

人工海藻による海浜変形制御

京都大学工学部	正会員	浅野敏之
同 上	正会員	酒井哲郎
京都大学大学院学生	学生員	筒井勝治

1. まえがき

近年、海岸周辺域は交通や生産活動の場としてますます利用が高度化しており、港湾・海岸構造物の建設あるいは河川ダム等の治水事業の進展にともなう河川流出土砂量の減少等により、海岸部の土砂移動のバランスが崩れて周辺の海浜の侵食や決壊等を生じ、海岸保全の観点から重大な問題がいくつか発生している。

このような多くの事例に見られるように、海岸侵食の問題は人為的色彩を濃くしているが、他方、余暇時間の増大等を社会的背景として、スポーツ、レクリエーションの場としての海浜の持つ役割が重視され海岸環境の保全や整備に対する要請は一層強くなっている。こうした要請に応える海岸保全工法の一つとして、人工海藻を海底に敷設して波浪の変形をもたらし、砂移動を制御する工法が開発・調査されようとしている。

しかしながら、これまでの諸外国における報告^{1), 2), 3)}によれば、海浜変形制御を目的とした人工海藻の適用はほとんどの場合は失敗に終わっている。また、人工海藻の上を伝播する波の変形や水粒子速度場の特性、人工海藻周辺の底質の運動機構や海浜変形機構、さらには人工海藻に働く波力については、現在に至るまでほとんど明らかにされていない。

著者らは、別の機会⁴⁾に海藻による水粒子速度場の変化とそれにともなう波高減衰の理論的、実験的検討を発表している。したがってここでは人工海藻による海浜変形機構について行った簡単な実験の結果を紹介し、岸冲方向海浜変形制御の可能性を検討する。すなわち実験水槽内に砂を敷きつめて傾斜海浜を作り、人工海藻を敷設した時の断面変化を実測し、人工海藻による岸冲方向海浜変形制御の可能性を検討する。この結果は、人工海藻による養浜工法の実用化に向けての基礎となるものと考えられる。

2. 海藻による波高減衰⁴⁾

人工海藻による波の水粒子速度場の変化と、波のエネルギーの減衰すなわち波高減衰の理論モデル⁴⁾は、以下の様な考えに基づいている。すなわちまず流れの場合、水深方向に海藻の存在しない上部領域と海藻の存在する下部領域に分ける(図-1)。下部領域での海藻の存在は、植生のある開水路流れを扱った室田・福原⁵⁾の考えにならない、流体の運動方程式中に流れから海藻が受ける抗力と同じ力を加えることによって考慮した。さらに底泥上の波動を扱った Dalrymple and Liu⁶⁾の解析にならない、上部、下部領域とも水粒子速度を非回転成分と回転成分に分離する。回転成分は、上部では上部と下部領域の境界から発達する成分を、また下部では同じく境界から発達する成分と海底から発達する成分を考えた。

こうして得られた流速場を用いて、波のエネルギーの減衰をもたらす内部粘性による減衰割合と、海藻から受ける力に抗して行われる仕事量を求め、両者の和として波のエネルギー減衰の割合を得た。一方水位変化を複素数の波数で表現し、波数の虚数部分で与えられる波高減衰係数を、上述のエネルギーの減衰割合から決定した。一方、波浪実験水槽の一樣水深部に波の進行方向に 8m にわたって人工の海藻（詳細は後述）を設置した。波高、周期、海藻の植生密度、水深を変えて、波高減衰を測定した。その結果、上述の理論結果はほぼ実験結果を説明できること、特に

(1) 波高減衰係数は波の周波数に対して極大値を有すること、

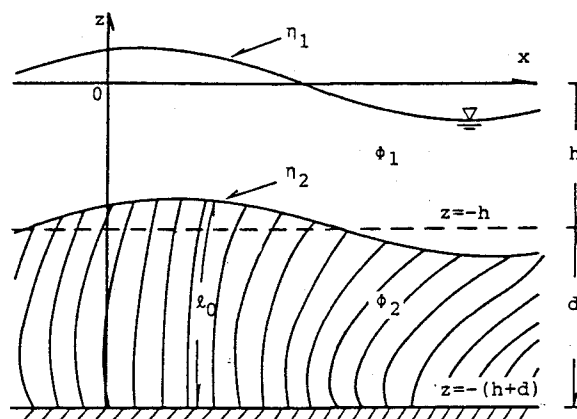


図-1 海藻の存在する波動場

- (2) 波高が増加すると共に波高減衰係数も増加すること、
 (3) 植生密度および水深全体に占める海藻の高さが増加する程、波高減衰係数が増加すること
 等がわかった。また理論結果として、
 (4) 上部および下部領域の境界で水粒子速度の鉛直分布に乱れが生じることが分かった。

