

藻場造成機能を有するスリットケーソンの水理特性に関する研究

島 谷 学*・小棚木鉄平**・岩 本 裕 之***

藻場造成機能を付加した新たなスリットケーソンを提案した。このスリットケーソンの水理特性を水理模型実験と境界積分方程式法及び漸近接合法による数値解析によって明らかにし、その機能の優位性を検証した。さらに、大型褐藻類の生育に必要な光条件を考慮し、藻場造成の実現可能性を評価した。その結果、本ケーソンは従来型のスリットケーソンよりも消波性能を向上することができ、藻場造成用のプレートを選択的な水深に設置することで大型褐藻類が生育可能な光量を提供できることが確認できた。本ケーソンは藻場造成に有効なツールになり得ると考えられる。

1. はじめに

藻場や干潟は沿岸域における基礎生産や生態系にとって重要な場であり、近年その保全や修復が取り組まれている。藻場については、港湾・漁港整備事業において藻場造成機能を付加した自然調和型の構造物が建設されつつある。関西国際空港の外周護岸や石川県富来漁港、大分県泊ヶ内漁港などに見られるように、従来の大型褐藻類を対象とした藻場造成は、消波機能を有する傾斜堤や人工リーフの天端上などに作られることが多い（例えば安藤ら, 2002; 尾崎ら, 2000）。しかし、設計条件やコストなどの制約で、必ずしもこれらの工法を用いて藻場造成ができるとは限らない。

一方で、外郭施設における消波構造物としては、スリットケーソンも有効な工法として利用されている。スリットケーソンはそれ自身に消波機能を有するため、コストの面で有利であるという特徴を持っている。

本研究ではこのスリットケーソンに着目し、藻場造成機能を付加した新たなスリットケーソンを提案した。また、本ケーソンの水理特性を水理模型実験と境界積分方程式法及び漸近接合法による数値解析によって明らかにし、その機能の優位性を検証した。さらに、大型褐藻類の生育に必要な光条件を考慮し、本ケーソンが藻場造成可能な構造物であるかその実現可能性を評価した。

2. 構造物概要

本研究で提案するスリットケーソンの概要図を図-1に示す。本ケーソンは従来のスリットケーソンの遊水室内に水平平板（藻場造成用プレート：以下藻場プレート）を設置することを特徴としている。この藻場プレート上に大型褐藻類を造成する構造となっている。藻場プレートにスリットを設けることで消波性能の向上が期待でき、また藻場プレートの下部は魚礁としての効果も期待できる。この藻場プレートのスリット開口率や設置水深

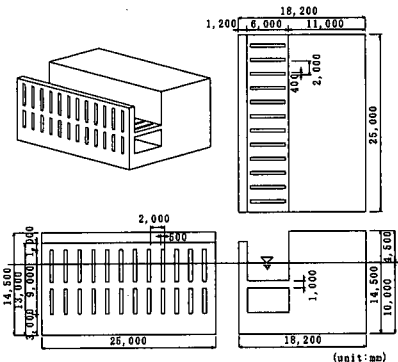


図-1 スリットケーソン概要図

を変化させることで、反射率、波高伝達率、藻場プレート上流速などの基礎的な水理特性を把握した。

3. 水理特性の検証

(1) 水理実験

a) 実験装置

水理模型実験は、横浜国立大学水理実験棟内にある長さ 17 m, 幅 0.5 m, 深さ 0.55 m の二次元水槽（図-2 参照）を用いて実施した。この水槽の一端にはピストン型造波装置（三井造船株式会社製）が設置してあり、もう一端には 1/20（法尻部 1/10）の一樣斜面が設置してある。この斜面上に碎石でマウンドを作成し、その上にアクリルで製作したスリットケーソン模型を設置した。ケーソン前面のマウンド上にはモルタル製の被覆ブロック模型を配置した。また、容量式波高計（KENEK 社製）を沖の一樣水深部に 2 台、堤体の背面に 1 台設置し、藻場プレート上の中央部分に超音波式流速計（電子工業社製）を設置した。

なお、今後諸条件は現地スケールで記載するが、実験スケールは 1/50 で実施している。

b) 測定項目

図-2 中の波高計 No. 1~2 で測定された水位変動を用い、合田ら（1976）による入反射波分離推定法によって水槽内の合成波を入射波成分と反射波成分に分離する

