

波動場に設置された平板背後の後流渦と 波力に関する研究

金沢大学 正会員 石田 啓・矢富盟祥・斎藤武久
金沢大学 学 生 ○水谷二延・鳥毛 聡

1. はじめに

海洋中に設置された、剥離渦を伴う柱状構造物まわりの流況および柱状構造物に作用する波力の解析法として、著者らは、すでに渦点分布法による解析法を提示した¹⁾²⁾。この解析法は、柱体壁面および剥離せん断層を複数の渦点で置き換え、柱体壁面上での境界条件を満足するように、柱体壁面に配置した渦点の循環を各時間ステップごとに算定するため、鏡像の原理を用いる必要がなく、設置する柱体の形状を任意に選択できる利点を有している。そこで、本研究では、上述の渦点分布法を用いることにより、剥離渦を伴う単一平板まわりの流況および作用波力を解析し、その特性を明らかにする。

2. 渦点分布法による流況および波力解析

図-1に座標系を示すが、 $\Gamma_j (j = 1 \sim N)$ 、 Γ_{kA} および $\Gamma_{kB} (k = 1 \sim M)$ は、それぞれ平板壁面に配置した渦点、剥離点 A および B から放出された渦点の循環を表す。任意点 (x_i, y_i) における速度ポテンシャル ϕ_i を、入射波と平板壁面および剥離せん断層を表現する渦点の速度ポテンシャルの線形和として与え、入射波として微小振幅波理論を用いると、速度ポテンシャル ϕ_i は

$$\phi_i = \frac{a\omega}{k} \frac{\cosh(kx_i + \omega t)}{\sinh kh} + \sum_{j=1}^N \frac{\Gamma_j}{2\pi} \tan^{-1} \frac{y_i - y_j}{x_i - x_j} + \sum_{k=1}^M \left\{ \frac{\Gamma_k}{2\pi} \tan^{-1} \frac{y_i - y_k}{x_i - x_k} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

となる。ここに、 Γ_j および (x_j, y_j) は、平板壁面に配置した渦点の循環および位置であり、 Γ_k および (x_k, y_k) は、剥離点 A および B により放出される渦の循環および位置の総称である。式 (1) において、 Γ_j は物体壁面上の渦点間中心における壁面法線方向速度がゼロという境界条件および流れの場全体で循環の総和がゼロであるという Kelvin の循環定理により、各時間ステップごとに決定される。なお、剥離渦の循環 Γ_k は剥離点での渦度フラックスにより与える。平板に作用する波の進行方向波力 F_x は非定常に拡張された Blasius の公式³⁾を用いることにより、次式で与えられる。

$$F_x = \rho \sum_{j=1}^N \Gamma_j V_j - \rho \frac{d}{dt} \sum_{j=1}^N \Gamma_j y_j + \rho \sum_{k=1}^M \Gamma_k V_k - \rho \frac{d}{dt} \sum_{k=1}^M \Gamma_k y_k \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 V_j および V_k はそれぞれ、壁面上の渦および剥離渦の位置における入射波の Y 方向速度である。式 (2) において、今、入射波の Y 方向速度はゼロであり、さらに、剥離した渦の循環の時間変化については、各時間ステップごとに剥離点で生じる循環の時間変化のみを考慮すると、波の進行方向波力は

$$F_x = -\rho \sum_{j=1}^N \frac{d\Gamma_j}{dt} y_j - \rho \frac{d\Gamma_M}{dt} y_M - \sum_{k=1}^{M-1} \Gamma_k \frac{dy_k}{dt} \dots\dots\dots (3)$$

で与えられる。式 (3) 右辺第 1 項がモリソン公式の慣性力項に相当し、右辺第 2 項および第 3 項が抗力項に相当する。詳細については、参考文献 1) および 2) を参照されたい。

3. 解析結果および考察

平板は幅 0.1cm、長さ 4.0cm および 6.0cm の 2 種類を用い、解析は、水深 45.0cm のもとで、静水面下 9.0cm の平板断面のまわりで行った。入射波は周期 $T = 2.0sec$ に対して KC 数 4.0 から 0.5 ごとに 10.0 までは変化させ作用させた。

図-2に $KC = 8.0, t/T = 0.5$ における渦点分布図を示す。図中+および-はそれぞれ平板上端および下端から放出された渦点の位置を表す。長さ 6.0cm の平板の場合と比較して、長さ 4.0cm の場合の平板背後の渦の巻き込みが強くなる傾向が見られる。これは、平板の長さが短い程、両端から放出される渦の相互作用が

