

人工リーフの平面性能評価に関する研究

野口賢二*・鳥居謙一**・人見 寿***

人工リーフの平面配置が消波性能に与える影響を把握するため、不規則固定床模型実験を行ない、水位、流況、遡上高を測定した。実験の結果明らかになった点は次の通りである。(1)透過波のエネルギースペクトルの形状は、堤前波に比べて長周期成分が卓越した形状に変化する。(2)人工リーフの配置により、背後の平均水位上昇量の分布が変化するとともに、人工リーフ背後に長周期的な水位変動が見られる。(3)エネルギー伝達率は、波高伝達率の2乗より大きくなっている。(4)遡上高の分布は、透過波の波高分布の特性とは異なっている。以上より、波の不規則性を考慮した場合、特性値として代表波高・周期で消波性能を評価することに限界があることを示した。

1. はじめに

「人工リーフの設計の手引き」(建設省河川局海岸課, 1992) (以下「手引き」) が刊行されてから約 10 年が経過した。没水性による景観や隣接海岸の漂砂環境へのインパクトが少ない緩やかな効果に注目され、多くの人工リーフが設置されてきた。

「手引き」によれば、人工リーフの消波効果は、人工リーフの沖側のり面上または天端上における砕波や、砕波後に波が天端上を進行する際のエネルギー逸散により生じるとしている。しかし、天然のリーフで見られる沖側のり面上での砕波を人工リーフの消波効果と認識している海岸管理者も多い。このため、リーフ沖側のり面上あるいは天端上での効率的な強制砕波に関心が集中しており、乱れによる消波メカニズムを含めた人工リーフ全体の消波性能の解明が進んでいないが現状である。また、人工リーフの消波効果に関する実験は水路で行われることが多く、人工リーフの平面配置が影響する人工リーフ背後で生じる水位上昇の取扱が問題となる。

一方、人工リーフの漂砂制御効果について、「手引き」では、伝達波高を低下させ沿岸漂砂量を減少させる効果と人工リーフによって励起される海浜流による効果を上げ、人工リーフの配置による流況パターンを示している。しかし、人工リーフの平面配置が流況パターンに及ぼす影響を適切に評価しているとは言えず、また人工リーフにより励起された海浜流による漂砂制御効果が定量化されていない。

