

漂砂制御用人工海藻繊維の開発

A Development of Seaweed Type Textile for Sand Drift Control

坂田 則彦*1, 太田黒 誠*2, 畑 実*3, 林 秀郎*4, 小田 一紀*5, 伊福 誠*6

Norihiko Sakata, Makoto Ootaguro, Minoru Hata, Hiderou Hayashi, Kazuki Oda, Makoto Ifuku

The sand drift at beach has been accelerated in recent years and some structures such as groin, (offshore and submerged) breakwater have been constructed in order to avoid the beach erosion. The method of sand drift control proposed in this paper is focussed on the sand drift in suspension, bed load and saltation by making use of Seaweed Type Textile hydrodynamic resistance in the sea. The materials of Seaweed Type Textile is selected from the view points of the strength, fatigue and biology through the experiments of laboratory and theoretical analysis.

The arrangement of the selected Seaweed Type Textile on the concrete foundation is also proposed in this paper because it strongly effects the stiffness and sand trap characteristics.

Keywords : Sand Drift Control, Seaweed Type Textile, strength, fatigue, biology

1. はじめに

従来、侵食海岸の保全には離岸堤、潜堤、突堤等の人工構造物が採用されてきたが、景観、局所洗掘による倒壊、船舶航行の安全性、海水交換性、費用等の観点から最近これらに代わる新しい海岸保全方法の開発が望まれている。このような観点から、筆者らは底層近傍の掃流砂と浮遊砂の制御を主目的とした難揺動型人工海藻による漂砂制御システムを開発し、その漂砂制御機能に関する基礎的研究¹⁾²⁾³⁾を行ってきた。また現在、現地海岸においてその漂砂制御効果、人工海藻繊維材の耐久性、周辺に形成される生態系などに関して調査を実施している。その結果、本システムが穏やかで、適正な漂砂制御効果を有すること、局所洗掘による沈下がほとんどないこと、設置水域に多様な生物の生息場を形成することなど、従来の人工構造物には不足していた優れた海岸環境保全機能を有することを見出しつつある。同時に、本システムを実用化する上で最も重要なことは、偏に、大きな耐久性を有する繊維材の開発と耐久性を損なわない敷設構造であることを確認した。このため、本研究では、現地実験で用いている繊維材の耐久性に対する成果を参考にして、新たに数種類の合成高分子系素材を選び、それらを複合化した人工海藻繊維材を開発し、室内実験によってそれらの力学的特性と疲労特性を明らかにするとともに、耐久性をより高める敷設構造を示す。

2. 人工海藻繊維に要求される特性

漂砂制御用人工海藻繊維は非常に苛酷な使用条件下にさらされる。それは、たえず波浪による繰り返し荷重を受け、海水と言う電解質の腐食環境にさらされている点である。

また、あらゆる海生生物の付着・成育を前提とした物でなければならない。これらを考慮した人工海藻繊維に要求される特性を列記すれば大略以下ようになる。

- a. 繰り返し荷重に対して十分な耐力を有し、適度な弾性と強度を有すること。
- b. 親生物性を有し、有害な物質を溶出ししないこと。
- c. 耐蝕性に優れ、耐摩耗性があること。
- d. 価格が手頃で、加工性が良いこと。

これらの条件をすべて満足する材料として金属系材料ではなく、プラスチック系の高分子材料を選択した。かかる高分子材料としてはポリエチレン、ポリプロピレン等のポリオレフィン系、ポリエチレンテレフタレート等のポリエステル系、ナイロン 6、ナイロン 6.6 等のポリアミド系、ポリウレタン系や、上記合成高分子重合体とカーボン繊維等との複合体等多種多様な物質が適用できるが、今回の人工海藻選択に当たっては、主として引張り強力と繰返し屈曲耐久テストによりポリプロピレン 2 軸延伸成形ネット（以下 PP 成型ネットと称する）を使用材料として絞り込んだ。

