

二枚貝増殖場造成のための離岸潜堤の水理的検討

長谷川 寛*

1. ま え が き

最近、沿岸域における、劣化した生態系の改善・修復および望ましい生態系の創出のために、従来の土木工学に生物学、生態学などを取り込んだ学際的な新しい工学としての生態系工学の研究が進められている。電力中央研究所では開発などによって失われた自然環境の修復あるいは積極的に好適な環境を創造することを目指して、経済性を考慮しつつ自然環境と共生する土木技術としてのエコ・シビルエンジニアリング研究を推進している。

本研究はその研究の一環で行ったもので、まず、外海に面した砂浜に生息する二枚貝の増殖に寄与するために、貝の生態や構造物の環境制御特性を調査した結果、離岸潜堤工が生息環境改善手段として有望であるとの見通しを得た。つづいて、離岸潜堤の水理的环境制御特性を水理実験によって検討し、二枚貝の卵・稚仔・成貝の生息環境改善にプラス効果を有すると判断したものである。併せて効果的な潜堤設計の目安を得ることも試みている。

2. 潜堤による水産増殖制御

本研究では市場価値の高い二枚貝を増殖場造成工の対象とした。例えば代表的な二枚貝であるホッキガイは、寒海性で太平洋側では茨城県以北、特に東北、北海道が主要な分布域となっており、その生息環境は表-1に示される（例えば佐々木、1993による）。

表-1 ホッキガイの生息環境

段階	時 期	体 長	水 深	水 温	限界流速
産卵	4～7月			13～16℃	
発生	8～10 hr	70～80 μm	0～6 m	14～18℃	
卵・稚仔	浮遊期 20～25日	80～250 μm	0～6 m	16～23℃	25 cm/s
	着底期	260～300 μm			
稚貝	3年	0～7 cm	0～6 m	5～29℃	
成貝	寿命 >30年	7～11 cm	2～10 m	2～20℃	50 cm/s
		(低質粒径 0.1～0.5 mm)			

表-2 環境要素を制御する海岸構造物

要素	制御の方向	水産増殖の効果	制御構造物
波浪	波浪の低減	底質安定化	消波堤
	砕波の促進	打上げと移動防止	潜堤
		食害動物侵入防止	作れい工
流れ	流れの低減	卵・稚仔の着底促進	離岸堤
	海浜流の制御	卵・稚仔の拡散防止	導流堤
	流れの収斂	海藻の成長促進	
底質	岩礁域安定化	藻類の生息環境改善	育成礁
	砂泥域安定化	貝類生息環境改善	着底礁

一方、魚介類や海藻などの生息物理環境要素としては、主に波浪、流れ、底質などが考えられる。このような水産生物の増殖を図るためには、表-2に示すように波浪、流れ、底質の環境要素をある方向に制御することにより、水産生物の生息環境を好適化することができると考えられる（長谷川、1996）。

この表から、潜堤は多くの環境要素を同時に制御することができ、貝類の生息場安定化には非常に有望であると言える。このようなことから、二枚貝増殖工法として潜堤を採用し、平面固定床実験により潜堤背後水域内の卵・稚仔の流失減耗（減耗：死亡したり他の動物に食べられたり、領域外へ移動してしまって個体数が減ること）低減効果、二次元移動床実験により貝の砂上露出・転動減耗低減効果および貝の移動・打上げ減耗低減効果について検討する。なお、北海道の厚岸湾と浜中湾などで離岸潜堤を施工して二枚貝の増殖場造成が実施されているが、離岸潜堤の貝に及ぼす水理的影響を定量的に把握した上で現地に適用した例はまだないようである。

3. 潜堤による二枚貝の生息環境改善効果について

3.1 流れ制御による卵・稚仔の流失減耗低減効果

(1) 実験の方法

平面造波水槽（長さ45 m、奥行き35 m、高さ1.1 m）内に1/50の一樣斜面を作り、潜堤がない一樣斜面の場合、また、潜堤を設置した場合の潜堤背後水域における波高や流況を測定した。模型縮尺は約1/100とし、現地換算の潜堤長さ80 m、高さ5 m、天端長さ20 mの台形断面

