

真円柱列の Blockage Coef. の誘導とそれに基づく 波の反射率と透過率の算定

大阪市立大学工学部 正 員 角野 昇八

大阪市立大学工学部 正 員 小田 一紀

パシフィック・コンサルタント(株) 正 員 伊庭 智生

1. まえがき

昨年の海岸工学講演会他において、任意断面鉛直柱体列による波の反射と透過現象に対する境界値問題に関して、従来よりは取り扱いがさらに厳密と思われる解析結果を発表した¹⁾。得られた反射率 R および透過率 T は、波数 $k (= 2\pi/\lambda)$ と Blockage Coefficient と呼ばれる理論定数 C の関数として、極めて簡単な形で

$$R_R = \sqrt{k^2 C^2 / (k^2 C^2 + 1)} \dots\dots (1.a), \quad T_T = \sqrt{1 / (k^2 C^2 + 1)} \dots\dots (1.b) \quad \text{のように表わされる。}$$

したが、柱体断面形状のみに依存するこの C （長さの次元をもつ）を求めることができれば、線形理論による反射率および透過率は上式より直ちに算定されることになる。この C を求めるためには、等角写像等の理論によって柱体列近傍の流れを解析するか、あるいは数値計算による必要があるが、平板列²⁾や矩形柱列³⁾、疑似円柱列⁴⁾に対しては既に解が得られている。ただ、このうち疑似円柱の断面は、柱体列の隙間が広い場合には円形に近いが、狭くなるにつれて歪み、楕円形になってゆく特性をもっている。したがって式(1)による理論値を実験値と比較した場合、円柱列の場合には、両者の合致の程度は他の柱体列の場合に比べて幾分劣るという難点があった。

そこでここでは、まだ解が示されていない真円柱列に対する C の解析解の誘導を行なうとともに、その値を用いて算定した R および T の理論値と実験値とを比較することにより、得られた C の妥当性を検証する。

2. 真円柱列の Blockage Coef. の誘導

流れの中に無限柱体列が設置される時、列付近の流れは局所的にはゆがめられるが、上下流無限遠方では流速 U の一樣流が保持される（図-1参照）。このような2次元流に対する速度ポテンシャルは、その時間項を省略して次式のように表わされる⁵⁾。

$$\phi = U(x \pm C) \dots\dots (2) \quad \text{式中の符号は、}$$

流れの上流側では負符号、下流側では正符号をとる。この C は、流れに障害物が全く存在しない時には $C = 0$ 、逆に柱体列が完全に閉塞される場合には $C = \infty$ の値をとることにより明らかのように、柱体列による流れの阻害の程度を表わす定数と解釈することができる。

したがってこの特性からも容易に理解されるように、 C は柱体列の付加質量とも密接な関連があり⁶⁾、Sedov⁷⁾は、この C と柱体の単位長さ当りの付加質量 λ_x との間に以下の関係があることを見いだした。

$$\lambda_x = -\rho S + 2\rho D C \dots\dots (3) \quad \text{ここに } \rho \text{ は流}$$

体密度、 S は柱体断面積、 D は隣接柱体の中心間隔である。

それゆえ、既述の方法の他、柱体列の付加質量を知って、

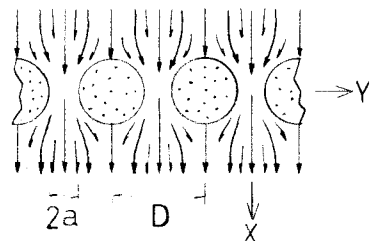


図-1. 柱体列をすぎる流れ

式(3)の係数を用いることにより、 C を求めることができる。一方、円柱列の2次元付加質量については、すでにMassel²⁾により、解析的にその解が求められており、列と直方向に流体が運動する場合には、

$$\lambda_x = 2\pi S / (1 - bc[0; (1 - 2a/D); 1, 1]) \quad \text{----- (4)}$$

ここに $2a$ はスリット幅であり、したがって $2a/D$ は開口率を表わす。式中のMasselによる表記である $bc[\dots]$ は

$$bc[0; (1 - 2a/D); 1, 1] = \pi^2(1 - 2a/D)^2 / 12 \quad \text{----- (5)} \quad \text{のように}$$

