

模型植生に作用する波力について

Wave Forces acting on Model Plants

林建二郎*・上原正一*・重村利幸*・藤間功司*・萩原運弘**

Kenjiro Hayashi, Syouichi Uehara, Toshiyuki Shigemura, Koji Fujima, Kazuhiro Hagiwara

Abstract

Laboratory experiments were performed to study the wave forces acting on model plants on the bed of two dimensional wave flume. The wave forces acting on the both directions of wave propagation (in line direction) and gravity were measured by using a two components load cell installed under the bed of wave flume. The influence of the ratio of plant height and water depth to the wave forces were evaluated. The drag and inertia coefficients of Morrison equation applied to the analysis of in line forces were obtained. The damping of waves due to the crowd of model plants are also evaluated.

Keywords : Plant, Wave forces, Morrison equation, Wave energy dissipation, Transmission coefficient

1. はじめに

環境問題に対する対応が重要性を増す中で、河口や湖岸におけるヨシ原等の水辺植生が持つ環境機能や浸食防止機能も再認識され、その積極的な保持や利用の要求も高まってきた。一方、新たな海岸保全工法の一つとして人工海藻を用いた波浪・漂砂制御技術の開発や研究も多く行われ、海藻の持つ波浪制御効果や漂砂制御効果も明らかにされている(浅野ら,1988;菅原ら,1992;伊副,1997)。水産分野では、魚貝類の生息場のための藻場の形成条件(瀬戸ら,1997)や、生息環境改善工法に用いられた潜堤被覆材の所要重量設計における付着海藻に作用する波力の影響(長谷川ら,1997)を調べる研究が行われている。植生域における波や流れの減衰機構の解明(Mazdaら,1997)や植生の生育保持や維持・管理法の検討においては、これら植生に作用する波力の評価は重要である。しかし、植生の形状や構造が複雑なため、植生に作用する波力の特性についてはまだ未解明な点が多い。

本研究は、波浪に対する水辺植生の耐波特性およびそれが有する波の反射・透過特性を明らかにすることを目的として、波動場に設置された模型植生群に作用する波力特性を水理模型実験により調べたものである。

2. 研究の内容

実験には、長さ 40m、幅 0.8m、高さ 1m の吸収式造波装置付き 2 次元造波水槽を用いた。ビニール製の市販の疑似植生模型を一株ずつ、図-1 に示すようにベニヤ板製の水路床の一区間に千鳥配置で設置した。模型植生の一株は径 1 ~ 2mm の 48 本のビニール線(比重=0.825)で構成され、その投影面の高さは $s \approx 22\text{cm}$ 、代表幅は $D=5\text{cm}$ である(図-2 参照)。正三角形で千鳥配置された植生群の設置間隔は、波の進行方向に 6.9cm、横断方向に 8cm である。植生群の水路方向の長さは $B=110.4\text{cm}$ である。植生群(幅=80cm、高さ=22cm、長さ $B=110.4\text{cm}$)の空隙率は $\lambda=0.984$ である。本模型植生は、葉の発達が見られない時季のヨシやシオクブ等の植生を模擬したものである。

植生群の最前列(沖側)、中央列、ならびに最後

列(岸側)の水路中央線上に設置された各模型植生の一株に作用する、波の進行方向流体力 F_x と鉛直方向の流体力(揚力) F_y を、ベニヤ板製水路床の下面に設けた小型 2 分力計(容量 100gf)を用いて計測した(図-2 参照)。比較のために同水路床に模型植生の一株を単独に設置した場合の流体力も同様な波浪条件下で計測した。但し、これら計測された流体力には、植生の揺動による慣性力(模型植生の質量*揺動加速度)も含まれている。