*1 正会員 ヒロセ技研(株)常務

*2 タイフボウポリテック(株)播磨研究所

*3 ケイコン(株)技術部

*4 正会員 大林組技術研究所

*5 正会員 大阪市立大学教授土木工学科

*6 正会員 愛媛大学助教授環境建設工学科

4. PP成型ネットの引張り強度とクリープ性

(1)引張り強度と材料物性

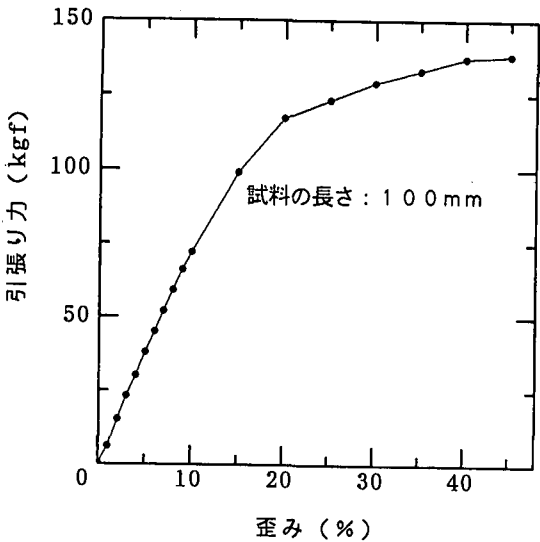


図2 引張り試験結果

2軸延伸加工されたメッシュ状のPP成型ネットより、ストランドを1本切り取り、引張試験機で引張り試験を行った。試験結果を図2に示すが、引張り最大荷重はストランド1本当たり約138kgfで鋼材の様な明確な降伏点は認められなかった。引張り最大荷重の50%程度までは歪みと荷重の関係はほぼ直線を示し、この範囲の両者の関係からPP成型ネットのヤング率 E とポアソン比 ν は各々以下のよう

$E = 131 \text{ kgf/mm}^2$

$\nu = 0.35$

(2)クリープ性

a. 応力制御下のクリープ性

高分子材料を金属系材料と比較した場合の弱点はクリープ性が高い点であると言われているが、引張り応力を一定に保って、引張り速度(Hs)10mm/minで繰返し引張った場合の材料のクリープテストの結果作用荷重が最大引張り強度の50%程度であればクリープによる伸びはそれ程大きくない。しかも当該人工海藻のような使用方法ではクリープが致命的な要因ではなく当該材料の人工海藻への適用は問題ないと言える。

b. 歪制御下のクリープ性

PP成型ネットを引張る距離を一定に保って、繰返し引張った場合(Hs=10mm/min)の応力の変化を計測したが、その結果最大強力の約50%強で応力緩和の進行が減衰する傾向を示しており、前記の引張り応力を一定にした場合のデータと相容れる現象を現出している。

5. 耐久性

(1)ウェザーテスト結果

合成高分子材料は紫外線劣化によって耐久性が劣ると言われている。当該製品は海水中に設置されるので、紫外線強度は空気中に比べて大巾に減衰するため、空気中のデータをそのまま判断材料に使用することはできない。表2にテスト結果を示すが、暴露時間2,000hrsに対する(屋外暴露での5~6年間に相当)結果を評価した場合、引張り強度の残存率は77%、引裂き強度の残存率は94%で致命的強度劣化はないと判断した。

表2 ウェザーテスト結果

サンプル	テ ス ト 項 目		暴 露 時 間 (hrs)								
			原反	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
PP 成型 ネット 単独	引張り	強力 (kg)	130			140			125		100
		／残存率(%)	100			100			96		77
		伸度 (%)	75			70			64		55
	引裂き	強力 (kg)	96			95			90		90
		／残存率(%)	100			99			94		94
	外 観 観 察		◎	◎	◎	◎	◎	◎	やや硬め ○	○	少し硬化 ○

◎…………良好

○…………一応良好

なお、ウェザーテスターの仕様を以下に示す。

メーカー：島津(1986年製)

タイプ：CW-DV2 SORCE 3φ 200V 60Hz 12KVA

光源：紫外線カーボンアーク灯 2灯，アーク電圧 125~145V，アーク電流 15~17A

降雨サイクル：120分/サイクル，内15分間スプレー

雰囲気温度：65℃(~80℃)

(2)耐摩耗性

当該材料使用の最大の利用目的は漂砂制御である。つまり、砂の移動によるヤスリ効果によって摩耗することが予想される。ヤスリ効果に関しては確立されたテスト方法がないので、実際に海中に沈設した当該材料に対する2年間の実測データより評価する。