そこで、人工リーフの平面配置の影響を把握するため、水位上昇、流況、遡上高に関する平面模型実験を行った。

2. 実験方法

2.1 模型諸元および測定器配置

測定器配置及び断面図を図-1 に示す。幅 24m, 長さ

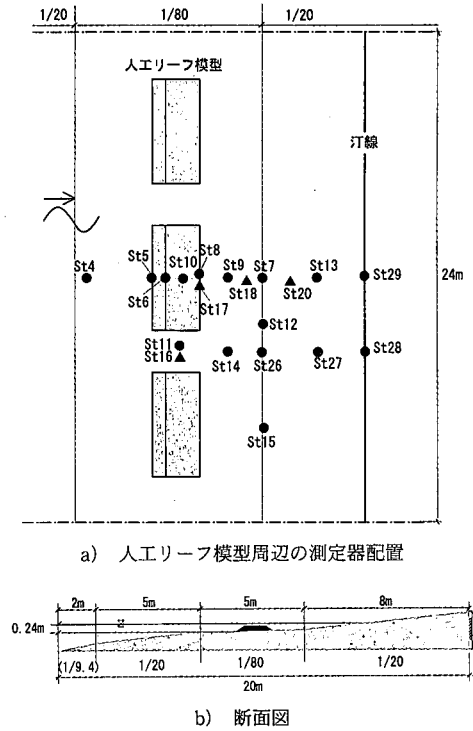


図-1 測定器配置と断面図

20 m の平面水槽に自然海浜を模した断面を有する固定床を作成し、緩勾配部に人工リーフ模型を設置した。

人工リーフ模型と平面配置の諸元を表-1 に示す。模型縮尺としては、1/60 を想定し、諸元を決定してある。今回の実験では平面配置の影響を把握することを目的としているため、天端幅を固定 (1m) した。堤長は 3m を標準とし、堤長 2m と 4m の計 3 タイプを用いた。堤体の形式としては、一般的な不透過型と今後増加と思われる消波ブロックによる透過型とした。平面配置については、人工リーフ模型を水槽中央部に 3 基配置し、その開口幅、離岸距離を変化させた。標準配置を開口幅 1.2 m, 天端水深 (R) 6 cm の場合の離岸距離 4.8 m とし、離岸距離 3.3, 6.4 m としたケースや開口率 0.2, 0.4, 0.6

* 正会員 国土交通省国土技術政策研究所企画課
 ** 正会員 工修 国土交通省国土技術政策総合研究所海岸研究室
 *** 正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所海岸研究室

表-1 人工リーフ模型諸元と平面配置

模型条件	実験条件				
	模型 TYPE	天端幅 (m)	堤長 (m)	離岸距離 (m)	開口率 (開口幅/延長)
離岸距離長い	1.0	3.0	6.4	1.20	0.4
離岸距離短い			3.3	1.20	0.4
長堤長	1.0	4.0	4.8	1.20	0.3
短堤長	1.0	2.0	4.8	1.20	0.6
消波ブロック	1.0	3.0	4.8	1.20	0.4
開口幅狭い	1.0	3.0	4.8	0.77	0.2
開口幅広い				1.80	0.6
標準				1.20	0.4

表-2 波浪条件, 水位条件

No.	実験条件					
	波型勾配 Ht/Lt	波高 H (m)	周期 Tt (s)	水位 WL (m)	不規則波 or 規則波	
1	0.02	0.097	1.76	+0.06	不規則波	
2		0.197	2.48	+0.06		
3	0.03	0.049	1.05	+0.06		
4		0.048	1.04	+0.03		
5		0.100	1.48	+0.06		
6		0.102	1.46	+0.03		
7		0.187	1.99	+0.06		
8		0.192	2.03	+0.03		
9	0.04	0.050	0.89	+0.06		
10		0.050	0.90	+0.03		
11		0.102	1.29	+0.06		
12		0.187	1.72	+0.06		
13	0.05	0.101	1.15	+0.06		
14		0.192	1.56	+0.06		
15	0.02	0.200	2.53	+0.06		規則波
16	0.03	0.101	1.46	+0.06		
17		0.196	2.07	+0.06		

としたケースを設定した。また、「手引き」の技術的な裏づけとなっている宇多ら (1988) では、人工リーフ背後が海底地形に接続する形 (楔形と呼ぶ) を中心に平面実験において研究されたが、我が国の海岸を取り巻く漂砂環境や施工事情から、むしろ裏のりを持つ形状 (台形型と呼ぶ) がほとんどであり、人工リーフ背後に天端水深より大きい海域を有している。そこで、本研究では離岸距離を変えることで人工リーフ背後海域の大きさを変えて、その効果を調べた。

測定器の配置については、波高計を中心測線上の造波波高 (st 1, 2, 3), 人工リーフ沖側 (st 4), 堤前 (st 5), のり肩 (st 6), 天端中央 (st 10), 岸側のり尻 (st 8), 背後の緩勾配部 (st 9, 7, 13), 開口部測線上の開口部 (st 11, 12), 人工リーフ背後 (st 14, 26, 27) に設置した。また、遡上高を計測するため波高計を斜面 (st 29, 28) に追わせて設置した。流速計は、中心測線上天端後部 (st 17) で岸沖方向, 人工リーフ背後 (st 18, 20) では岸沖・沿岸の2方向, 開口部測線上の開口部 (st 16) に設置した。