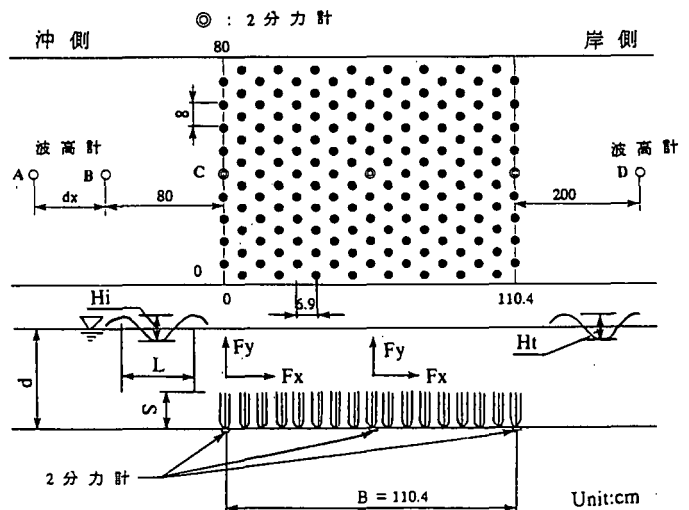


図-1 模型植生設置の概略

* 正会員 防衛大学校 土木工学教室 239-8686 横須賀市走水 1-10-20

** 正会員 清水建設技術研究所 環境技術開発部 135-8530 東京都江東区 3-4-17

模型植生群による波の反射率 K_r ($=$ 反射波高 H_r / 入射波高 H_i) と透過率 K_t ($=$ 透過波高 H_t / 入射波高 H_i) を計測するために、4本の波高計を植生群最前列より沖側 $(0.8+dx)$ m の位置 A と (0.8) m の位置 B、流体力計測用の模型植生の位置 C、ならびに植生群最後列より岸側 2m の位置 D にそれぞれ設置した。水路の長さ方向に dx の間隔をもって沖側に設置した 2 台の波高計 (A、B) の時系列記録より入射波高 H_i と反射波高 H_r を分離・推定し波の反射率 K_r を求めた。波高計 D の時系列記録より透過波の平均波高 H_t をゼロアップクロス法を用いて算定した。

実験水深は、 $d=15\text{cm}$ 、 22cm 、 60cm の 3 種類とした。各水深 d において、 $d/L=0.1$ 、 0.2 、 0.3 を有する規則波を実験波として使用した。波形勾配 H_i/L の範囲は $0.005 \sim 0.10$ である。模型植生の高さ s と水深 d の比が $s/d=1.467$ および 1.0 となる、 $d=15\text{cm}$ と 22cm の場合は沿岸域に生育しているヨシ等を対象とした場合である。

3. 結果および考察

3.1 模型植生の消波特性

反射率 K_r および透過率 K_t の入射波高 H_i と植生高さ s との比 H_i/s に対する変化特性を、水深波長比 d/L をパラメータとして各水深別に図-3 に示す。水深 d の減少に伴い透過率 K_t は小さくなっている。 d が模型植生の高さ s より小さい場合 ($s/d=1.47$) には K_t は $0.25 \sim 0.55$ の範囲である。 d が s と同程度の場合 ($s/d=1$) には $K_t=0.5 \sim 0.7$ の範囲である。 d が s より大きい場合 ($s/d=0.367$) には $K_t=0.87 \sim 1.0$ の範囲である。一方、植生高さとの水深の比 s/d の反射率 K_r に対する影響は少なく、全般に K_r は 0.1 前後である。従って、水深 d が模型植生の高さ s より浅い場合 ($s/d > 1$) には、多くの波浪エネルギーが植生群の中で吸収されていることが分かる。水深 d が浅い場合に透過率 K_t が低下する原因としては、水深波長比 d/L を一定に保った場合、水深 d の減少に伴い植生群の波の進行方向長さ B と波長の比 $B/L (=d/L * B/d)$ が増加すること考えられる。

K_r および K_t に及ぼす H_i/s 、 d/L の影響は、水深が深い $s/d=0.37$ の場合は少ない。一方、水深が浅い $s/d=1.0$ と 1.467 の場合は、 K_t は H_i/s の増加に伴い減少している。