3. 人工海藻による岸沖方向海浜変形制御

3-1 実験装置

実験は京都大学土木工学教室

の地下実験室にある長さ30m、幅50cm、高さ70cmの造波水槽で行った。装置の概要は、図-2に示すとおりである。人工海藻には比重0.9のポリプロピレン製荷作りロープを用いた。その寸法は長さ15cm、幅5.2cm、厚さ30 μ で、剛性は無視でき浮力が外力に対する復元力となっている。植生密度は水深30cmのもとでは0.075本/cm²となる。この海藻をとりつけた金網板を、延長2.25mにわたって斜面の先端部に設置した。

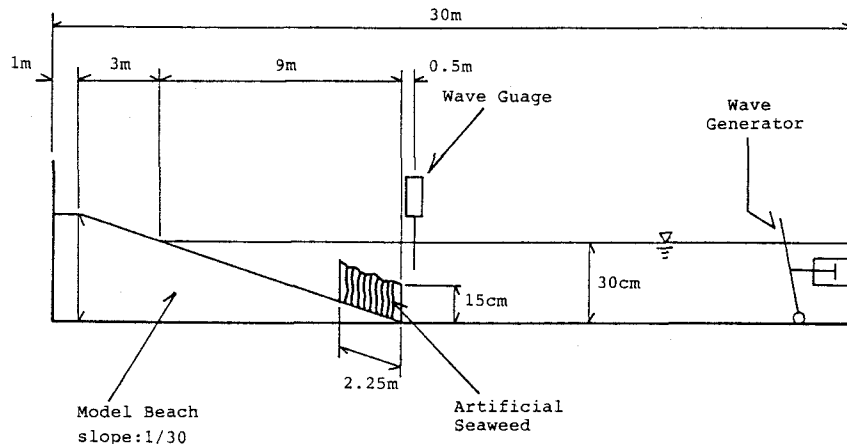


図-2 実験装置

3-2 実験条件の設定

用いた砂は中央粒径 $d_{50}=0.016\text{cm}$ の7号砂である。この砂の沈降速度 w_f は 1.7cm/sec となる。また斜面勾配は $1/30$ とした。時間的な制約、実験装置の性能などを考慮して、人工海藻による海浜制御を検討する目的で、その効果が最も現れるような実験条件をとることにした。そこで人工海藻を設置しないときには、侵食型の暴風海浜となり、海藻によって波高が減衰すると堆積型の正常海浜となるように実験条件を設定した。実験には周期 1.82sec 、波高 9.0cm の波をとることにした。

岩垣・野田⁷⁾は、沿岸砂州の発生限界が沖波波高勾配 H_0/L_0 と沖波波高と砂の中央粒径の比 H_0/d_{50} に関係することを明らかにし、図-3のように暴風海浜と正常海浜が区分されることを示している。本実験条件は、図-3中に大きい●印でプロットされるようにちょうど両者の境界あたりに位置する。

また、Dean⁸⁾によると、この区分が2つの無次元量 H_0/L_0 と $\pi w_f/gT$ に関係することを明らかにしている。図-4はDeanによる平衡断面形状を整理した結果で、1本の直線が示されており、これが暴風海浜と正常海浜の限界を与えている。この基準に従った場合には、図-4に大きい●印で示されるように本実験条件では暴風海浜になることがわかる。

さらに、最近、堀川・砂村ら⁹⁾は同様の実験から初期海底勾配 $i_0=\tan\beta$ の効果を考慮して、図-5に示した限界を示している。ここに C は実験によって定まる定数である。 $C\geq 10$ では汀線の後退、 $C\leq 3$ で前進し、 $3<C<10$ の範囲では汀線の前進・後退が明確でないことを示している。本実験条件は、図-5中に大きい●印でプロットされるように堆積領域にはいる。このように当初は暴風海浜を想定したが、ここで与えた実験条件は暴風海浜と正常海浜の中間にあたることをわかる。