算定されるので、結局式(4)は

$$\lambda_x = 24\pi S / \{12 - \pi^2(1 - 2a/D)^2\} \quad \text{----- (6)} \quad \text{のように}$$

なる。上式を式(3)に代入し、また同時に $S = \pi(D - 2a)^2 / 4$ であることを考慮すれば、 C は以下のように求めることができる。

$$C = D \frac{\pi}{8} \left(1 - \frac{2a}{D}\right)^2 \frac{36 - \pi^2(1 - 2a/D)^2}{12 - \pi^2(1 - 2a/D)^2} \quad \text{----- (7)}$$

図-2は、式(7)による C を C/D として無次元化し、開口率 $2a/D$ の関数として表わしたものである。図中には、次式で表わされる疑似円柱列に対する C の値も併せて示した。

$$C = D/2 \cdot (1 - 2a/D) \cdot \cot(\pi/2 \cdot 2a/D) \quad \text{----- (8)}$$

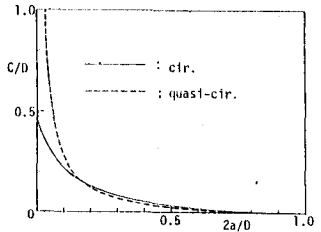


図-2 Blockage Coef.

この図に示されるように、開口率がほぼ0.1以上の場合、両者の対応は比較的良好であるが、それ以下の開口率に対しては、両者の値は大きく異なってくる。また、既述のように、 $2a/D \rightarrow 0$ となる時 $C \rightarrow \infty$ となるべきであるが、ここに得られた真円柱列に対する C は $2a/D = 0$ において $C/D = 4.816\dots$ の値をとる。したがって $2a/D = 0$ の極く近傍の値に対しては、式(7)による値の精度は悪くなっていることが予想される。

3. 反射率および透過率

式(7)および式(1,a)とから求められる r_R の値を D/L の関数として、図-3に示す。図中には、同条件下にある実験値¹⁾および式(8)の C より算定される疑似円柱列に対する理論値²⁾も示した。これらの図によれば、ここで求めた真円柱列の C を用いた理論値と実験値との対応は、疑似円柱列の C を用いた場合に比べて一段と良くなっている。したがって、ここに誘導した C の妥当性は証明されたものと思われる。ただ開口率が $2a/D = 0.03$ の場合には理論値と実験値との対応は悪くなるが、その理由としては、既述の式(7)の C の $2a/D = 0$ 近傍における精度の悪さが考えられる。一方、式(1,b)より求められる r_T の値は、理論にはエネルギー損失の影響が全く考慮されていないために、当然のことながら実験値よりは一般に幾分か大きい値を与える。このなかで図-4は、 $2a/D = 0.23$ の場合の値を示すが、理論値は実験値とほぼ合致している。したがって円柱列で $2a/D \geq 0.25$ の場合には、エネルギー損失の影響は無視できる程小さいことが結論づけられよう。

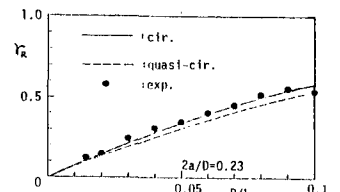
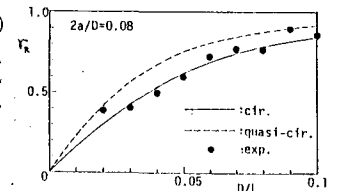
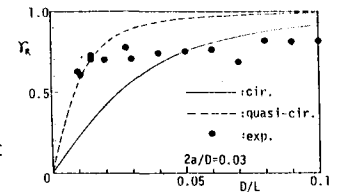


図-3 反射率

図-4は、 $2a/D = 0.23$ の場合の値を示すが、理論値は実験値とほぼ合致している。したがって円柱列で $2a/D \geq 0.25$ の場合には、エネルギー損失の影響は無視できる程小さいことが結論づけられよう。

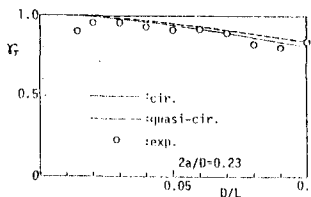


図-4 透過率

4. 参考文献：省略