3.2 模型植生に作用する波力特性

A) 一株のみを単独で設置した場合

一株のみ単独で設置された模型植生一株に作用する波力 F_x 、 F_y とその設置点における波の水位変化 η の記録例を図-4 の a)、b) に示す。a) は、植生高さ s と静水深 d が等しく ($s/d=1$)、水深波長比が $d/L=0.2$ の場合である。波の進行方向に作用する波力 F_x は水位 η とほぼ同位相で変化しているが、波の運動による水粒子の水平加速度運動 du/dt に伴う慣性力が加わる結果、 F_x の位相は η より若干進んでいる。波動場においては、水粒子の鉛直速度 v および加速度成分 dv/dt も存在する結果、鉛直方向に作用する波力 F_y も同時に存在している。鉛直方向の波の水粒子速度および加速度は、水平方向のそれらに比べて小さいので、 F_y の大きさは F_x に比べて小さい。また、 F_y は + 方向 (上方) よりも - 方向 (下方) に大きくなっている。b) は、植生高さ s に比べて静水深 d が十分深い

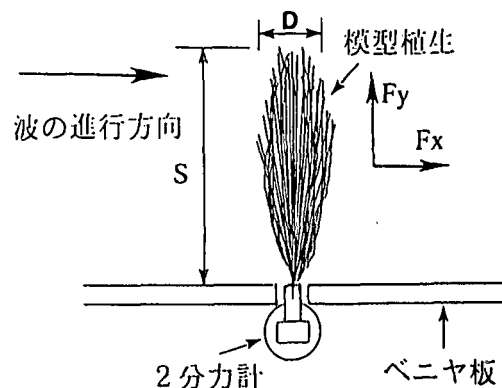


図-2 模型植生と 2 分力計

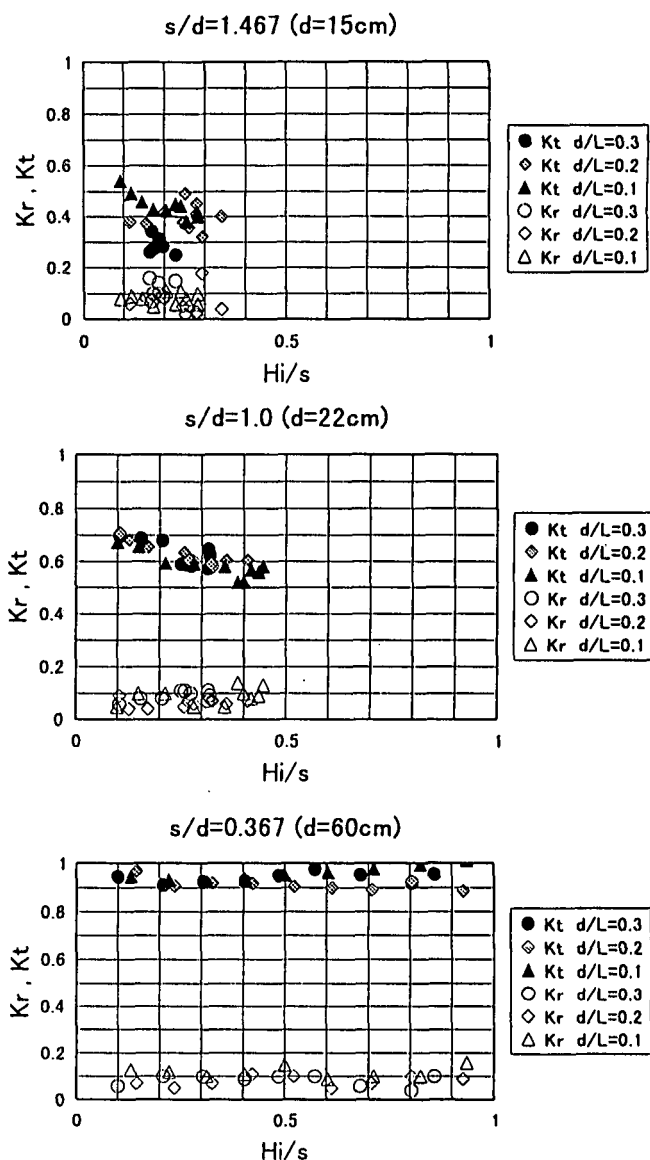


図-3 模型植生群による波の透過率と反射率

場合 ($s/d=0.367$) である。 d/L も 0.1 と小さくなった結果、水粒子速度、加速度が鉛直方向成分は水平方向のそれらに比べてより小さくなるため、 F_x に対する F_y の比はより小さくなっている。

