

# 人工海草による底質移動の制御効果について

菅原一晃\*・入江 功\*\*

## 1. ま え が き

近年、港湾や海岸が憩いの場として、またレジャーやスポーツの場としての有為性が再認識され、全国各地でそのための環境の整備が進められている。自然に親しむ目的から景観が重要な条件であり、視野にはいる人工の施設を可能なかぎり少なくすることにより、安全で快適な施設整備を行うことが求められている。そのためには離岸堤、突堤などの剛構造物のみでなく、人工海草のような柔軟な材料で砂浜を防護することなどを考える必要がある。

人工海草の利用に関する研究は、諸外国において1960年代初めに開始された。その後1980年代に入ってから再度活発に行われているようである。主としてパイプライン、石油掘削用プラットフォーム等の流れによる基礎洗掘の防止のために用いられている。波浪による底質移動の制御、波浪の減殺に関する試験的な現地実施例も相当数あるようであるが、種々の問題があって、成功した例は少ないとされている (Spencer, 1986)。

わが国では、運輸省第三港湾建設局が、人工海藻によって波浪を減殺し、背後海浜の安定を図ることを目的とした研究 (間瀬ら, 1989) を開始している。これに並行して筆者らは、剛構造物基礎の洗掘の防止・復旧、ひいては海浜の安定制御を図ることを目的として人工海草について検討してきた。人工海草が底質の移動に対してどのような効果を及ぼすかを確認するため、二次元水路において水平固定床実験を行ったので報告する。

## 2. 実験に用いる葉状体素材の選定

### (1) 素材の種類と実験概要

合成高分子材料の素材20種類と実海域で実績があるといわれる人工海草の葉状体を加えた計21種類について、波による挙動観察実験を行った。素材はフィルム状及び線状である。

実験水路は長さ 25 m, 幅 1 m, 高さ 65 cm の鋼製で片面ガラス張り、床面木製である。岸側端から約 14 m は隔壁で2等分してある。造波装置はフラップ型で周期 0.2~2.5 s, 最大波高 20 cm の規則波を発生できる。

実験模型は、水路底面に長さ 2 m の水平板を固定し、この中央部に1本または1株の葉状体を取り付けた。葉状体の長さは 15 cm であり、フィルム状の素材は幅 1 cm を基本とした。作用波は波高 11 cm で周期 1.3 s である。水深は 40 cm である。葉状体の挙動はガラス面を通して目視観察するとともに、ビデオカメラによって各ケース約2分間撮影した。

### (2) 素材の選定方法と結果

ビデオテープを再生して、10名の技術者が各素材の挙動を観察し、海底の侵食防止に対して有効であると考えられる素材かどうかを判断した。有効性の根拠については一応の考え方を示し、あとは各自の判断に委ねた。アンケートはA:有効, B:どちらとも, C:有効ではない、の判定法によった。

判定結果を図-1に示す。縦軸は素材の引張り弾性率、横軸は比重であり、アンケートの結果を記号で示し

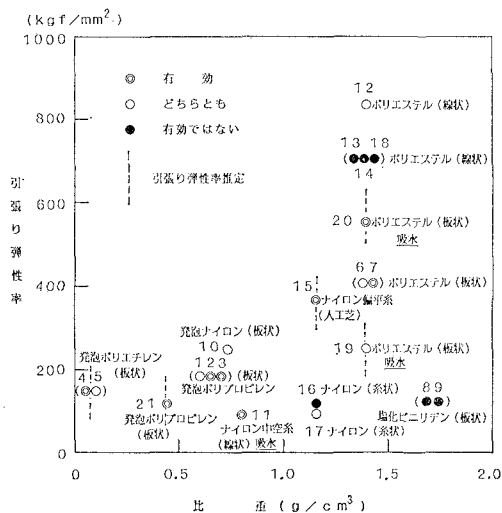


図-1 波による葉状体の挙動観察の判定結果

\* 正会員 運輸省港湾技術研究所海洋水理部主任研究官  
 \*\* 正会員 工博 九州大学教授 工学部水工土木学科 (前)運輸省港湾技術研究所海洋水理部長

た. 数字は実験のために付した素材番号である. 図から A と評価した人数が 6 名以上 (◎印) のものを抽出すると 8 素材となる. このうち材質が重複する 3 と吸水する 11, 20 を除いて, 素材番号 2, 4, 7, 15 及び 21 を選定することとする. これら 5 素材は引張り弾性率が  $400 \text{ kgf/mm}^2$  程度以下であり, 波に追従して適度に動揺するものである. 一方比重は幅広く分布しており, これらの素材は特性の検討材料として適材であると判断される.