* 正会員 工修 横浜国立大学助手 大学院工学研究院
** いわき市役所
*** 五洋建設(株)環境研究所

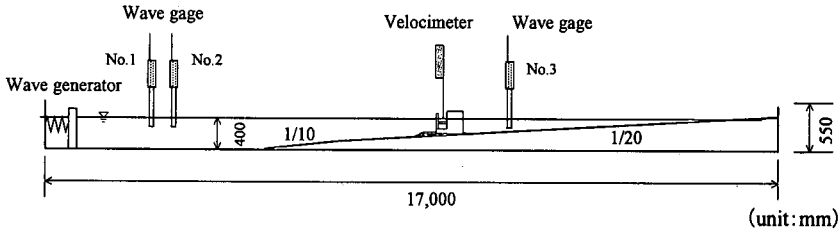


図-2 実験装置

ことで反射率を算定した。また、波高伝達率の測定には波高計 No. 3 を用いた。波高伝達率は模型堤体を設置する前の入射波高と模型堤体設置後の有義波高の比をとることで算出した。藻場プレート上の流速については流速計で測定された岸沖流速変動を統計処理し、有義流速として整理した。

c) 構造条件

構造条件を表-1 に示す。図-1 において、前面透過壁の厚さ・開口率 (0.25) ・スリット幅および遊水室の幅・深さ、藻場プレートの厚さと堤体全体の寸法は図の通りとし、藻場プレートのスリット開口率と設置水深を変化させて実験を行った。また、従来型のスリットケーソンと比較するため、藻場プレートがない構造についても実験を実施した。構造条件は全 10 ケースである。

なお、藻場プレートの設置水深 q は、堤体の設置水深を 1 とした時の水面からの深さである。

表-1 構造条件

藻場プレートの構造諸元		スリット開口率 ϵ		
		0.00	0.10	0.20
設置水深 q	0.10	①	②	③
	0.25	④	⑤	⑥
	0.40	⑦	⑧	⑨
藻場プレートなし		⑩		

d) 波浪条件

波浪条件を表-2 に示す。実験は全て Bretschneider・光易型のスペクトル形状を持つ不規則波を用いた。周期依存性の高い反射率については常時波浪として $H=1.5$ m, $T=5\sim 16$ s の条件を与え、波高伝達率については $H=3.0\sim 5.5$ m, $T=10$ s の条件を与えた。藻場プレート上の流速については常時波浪のみを用いた。

e) 結果と考察

① 反射率

反射率の実験結果を図-3 に示す。横軸は相対遊水室幅 (遊水室幅 B /波長 L) で表し、藻場プレートのスリット開口率別 (上段) と設置水深別 (下段) で整理した。

開口率別に着目すると、 $\epsilon=0.0$ の場合、 $q=0.40$ の

表-2 波浪条件

入射波の種類	計測項目	沖波波高 (m)	沖波周期 (s)
常時波浪	反射率 藻場プレート上流速	1.5	5
			6
			7
			8
			10
			12
			14
			16
高波浪	波高伝達率	3.0	10
		4.0	
		4.5	
		5.0	
		5.5	

ケース以外は藻場プレートのない従来型より反射率が 0.2 程度大きくなっている。これは水深が浅い領域では重複波形成による鉛直流速が大きく、藻場プレートの設置水深が浅いとプレートでの反射の影響が大きいためと考えられる。しかし、スリットを設けた $\epsilon=0.1, 0.2$ のほとんどのケースで、従来型に比べ反射率が低く抑えられている。これは、藻場プレートのスリットの効果により水粒子の鉛直方向エネルギーが渦によって逸散されるためである。

設置水深別に着目すると、設置水深の浅い $q=0.10$ のケースでは、スリットのない $\epsilon=0.0$ で大きい反射率を示すものの、 $\epsilon=0.2$ のケースでは従来型より消波性能が向上している。 $q=0.25$ のケースでは、スリットのない $\epsilon=0.0$ 以外のケースにおいて、反射率で最大 0.1 程度消波性能が向上していた。また、 $q=0.40$ のケースではスリットの有無に関わらず反射率が抑えられていることが認められた。

これらの結果より、スリット開口率とプレート設置水深を適切に設定することで、藻場プレートのない従来型より消波性能を向上できることが確認できた。また、藻場プレートの設置水深が浅い時にはスリットの影響が強