2.2 波浪条件および水位条件

「手引き」における諸量は規則波によるものである。「手引き」の策定にあたって不規則波と規則波の結果を検討し、平均値における議論では大きな違いが生じていないことを確認している。しかし、実際に施設に作用する波は代表波により示されるスペクトル形状の成分波が合成され生じる。したがって、消波系として性能を評価する場合には、時間的・空間的平均値で論じる必要があり、不規則性を考慮しなくてはエネルギー全体の平均値を評価できない。また、説明性の上からも実際の波浪を代表値により示すよりもモデル化した不規則波の方が納得しやすいと言える。

表-2 に設定した波浪条件を示す。実際の人工リーフの設計条件を参考として、有義波で波型勾配 0.02, 0.03, 0.04, 0.05 と波高約 19, 10, 5 cm (現地波高 11, 6, 3 m) を組み合わせ波浪条件として 17 ケースを設定した。不規則波のスペクトル形状は、造波機前面において沿岸の波

として一般的に用いている Bretschneider・光易型となるようにした。

平均水位については、天端水深で 6 cm と 3 cm (現地水深で 1.8 m と 3.6 m) を設定した。離岸距離は天端水深 6 cm で設定値となるように設置しているため、天端水深 3 cm の場合には、離岸距離が 60 cm 短くなる。

3. 実験結果

3.1 パワースペクトルと波高分布

図-2 は、標準型人工リーフ配置 (堤長 3 m, 開口幅 1.2 m, 離岸距離 4.8 m) における波型勾配 0.03, 波高 10 cm, 天端水深 6 cm の場合の各測点のパワースペクトルの形状と波高の超過確率を示す。図-2 の a) のパワースペクトルは、海岸・海洋工学の分野で一般化されている方法である波高計で取得されたデータを高速フーリエ変換し 2 乗の 2 倍したものを三角フィルターにより平滑化した 2 次スペクトルである。a) には実測の有義波高での Bretschneider・光易型のパワースペクトルの分布、b) には実測された平均波高を平均値とするレーリー分布の超過確率曲線をあわせて示した。

図-2 の a) によれば、波の進行にともないスペクトル形状の変形が生じ、堤前波の持つ Bretschneider・光易型のパワースペクトル分布の形状と比較すると長周期成分が卓越した形状となった。不規則波を対象とする場合、堤前波と透過波の有義波高で比較することは、パワースペクトル形状が両者で一致していることを前提とした評価である。しかし、堤前波と透過波ではパワースペクトルの形状が変化することから、両者の特性値はパワースペクトル形状の変化を考慮する必要がある。

また、図-2 の b) によれば、沖波波高の分布がレーリー分布であっても、砕波後や汀線近傍の波、流れ、乱れの共存する場における波高分布は、レーリー分布とは

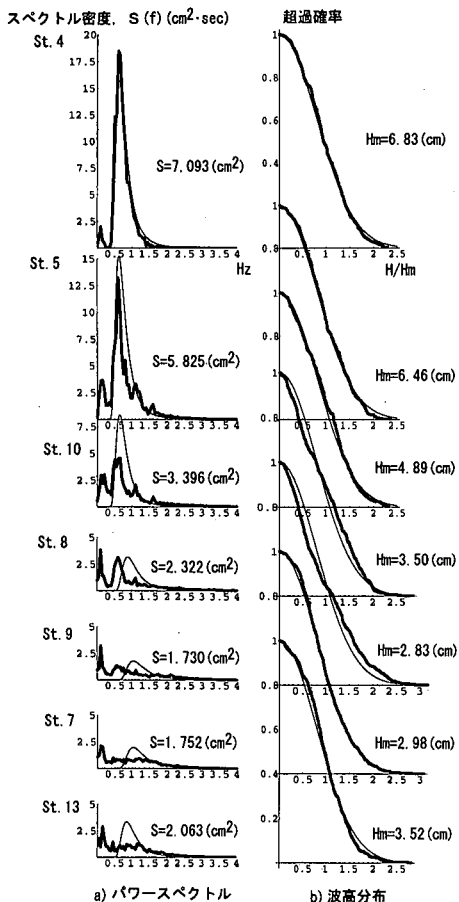


図-2 パワースペクトルと波高分布

一致しない。人工リーフの背後に広い海域を有する場合には、波の再生が進み波高の分布はレーリー分布に近づくと考えられ、代表波を用いた波高の評価が可能であるが、背後海域が狭い場合には波の再生が進まず、透過波の波高分布を考慮した波高の評価が必要となる。このため、人工リーフの消波性能を不規則波により検討する場合には、沖波のスペクトル形よりむしろ、堤前波と透過波のスペクトル形に対して、全周波数帯について評価した特性値を導入する必要がある。