### 3. 人工海草の底質移動抑止効果

#### (1) 実験ケース

人工海草による底質移動の抑止効果を確認するために, 表-1 に示す 13 ケースの移動限界波高実験を行った. 素材番号 22 及び 23 は, 波によって動揺しない柱状素材である. 葉状体は波の方向に面を向けて千鳥状に配列した. その植生間隔は 2.5, 5, 10 cm の 3 種である. ただし 2.5 cm のものの岸沖間隔は 5 cm である. 葉状体の長さ

表-1 移動限界波高実験ケース

| ケース  | 素材番号   | 材 質     | 比重    | 長さ   | 幅, 径   | 厚さ     | 植生間隔  |
|------|--------|---------|-------|------|--------|--------|-------|
| B-1  | 2      | ポリプロピレン | 0.65  | 20cm | 10mm   | 0.15mm | 2.5cm |
| B-2  | 〃      | 〃       | 〃     | 20   | 〃      | 〃      | 5     |
| B-3  | 〃      | 〃       | 〃     | 20   | 〃      | 〃      | 10    |
| B-4  | 〃      | 〃       | 〃     | 10   | 〃      | 〃      | 5     |
| B-5  | 〃      | 〃       | 〃     | 5    | 〃      | 〃      | 5     |
| B-6  | 4      | ポリエチレン  | 0.067 | 20   | 〃      | 1.0    | 5     |
| B-7  | 7      | ポリエステル  | 1.38  | 20   | 〃      | 0.2    | 5     |
| B-8  | 15     | ナイロン偏平糸 | 1.14  | 20   | 0.9×11 | 0.15   | 5     |
| B-9  | 21     | ポリプロピレン | 0.45  | 20   | 16     | 0.45   | 5     |
| B-10 | 〃      | 〃       | 〃     | 10   | 〃      | 〃      | 5     |
| B-11 | 22     | アクリル板   | 1.28  | 20   | 10     | 2.2    | 5     |
| B-12 | 23     | アクリル丸棒  | 〃     | 20   | 10     | 〃      | 5     |
| B-13 | 人工海草ナシ |         |       |      |        |        |       |

は 20, 10, 5 cm で幅 10 mm のもの 1 本を 1 株としたが, 素材番号 15 は 11 本を束ねてある. また素材番号 21 (以下, ポリプロピレン 21 と呼ぶ) は幅が 16 mm である.

#### (2) 実験条件と実験方法

実験は作用波の周期 1.1~2.0 s に対して 0.1 s 間隔に 10 段階変化させて行った. 移動限界波高は, 初期移動限界すなわち海底表面の比較的突出した粒子の幾つかが動きたす状態のときの波高として求めた. 底質(試料砂)移動の判定はガラス側面から目視によって行った.

試料砂の投入位置は, 葉状体の植生区域(岸沖 100 cm, 断面方向 50 cm)の中央部である. 予備実験の結果, 試料砂は近傍の葉状体により発生した局所的な渦の影響を強く受け, 小さな波高で移動しあるいは舞いあがる場合が多いことがわかった. これでは定義された移動限界の判定といえなくなる. そこで植生間隔に関係な

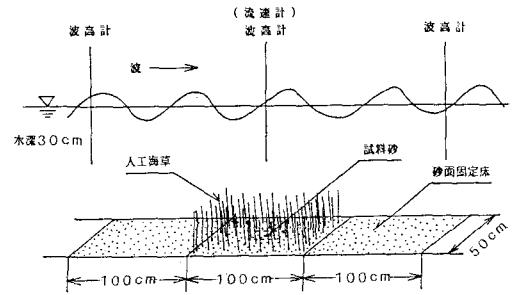


図-2 移動限界波高実験の概要

く, 試料砂の投入位置を中心にして岸沖 20 cm, 断面方向 10 cm の面には葉状体を植生しない測定用空間を設けてある.

図-2 に実験の概要を示す. 波高は図に示す 3 測点において容量式波高計で測定した. 水深は 30 cm である. なお植生区域を含む岸沖 3 m は砂面床である. 砂面床はふるい目 0.210 mm を通過し, 0.105 mm に止まる砂をベニア板に一樣厚さに接着固定して生成した. 砂は中央粒径  $d_{50}=0.17 \text{ mm}$ , 比重 2.75 である.