波力 F_x の水粒子速度 u および加速度 du/dt との同位相成分をそれぞれ抗力 F_d および慣性力 F_m とする。これら F_d および F_m の算定にはフーリエ解析を用いた。 F_m と F_d の比 F_m/F_d の CKC 数および CR_e 数に対する変化特性を s/d と d/L をパラメーターとして図-5 に示す。CKC 数および CR_e 数は植生上端の位置（但し、 $s/d=1.467$ の場合には静水面の位置）における Keulegan-Carpenter 数と Re 数でありそれぞれ次式で定義される。

$$CKC=U_{mc} \cdot T / D_p \qquad \text{----(1)}$$

$$CR_e = U_{mc} \cdot D_p / \nu \qquad \text{----(2)}$$

式中の U_{mc} は、植生の上端（但し、 $s/d=1.467$ の場合には静水面の位置）での水粒子速度 u の最大値、 T は作用波の周期、 ν は水の動粘性係数、 D_p は植生一株を構成する柱状部材一本の換算直径 ($D_p=0.155\text{mm}$) である。

F_m/F_d は CKC 数および Re 数の増加に伴い減少していることがわかる。 F_m/F_d と CR_e の関係においては、 s/d の影響が認められる。本植生一株を構成する柱状部材の代表径 D_p が小さいため、 KC が非常に大きくなる結果、 F_d が卓越している。

波力 F_x の特性をより詳しく調べるために、植生一株を構成する柱状部材に作用する波の進行方向波力（ $= F_x / \text{柱状部材数}(48 \text{ 本})$ ）の評価にモリソン式を