3.2 人工リーフ背後の水位変動

図-3は、図-2と同様の標準型人工リーフ配置(堤長3m, 開口幅1.2m, 離岸距離4.8m)における波形勾配0.03, 波高10cm, 天端水深6cmの場合の長周期成分の水位変動を示している。このケースにおいて、長周期の波の空間的な位相差が小さいと仮定し、st 7と沿岸方向に平行な st 15, st 26において、ほぼ同じ波形の得られた2.05秒以上の波を長周期波帯の波形とした。この図から不規則波により検討する場合、平均水位の上昇と長周期の水位変動が存在していることがわかる。まず、平均

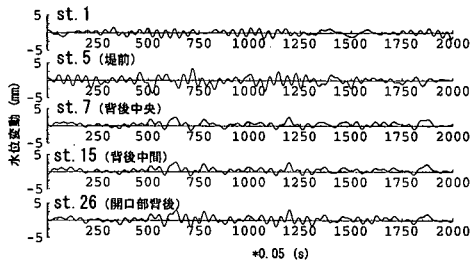


図-3 長周期成分の水位変動

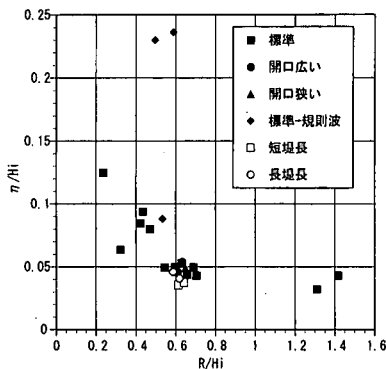


図-4 平均水位上昇量と波高

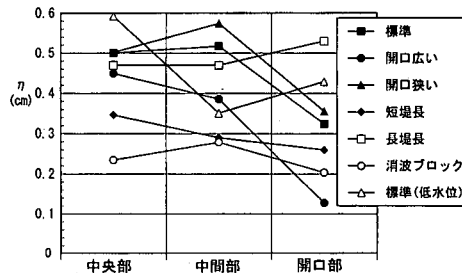


図-5 平均水位上昇量の沿岸分布

水位の上昇量を検討する。図-4は、天端水深6cmの場合の波高と人工リーフの中央背後の平均水位の上昇量(η)の関係を示したものである。堤前波高(H_i)に対する天端水深の比が小さくなると、平均水位の上昇が大きくなり、堤前波高の5~10%程度であることがわかる。

「手引き」では、断面実験の結果(宇多ら, 1988)から平均水位の上昇量を堤前波高の10~20%, 実際の海岸ではその1/2程度としている。不規則波を用いた平面実験である本実験からも堤前波高の5~10%程度となっており、「手引き」が設定している平均水位の上昇量はおおむね妥当な設定といえる。

図-5は、波形勾配0.03, 波高10cm, 天端水深6cmの場合の人工リーフ模型タイプ別の平均水位上昇量の沿

岸分布を示したものである。堤長が短い場合や透過堤の場合には、中央部の平均水位上昇量が小さく、中央部と開口部の差も小さい。堤長が長い場合には、開口部が中央部に比べてむしろ高くなっている。さらに、開口部が広い場合には、中央部から急激に水位が低下し、開口部の平均水位上昇量は小さい。次に、長周期水位変動偏差について検討する。図-6は、天端水深6cmの場合の波高と人工リーフの中央背後の長周期水位変動偏差の関係を示したものである。堤前波高に対する天端水深の比が小さくなると、長周期水位変動偏差が増大し、堤前波高の10~25%となっている。図-7は、波形勾配0.03、波高10cm、天端水深6cmの場合の人工リーフ模型タイプの長周期水位変動偏差の沿岸分布を示す。人工リーフ模型のタイプによる違いは見られず、長周期水位変動偏差は開口部で大きく、堤前波高の15~25%に達している。特に、開口部での長周期水位変動偏差は、最も脆弱な開口部背後の遡上に対して不利に働くことになる。