すなわち、平成6年～平成8年の約2年間にフィールド実験場の海中に、コンクリートブロックに植付けて敷設している人工海藻に対して、漂砂によるサンディング損傷の程度をみるため、人工海藻のストランド軸径の変化を計測した結果を表3に示す。

表3 ヤスリ効果実測値

サンプル	断面形状	
	敷設前	2年経過後
PP成型ネット単独	1.7t×3.2mm幅	1.7t×3.2mm幅

人工海藻には海藻などの海中生物が多く付着しており、これらを除くして点検したところ、PP成型ネットのストランドの繊維径は殆ど摩耗していなかった。これは、PP成型ネットに海藻やカキ等の生物が多く付着していたため、これらがPP成型ネットを保護した結果と考えられる。

6. PP成型ネットの複合化による人工海藻の成型

(1)複合化

粗目形状のPP成型ネット単体を人工海藻繊維として使用した場合、以下のような問題がある。

- a. 剛性が小さく、小さな波浪で大きく揺動する。
- b. メッシュが大きく流体抵抗係数が小さいため、漂砂制御に適さない。
- c. メッシュが大きく、又ストランドの表面が平面状であるため親生物性に劣る。

これらの問題を解決するため写真1に示すようにPP成型ネットを2枚重ねにして、両者をポリプロピレン樹脂連続線条からなる立体網状高分子材料（以下タングレットと称す）で、立体状に複合接着させて連成させることにより上記問題点を解決した人工海藻材を開発した。このような成型をなすことにより人工海藻繊維に以下のような物性を持たせることが可能になった。

- i. 強度と剛性が大きくなった。
- ii. 親生物性に優れ、新たな生体系の形成が容易になった。
- iii. 基部コンクリートブロックへの取付け加工性が良くなった。

