

CS-43

静止円柱の空力特性に及ぼす音響の効果

東京大学大学院 学生員 比江島慎二
東京大学 正 員 木村 吉郎

日本大学 正 員 野村 卓史
東京大学 正 員 藤野 陽三

1. まえがき 構造物の耐風安定性を向上するために、物体まわりの剥離せん断層の不安定性を音響により刺激する手法を用いることが考えられる。実際にこの手法がある程度有効であることが風洞実験によって確認されている[1]。しかし音響が物体まわりの流れに影響を及ぼすメカニズムは明らかになっていない。そこでその解明の第一段階として静止円柱に音響を加えたときの空力特性の変化を数値流体解析により検討した。

2. 解析方法 解析は非圧縮性Navier-Stokes方程式に混合補間による有限要素法を適用し、時間積分にはPredictor-Corrector法を用いた。音響攪乱は円柱表面上（前方からの角度 θ をなす2点）における周期的な湧き出し・吸い込みと仮定し（図-1）[2]、その2点の円柱表面境界上の流速を次式で与えることとした。

$$v_a = U_a \sin(2\pi f_a^* t^*) \quad (1)$$

f_a^* は無次元音響周波数、 t^* は無次元時間であり、それぞれ主流流速 U_∞ と円柱直径 D で無次元化した。また音響による渦励振制御メカニズムは剥離せん断層の乱流遷移と深く関わっていると考えられる[1]ことから、乱流モデルを用いず直接シミュレーションを行った。要素分割図を図-2に示す。

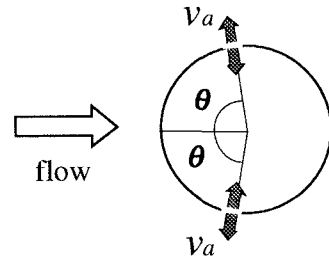


図-1 音響攪乱

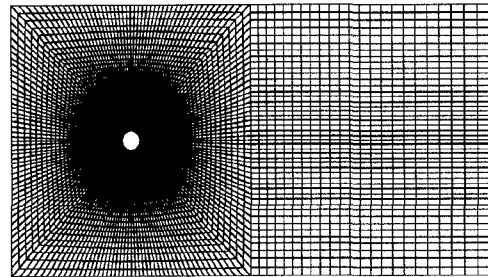


図-2 メッシュ分割

3. 解析結果 レイノルズ数 2.0×10^3 において3種類の周波数の音響（いずれも $U_a = 0.1 U_\infty$ ）を剥離点付近と

思われる $\theta=80^\circ$ の点で加えたときの変動抗力係数及び変動揚力係数の時刻歴とパワースペクトルの変化を示したのが図-3,4である。3種類の音響周波数のうち1つは音を加えないときのカルマン渦の放出周波数($f_s^* = 0.21$)とし、他の2つはそれぞれ次式で与えられる遷移波周波数(f_t^*)の予測値とした。

$$\text{Weiの式} \quad \frac{f_t^*}{f_s^*} = \left(\frac{Re}{470} \right)^{0.87} \quad (2)$$

$$\text{Bloorの式} \quad \frac{f_t^*}{f_s^*} = 0.1 Re^{0.5} \quad (3)$$

ここで遷移波とは、円柱表面から剥離した剥離せん断層が層流から乱流へ移行する際、乱れに先立って現れる正弦波状の微小変動であり、剥離せん断層の不安定性によって発生することが知られている[3][4]。風洞実験[1]によれば、円柱の渦励振制御に最も効果のある音響周波数はWeiの式から得られる遷移波周波数の予測値とほぼ等しいという結果が得られている。図-4においてもWeiの式による遷移波周波数に等しい音響（ $f_a^* = 0.73$ ）が変動抗力や変動揚力を低減させているのが分かる。一方Bloorの式から得られる遷移波周波数の予測値にほぼ等しい周波数の音響（ $f_a^* = 0.93$ ）を加えた場合、円柱後流の放出渦の周波数が変化している。遷移波周波数付近の音響付加により渦放出周波数が変化するという現象は既往の静止円柱に対する音響付加実験においても確認されている[5][7]。なお今回の解析では、カルマン渦放出周波数に等しい周波数の音響（ $f_a^* = 0.21$ ）では遷移波周波数付近の周波数の音響ほどの効果は得られなかった。

今後は、音響攪乱の周波数、強さ、音響を加える位置等を変化させるとともに円柱まわりの流れの変化あるいは渦励振に対する効果についても検討していく予定である。

<参考文献> [1] 比江島他：土木学会第49回年次学術講演会講演概要集，第1部(B)，pp.1030-1031，1994。 [2] 昆沙賀，并

上：第7回数値流体力学シンポジウム講演論文集, pp.411-414, 1993. [3] Wei, T and Smith, C. R. : *J. Fluid Mech.*, Vol. 169, pp.513-533, 1986. [4] Bloor, M. S. : *J. Fluid Mech.*, Vol. 19, pp.290-304, 1964. [5] Hsiao, F. B. et al. : *Journal of Fluids and Structures*, 5, pp.427-442, 1991. [6] Zobnin, A. B. et al. : *Sov. Phys. Acoust.*, 35(1), Jan.-Feb., pp.37-39, 1989. [7] 岡本：空気調和・衛生工学会論文集, No. 44, pp.1-10, 1990.