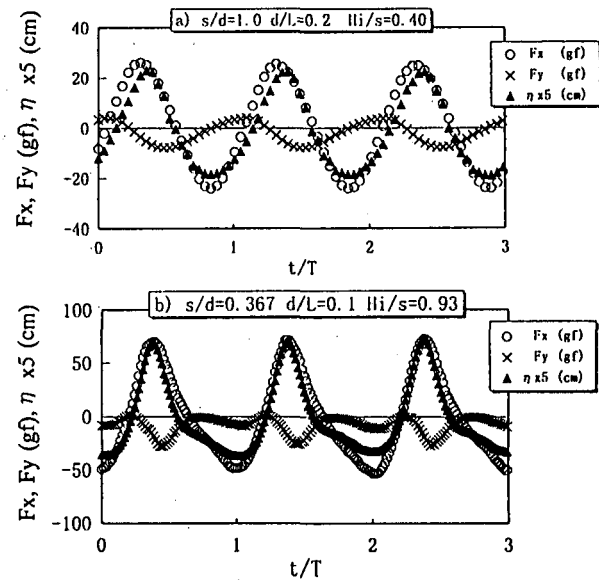


図-4 波力の記録例

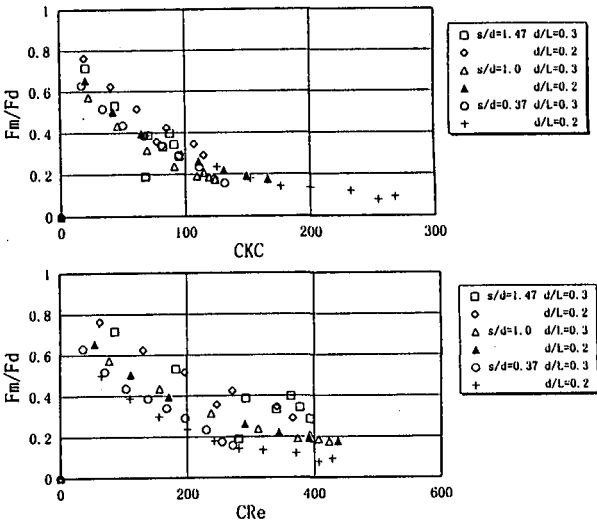


図-5 F_m/F_d の CKC および CR_e に対する変化