* 電力中央研究所 我孫子研究所 水理部 構造水理グループ

表-3 実験ケース一覧表

	波浪条件			潜堤条件		
実験 Case	周期 T (s)	波高 H (cm)	Cパラ メータ	水深 h (cm)	相対水深 h/L	天端高 r (cm)
1-1	1.0	7.0	7.8	自然海浜（潜堤なし）		
1-2	1.9	7.0	5.3			
1-3	〃	12.0	9.1			
1-4	〃	18.0	13.8			
1-5	2.8	7.0	3.7			
2-3	1.9	12.0	9.1	12.0	0.06	8.4
2-4	〃	18.0	13.8	〃	0.06	A 潜堤
2-5	2.8	7.0	3.7	〃	0.04	
3-3	1.9	12.0	9.1	21.0	0.08	14.7
3-4	〃	18.0	13.8	〃	0.08	B 潜堤
3-5	2.8	7.0	3.7	〃	0.055	
4-1	1.0	7.0	9.1	30.0	0.22	21.0
4-3	1.9	12.0	13.8	〃	0.09	C 潜堤
4-4	〃	18.0	3.7	〃	0.09	
4-5	2.8	7.0	7.8	〃	0.065	

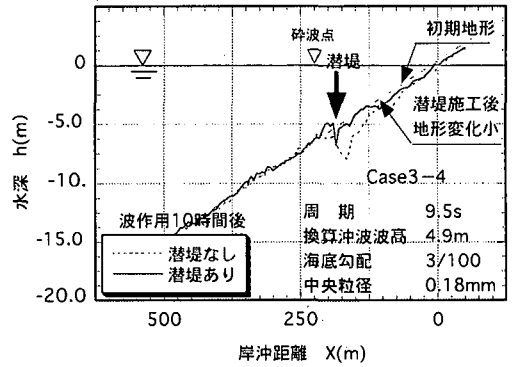


図-4 波作用による地形変化

の測定および岸沖方向に 50 cm ピッチで採取した一定量の砂を篩いに懸け、模型貝を計数した。なお、波による貝の移動機構を解明するため、桑原 (1994) はホルマリンで固定した殻長 8 mm のホッキガイを用いて、波高 7 cm 程度の移動床実験を実施している。

(2) 潜堤施工前後の地形変化

潜堤や人工リーフなどによる海岸保全効果については、多くの実験的研究 (例えば、宇多, 1988) がなされているが、本研究では潜堤施工前後による地形変化を比較し、地形変化が安定となる潜堤位置について検討した。検討の最初は、中型造波実験の地形変化が、実際の地形変化を再現しているかどうかを確認するために、現地の地形変化をほぼ再現できる大型造波水路 (長さ 205 m, 幅 3.4 m, 高さ 6.0 m, 最大波高 2.0 m) による地形変化と比較した (鹿島ら, 1983)。この結果、波高 10 cm 程度の中型実験でも現地と同一粒径を用いて、現地スケールの定性的な地形変化が再現できることを確認した。

次に潜堤施工前後の地形変化の実験結果について、砂村・堀川の C パラメータで分類される侵食性、堆積性および侵食・堆積の中間の波浪条件別に以下に述べる。

①侵食性の波浪条件 ($C > 8$)

A, B 潜堤では、地形変化が若干緩和されたり、汀線付近が安定化する傾向にある。また、C 潜堤では、水域内は潜堤が無い場合より堆積が大きくなっている (図-4)。

②堆積性の波浪条件 ($C < 4$)

潜堤がない場合、汀線付近に堆積するが、A 潜堤では、さらにそれ以上堆積する。しかし、B, C 潜堤では、地形変化は低減し、汀線付近の堆積が減少している。

③侵食・堆積の中間の波浪条件 ($4 < C < 8$)

C 潜堤では、潜堤水域内の地形変化は安定化する。

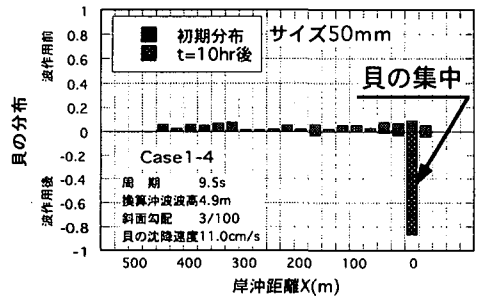
以上の結果から、潜堤が無い場合の地形変化を基準と

して、潜堤施工前後による地形変化をまとめると、天端高が水深の 7 割程度とした潜堤の場合、相対水深 h/L が約 0.055~0.065 の位置に設置すると、侵食性の波浪条件から堆積性の波浪条件に至るまで、潜堤水域内の地形変化を少なくできること判った。