試料砂の投入方法は, 水深を維持したままできるように漏斗の先に内径 12 mm のパイプを連結し, これを垂直に立てて砂を注いだ. 試料砂は砂面床の生成に用いた砂をさらに 0.145 mm 目のふるいにかけてこれに止まるものである. 投入量は約 0.15 cc とごく少量であり, その設置形状は円形で, 砂厚は 1 mm 程度になる.

#### (3) 実験結果及び考察

実験結果の信頼性を確認するため

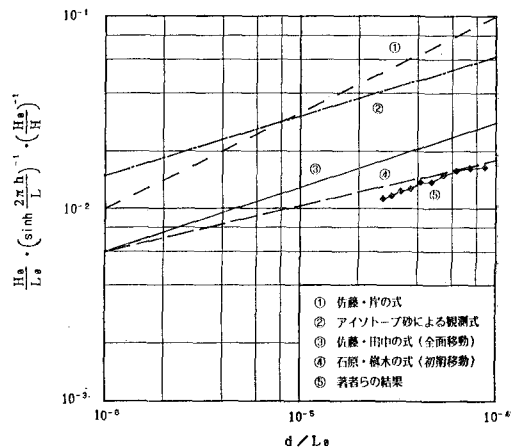


図-3 今回の実験における底質の移動限界

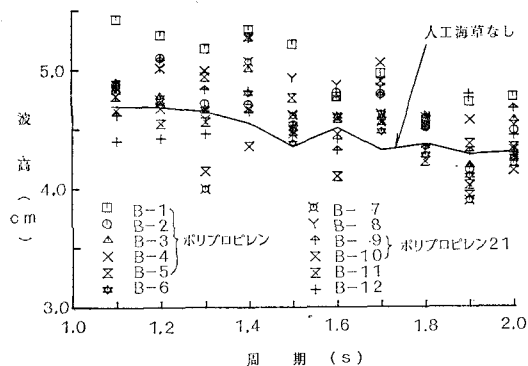


図-4 人工海草による底質移動限界波高の増加

に、人工海草がない場合の移動限界波高をもとに、 $H_0/L_0 \{ \sinh(2\pi h/L) \}^{-1} (H_0/H)^{-1}$  と  $d/L_0$  の関係について本実験の結果を佐藤・岸、石原・榎木、佐藤・田中（佐藤ら、1962）の結果と共に示したのが図-3である。本実験結果は、初期移動限界を示す石原・榎木の線に近いことが示されている。

人工海草による底質移動の抑止効果を移動限界波高の観点から検討するために図-4を示す。縦軸は波高、横軸は周期である。図によれば、

- 1) 人工海草がある場合は移動限界波高が大きくなり、底質が移動しにくくなる。
- 2) 人工海草は植生間隔が狭い（植生密度が高い）ほど、葉状体は長いほど、その効果が大きい。

しかし人工海草がない場合より移動限界波高が小さくなるケースもあり、また周期によっても変動が大きい。

#### 4. 波の岸沖流速による漂砂効果の検討

##### (1) 実験の目的と概要

この実験は波の岸沖水平流速成分を測定することによって、人工海草の機能を評価することを目的とした。あわせて人工海草の波高低減効果について検討した。

モデルは3.と同じである。ただし、ここでは植生区域長を長くした場合も加えて19ケース行った。水深は30 cmである。作用波の諸元は1ケースに対して波高4, 6, 8 cm, 周期1.2, 1.6, 2.0 sの全組み合わせである。波高の測定位置は3.と同じ、流速は電磁流速計によって測定用空間での岸沖最大流速の鉛直分布すなわち底面上2.5~25 cmの間を2.5 cm間隔に測定した。

##### (2) 実験結果及び考察

漂砂量の大部分を支配する底層部において、人工海草がない場合の岸向き、沖向き最大流速に対してそれがある場合の各最大流速の比から漂砂効果を図-5に示す考え方で検討した。ここで入江ら（1985）の実験結果によれば、本実験条件と同程度の移動床実験において浮遊砂濃度が100 ppm以下になる底面からの高さは10 cmを