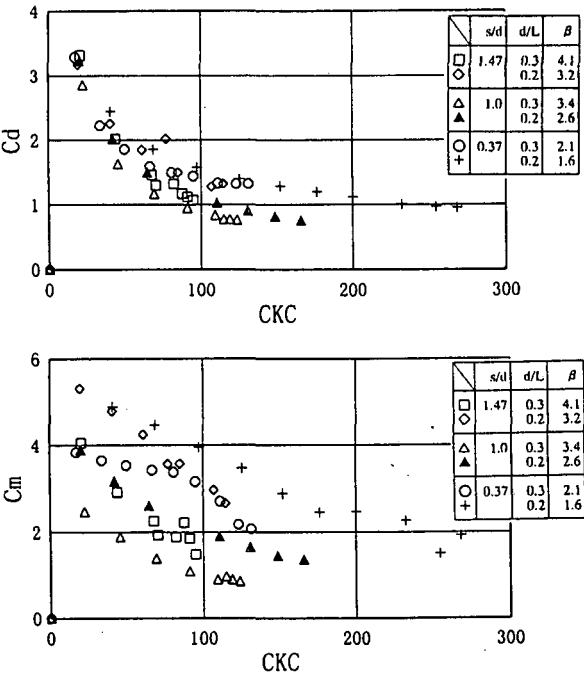


図-6 C_d と C_m の CKC 数に対する変化

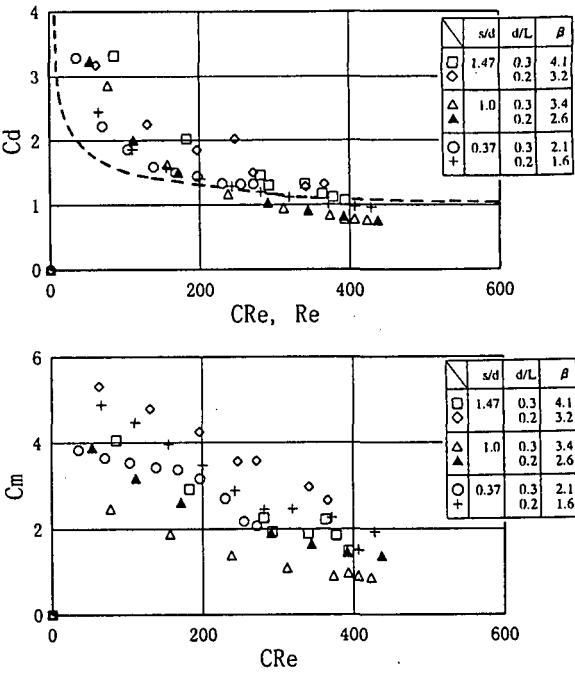
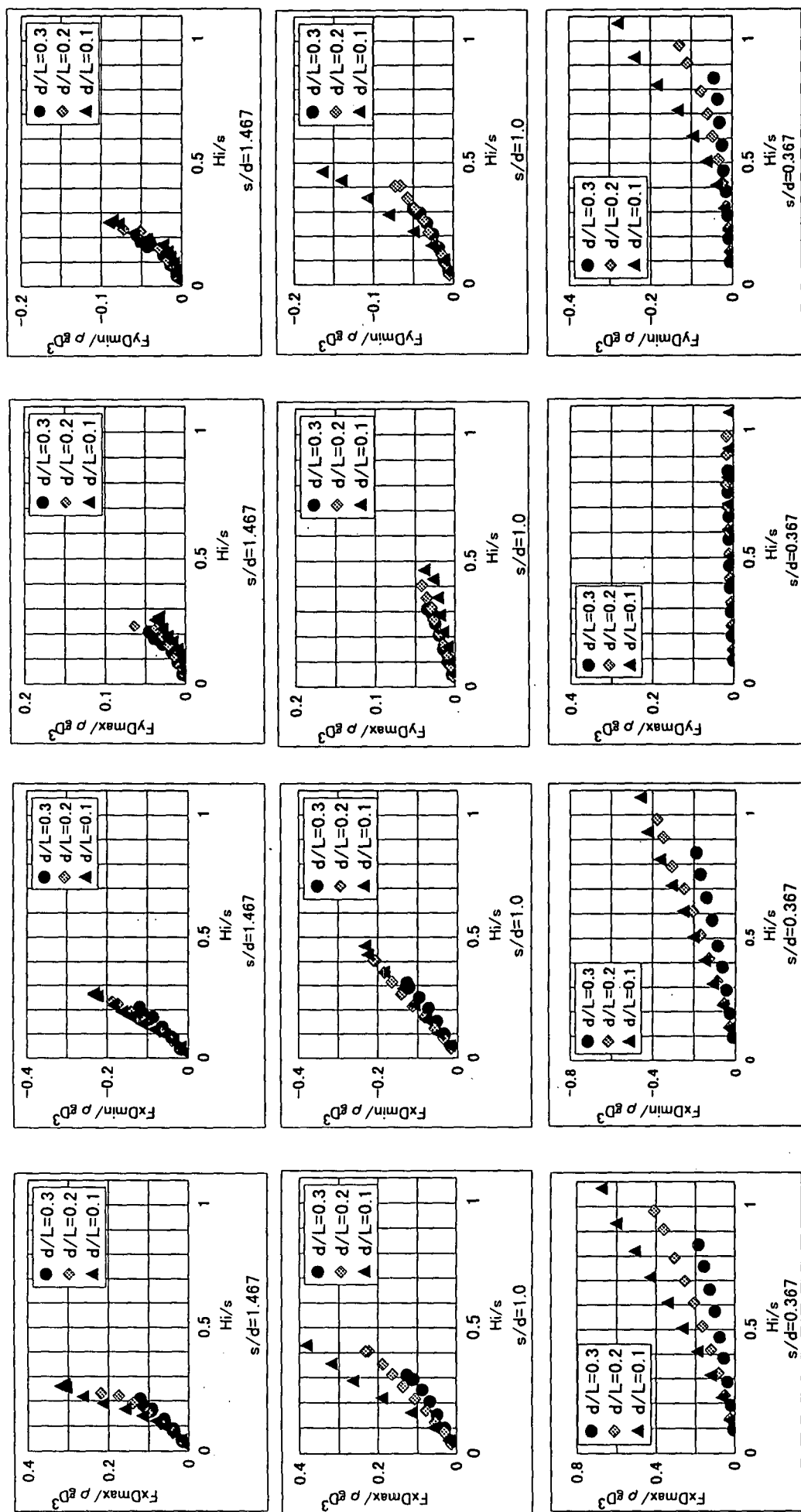


