

加振円柱の空気力特性に及ぼす周期的攪乱の影響

九州大学 正会員 比江島慎二

1. まえがき

音響攪乱を円柱周辺流れに付加し円柱まわりの剥離せん断層の不安定性を刺激することによって、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]によって示された。また音響の代わりに、円柱表面上に設けた周期的湧き出し・吸い込みにより円柱周辺流れを刺激する数値流体解析[2]においても、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や渦励振特性を変化させるのに効果が高いことが明らかとなった。剥離せん断層の不安定性による周期的攪乱の増幅が円柱周辺流れの特性の変化の要因となっていると考えられるが、どのような流れ特性の変化あるいは空力特性の変化が渦励振低減の要因になっているかは明らかでない。本研究では、円柱を強制振動させたときの円柱周辺の流れについて数値流体解析を行い、周期的攪乱が振動円柱の空力特性に及ぼす影響について検討する。

2. 解析方法

振動円柱まわりの流れの解析方法は、以前に行った解析と同じ手法を用いた[2]。すなわち物体の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 方程式にもと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 Predictor-Corrector 法により時間積分した[3]。

図-1に境界条件を示す。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。図-2は解析に使用したメッシュ分割を示し、円柱周辺の放射状のメッシュは ALE 法にもとづく変形メッシュ、その他は非変形メッシュである。なお時間積分における無次元時間刻み $\Delta t^* = U\Delta t/D = 0.01$ 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-3)、周期的攪乱による変動流速を以下のように与え境界条件として扱った。

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

ただし、 U_a, f_a はそれぞれ変動流速の振幅および周波数である。なお円柱上2点の周期的攪乱の周波数、位相および振幅は等しいすなわち対称攪乱とする。 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 $f_a/f_s = 4.45$

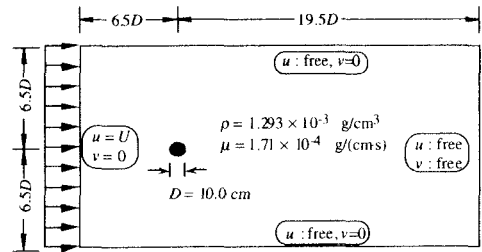


図-1 境界条件

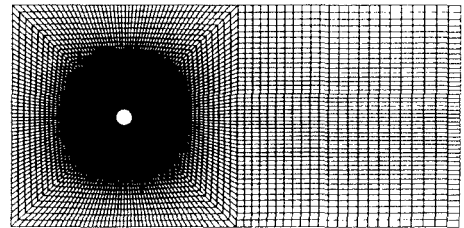


図-2 メッシュ分割

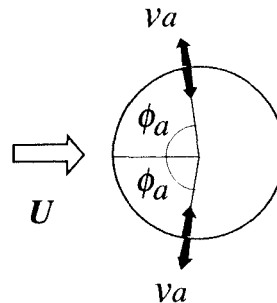


図-3 周期的攪乱

(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。また上流側よどみ点と周期的攪乱付加位置とのなす角度 ϕ_0 は、剥離点近傍と思われる $\phi_a = 80^\circ$ とした。

円柱は変位振幅 $z_0 = 0.2D$ で流れ直角方向に強制振動させた。加振円柱に作用する非定常揚力において、円柱変位に比例する成分 C_{LR} および円柱速度に比例する成分 C_{LU} は次式によって求めた。

$$C_{LR} = \frac{2}{T} \int_0^T \frac{L(t)}{\frac{1}{2} \rho U^2 D} \frac{z_m(t)}{z_0} dt \quad (2)$$

$$C_{LU} = \frac{2}{T} \int_0^T \frac{L(t)}{\frac{1}{2} \rho U^2 D} \frac{\dot{z}_m(t)}{2\pi f_m z_0} dt \quad (3)$$

ただし、 $L(t)$ は時刻 t において円柱に作用する非定常揚力、 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の変位および速度である。

3. 解析結果

加振円柱の揚力のパワースペクトル値がピークとなる周波数 f_{peak} について、攪乱を付加しない場合および $U_a = 0.1U, 0.5U$ の攪乱を付加した場合について解析した結果を図-4に示す。攪乱を付加しない場合、円柱の無次元加振振動数 $f_m D/U = 0.19 \sim 0.25$ 付近では加振振動数成分のみにパワースペクトルのピークが見られ、この加振振動数域でロックインが生じていることを示唆する。その他の加振振動数域では、加振振動数成分以外にストローハル成分($f_{peak} D/U = 0.20$ 付近)も見られる。攪乱を付加した場合は、ロックインが生じる加振振動数域が狭まる傾向が見られ、この傾向は $U_a = 0.1U$ よりも $U_a = 0.5U$ のときの方が顕著である。なお $U_a = 0.5U$ の場合に見られる $f_{peak} D/U = 0.25$ 付近の成分は、周期的攪乱による後流渦放出周波数の増加[2]に起因すると考えられる。

図-5は加振円柱の揚力の円柱速度比例成分 C_{LU} を示す。

攪乱を付加しないとき、加振振動数 $f_m D/U = 0.19 \sim 0.23$

付近で $C_{LU} > 0$ すなわち負減衰となる。攪乱を付加することによって、負減衰となる加振振動数域で C_{LU} が低減されており、空力的に安定化する傾向が見られる。今後さらに加振振動数を細かくとって解析を行い、周期的攪乱が空力安定性に及ぼす影響についてより詳しく検討する予定である。

なお本研究の遂行にあたり、日本大学の野村卓史助教授ならびに東京大学の木村吉郎助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] 野村：土木学会論文集，No.455/I-21，pp.55-63，1992。

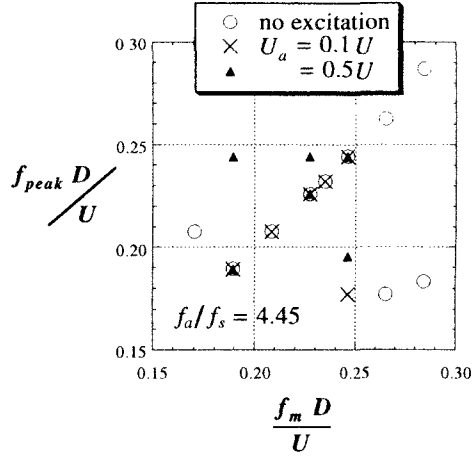


図-4 揚力のパワースペクトルにおけるピーク周波数 f_{peak}

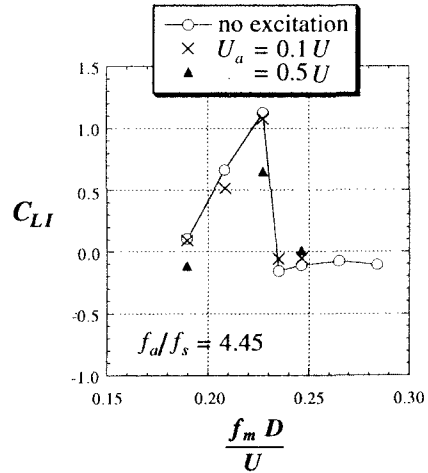


図-5 加振円柱に作用する非定常揚力の円柱速度比例成分 C_{LU}