こうした、長周期水位変動偏差は、高山ほか(1977)や日野ほか(1989)でも指摘されており、消波性能やブロックの安定性に及ぼす影響を検討し、設計上の平均水位上昇量の設定する必要がある。

3.3 消波性能

消波性能は、人工リーフの目的達成性能の1つであり、最も重要な項目といえる。人工リーフの消波性能は、堤前での換算沖波高と透過波高の比である波高伝達率や、堤前波高と透過波高の比である透過率によって評価されてきた。両者を比較すると、波高伝達率は屈折と回折以外の影響を陰に含んでいるため、実務上の取り扱いが簡便であるが、性能を正確に表現するには、地形や波の特性を明らかにしておく必要がある。一方、堤前波を対象とする透過率は、堤前波や透過波の定義によって人工リーフの性能そのものを評価することが可能となる。

さらに、透過率で人工リーフの消波性能を評価する場合、堤前波については、近年の波浪数値計算の再現精度

向上はめざましく、碎波までは概ね算定可能である。しかし、透過波については、碎波モデルの高精度化が必要であり、実験室での計測や現地での観測を待つ必要があるとされている(土木学会, 1994)。

そこで、本研究では、数値計算を援用することにより堤前波を定義することを想定し、実験により透過波の特性を定義し、透過率で人工リーフの性能を評価する方法を検討する。また、透過率については、人工リーフの消波効果が、天端上での碎波および乱れによるエネルギー逸散によってもたらされるため、人工リーフの消波性能を直接評価するといった観点からエネルギー透過率について検討する。また、透過率については、透過波をどの位置で定義するかが重要であるが、本研究では透過後に波がほぼ再生された地点を、レーリー分布との一致性により判断し採用した。

図-8は、波高透過率とエネルギー透過率の関係を示したものである。ここで、波高透過率は有義波で定義されている。エネルギー透過率は波高透過率の2乗に比べて10%程度大きくなっている。これは、波高分布、周波数帯全体で同率に消波効果が発現しないことを反映していると考えられる。