図-7 C_d と C_m の Re 数に対する変化



図一 8 模型植生一株を単独に設置した場合の波力特性

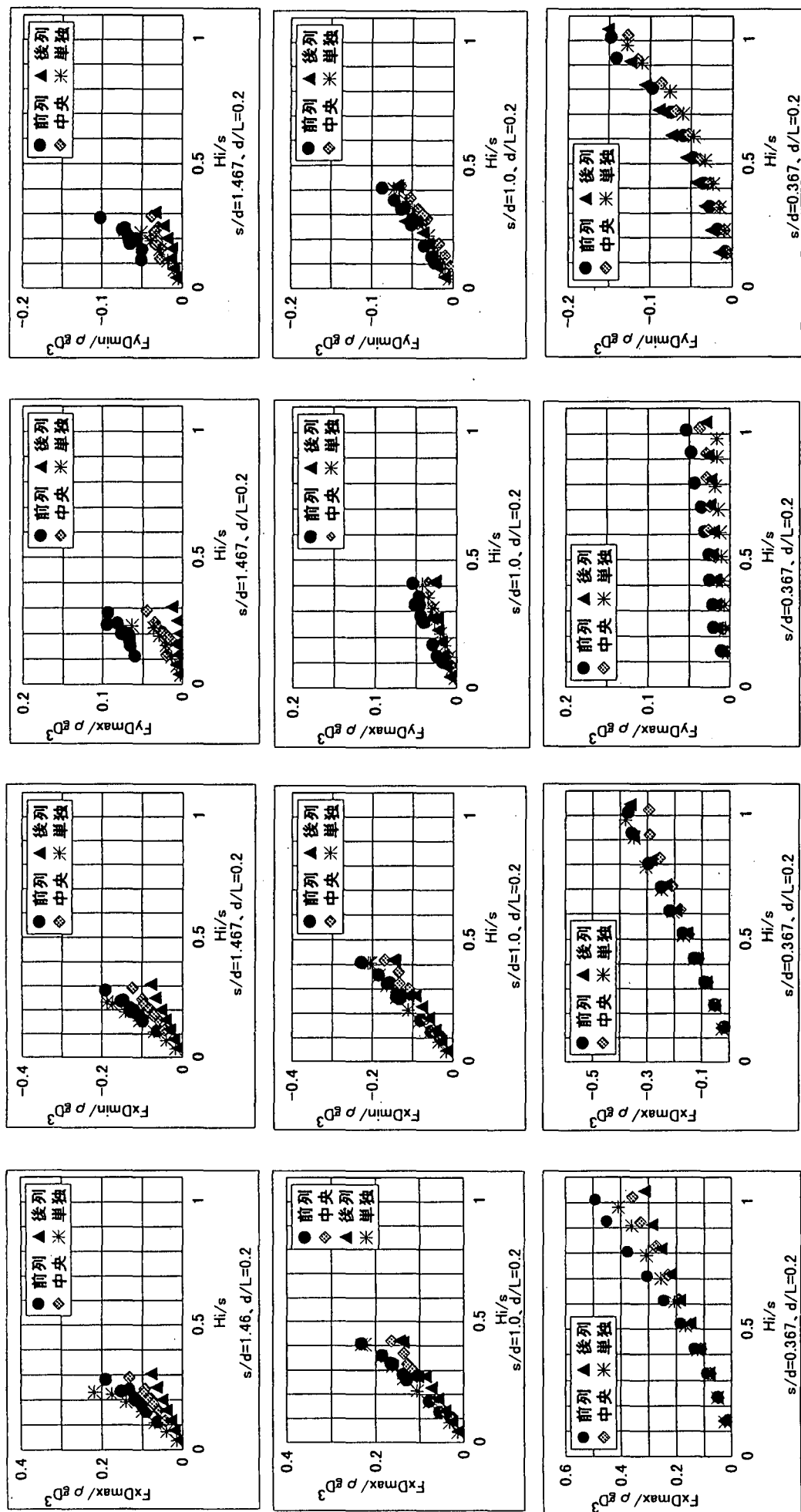


図-9 植生群中に設置された模型植生一株に作用する波力特性

適用し式中の抗力係数 C_d と質量係数 C_m を算定した。 C_d および C_m の算定にはフーリエ解析を用いる方法 (Keulegan and Carpenter, 1958) を使用した。波の水粒子速度 u および加速度 du/dt の算定には微小振幅波理論を用いた。 C_d および C_m の CKC 数と CR_e 数に対する変化特性を s/d 、 d/L ならびに β 値をパラメーターとして図-6 と図-7 に示す。 $\beta = CR_e / CKC = Dp^2 / (\nu T)$ で定義される β 値は周波数パラメーターであり Re 数と Keulegan-Carpenter 数との比を示す。