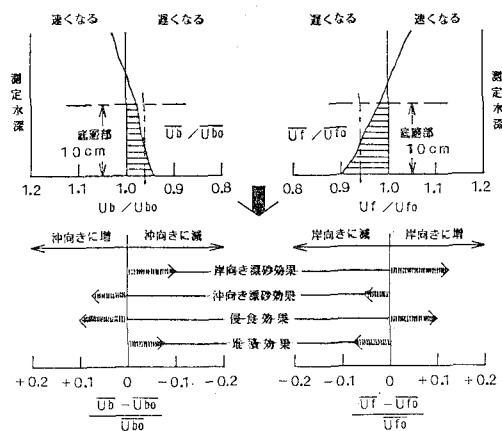


図-5 人工海草による4つの漂砂効果の説明

超えていない。そこで底層部を底面から約10 cmの範囲として、底面上2.5, 5, 7.5, 10 cm測点の最大流速の平均を求めて底層部の流速とした。

図-5の上段は、 $U_f$ を人工海草がある場合の各測点の岸向き最大流速、 $U_{f0}$ を人工海草がない場合のそれとし、 $U_b$ 及び $U_{b0}$ をそれぞれ沖向きの最大流速に対するものとして表したときの  $\bar{U}_f/\bar{U}_{f0}$ ,  $\bar{U}_b/\bar{U}_{b0}$  の関係を例示したものである。これらの関係を基準化して示すと同図下段のように表現することができ、これを以下のように分類することとする。

- 岸向き流速がプラス側で、沖向き流速がマイナス側……岸向き漂砂効果
- 岸向き流速がマイナス側で、沖向き流速もマイナス側……堆積効果
- △ 岸向き流速がマイナス側で、沖向き流速がプラス側……沖向き漂砂効果
- × 岸向き流速がプラス側で、沖向き流速もプラス側……侵食効果

これら4つの分類に従って、人工海草が底質移動に対してどのような効果があるかを示したのが図-6である。

図の縦軸は作用波の波高、横軸は周期である。各ケースの下側には材質、その下段に葉状体の長さ、植生間隔、幅の順に示し、この後に植生区域長が2 mのものを②、3 mのものを③と特記した。図から一見できるように○と●印が大部分を占めている。このことは、人工海草は岸向きと堆積の2つの漂砂効果の機能があることを示している。無印はその値が小さく（0付近）、効果の判定ができなかったものである。

1ケース9組の結果に対して岸向き漂砂効果と堆積効果が発生した割合を求めると図-7になる。堆積効果の割合を縦軸に、岸向き漂砂効果のそれを横軸にプロ

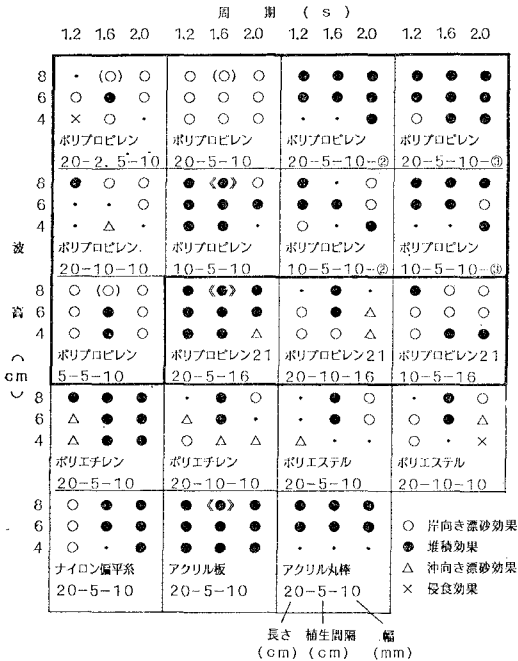


図-6 各材質、各諸元の人工海草に対する4つの漂砂効果の発生状況

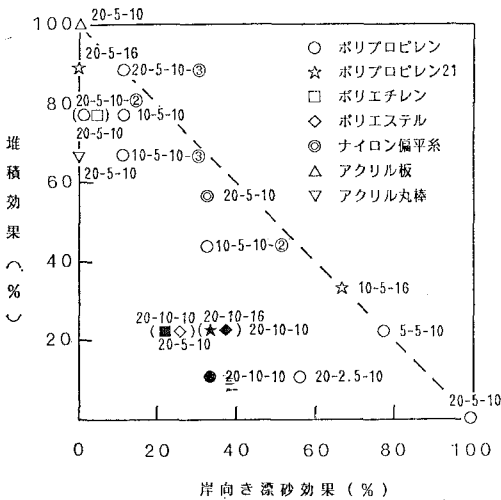


図-7 人工海草の種類、植生間隔等に対する岸向き漂砂効果と堆積効果

にプロットされ、ポリエステルを例外として堆積効果と岸向き漂砂効果が必ずあることを示している。

3) アクリル材のように剛性の高い素材やポリプロピレンの植生区域長を長くした場合など、底面粗度が高くなるような性格を帯びる場合は堆積効果が卓越する傾向がみられる。

