市港湾部の皆様には現地調査や調査資料のご提供にあたり多大なるご協力を賜った。また、データのとりまとめにあたっては日本海洋コンサルタント(株)の上村圭介氏の協力を得た。これらの方々に、ここに記して感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 小笹博昭・室善一朗・中瀬浩太・綿貫 啓・山本秀一 (1994): 生物にやさしい港湾構造物の研究, 海岸工学論文集, 第 41 巻, pp. 1016-1020.
- 小笹博昭・村上和男・浅井 正・中瀬浩太・綿貫 啓・山本秀一 (1995): 多様度指数を用いた波高・港湾構造形式別の付着生物群集の評価, 海岸工学論文集, 第 42 巻, pp. 1216-1220.
- 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.
- 須藤俊造 (1992): 海藻・海草相とその環境条件との関連をより詰めて求める試み, 藻類, Vol. 40, pp. 289-305.
- 西村三郎 (1972): 海浜域における生物群集の構造と維持, 海の生態学, 築地書館, pp. 204-209.
- 矢持 進ら (1995): 人工構造物の優占生物が大阪湾沿岸域の富栄養化に及ぼす影響, 海の科学, Vol. 4, No. 1, pp. 9-18.
- Takao Hoshiai (1965): Synecological study on intertidal communities IV, Bull. Mar. Biol. Stat. Asamushi, Vol. 12, No. 2/3, pp. 93-126.