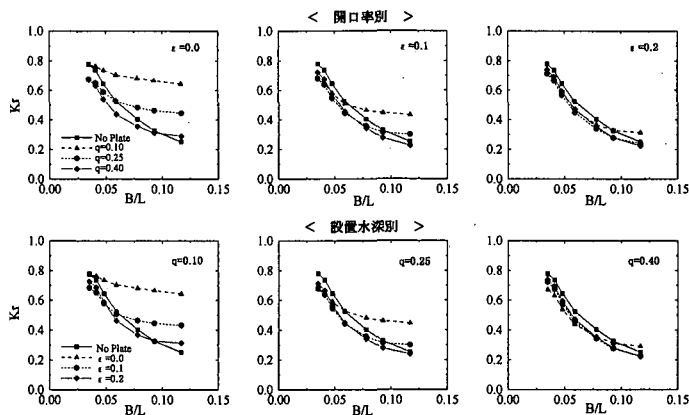


図-3 実験結果 (反射率)

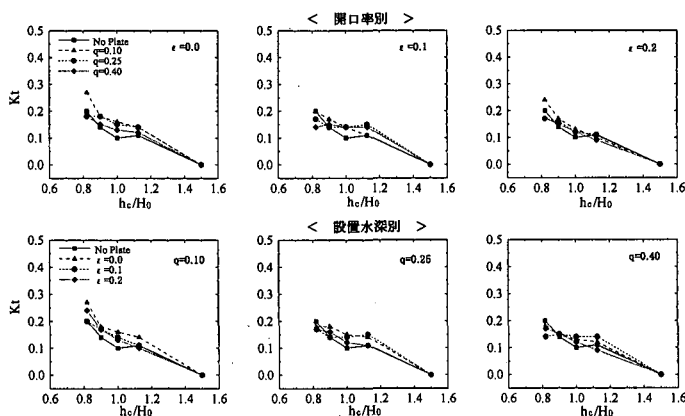


図-4 実験結果 (波高伝達率)

く見られ、深くなるごとに影響が小さくなる傾向が認められた。藻場造成を目的とした場合、海藻が生育できる補償光量の関係から設置水深が浅い方が有利となるが、藻場プレートを浅い位置に設置する場合にはスリットを必ず設け、その開口率を適切に設定する必要がある。

②波高伝達率

波高伝達率の実験結果を図-4に示す。横軸は相対水深 (堤体水深高 h_c /沖波波高 H_0) である。全ケースとも藻場プレートのない従来型と比較しても伝達率の大きな増加は見られなかったものの、 $\epsilon=0.0$, $q=0.10$ のケースでやや大きな値が見られた。

本ケーソンの波高伝達率は従来型と同等であると推察されるが、藻場プレートを水深の浅い場所へ設置する場合にはスリットを設ける必要があるものと考えられる。

③藻場プレート上の流速

実際の藻場プレート上では、重複波形成による鉛直流速の影響やスリットによる渦の存在により、非常に複雑な流速場が形成されているものと思われるが、計測機器や計測方法の制限等によりここでは岸沖流速に着目して

性的な流速場の傾向を把握した。

なお、プレート設置水深の浅い $q=0.10$ のケースでは波谷レベルで流速計センサー部が気中に露出するため、このケースについては除外した。また、藻場プレートのないケースは遊水室底面上での流速を測定した。

結果を図-5に示す。スリットがない場合やや大きな流速値をとるが、スリットを設けることにより流速が抑えられている様子が確認された。

海象条件の厳しい海域では擾乱の激しい高波浪時に海藻が流失するケースも考えられる。本ケーソンでは藻場プレートにスリットを設けることで岸沖底面流速を抑えることが可能であるが、今後は藻場プレート上での3次元流速構造を明らかにし、大型褐藻類の基盤への固着力との比較検証を行うことが必要である。

(2) 数値解析による反射率の評価

反射率については関本・島谷 (1999) による境界積分方程式法及び漸近接合法に基づく数値モデルによる数値解析を行った。このモデルでは Laplace の方程式を自由水面や水底、ケーソン表面、入射境界といった境界条件

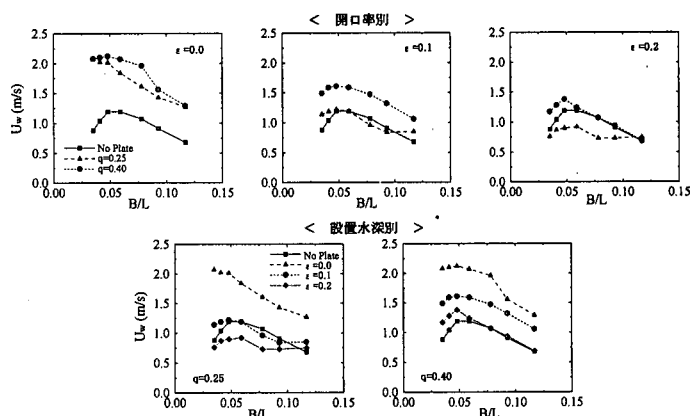


図-5 実験結果 (藻場プレート上の岸沖流速)