人工海草による波高の減衰を調べるために、人工海草がない場合の波高に対するそれがある場合の波高の比を求めた結果は、材質の違いでは剛性の高いものほど減衰が大きい。植生区域長の違いではそれが長くなるほど減衰する。同じ材質の場合、基本的には長いほど効果があり、植生間隔は密なほど減衰する。ただし減衰の大きなものでも波高比は 0.92 程度である。人工海草によって波高を低減させるためには、植生区域長を長く (3m の場合 0.86) する必要がある。

## 5. 人工海草がある場の底質の岸沖移動特性

### (1) 実験の目的

移動床実験は長時間の波の作用を必要とし、一般には移動床の正確な成型が困難であり、また地形の正確な測定は望めない。

そこで本実験は、人工海草による底質移動の特性を把握するために、固定床に人工砂れんを置くことによって初期底質断面の成型を容易にし、波による底質の移動を促進させ、底質の採取を正確にできるようにして行った。また波による岸・沖流速を測定することによって、4つに分類した漂砂効果の評価を試みた結果が、底質移動を表現できるかどうかを確認した。

### (2) 実験方法と実験ケース

模型は 4. で用いたものと同じである。なお測定用空間は葉状体を植えて周囲と同じとしてある。図-8 に人工砂れんの断面形状と葉状体の植生位置を示す。

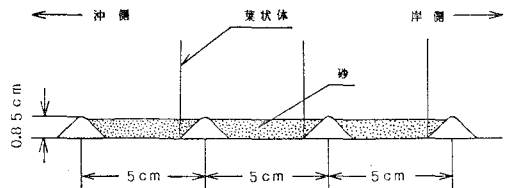


図-8 人工砂れんと葉状体の植生位置

人工砂れんは長さ 300 cm の砂面床に高さ 0.85 cm、底辺 2 cm の三角棒を 5 cm 間隔に取り付け、この中央の 100 cm 間に人工海草を植生した。砂は乾燥重量において 150 g を各区分に敷きならした。その砂厚は 0.7 cm 程度である。作用波は波高 8 cm、周期 1.6 s で、25分間作用させた。水深は 30 cm である。底質は先に

ットしてある。図で 100% を結ぶ破線は、堆積効果と岸向き漂砂効果の発生割合の合計が 100% となる条件を示す。植生間隔が 10 cm のケースについては特に記号を黒塗りにして示した。図から次のことがいえる。

- 1) 植生間隔が粗い 10 cm のものは、堆積効果と岸向き漂砂効果の双方とも少ないことを示している。
- 2) 植生間隔が 5 cm 以下と密な場合は図の破線付近

試料砂として用いたものと同じである。波を作用させたのち各区間から採取した底質は  $110^{\circ}\text{C}$  で15時間乾燥させて重量を測定した。

人工砂れんの間隔は、この実験では人工海草の岸沖植生間隔によって制約される。本間ら (1964) によれば、砂れんの波長を  $\lambda$ 、その波高を  $\eta$  とすると、制約条件  $\lambda=5\text{ cm}$  の場合の  $\eta$  は  $0.7\sim 0.85\text{ cm}$ 、波高約  $9\sim 11\text{ cm}$ 、周期  $1.0\sim 1.8\text{ s}$  の範囲である必要がある。作用波を考慮すると 4. で用いた波浪諸元のうち、顕著な漂砂効果があると評価された波高  $8\text{ m}$  で周期  $1.6\text{ s}$  または  $2.0\text{ s}$  が適当である。先の範囲からやや外れるけれども、実験波の波高を  $8\text{ cm}$ 、周期  $1.6\text{ s}$  とし、 $\eta$  を  $0.85\text{ cm}$  に設定した。

実験ケースは、図-6 において岸向き漂砂効果が顕著であった (○) 印で示した3ケース、堆積効果の代表例として●印で示した3ケース及び人工海草がない場合の計7ケースである。