強くなるためであると思われる。さらに、両者の場合ともに、渦対の成長が半周期間に渡って続き半周期後に、渦対の径は最大となることを付記する。

図-3に KC 数の変化に伴う波力係数の変化を示す。抗力係数 C_D および慣性係数 C_M の位相変化は、微小時間 Δt 内において、モリソン公式中の C_D および C_M が一定であると仮定し、式(3)により算定された波力を用いて、 C_D および C_M に関する連立方程式により算定した。図中において、●および○はそれぞれ、平板の長さを6.0cmおよび4.0cmとした解析結果であり、 C_D および C_M の値は、それぞれ、波峰の位相および波谷の位相における値である。平板長が4.0cmおよび6.0cmの場合ともに抗力係数 C_D は KC 数の増加とともに減少する傾向が見られるが、円柱において C_D が、一般に1.8から1.0程度の値であることと比較すると、平板の場合の C_D はかなり大きな値をとることがわかる。また、平板長が6.0cmの場合の方が、4.0cmの場合に比べて、 C_D の値は全体的に大きな値を示している。 C_M の値に関しては、平板の長さによる大きな違いは見られないが、円柱の場合、一般に、 C_M は2.0から1.5程度であることと比較すると、平板の場合、 C_M はかなり小さな値をとることがわかる。

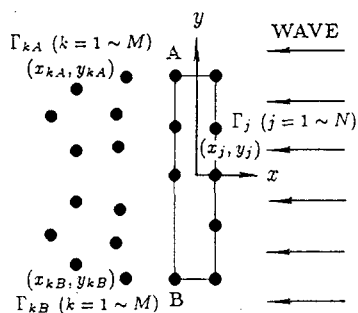


図-1 座標系

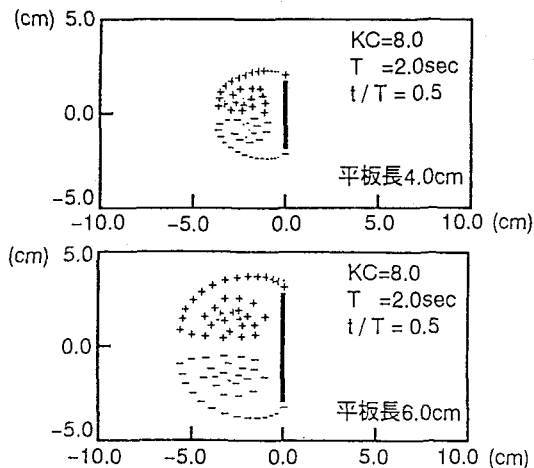


図-2 渦点分布図

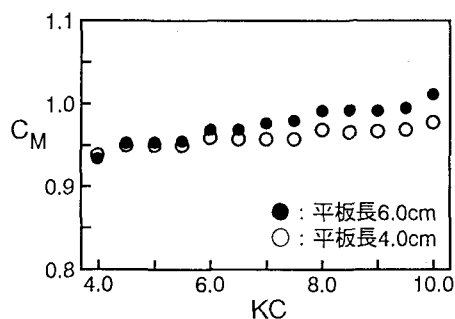
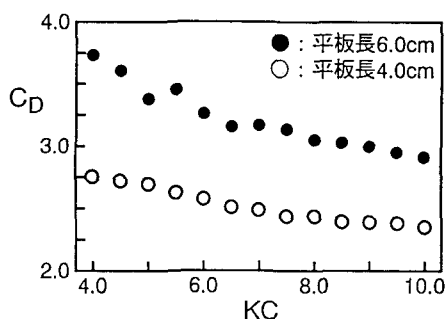


図-3 KC 数の変化に伴う波力係数の変化

4. まとめ

本研究では、渦点分布法を用いることにより、波動場に設置された、剥離渦を伴う平板まわりの流況および波力係数を算定した。その結果、平板の C_D は流れに対向する平板の長さにより異なる値となり、また C_M は円柱の場合よりも小さな、0.9から1.0程度になることが明かとなった。

参考文献

- 1) 石田 啓・北山 真:波による正四角柱の後流渦および波力に関する研究, 土木学会論文集, No.456/II-21, pp.55-64, 1992.
- 2) 石田 啓・斎藤武久:特異点分布法による柱体に働く波力の算定式, 海岸工学論文集, 第39巻, pp.741-745, 1992.
- 3) L.M.Milne-Thomson: Theoretical Hydrodynamics, Macmillan Education Ltd, 1968.