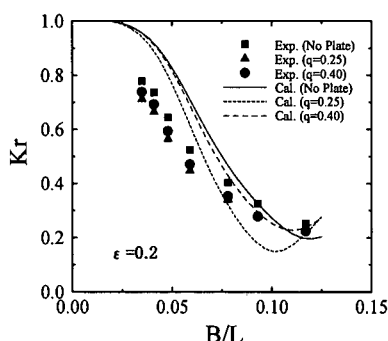


図-6 数値解析による反射率の算定結果と実験結果

のもとで解くことによりケーソン周辺の波の変形を算定している。また、スリット周辺の波浪場解析には領域分割法を用い、領域の接合条件としては角野ら (1986) の漸近展開接合法を用いている。

関本・島谷のモデルは堤体前面 (入射境界～堤体) と遊水室内の2領域モデルであるため、このモデルを堤体前面、藻場プレート上部と下部 (遊水室内) の3領域に拡張することで、本ケーソンの反射率を算定した。

この数値解析は規則波を対象としているが、不規則波であっても規則波と同条件で有義値として諸元を与えれば反射率の算定が可能であることが確認されている。

図-6は藻場プレートのスリット開口率 ε が0.2のケースでの数値解析結果と実験結果を比較したものである。

解析結果は実験結果を適切に再現しており、3領域に拡張した数値モデルにより本ケーソンの反射率が算定できることが確認できた。また、実験結果と同様、藻場プレートを設置することで従来型のスリットケーソンよりも消波性能が向上していることも確認できた。

4. 藻場プレート上での光量について

従来型のスリットケーソンでは遊水室幅に対し遊水室水深が深いため光が底面まで届かず、遊水室内に藻場が形成されることはほとんどない。御前崎港に設置されたスリットケーソンの遊水部において、遊水室水深が浅い、上部コンクリートがないといった理由から遊水室内でカジメを造成した事例があるが (小野ら, 2002)、一般的には光条件の制約から遊水室内での藻場造成は適さない。

ここでは、代表海域における藻場プレート上での日積算光量を算定し、海藻が生育するための補償光量と比較することで本ケーソンの藻場造成の実現可能性を検討する。

(1) 日照割合の算定

前面透過壁及び堤体による日射の妨げが生じるため、藻場プレート上に単位幅当たりどの程度の割合で日照があるか検証した。なお、ここでは水面での屈折の影響は考慮していない。

まず、ある方位に向けて堤体を設置し、春分の日太陽軌道を仮定して任意の軌道上での藻場プレート上の日照割合を算定する。太陽の位置を10分毎に時々刻々変化させ、それぞれの時刻での日照割合を算出した。

(2) 日積算水中光量の推定

藻場プレート上での日積算水中光量は、全天日射量の時別平均値にそれぞれの時刻における日照割合を乗じ、その1日間の和に諸係数を掛けることで算出した ((1) 式参照)。

$$I = C \cdot A_p \cdot A_l \cdot A_d \cdot \sum_i (E_{0i} \cdot A_{Si}) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 I : 藻場プレート上での日積算光量 ($\text{E/m}^2/\text{day}$)、 C : 単位換算係数 ($\text{MJ/m}^2/\text{day} \rightarrow \text{E/m}^2/\text{day}$)、 A_p : 光合成有効波長エネルギー、 A_l : 海面直下への入射率、 A_d : 水中での光減衰率、 E_0 : 時別全天日射量 (MJ/

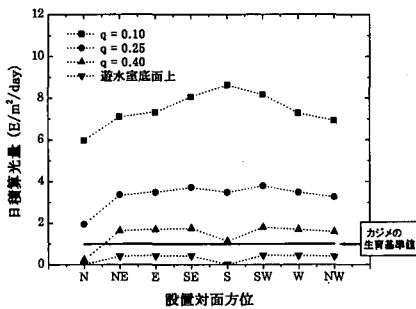


図-7 藻場プレート上での日積算光量

m²/h), A_s : 日照割合である。

ここでは、全天日射量は和歌山県潮岬の特別平均値(理科年表, 1986), 単位換算係数は $0.2/0.0428$ (石川ら, 1988), 光合成有効波長エネルギーは 0.42 (波長帯: $400\sim700$ nm), 海面直下への入射率は 0.79 (石川ら, 1988), 水中での光減衰率は e^{-kz} (k : 消散係数, z : 水深), 日照割合は 8 方位別の特別値とした。なお, 消散係数は 0.36 (土木学会, 1999; 横浜, 1982 による) とした。