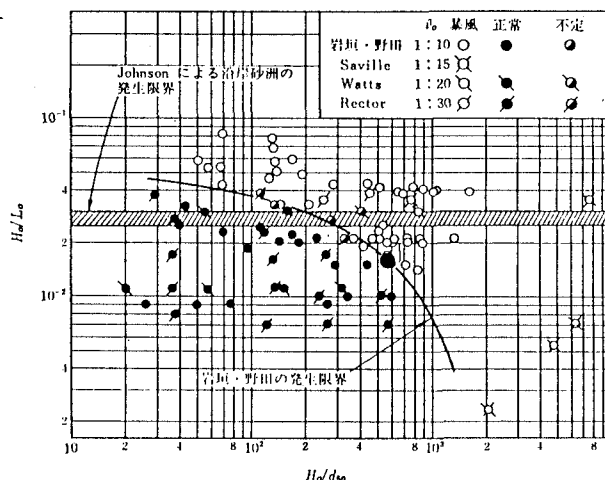


図-3 海浜断面形状の分類(その1)

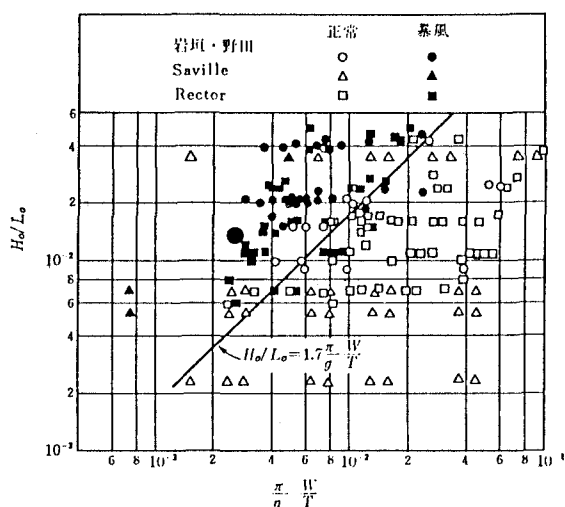


図-4 海浜断面形状の分類（その2）

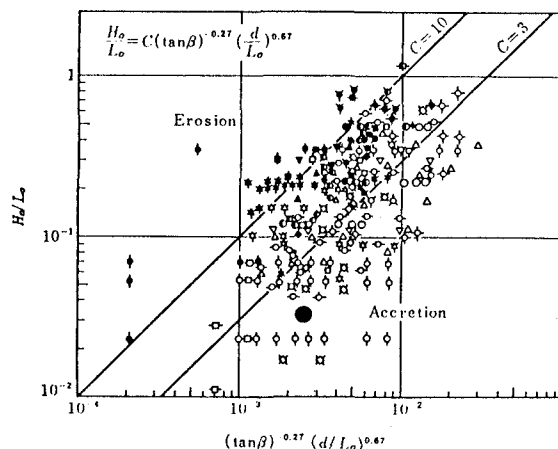


図-5 海浜断面形状の分類（その3）

3-3 実験方法

実験は、まず人工海藻を設置しない場合について行った。波を作用させると直ちに砂漣が形成されるが、観察の結果、砂面の水槽幅方向の変化はかなり少ないことがわかったので、側壁ガラス面から直接砂面形状を読みとった。底面にはほぼ全領域にわたって砂漣が形成されているが、海浜断面の変形過程を議論する上では、こうした小さな砂漣は無視してよいと考えた。砂面の高さを求める際には、砂漣の2～3波長間にわたって砂漣の峰と谷の高さを読みとり、その平均値をもってそこでの値とした。砂面の測定は造波開始後5分、15分、25分、35分、65分、95分経過後の計7回行った。

