

I - B2 加振円柱の空気力特性に及ぼす周期的湧き出し・吸い込みの影響

— 逆対称攪乱の場合 —

九州大学工学部 正会員 比江島慎二^{*1}

日本大学理工学部 正会員 野村 卓史^{*2}

1. はじめに

円柱まわりの剥離せん断層の不安定性に関わる周波数の音響を円柱周辺流れに付加することにより、円柱の渦励振が抑制されることが著者らの行った風洞実験[1]において明らかとなった。さらに音響の効果を円柱表面上の周期的湧き出し・吸い込み（周期的攪乱）で置き換えて数値流体解析[2][3]を行ったところ、風洞実験と同様に剥離せん断層の不安定性に関わる周波数の攪乱が円柱周辺流れの特性を変化させたり、振動円柱を空力的に安定化させるのに効果が高いことなどが示された。これらの解析では、周期的攪乱は円柱両側の剥離点付近の2ヶ所に設け、それぞれの攪乱の変動流速の大きさ、周波数、位相が等しいすなわち対称攪乱を仮定していた。しかし風洞実験において風洞内に生じた音場は複雑に変化していたと考えられ、円柱両側の剥離せん断層は必ずしも対称攪乱を受けていたとは限らない。そこで本研究では、2つの周期的攪乱の位相が180°異なる逆対称攪乱を仮定し、逆対称攪乱が円柱の空力特性に及ぼす影響について数値流体解析により検討する。

2. 解析方法

振動円柱周辺流れの解析方法は、以前の解析と同じ手法を用いた[2][3]。すなわち物体変位とともに解析メッシュを变形するALE法を適用し、2次元のNavier-Stokes方程式に基づいて有限要素解析を行った。Navier-Stokes方程式はSUPG法により離散化し、得られた有限要素方程式を予測子・修正子法により時間積分した[4]。

境界条件及び解析メッシュも以前の解析と同様とする。流入流速 U は一様とし、円柱直径 D を代表長とするレイノルズ数 $Re=2000$ で一定とした。時間積分における無次元時間刻みは $\Delta t^* = U\Delta t/D = 0.01$ とした。

周期的湧き出し・吸い込み（周期的攪乱）も以前の解析と同様に円柱表面上の2点に配置し（図-1）、周期的攪乱による変動流速 $v_a = U_a \sin(2\pi f_a t)$ (U_a, f_a はそれぞれ変動流速の振幅および周波数) を与え境界条件として扱った。ただし、円柱上2点の周期的攪乱の振幅、周波数は等しいが、位相は逆位相すなわち逆対称攪乱とする。上流側よみ点と各周期的攪乱の付加位置とのなす角度 ϕ_a は、剥離点近傍と思われる $\phi_a = 80^\circ$ とした。 f_a については、以前行った解析[2]において円柱周辺の流れ特性を最も顕著に変化させることができた $f_a/f_s = 4.45$ (f_s は $Re=2000$ における静止円柱の後流渦放出周波数) に設定した。周期的攪乱の強さは、流入流速 U と円柱直径 D の積 ($U \times D$) に対する片側の攪乱の変動流量のr.m.s値 $q_{r.m.s}$ の比 $C_q = q_{r.m.s}/(UD) \times 100 = U_a \Delta x / (\sqrt{2} UD) \times 100$ (%) (Δx は攪乱付加位置に対応する円柱表面上の解析メッシュの節点とそれに隣り合う節点との距離) とするとき、 $C_q = 0.6$ (%) とした。

円柱は片振幅 $z_0 = 0.2D$ で流れ直角方向に強制振動させた。円柱に作用する非定常揚力において、円柱変位比例成分 C_{LR} および円柱速度比例成分 C_{LV} を次式により求めた。ただし、 $L(t)$ は時刻 t における非定常揚力、 f_m は円柱加振振動数、 $z_m(t)$ 、 $\dot{z}_m(t)$ はそれぞれ時刻 t における円柱の流れ直角方向変位および速度、 ρ は流体密度である。

$$C_{LR} = \frac{2}{T} \int_0^T \frac{L(t)}{\rho U^2 D} \frac{z_m(t)}{z_0} dt, \quad C_{LV} = \frac{2}{T} \int_0^T \frac{L(t)}{\rho U^2 D} \frac{\dot{z}_m(t)}{2\pi f_m z_0} dt \quad (1, 2)$$

3. 解析結果

図-2によれば、攪乱なしのとき無次元加振振動数 $f_m D/U = 0.19 \sim 0.23$ 付近で $C_{LV} > 0$ すなわち負減衰となる。逆

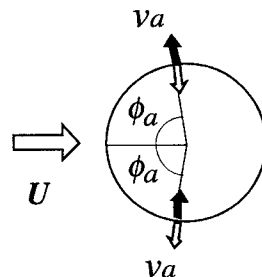


図-1 逆対称攪乱

キーワード：渦励振、円柱、周期的攪乱、剥離せん断層、非定常空気力

*1 〒812-81 福岡県福岡市東区箱崎 6-10-1 TEL 092-642-3268 FAX 092-642-3306

*2 〒101 東京都千代田区神田駿河台 1-8 TEL 03-3259-0411 FAX 03-3259-0411

対称攪乱の付加によって、これらの負減衰となる加振振動数領域で C_{LI} が低減し、空力的に安定化する傾向が見られる。なお比較のために示した対称攪乱の場合[3]は、負減衰を生じる加振振動数域が狭まり $f_m D/U = 0.231$ 付近(図中の矢印)に C_{LI} が鋭いピークを持つ。以前の解析[2][5]では、対称攪乱付加により静止円柱の後流域の不安定性が変化し、後流渦放出周波数 f_s が攪乱なしの場合の $f_s D/U = 0.208$ から $f_s D/U = 0.231$ に変化することなどが分かっており、それと同様な不安定性の影響によって $f_m D/U = 0.231$ 付近に C_{LI} の鋭いピークを生じると考えられる。しかし逆対称攪乱を付加した場合には、静止円柱の後流渦放出周波数が変化しないことなどを別途確認しており、円柱後流の不安定性は変化していないと考えられる。