### (3) 実験結果とその考察

図-9, 10 に人工海草がない場合の地形に対するそれがある場合の地形の変化を示す。図は人工砂れん2区画 (10 cm) ごとの平均値で示した。図-9 は 4. で岸向き漂砂効果があると評価されたケースで、植生区域内ではその沖側寄りが侵食し、岸寄りが堆積しており、明ら

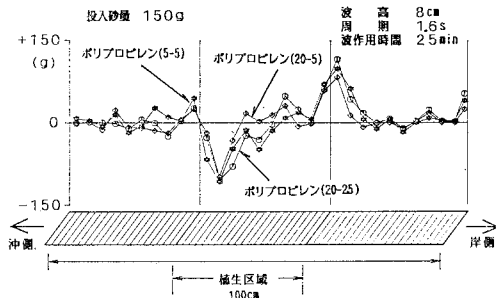


図-9 岸向き漂砂効果を示した3ケース(図-6 参照)の底質移動状況

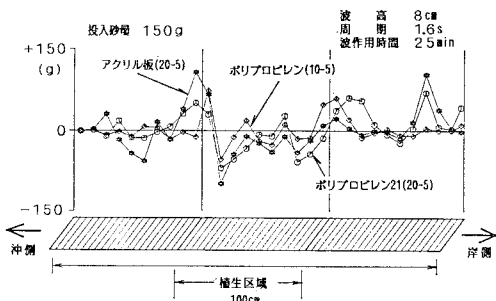


図-10 堆積効果を示した3ケース(図-6 参照)の底質移動状況

かに岸向きの底質移動が発生していることがわかる。同様な結果は Prices ら (1968) が指摘している。

一方、図-10 は堆積効果と評価されたケースであり、底質が植生区域内のすぐ外側の岸側と沖側に堆積しているが、植生区域内に堆積が進んでいるようには見えない。しかし移動床の場合は人工海草によって砂れんのスケールが変化するはずであり、堆積が期待できるものと考えられる。このことについては今後の研究によって明らかにする必要がある。

### おわりに

本研究による主要な結論は以下に示すものである。

- ① 人工海草は基本的には移動限界波高を大きくし、底質の移動を弱める働きがあることが確認できた。
- ② 人工海草の底質移動に対する機能として、岸向き漂砂効果と堆積効果があることがわかった。
- ③ 人工海草はある程度の植生密度があれば底質を岸側に移送させる機能をもつ。さらに密度を高くすると人工海草植生区域の周辺に堆積させる効果が強くなる。

今後は現地海岸の海底断面を考慮した人工海草の効果実験等を実施する予定である。一方現地において人工海草となり得る葉状体の材質、形状を検討するとともに取り付け基盤、アンカーリング、施工方法などの検討を行うことが実用化のための大きな課題である。

人工海草が局所洗掘対策工法として、砂浜の維持・再生のための工法として寄与できることを願っている。

夕焼や我を忘るるの音 慕龍夢

砂浜海岸における自然碎波の波音は、人々に安らぎと希望を与えてくれるものであろう。

最後に、実験素材の提供をいただいた日本化学繊維協会と関係各社及び仲紀(株)、情報の交換を行ってきた第三港湾建設局神戸調査設計事務所に謝意を表します。

### 参考文献

- 入江 功・寺崎賢次・加藤一正 (1985): 砂れん上の底質の浮遊過程を考慮した漂砂観測法に関する実験的研究, 港湾技術研究所報告, 第24巻, 第2号, pp. 123~156.
- 佐藤昭二・田中則男 (1962): 水平床における波による砂移動について, 第9回海岸工学講演会講演集, pp. 95~100.
- 本間 仁・堀川清司・鹿島遼一 (1964): 波による浮遊砂に関する研究, 第11回海岸工学講演会講演集, pp. 159~168.
- 間瀬 肇・古田幸也・酒井哲郎・浅野敏彦・柳生忠彦 (1989): 傾斜海浜に設置した人工海藻による波浪変形解析, 海岸工学論文集, 第36巻, pp. 90~94.
- Spencer R. Jr. (1986): Artificial Seaweed for Shoreline Erosion Control, North Carolina State Univ., Rep. No. PB 86-217437, 18p.
- W.A. Price, K. W. Tomlinson, and J. N. Hunt (1968): The Effect of Artificial Seaweed in Promoting the Build-up of Beaches, Proc. 11th Conf. Coastal Engg., pp. 570~578.