(3) 結果と考察

各設置方位別における藻場プレート上の日積算光量を図-7 に示す。図中の生育基準値は倉島ら (1996) を参考にした水温 $15\sim25^\circ\text{C}$ でのカジメの日補償積算光量である。藻場プレートのない従来型スリットケーソンの遊水室底面では光量が不足し生育に適さないが, 藻場プレートを設置することで, ほぼ設置方位に関わらずカジメの生育に必要な光量を十分に提供していることが分かる。

この結果はケーソン設置海域の水質や上部工高さなどの構造条件, またアラメ, カジメ, ホンダワラ類といった造成対象種によって若干変化するものと思われるが, 藻場プレートを適切な水深に設置することで大型褐藻類が生育可能な光条件を提供できるものと考えられる。

5. おわりに

藻場造成機能を付加した新たなスリットケーソンを提案した。このスリットケーソンの水理特性を水理模型実験と数値解析によって明らかにし, その機能の優位性を検証した。さらに, 大型褐藻類の生育に必要な光条件を考慮し, 藻場造成の実現可能性を評価した結果, 以下の主要な結論を得た。

- ・藻場プレートのスリット開口率と設置水深を適切に設定することで, 藻場プレートのない従来型スリット

ケーソンより消波性能を向上できることが確認された。

- ・本ケーソンの波高伝達率は従来型と同等であった。
- ・ただし, 藻場プレートを浅い水深に設置する場合にはスリットを必ず設け, その開口率を適切に設定する必要がある。
- ・藻場プレート上の岸沖流速はスリットを設けることで低く抑えることが可能である。
- ・藻場プレートを適切な水深に設置することで, 大型褐藻類が生育可能な光量を提供できると考えられる。
- ・以上の結果より, 本ケーソンは藻場造成に有効なツールになり得ると考えられる。

今後は, 構造条件を変化させたより詳細な水理実験を実施すると共に, 藻場プレート上での 3 次元流速構造を解明し, 大型褐藻類の基盤への固着力との比較を行うことが必要である。

参考文献

- 安藤 亘・村本信夫・中村憲司 (2002): 石川県富来漁港における自然調和型防波堤の海藻の遷移特性 (第 3 報), 平成 14 年度日本水産工学会講演会論文集, pp. 151-152.
- 石川雄介・川崎保夫・本多正樹・丸山康樹・五十嵐由雄 (1988): 電源立地点の藻場造成技術の開発, 第 9 報, 水中の光条件に基づくアマモ場造成限界深度の推定手法, 電力中央研究所報告 U88010, 20 p.
- 尾崎正明・伊藤利加・奥田泰永・二宮早由子 (2000): 関西国際空港島護岸の藻場造成による環境創造効果について, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp. 1196-1200.
- 小野文雄・谷口義恵・森 利春・宮原祐二・早川 淳・山田和彦 (2002): 港湾構造物を利用した藻場造成に関する調査, 海洋開発論文集, Vol. 18, pp. 491-496.
- 角野昇八・小田一紀・村本哲二・芳田利春 (1986): 複素係数の Blockage Coef. を導入した漸近展開接合法—スリットにおけるエネルギー損失量の評価—, 第 33 回海岸工学講演会論文集, pp. 407-411.
- 川俣 茂・足立久美子・山本正昭 (1994): キタムラサキウニに及ぼす波浪の影響, 平成 6 年度日本水産工学会講演論文集, pp. 85-88.
- 倉島 彰・横浜康継・有賀祐勝 (1996): 褐藻アラメ・カジメの生理特性, 藻類 Jpn. J. Phycol. 44, pp. 87-94.
- 合田良実・鈴木康正・岸良安治・菊池 治 (1976): 不規則波実験における入・反射波の分離推定法, 港湾技術研究所資料, No. 248, 28 p.
- 関本恒浩・島谷 学 (1999): 斜面スリットケーソンの水理特性に関する研究, 電力土木, No. 284, pp. 87-91.
- 東京天文台編 (1986): 理科年表, 丸善 (株), pp. 気 76 (265).
- 土木学会 (1999): 水理公式集, pp. 585-587.
- 横浜康継 (1982): 海藻の謎, 三省堂, pp. 107.