

縦並びシリンダーにおける遅延時間計測について (Delay Time Measurements on Tandem Cylinders)

京都大学工学部 正 員 中川 博次 京都大学工学部 正 員 C・ナイスリー
京都大学大学院 学生員 〇川越 正啓

1. まえがき 開水路中に2本のシリンダーを置くと、その位置関係が変わることによってシリンダーにかかる力が変化してくる。本研究では、縦並びの2本のシリンダーを固定した場合 (static data) と、下流シリンダーを振動させた場合 (dynamic data) で実験を行ない、static data に遅れ時間モデルを用いて、その適用性を探った。

2. 実験の概要 (1) jet switching 流れ方向とシリンダーの中心間の方向がなす角度 β_{eq} (図1a) が約10度で、jet switching が発生する。図2aに示すように2本のシリンダー間に流れが入り込むと、シリンダー間では流速が大きく、圧力が小さくなる。そして、上流シリンダーの中心を通る流軸線方向に向かって力が働く (jet flow)。図2bに示すようにシリンダー間に流れがほとんど入り込まない状態を wake flow と呼び、この2つの flow が交互に発生することを jet switching と呼ぶ。

(2) 遅れ時間モデル 図1aに示すように座標を設定する。static force は図1dの破線に示すダイヤグラムをとると考える。下流シリンダーに、図1bに示す強制振動を与えると、jet switching が瞬時に行なわれるとすれば、図1cの破線で示す階段関数になる。ところが、実際には、jet switching は多少の時間を要するので、実線で示すダイヤグラムを考える。 τ_{js} は遅れ時間である。この遅れ時間のために図1dの実線のようなダイヤグラムができる。ここで、ループの方向が時計回りであれば excitation、反時計回りであれば damping を示している。

(3) 実験装置及び方法 長さ5m、幅1mの開水路を用いて水深を35cmに設定した。シリンダーは直径16.5cmの塩化ビニール製のものを用いた。 β_{eq} は10.5°とし、初めは下流シリンダーを振動させずに抗力及び揚力を計測した。次に下流シリンダーを振動させ、振動数、振幅、流速を変えて揚力を計測した。

3. 実験結果及び考察 図3に $L/D = 1.5$ ($L = \xi$, D : シリンダーの直径)、 $T/D = 0.27$ ($T = \eta$) における static data の抗力係数 C_d 及び揚力係数 C_l を示す。 C_d が $Y/D = 0$ で急激に jump している様子がわかる。ここで、速度すなわちレイノルズ数による変化の原因は、上流シリンダーの後流において、その流れの剥離点が変わっていることにあると思われる。

図4は実験により得られた dynamic data であり、下流シリンダーの位置及び揚力を示している。これより、遅れ時間 τ_{js} 及び周期 τ_c を求め、縦軸に $\log(\tau_{js}/\tau_c)$ 、横軸に reduced velocity ($U_r = V/fD$ V : 流速 f : シリンダーの振動数 D : シリンダーの直径) の常用対数をとって表した (図5)。遅れ時間が U_r 及び L/D の関数になっていることがわかる。

ここで、遅れ時間を考慮した準定常理論を用いて $C_l - Y/D$ グラフを求めた。揚力係数の

Hiroji NAKAGAWA, Charles W. KNISELY, Masahiro KAWAGOE

static dataを、最小自乗法を用いて

$$C_l = a \cdot (Y/D)^3 + b \cdot (Y/D)^2 + c \cdot (Y/D) + d \quad \text{.....①}$$

の形に表す。シリンダーの位置は $Y = A \sin \omega t$ ② で表すことができる。

ここで、新たに時間 $(t - \tau_{js})$ でのシリンダーの位置を表す関数を考えると、

$$Y_D = A \sin \omega (t - \tau_{js}) = A \sin 2\pi f (t - \tau_{js}) \quad \text{.....③}$$

時間 $(t - \tau_{js})$ での揚力係数 C_{lD} もこの Y_D を用いて表すことができる。すなわち、

$$C_{lD} = a \cdot (Y_D/D)^3 + b \cdot (Y_D/D)^2 + c \cdot (Y_D/D) + d \quad \text{.....④}$$

この遅れ時間を考慮した揚力係数 C_{lD} を縦軸に、 Y/D を横軸にとりグラフで示したものが図6の破線で示すループである。実線のループは実験による dynamic data を示している。

又、一点鎖線はFFTアナライザーを用いて、相互相関関数を取り、遅れ時間として上と同様に示したものである。条件を変えて検討した結果、以下の結論を得た。(I) 遅れ時間は L/D 、 U_r 、 Re の関数である。(II) U_r が20程度以下の時には、遅れ時間を用いた準定常理論の適用は妥当でない。(III) wake flow から jet flow に変わるときの遅れ時間と、jet flow から wake flow に変わるときの遅れ時間とは等しいとはいえない。

(IV) Re 、 U_r が大きいときは、本モデルは実験結果によく合致する。

4. あとがき 遅れ時間モデルを用いたタンDEM・シリンダーの excitation 及び damping の予測も今後の重要な課題である。

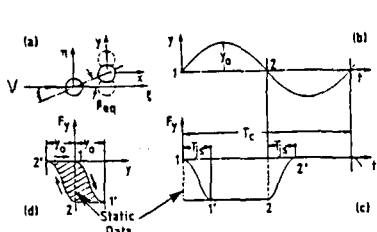


図-1 DELAY TIME MODEL

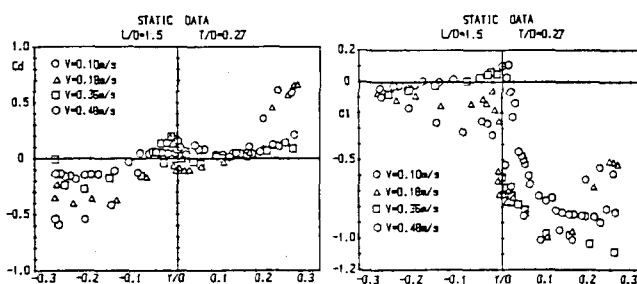


図-3 抗力係数及び揚力係数

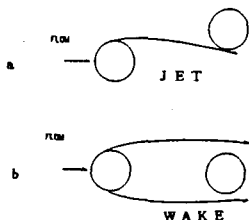


図-2 JETFLOW & WAKEFLOW

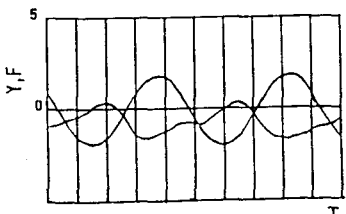


図-4 シリンダーの位置及び揚力

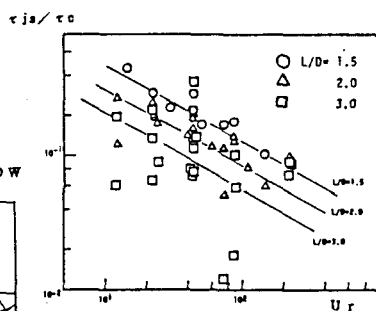


図5 $\tau_{js}/\tau_c - U_r$

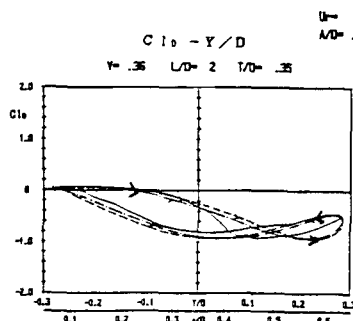


図-6 DYNAMIC DATA