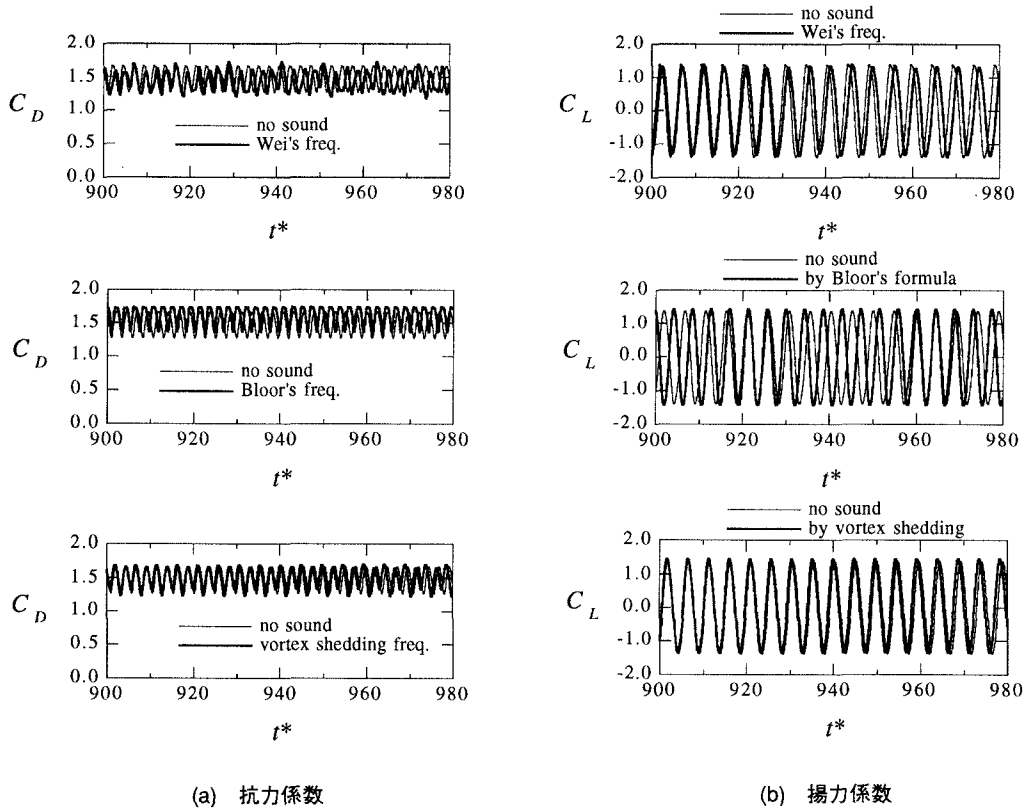


図-3 変動空気力係数の時刻歴

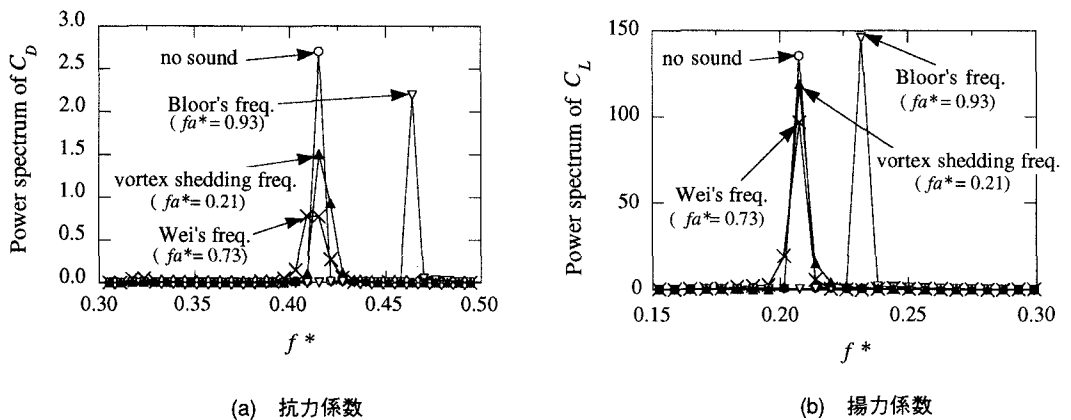


図-4 変動空気力係数のパワースペクトル