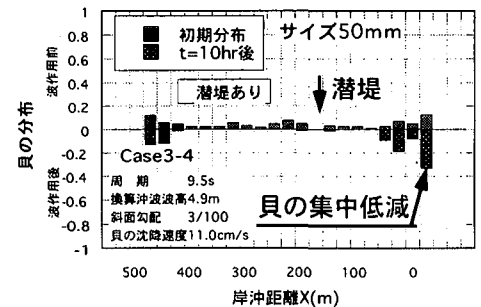
(3) 潜堤施工前後の貝の分布

①侵食性の波条件

波高が 4.5 m 程度の侵食条件では、潜堤が無い場合の砂移動とは逆に模型貝は汀線上に集中している (図-5 (1))。これに対して、A と B 潜堤では、波作用前の分布とほぼ同じような分布となっている (図-5 (2))。しかし、C 潜堤では潜堤内側基部および汀線上に集中し、潜堤設



(1) 潜堤施工前



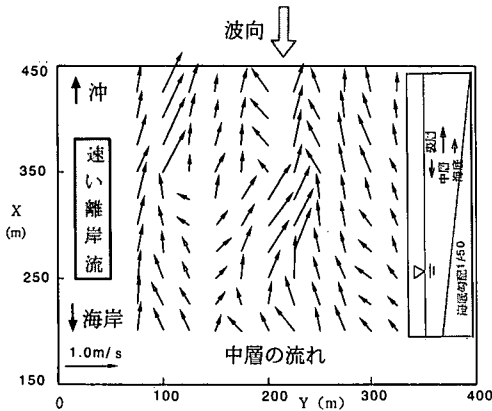
(2) 潜堤施工後

図-5 波作用による貝の分布

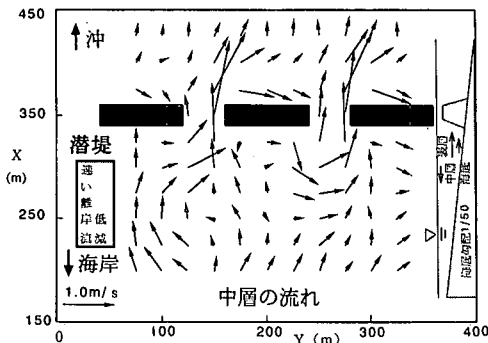
(法勾配 1/2) の不透過潜堤を水深 7 m の地点に、開口幅 20 m として設置した。実験に用いた波は汀線に直角に入射する波向とし、一様水深部 52 m の地点で、有義波高 $H_{1/3} = 5.0$ m, 有義周期 $T_{1/3} = 14$ s の不規則波を作用させた。なお、東江ら (1987) は二枚貝の漁場造成を念頭において、離岸潜堤水域内外の海浜流について、水理実験と数値シミュレーションにより調べているが、流況の検討のみにとどまっておりに貝に及ぼす影響などは、把握していない。

(2) 潜堤施工前後による流れの変化

一様斜面で波向が汀線に直角に入射する場合、流れの鉛直分布は図-1(1) に示すように表層は岸向きの流れ、中層から底層にかけては沖方向の離岸流や戻り流れが生じる。これに対して、水深 h と波長の比 h/L が 0.04, 潜堤高 r と h の比 r/h が 0.7 とした潜堤を斜面上に 5 基を開口幅 b と潜堤長さ l の比 b/l が 1/4 となるように直列に並べて設置した場合、潜堤背後水域の中層と底層間の流れは、図-1(2) に示すように開口部では沖向きの流れ、非開口水域内では流れが遅くなったり流れの向きが一部沿岸方向や向岸流に変化するのが見られる。



(1) 潜堤施工前



(2) 潜堤施工後

図-1 潜堤施工前後における中層の流れ

したがって、離岸潜堤は、卵・稚仔の水域内における滞留時間を長くすることができる。それにより、卵・稚仔の着底を促進できるので、二枚貝増殖場造成工として有効と考えられる。また、潜堤の規模・配置を変えることにより水域内の流れを制御して、卵・稚仔の沖合への流失防止に有効な循環流を生じさせることも可能と考えられる。

3.2 地形制御による貝の露出・転動減耗低減効果

(1) 実験の方法

潜堤設置による二枚貝の露出・転動減耗低減効果を確認するために、貝の拡散および海底地形変化について、図-2 に示す当所の二次元水路(長さ 50 m, 幅 0.9 m, 高さ 1.2 m)を用いて、縮尺 1/25 程度の水理模型実験を実施した。