写真1 PP成型ネット2重/PP網状体の複合体

(2)物性

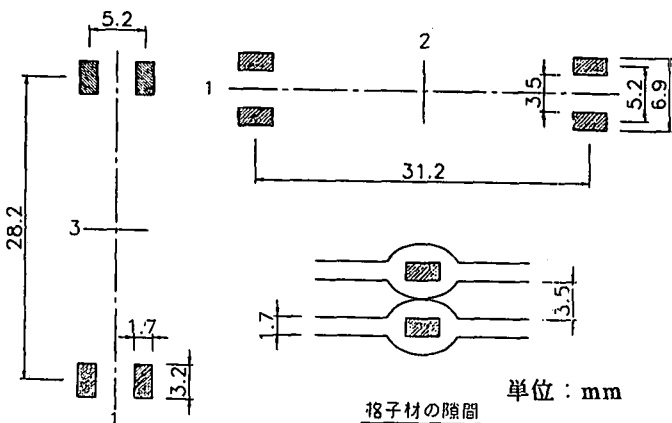


図3 断面形状

a. 断面性能

複合材の断面形状と断面性能を図3に示す。

鉛直材

断面積： $A = 3.2 \times 1.7 \times 4 = 21.76 \text{ mm}^2$

断面2次モーメント

$$I_1 = 6.4 \times (6.9^3 - 3.5^3) / 12 = 152 \text{ mm}^4$$

$$I_2 = 3.4 \times (34.4^3 - 28.0^3) / 12 = 5314 \text{ mm}^4$$

水平材

断面積： $A = 3.2 \times 1.7 \times 4 = 21.76 \text{ mm}^2$

断面2次モーメント

$$I_3 = 3.4 \times (31.4^3 - 25.0^3) / 12 = 4345 \text{ mm}^4$$

$$I_1 = 6.4 \times (6.9^3 - 3.5^3) / 12 = 152 \text{ mm}^4$$

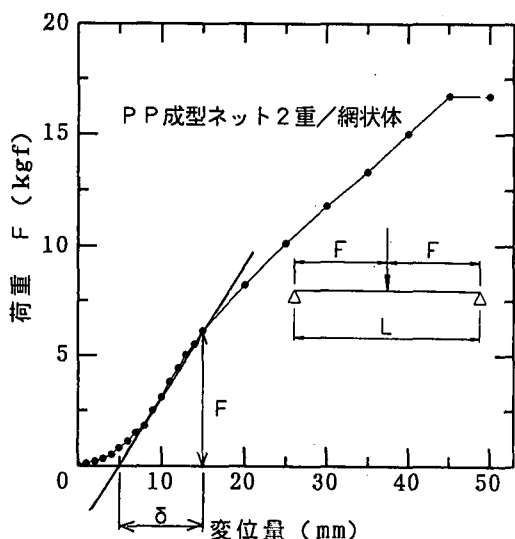


図4 荷重と変位の関係

(3) 曲げ剛性とヤング率

複合化した材料より 85mm×200mm の矩形平面サンプルを切り出し、支点間 110mm の両端支持で中央部を載荷する方法で荷重と変位の関係を求め図4に示す。

材料力学の公式より以下の式が成り立つ。

$$\delta = \frac{FL^3}{48E_f I_1} \quad (1)$$

(1)より

$$E_f = \frac{FL^3}{48\delta I_1} \quad (2)$$

ここで、

F, δ 実験結果より

L 実験モデルより

I_1 図3より

(2)の関係から求めた複合材料の弾性率 E_f を表4に示す。表4には同時に PP 成型ネット単独の場合と PP 成型ネットにタングレットをからませた PP 成型ネット1重複合体に対する物性を併せて示す。

表4 材料特性

サ ン プ ル 項 目		① PP 成型 ネット単独		② PP 成型ネット 1重／網状体		③ PP 成型ネット 2重／網状体	
				表面載荷	裏面載荷	表面載荷	裏面載荷
繊維充填率 (%)		26.6		65		70	
引張り最大強力 (kgf)	縦	138		138		チャックかみ込めず (厚過ぎ)	
	横	133		136		240	
最大強力時伸度 (%)	縦	35		49		チャックかみ込めず (厚過ぎ)	
	横	52		42		35	
ヤング率 (kgf/mm ²)	縦	112		95		チャックかみ込めず (厚過ぎ)	
	横	101		81		137	
曲げ最大応力 (kgf)	横	1.3		3.4	4.3	12.4	13.0
弾性率 (kgf/mm ²)	横	86		110	100	94	95
備考	繊維充填率……………単位面積に対する光不透過部分の面積割合						
	引張り最大強力……………ストランド1本当りの引張り強度						
	最大強力時伸度……………ストランド1本当り最大強力時の伸び率						
	ヤング率……………応力－歪曲線の線形域に於る勾配						
	曲げ最大応力……………両端支持状態で中央に荷重をかけた時の最大応力。これ以上荷重を負荷しようとしても負荷が上がらない。						
	弾性率……………荷重－たわみ曲線から求めた弾性率						

7. 人工海藻繊維の立体化

人工海藻繊維の種類を強度、耐久性等を考慮して前述のように決定したが、これを漂砂制御用人工海藻として利用するためには侵食海岸における掃流砂、浮遊砂の特性や海岸に入射する波の入射角、沿岸流の方向、底質、海底勾配等の様々なパラメーターを考慮して対象海岸の海底に配置しなければならない。実海域実験における経験や理論計算結果、水槽実験結果より総合的に判断して写真2に示すような汀線側に開口したU字型又は放物線型の立体構造に加工して配置するのが、漂砂制御、保砂能力、人工海藻の強度特性の有効利用等の観点から見て現時点での知見では最適であるとの結論に至った。

8. 配置

今度新たに開発した人工海藻繊維を使って、より有効な漂砂制御効果を実現し、かつトラップした砂の停留を確実にする保砂能力を向上させるためには、実際の海岸において配置が重要な役割を果たす。写真3はその配置を示すCGであるが当該配置による漂砂制御性能については近々実海域実験によって確認する予定である。

9. 親生物性

以前は、海苔の養殖に見られるように竹、木などの天然資材が海性生物の生育基盤材として多用されて来たが、天然資材の枯渇と合成高分子材料の開発により現在では、合成高分子材料が海性生物生育基盤材として重用されている。しかし、これまでは合成高分子材料でも、親水性の材料でなければ海性生物が活着しても、成育過程で合成高分子材料からなる生物活着基盤材から生物が剥離脱落しやすいということが常識化していた。