C_d は CKC および CR_e の増加に対し減少している。 C_d と CR_e の関係を示す図中には、定常流中における円柱の抗力係数 C_d とレイノルズ数 ($Re = \text{主流速度} \times \text{円柱径} / \nu$) との関係を示す破線 (----) で記入している。本植生の C_d 値は、 $200 < CR_e$ の範囲で定常中における円柱の C_d 値と概ね一致している。 C_m も CKC および CR_e の増加に伴い減少しているが、 s/d や β の影響が明らかである。 s/d が同じ場合の C_m は、 d/L および β 値の減少にともない大きくなっている。振動流中における円柱の抗力係数および質量係数と CKC 数の関係におよぼす β 値の影響 (但し、 $\beta > 497$) においては、 β 値の減少に伴い C_d は増加し、 C_m は減少することが振動流発生装置を用いた室内実験により明らかにされている (Sarpkaya, 1976)。

模型植生の一株に作用する F_x の正と負の最大値を F_{xDmax} 、 F_{xDmin} とする。同様に F_y の正と負の最大値を F_{yDmax} 、 F_{yDmin} とする。 H_i/s に対する、これら力を ($\rho g D^3$) で割った無次元値の変化特性を水深波長比 d/L をパラメーターとして各水深別に図-8 に示す。但し D は植生一株の代表幅である (図-2 参照)。 H_i/s の増加や s/d および d/L の減少に伴い、水粒子速度 u が増加するため、これら波力は大きくなることが認められる。鉛直方向に作用する波力は、上方より下方の方が大きくなっている。

B) 植生群として設置した場合

植生群中に設置された植生一株に作用する波力 F_{xDmax} 、 F_{xDmin} 、 F_{yDmax} 、 F_{yDmin} の無次元値の、 H_i/s に対する変化特性を設置場所をパラメーターとして各水深別に図-9 に示す。図中には、比較のために植生一株のみを単独に設置した場合の結果も示している。水深が浅い $s/d=1.467$ の場合には、植生群による波高の減衰が顕著なため、中央や後列の植生の一株に作用する波力は、著しく小さくなっていることが分かる。また、前列における波力は植生の一株のみを単独に設置した場合よりも大きくなるケースも認められる。

4. おわりに

力計を用いて模型植生に作用する波力の直接計測を行い、植生群に作用する波力の特性を調べるとともに、植生群による消波効果を調べた。透水性 (浸透性) 物体である植生群に作用する波力の評価法として、植生一株を構成する一本の柱状部材に作用する波力に対するモリソン式の適用性を検討した。モリソン式中の抗力係数と Re 数の関係は一方向流中に置かれた円柱の場合と類似していた。作用波力におよぼす植生揺動の影響や植生密度ならびに植生形状等を考慮した波力評価式に対する検討を今後行っていきたい。

透水性物体の流水抵抗および作用流体力に関して有益なご助言を、九州大学工学部建設都市工学科の橋本晴行先生ならびに苫小牧高専環境都市工学科の浦島三朗先生より頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 浅野敏之・筒井勝治・酒井哲郎 (1988) : 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, pp.138-142.
- 伊副 誠 (1997) : 人工海藻による波・流れの制御と漂砂, 海岸工学論文集 第 44 巻(1), pp.536-540.
- 菅原一晃・永井紀彦 (1992) : 波による堤体前面の洗掘・海岸浸食に対する人工海藻の防止効果、海岸工学論文集 第 39 巻, p.461-465.
- 瀬戸雅文・江畑恵吾・桜井泉・松岡学・山下俊彦 (1997) : ホッカイエビ生息藻場形成条件、海洋開発論文集 Vol. 13, pp.303-308.
- 長谷川寛 (1997) : 二枚貝の生息環境を改善する離岸剪定の設計法、海洋開発論文集 Vol. 13, pp.273-278.
- Keulegan, G. H. and L. H. Carpenter (1958) : Journal of Research of the National Bureau of Standards, Vol. 60, No. 5, pp.423-440.
- Mazda Y., E. Wolanski, B. King, A. Sase, D. Ohtsuka, and M. Magi : Drag force due to vegetation in mangrove swamp, Mangroves and Salt Marshes, 1 (3), pp.193-199.
- Sarpkaya, T. (1976) : Vortex shedding and resistance in harmonic flow about smooth and rough circular cylinders, BOSS-76, Vol. 1, pp.220-235.