この実験が終了した後、人工海藻を設置した場合の実験を行った。人工海藻を設置しない場合と同じ初期海浜となるよう斜面を整形した後、同じ波高、同じ周期の波を造波した。ただし波高は実際には0.5cm程度小さくなった。砂面の測定方法、測定時刻は海藻がない場合と同じである。海藻を設置した区間での砂面の変化は、先端部で1cm程度の洗掘がみられる以外は顕著ではなかった。

3-4 実験結果並びに考察

図-6は、人工海藻を設置しない時の砂面形状の変化を調べたものである。造波して15分後にすでに地形変化が大きく、汀線から0～4mの領域で水底面

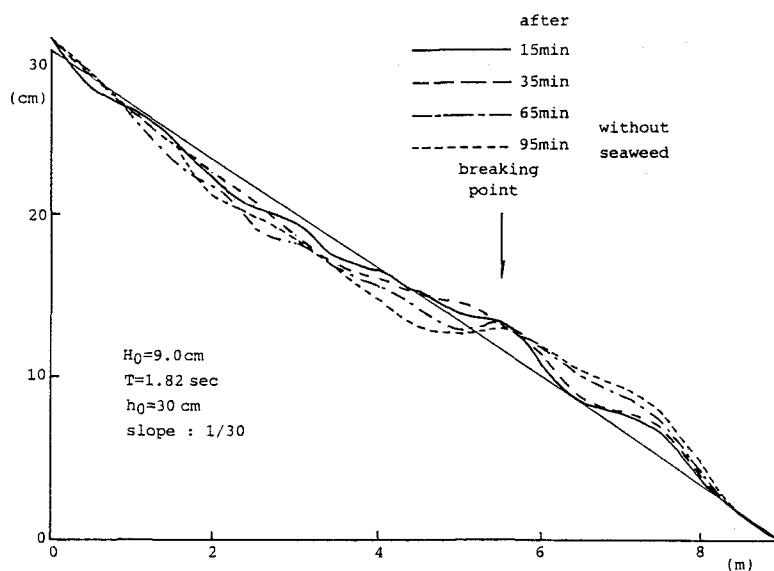


図-6 人工海藻を設置しない場合の海浜断面形状変化

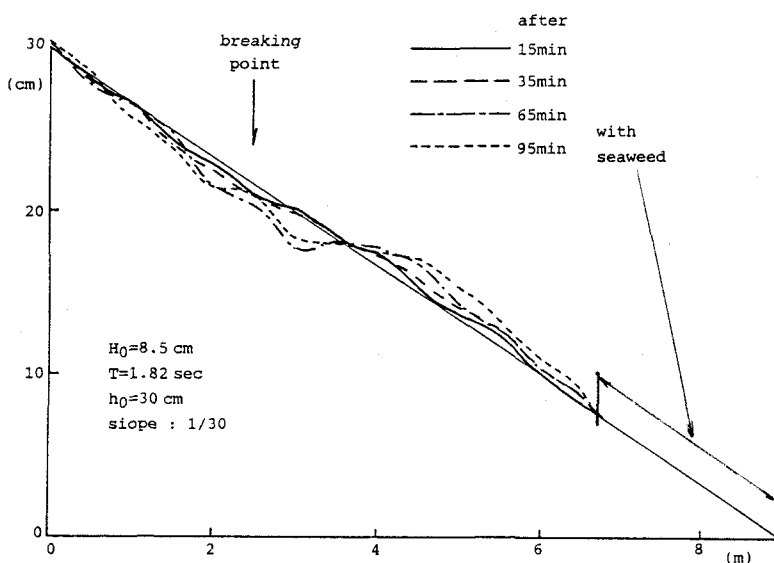


図-7 人工海藻を設置した場合の海浜断面形状変化

が深くなり、汀線から 4~8m 付近で砂が堆積することがわかる。時間の経過とともに汀線から 5~7m 付近での砂の堆積が大きくなり、沿岸砂州が形成されていることがわかる。すなわち、この地形は暴風海浜と呼ばれるものに相当すると考えられる。ただし、ここで示す結果には顕著な汀線の後退は見られない。

碎波点は図中に示すように汀線から 5.5m 付近にあり、この点は地形変化とともに前後するが、その変化は大きくないことが観測された。なお、さらに長時間波を作用させると砂面形状はさらに変化することがこの結果から予想されるが、ここでは平衡断面形状に至るまでの測定は行わなかった。