3.4 遡上高

人工リーフ背後における遡上高は、人工リーフにより

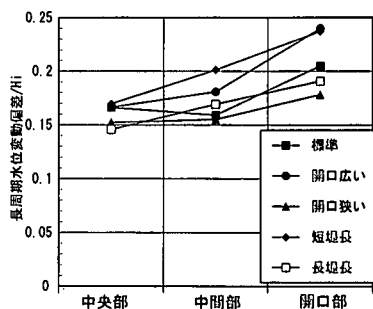


図-7 長周期水位変動偏差の沿岸分布

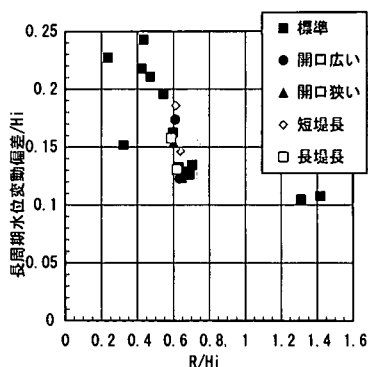


図-6 長周期水位変動偏差と波高

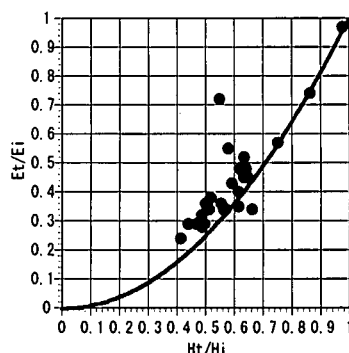


図-8 波高伝達率とエネルギー伝達率

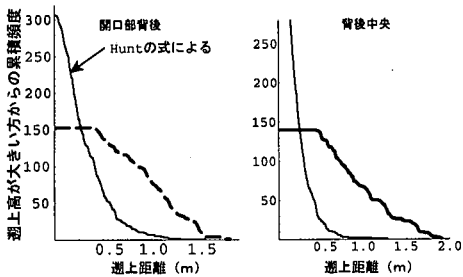


図-9 越上高

発生する水位上昇や沿岸方向の波の分布により、空間的、時間的に変化する。一方、実務上使用されているハントの式や改良仮想勾配法では、有義波を対象に、平均水位の上昇を考慮した潮位に対して算定されている。

図-9は、波形勾配0.03、波高10cm、天端水深6cmで標準の人工リーフ模型タイプの場合の堤前波300波に対して、実測の越上高と式(1)に示すハントの式で算定された越上高を比較した例である。

$$\frac{R}{H} = 1.01 \frac{\tan \alpha}{(H/L_0)^{0.5}} \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 R は打ち上げ高さ、 H は波高、 $\tan \alpha$ は海底勾配、 L_0 は沖波波長である。

実測の越上高は、斜面に這わせて設置した波高計のデータから、ゼロアップクロスで分割して求めた。ハントの式による越上高は、最も岸側のst 13の水位変動から波高を抽出し、孤立波として初期水位で算定した。波高計で測定された越上高の0.5m以下については、測定範囲を下回っているために欠測している。

両者の結果を比較すると、越上距離及び頻度分布曲線形に大きな違いがあることがわかる。この原因を、平均水位上昇と長周期変動の影響から考察する。まず、水位上昇について、st 13における平均水位上昇量が約0.5cmであり、海底勾配1/20を考慮すると約10cm越上距離が大きくなることになる。つまり、図-9に示したハントの式の曲線を+10cm平行移動させることになる。さらに、長周期変動は、図-2のa)のように人工リーフ上で

減衰することなく入射しており、これが越上距離を更に大きくしていると考えられる。以上より、越上高の評価において、平均水位上昇だけでなく、長周期変動の考慮も必要である。

4. 結 論

技術基準類の性能規定化に向けて検討が進められているが、性能を規定するためにはその特性値を何で定義するか重要である。

本研究においては、人工リーフの平面配置が人工リーフの消波性能に及ぼす影響を不規則波平面実験により検討した。主な結論は以下のとおりである。

- (1) 透過波のエネルギースペクトルの形状は、堤前波に比べて長周期成分が卓越した形状に変化する。
- (2) 人工リーフの配置により人工リーフ背後の平均水位上昇量の分布が変化する。また、人工リーフ背後に長周期的な水位変動が見られる。
- (3) エネルギー伝達率は、波高伝達率の2乗より大きくなっている。
- (4) 越上高の分布は、透過波の波高分布の特性とは異なる。平均水位だけでなく長周期変動を考慮する必要がある。

以上より、不規則性を考慮した場合、特性値として代表波高・周期で消波性能を評価することに限界があることを示した。

参 考 文 献

- 宇多高明, 小俣 篤, 横山揚久 (1988): 人工リーフの機能と設計法, 土研資料, 第2696号, 71 p.
- 建設省河川局海岸課 (1992): 人工リーフの設計の手引き, 全国海岸協会, 94 p.
- 高山知司, 神山 豊, 菊池治 (1977): リーフ上の波の変形に関する研究, 港湾技研資料, No. 278, pp. 1-32.
- 土木学会海岸工学委員会研究現況レビュー小委員会 (1994): 海岸波動一波・構造物・地盤の相互作用の解析法一, 土木学会, pp. 79-87.
- 日野幹夫, 仲座栄三, 与儀実知 (1989): リーフ地形海岸におけるBore状サーフビートに関する研究, 海岸工学論文集, 第36巻, pp. 75-79.