貝の模型は、実物貝の比重と同程度の比重 1.6 とし、形状は実物貝を 50 mm と想定した 1/25 の直径 2 mm, 高さ 1 mm の円筒状とした。この模型貝と実物の貝の沈降速度の測定から、模型貝は殻長の 1/2 乗に比例する範囲にあり、フルードの相似則が成立するため、水理実験に用いた模型の貝は実際の波による貝の浮遊・沈降現象を再現できると考えられる(図-3)。

実験は波作用前に粒径 0.18 mm の砂で海底勾配 3/100 の一様な斜面上に現地換算で 1 m 四方に 1 個の割合で模型貝を散布し、表-3 に示す波条件および潜堤の天端高 r と水深 h の比 r/h を 0.7 とし、A 潜堤(現地換算で $h=3.0$ m), B 潜堤($h=5.25$ m), C 潜堤($h=7.5$ m)に対して、規則波を 8 時間作用させた。その後、地形変化

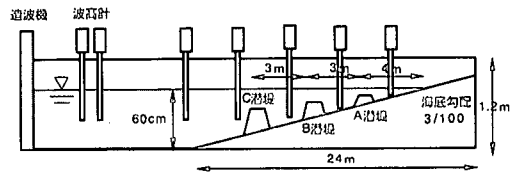


図-2 二次元造波水路と実験模式図

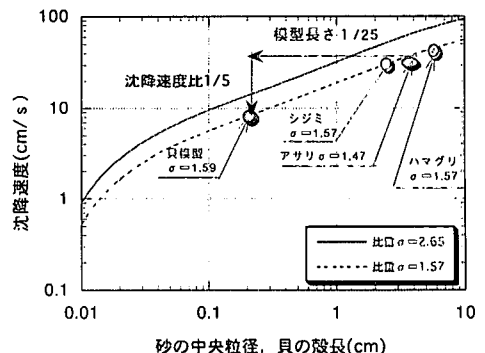


図-3 貝殻および模型貝の沈降速度

置の効果はあまり見られない。

②堆積性の波条件

潜堤がない場合、模型貝は水深 10.0 m から沖方向に集中し、侵食条件と同様、砂の移動とは逆の方向へ移動している。これに対して、A、B 潜堤では汀線上に模型貝が集中するが、C 潜堤では移動が少なく安定化している。

③中間の波浪条件

潜堤がない場合、模型貝は水深約 7.5 m に集中したが、C 潜堤では、波作用前の分布とほぼ同じで安定化しており、潜堤設置の効果が特に見られる。

以上の結果を、潜堤が無い場合の貝の分布を基準として、潜堤設置による模型貝の安定性をまとめると相対水深 h/L が 0.065 より浅い水深に天端高を水深の 7 割程度とする潜堤を設置すると、侵食性の波浪条件から堆積性の波浪条件に至るまで、貝の移動を低減できることが判った。

3.3 波浪制御による貝の移動・打上げ減耗低減効果

(1) 寄せホッキ

ホッキガイは冬季の暴風時に海岸に打上げられ、大量に斃死する「寄せホッキ」が見られる。福島県の磯部漁場では、殻長が 3 cm 以上の大量のホッキガイが海岸に打ち寄せられ、この時の海域は、風速が約 10 m/s 以上、有義波高は 4 m 以上、周期は 10 s の高波浪時であったと報告されている(佐々木, 1993)。このような寄せホッキの現象については、城戸 (1996) は次のような過程と推測している。①海水温が急に低下して、ホッキガイの活力が失われ、潜砂行動が鈍くなる。そして、②動きの鈍くなった貝の潜砂速度に比べ、時化の高波浪により海底地形の洗掘速度は上回り、貝は露出する。③露出した貝は海底面を波や潮汐などにより岸方向に輸送され、海岸へ打上げられる。

(2) 地形の洗掘速度と貝の潜砂速度

この「寄せホッキ」の①、②、③の現象について、考察する。

①の水温低下による活力が低下する現象については、山下(1995)の研究により説明できる。例えば、殻長 3 cm のホッキガイは、水温 20°C に対して潜砂速度は約 2.6 mm/s、水温が 5°C に低下すると約 0.6 mm/s となる。従って、水温 5°C の条件下では、潜砂速度は水温 20°C に対して約 1/4 から 1/5 となり、活力が低下することが判る。