図-7は人工海藻を設置した場合の砂面形状の変化を示したもので、人工海藻によって波が減衰するために碎波点が汀線側に移動しており、それに伴って侵食される領域および堆積する領域が汀線側に移動することがわかる。

しかし、この結果を見る限りにおいては汀線が顕著に前進したり、ステップが形成されるといった性質は見いだせなかった。

図-8は人工海藻の設置の効果を調べるために同じ作用時間(35分)の後での砂面形状を比較したものである。前述したように、人工海藻の効果は暴風海浜を正常海浜にするという形では現れないが、人工海藻によって侵食域が汀線側に移動し、その範囲および大きさが小さくなっていることがわかる。本実験はただ一つの実験ケースについて調べたものにすぎないが、少なくともこうした面で、人工海藻の岸冲方向海浜変形制御効果の存在が確かめられたと考える。

図-9は、波の作用が95分後の砂面形状とその時の波高分布を比較したものである。図-8で示した35分後の両者の相違がさらに助長されていることが分かる。人工海藻によって波高が減少し、碎波点が汀線側に移動して侵食域が減少すること、また碎波高自体も小さくなっていることが容易に読みとれる。

本研究における移動床上の実験はわずか一例であり、人工海藻による岸冲方向海浜変形制御効果をさらに詳しく調べるためには、現地との相似性を十分考慮し、系統的な実験をする必要があると思われる。

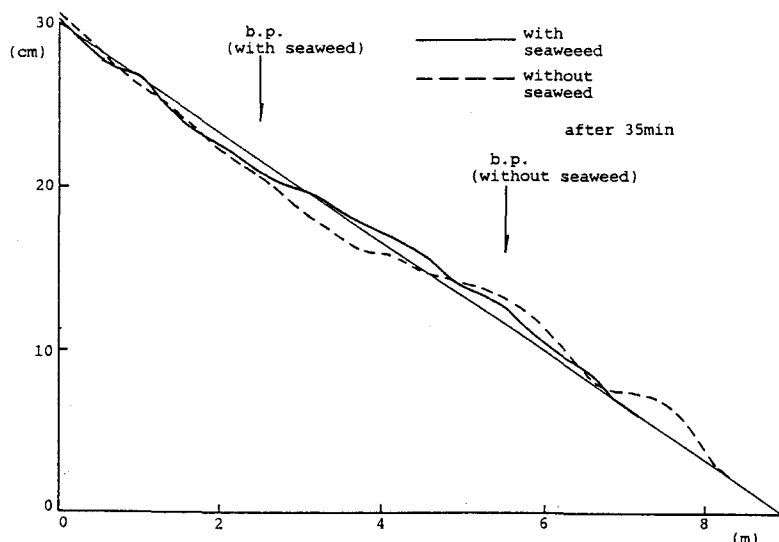
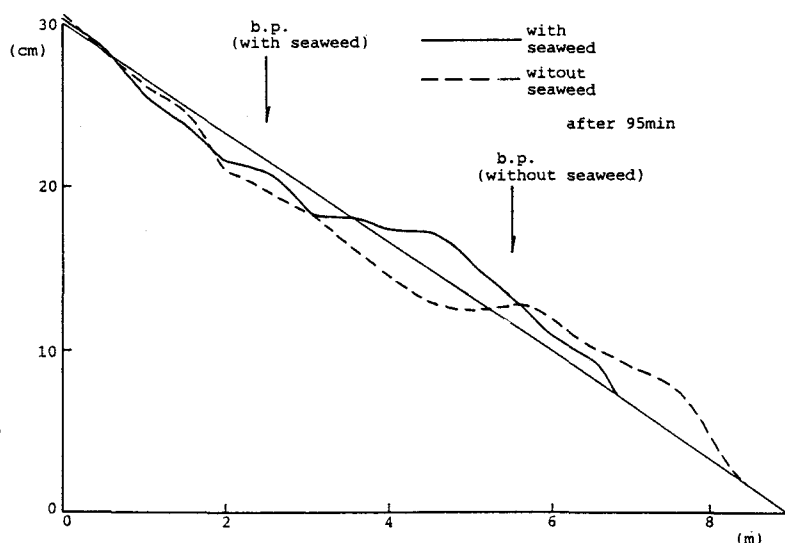
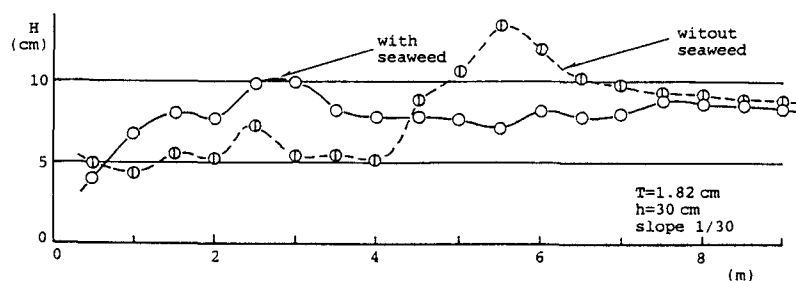