ところが、本論文における人工海藻を構成するような太さ $0.1\sim 2.0\text{mm}$ の合成高分子重合体からなる連続線條で形成された立体網状構造物は、ポリプロピレン樹脂という疎水性材料であるにもかかわらず、海藻や貝類が活着、生長する。このことは生物の活着基盤としては基盤を構成する繊維の太さと構造が大きな要因を占め、海性生物の活着生長を左右することを示している。つまり、本報告で使用したような太さ $0.1\sim 2.0\text{mm}$ の連続線條で形成された立体網状構造物は親生物的であるといえる。

10. まとめ

ポリオレフィン系、ポリエステル系、ポリアシド系、ポリウレタン系等の高分子材料の中から引張り強度、疲労強度等の様々の特性を比較することによりポリプロピレン2軸延伸ネットを2枚重ねて両者をポリプロピレン網状体で複合化した材料を漂砂制御用人工海藻繊維として選定した。

- (1) ポリプロピレン2軸延伸ネットを $\pm 15^\circ$ の曲げ角度での繰返し曲げ疲労試験を行った結果 1.36×10^8 回に於いても顕著な変化は見られず、現在もテストを継続中である。これは周期4秒の波が20年間以上連続作用することに相当する。
- (2) 当該製品を放物線状の曲線配置にすることにより、施工性から判断してよりすぐれた漂砂制御用人工海藻を形成できることが結論された。

謝辞：本研究を行うに際し兵庫県洲本土木事務所、西淡町役場、丸山漁業共同組合 小川守男組合長、阿那賀漁業共同組合 坂口美野助組合長のご協力をいただきました。また、ヒロセ技研(株) 岩本将英氏とケイコン(株) 衣川直紀氏、江口誠浩氏には強度実験や図面製作に際し支援を受けました。なお、人工海藻繊維の非線形大撓み計算に際しHZSテクノサービス株式会社の協力をいただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 小田一紀・東海博司・横山真也(1995)：弾性変形する難揺動型人工海藻帯近傍における流れ場の数値解析、海岸工学論文集第42巻、pp.216-220.
- 2) 伊福 誠・岩田充浩・小田一紀(1995)：人工海藻周辺の流れと漂砂—LESとporous body modelによる解析—、海岸工学論文集第42巻、pp.461-465.
- 3) 小田一紀・横山真也・坂田則彦(1995)：人工海藻設置条件が漂砂制御効果に及ぼす影響の検討、平成7年度土木学会関西支部年次学術講演会概要集、第II部門、p.102.
- 4) チモシェンコ：材料力学

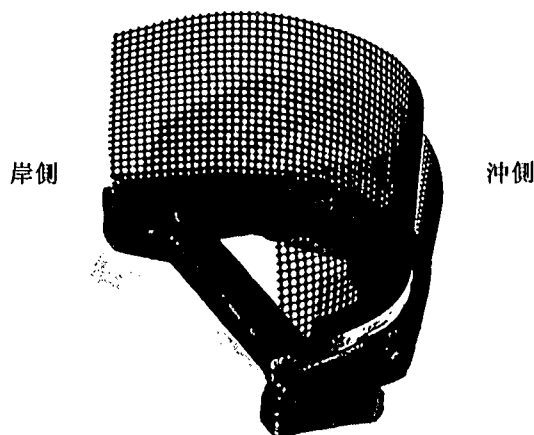


写真2 立体化した人工海藻繊維

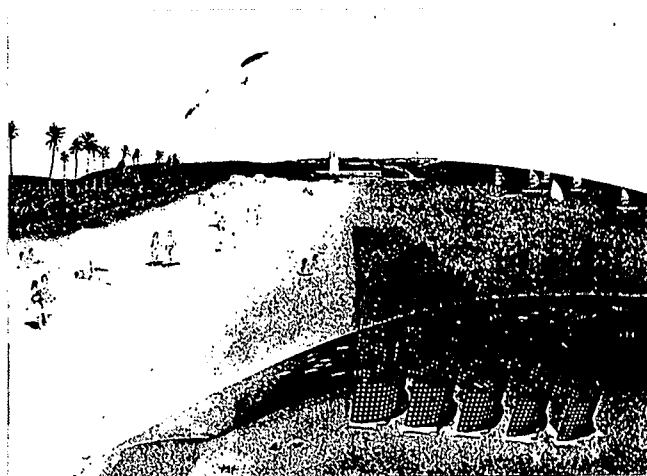


写真3 海岸配置例