②の現象については、貝の潜砂速度と波による底面の洗掘速度を比較する必要がある。殻長 2 cm のホッキガイの潜砂速度は底質の粒径が 0.27 mm の場合、図-6 に示すように水温が 20°C 程度では約 0.6 mm/s である(城戸, 1996)。しかし、水温が 20°C から 5°C と低下すると、前に述べたように潜砂速度は約 1/4 となり、潜砂速度は約 0.15 mm/s となる。

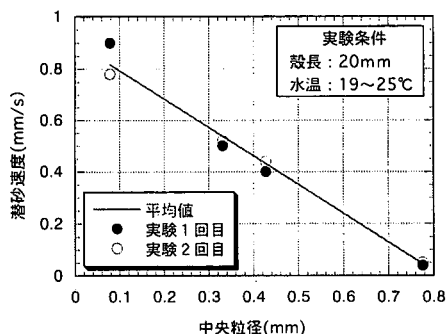


図-6 底質粒径に対する貝の潜砂速度

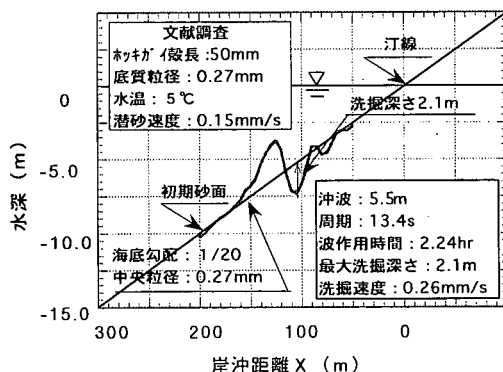


図-7 波による海底地形の洗掘速度

一方、波による底面の洗掘速度については、大型造波水路を用いた地形変化のデータから推定することができる。例えば、粒径を 0.27 mm で整地した一様勾配 1/20 の海底に対して、波高 1.1 m、周期 6.0 s の波を 1 時間作用させた場合の地形変化は図-7 に示される。

この図で示される地形変化のバーム深さ 42 cm と波作用 1 時間から洗掘速度を推定すると、約 0.12 mm/s となる。この実験条件を寄せホッキが生じる現地の波浪条件に近づけるために、模型縮尺 1/5 と仮定して現地換算すると、実験の波高は 5.5 m、周期は 13.4 s、波作用時間は 2.2 時間、これらのデータから洗掘速度は約 0.27 mm/s となる。従って、通常の水温、つまり潜砂能力が失われていない場合は「時化」に遭遇しても露出することはないが、水温が低下し、潜砂行動が鈍くなっている時に「時化」に遭遇すると、露出することも有り得ると考えられる。

(3) 波の底面流速と貝の移動限界流速

③の波による貝の海底面上の挙動と海岸への打上げについて考察する。前者については、波による底面の軌道流速と貝の移動限界流速の比較により推定することができる。例えば、底面の軌道流速は、周期 10 s、波高が 1 m の場合、水深 10 m で 0.43 m/s、8 m で 0.49 m/s、6 m で

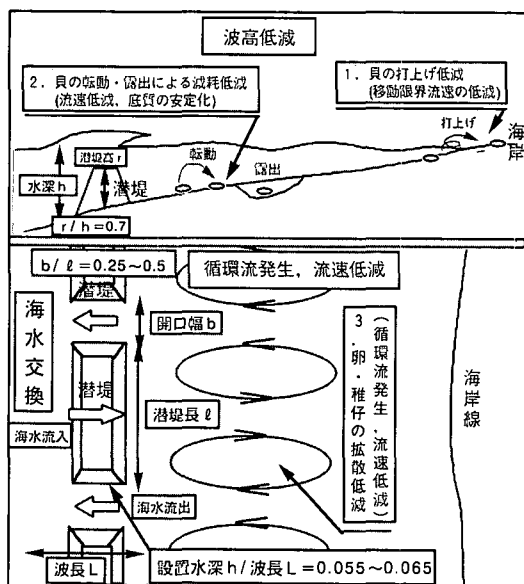


図-8 離岸潜堤による二枚貝生息環境改善

0.59 m/s, 4 m で 0.74 m/s, 2 m で 1.08 m/s となる。これに対して、ホッキガイの移動限界流速は殻長が 3 cm の場合 0.4 m/s 位と報告されている(梨本, 1986)。したがって、波高が 1 m 程度おさまっても一旦時化等によって海底面に露出してしまうと、波により移動させられる可能性があることが判る。