攪乱付加により C_{LI} の特性が変化する要因を探るため、円柱変位に対する揚力の位相遅れ β ($= \tan^{-1}(C_{LI}/C_{LR})$) 及び揚力の絶対値 $|C_L|$ ($= \sqrt{C_{LR}^2 + C_{LI}^2}$) について調べた結果を図-3及び図-4に示す。 $C_{LI} = |C_L| \sin \beta$ なので位相遅れが $\beta = 90^\circ$ から遠ざかるほど C_{LI} が減少し $\beta = 90^\circ$ に近づくほど C_{LI} が増加するように働くが、逆対称攪乱の場合はほとんどの加振振動数において、攪乱なしの場合よりも β が 90° から遠ざかるような値になっており、図-2の C_{LI} 値の低減傾向と一致する。対称攪乱の場合も、各加振振動数における β の変化は C_{LI} の増減傾向とほぼ一致する。一方、各加振振動数における $|C_L|$ の攪乱なしの値からの変化は、両攪乱の場合とも、 C_{LI} の攪乱なしの値からの増減傾向とはあまり一致しない。すなわちいずれの攪乱の場合も、 C_{LI} の特性変化には、揚力の絶対値の変化よりも位相遅れの変化の寄与が大きいと言える。ただし $f_m D/U = 0.231$ (図中の矢印)において逆対称攪乱を付加した場合には、位相遅れが攪乱なしの場合の $\beta = 83^\circ$ から $\beta = 139^\circ$ に変化すると同時に、 $|C_L|$ も攪乱なしの場合よりも減少しており、 β と $|C_L|$ の両方の変化が C_{LI} を低減させるように作用している。また同じく $f_m D/U = 0.231$ (図中の矢印)において対称攪乱を付加したときに、位相遅れが攪乱なしの場合の $\beta = 83^\circ$ から $\beta = 62^\circ$ に変化するにもかかわらず C_{LI} がほとんど低減しないのは、前述の円柱周辺流れの不安定性によって $|C_L|$ が急激に増加するためであることが分かる。

4. まとめ

逆対称攪乱が加振円柱の空力特性に与える影響は対称攪乱の場合とは多少異なるが、対称攪乱の場合と同様に加振円柱を空力的に安定化させる効果があることが明らかとなった。このような安定化効果が、音響による円柱の渦励振低減の要因の1つとして考えられる。

なお本研究の遂行にあたり、東京大学の木村吉郎助教授、藤野陽三教授には貴重な助言を頂きました。記して謝意を表します。

<参考文献> [1] 比江島他：土木学会論文集，No.525/I-33，pp.171-179，1995。[2] 比江島他：第14回風工学シンポジウム論文集，pp.187-192，1996。[3] 比江島他：日本風工学会誌，No.71，1997。[4] 野村：土木学会論文集，No.455/I-21，pp.55-63，1992。[5] 比江島他：土木学会第51回年次学術講演会講演概要集，第1部(A)，pp.380-381，1996。

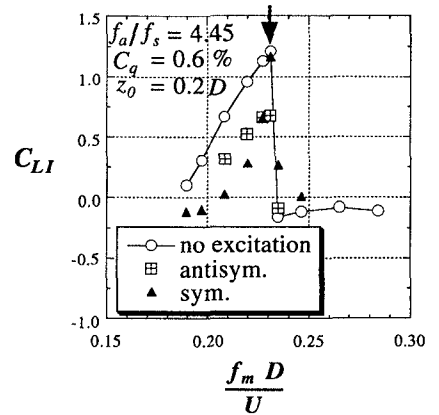


図-2 非定常揚力の円柱速度比例成分 C_{LI}

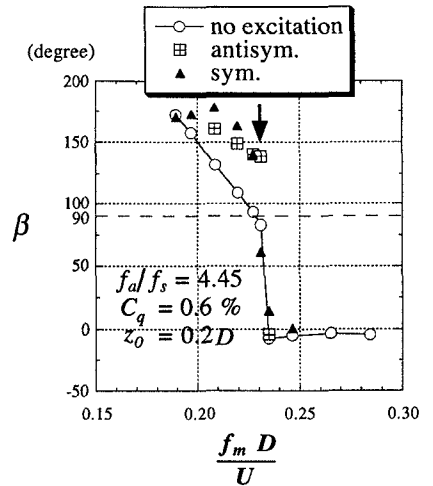


図-3 円柱変位に対する揚力の位相遅れ β

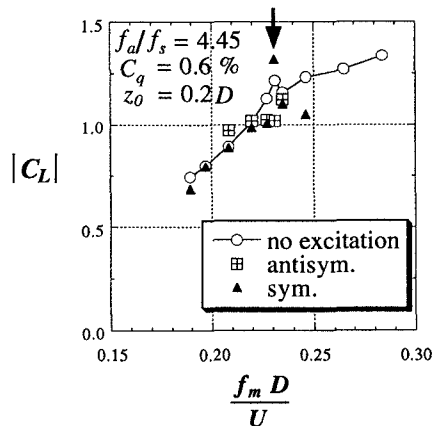


図-4 揚力の絶対値 $|C_L|$