図-8 人工海藻を設置しない場合とした場合の断面変化の比較 (35分後)



(1) 断面形状



(2) 波高分布

図-9 人工海藻を設置しない場合とした場合の断面変化および波高分布の比較 (95分後)

4. あとがき

本研究は、人工海藻による海浜変形制御の可能性を検討したものである。実験水槽内に砂を敷き詰めて傾斜海浜を作り、人工海藻を敷設したときの断面変化を実測して、海浜変形制御の可能性を検討した。その結果、人工海藻を設置した時としない時の砂面形状の変化を調べたところ、人工海藻によって波高が減衰し、砕波点が岸側に移動して侵食域も岸側に移動するとともに、砕波高自体も小さくなって侵食の範囲および大きさも減少することがわかった。本実験では波の作用時間を長く取らなかったこともあって、人工海藻によって海浜が侵食型から堆積型に変わるという結果は得られなかったが、海藻によって侵食の範囲と大きさがいずれも小さくなることがわかった。しかし、人工海藻は実際には沿岸方向に有限の長さで設置することになるから、波高減衰の他に回折・屈折を考慮した二次元的な波浪変形計算を行う必要がある。また、その時の砂移動の特性を明らかにする必要がある。

最後に、本研究は運輸省第3港湾建設局の”人工海藻による養浜工開発調査”の研究の一部として実施したものであり、関係者各位に謝意を表する。

5. 参考文献

- 1) Dalrymple, R.A., Hwang, P.A. and Perlin M. : Ocean Engineering Aspects of Coastal Kelp Farming, Final Rep. Contract No. J-111, Energy and Environmental Systems Division, Argonne National Lab., Argonne, Illinois, USA, 1982.
- 2) Rogers, S. : Artificial Seaweed for Shoreline Erosion Control, National Oceanic and Atmospheric Administration, Washington, DC, USA, 1986.
- 3) Jenkins, S.A. and Skelly D.W. : Hydrodynamics of Artificial Seaweed for Shoreline Protection, SIO Ref. Ser. No.87-16, Center for Coastal Studies, Scripps Inst. of Oceanography, 1987.
- 4) 浅野敏之・筒井勝治・酒井哲郎：海藻が繁茂する場の波高減衰の特性，第 35 回海岸工学講演会論文集，1988（印刷中）。
- 5) 室田明・福原輝幸：直立性の植物を有する開水路の流れ構造について，第 28 回水理講演会論文集，pp. 225-231, 1984.
- 6) Dalrymple, R.A. and Liu, P.L.F. : Waves over soft muds ; A two-layer fluid model, J. Phys. Ocean., pp.1121-1131, 1978.
- 7) Iwagaki, Y. and Noda, H. : Laboratory study of scale effects in two-dimensional beach processes , Proc. of 8th International Coastal Eng. Conf., ASCE, pp.194-201, 1962.
- 8) Dean, R.G. : Heuristic models of sand transport in the surf zone, Proc. of Conf. on Eng. Dynamics in the Surf Zone, ASCE, pp.208-214, 1973.
- 9) 堀川清司・砂村継夫・近藤浩右・岡田滋 : 波による二次元汀線変化に関する実験的研究、第 22 回海岸工学講演会論文集、pp.329-334, 1975.