貝の海岸への打上げについては、汀線上の流速と移動限界流速の比較により推定することができる。汀線上の打上げ流速は砂村 (1983) によると、海底勾配が 1/50 とし、碎波波高が 2.2 m の場合、汀線流速は 40 cm/s となり、殻長 3 cm のホッキガイの移動限界流速と同程度となる。従って、貝が底面上に露出している場合、汀線付近のホッキガイは碎波波高 2.2 m 以上で海岸へ打上げられ、寄せホッキが生じる場合もあることが判る。

以上検討したように、冬季の「時化」の時、水温の低下などでホッキガイの潜砂能力が落ちる場合、海底に貝が露出された状態になり、波によって海岸に打ち寄せられると考えられるが、このような場合に潜堤を設置すれば波高を低減させ、貝を移動させる流速や貝を海岸へ上げる流速を低減させることができる。

5. ま と め

平面固定床実験と模型貝を用いた断面移動床実験ならびに文献調査により得られた知見から、潜堤の海浜流などの流れ制御、地形変化制御、波浪制御効果により、二枚貝の卵・稚仔の流失低減、稚貝・成貝の砂上露出・移

表-4 二枚貝増殖場用潜堤設計の目安

地形条件	細砂からなる 3/100 より緩い勾配
波浪条件	波高: 3.0~7.5 m, 周期: 5.0 s~14.0 s, 波長 $L=35\sim115$ m
潜堤設計の目安	潜堤長 $l=80$ m 設置水深: $h/L=0.055\sim0.065$ 潜堤高 $r/h=0.7$, 開口幅 $b/l=0.25$ 潜堤幅 $B/L=0.2\sim0.4$

動および打上げ低減が図れること、つまり生息環境を改善できることが明らかになった。さらに、海底地形は細砂からなる 3/100 より緩い勾配をもつ海岸での貝の増殖に効果的な離岸潜堤の設計の目安は、表-4 に示す通りであることが判った。

以上検討したように、ホッキガイの増殖場造成工として、離岸潜堤は水域内の波高や流れを低減させ、それによって、底面の底質移動や洗掘速度および水域内流速や底面流速を低減させ、稚貝の拡散低減、幼・稚仔の減耗低減、成貝の打上げ低減し、緩やかにホッキガイの環境を改善することができる(図-8)。

最後に、ホッキガイの生息環境調査については(財)海洋生物環境研究所実証試験所の城戸勝利氏、同中央研究所の木下秀明氏の協力を得た。ここに謝意を表す。

参 考 文 献

- 宇多高明・小俣 篤・横山揚久 (1988): 沿岸砂州を模倣した人工リーフの海浜安定化効果, 第 35 回海岸工学講演会論文集, pp. 427-431.
- 鹿島遼一・斉藤昭三・清水隆夫・丸山康樹・長谷川寛・榊山 勉 (1983): 大型造波水路による岸沖漂砂の実験データ集 No. 1-2, 電中研業務資料.
- 桑原久実・日向野純也・中村義治・三村 信 (1994): 波浪による二枚貝の移動予測モデルの妥当性と移動機構に関する研究, 海岸工学論文集, 第 41 巻, pp. 376-380.
- 佐々木浩一 (1993): ウバガイ (ホッキガイ) の生態と資源, 日本水産資源保護協会, p. 85.
- 城戸勝利・木下秀明・梅森竜史・本田正樹・磯野良介 (1996): 発電所周辺海域を利用した二枚貝増殖場造成に向けた生物学的検討, 沿岸海洋研究, 第 33 巻, 2 号, pp. 133-146.
- 砂村継夫 (1983): Swash zone における岸沖漂砂量の算定式, 第 30 回海岸工学講演会論文集, pp. 214-218.
- 東江隆夫・勝井秀博・金子文夫・野口雄二・道 正典 (1987): 潜堤による大規模砂泥域開発のための基礎的研究, 第 34 回海岸工学講演会論文集, pp. 387-391.
- 梨本勝昭・小島隆人・佐藤 修 (1986): ウバガイの潜砂行動について, 北大水産報, Vol. 37 (3), pp. 171-180.
- 長谷川寛 (1996): 二枚貝増殖場造成のための離岸潜堤の水利的検討, 電中研報告 U 96059 (印刷中).
- 山下俊彦・和田 彰・松岡 学・谷野賢二・明田定満 (1995): 振動流場での二枚貝の挙動に関する実験的研究, 海岸工学論文集, 第 42 巻, pp. 506-510.