非定常流研究雑談

Research on Aerodynamic Phenomena Related to Unsteady Flow

中村 泰治

Yasuharu Nakamura

本稿は流体実験相似研究会議事録に基づき、平成7年11月16日東京において御講演いただきました内容を要約し、当日御紹介いただきました図面をテーマ毎に掲載したものです。

中村泰治先生の御冥福を心よりお祈り申し上げます。

非定常流研究雑談

熊本工業大学
構造工学科
中村泰治

1. 運動物体周囲流の特性
2. ギャロッピングの発生機構
3. 刺激—応答の立場より Boundary layer receptivity との類似
4. 乱れのスケール効果
Intrinsic length scales
Taylor 仮説、I. Castro の質問

1. 運動物体周囲の特性

非定常流は wake の影響を受け、物体運動の汎関数として記述される。物体の運動によって wake がうねる。

wake は過去の運動を記憶しており、Biot-Savart 則により物体表面へ影響を及ぼしている。速い（無次元風速が低い）振動では wake の影響が弱まる。曲げ 1 自由度振動中の正方形角柱の表面圧力が角柱背後の splitter plate の有無によらず変化しないことも、この特性を裏付けている。

振動翼でも同じことが言えるのではないかとこの予測に基づき、振動翼理論に戻って調査。 $k \rightarrow \infty$ (k : 無次元振動数, $k = b\omega/U$) の速い振動では、Theodorsen 関数 $C(k) = F(k) + iG(k)$ は $G \rightarrow 0$ となり、正方形角柱と同じ特性となる。（wake の影響 $\rightarrow$ 小） $C(k \rightarrow \infty) = F(k \rightarrow \infty) = \phi(0) \neq 0$ ($\phi(\tau)$: Wagner 関数) となることの理由は、姿勢急変直後の rear separation point が翼背面 ($\phi(0) = 0$) より trailing edge に移動し、starting vortex が発達するまで ($\phi(0) \neq 0$) を $\tau = 0$ の範ちゅうに含めているため、姿勢急変後の圧力分布形系は相似を保ちながら時間の経過に伴い一定値へ漸近する。

（中村, Fluid Dynamics Research, 1992）

1. 非定常流の特性 — Wake の影響, $F(t) = F[y(t)] =$ 物体運動の汎関数

中村・平田:	J. Fluids & Structures	1991
中村・平田・占部:	"	1991
中村・平田・鹿島:	"	1994
中村・平田:	Trans. Japan Soc. Aero. Space Sci.	1994

速い振動 $\rightarrow$ Wake の影響消失

表面圧特性

定常成分

非定常成分

Phase も同様

2. ギャロッピングの発生機構

下方へ振動中の曲げ1自由度振動系で、上面の剥離せん断層の曲率小、境界相外流速小、圧力大、下面の剥離せん断層の曲率大、圧力小がギャロッピングの基本機構と言われているが、もしそうならあらゆる断面でギャロッピングが生じなければならない。(しかし実際は矩形断面の場合辺長比 $B/D > 0.7$ で発生)したがって、基本機構は必要条件であって十分条件ではない。また、基本機構は上下面の圧力の独立を暗に仮定しているが、実際は上下面で連絡するはず。

上下面の圧力を独立させるため、splitter plateを挿入すると、どのような断面比を持つ bluff body でもギャロッピング発生。splitter plateの有無によらず流れのパターンが同一であることから、wakeの影響が消える速い振動 (low speed galloping) が発生。

臨界断面 ($B/D=0.7$) より slender な断面では、再付着型圧力分布により high speed galloping が発生。

2. ギャロッピングの発生機構

2.1 基本機構

基本機構

=ギャロッピング発生の必要条件
しかし、十分条件とならぬ

— 上下面の流れの独立を暗黙に仮定 —

2.2 上下面の独立—発想の逆転

1. スプリット板の挿入
→
2. 速い振動—Wakeの影響消失 (low U ギャロッピング)
→
3. 臨界面以後の high U ギャロッピング—再付着型圧力分布
↑
研究の軌跡

3. 刺激が応答に与える影響

T S波発生における boundary layer receptivity との類似から考察. 刺激の scale が物体周囲流の固有な (intrinsic) scale に近いことが必要. たとえば, 静止物体では固有時間 scale (T_v) はカルマン渦の周期, 固有空間スケール (λ_v) はカルマン渦列の波長 (物体代表長 D 程度). 刺激が T_v , λ_v に近くないと振動応答は生じない. 振動物体では, 物体の固有振動数を f_B , 物体振動による wake のうねりの空間 scale を λ_B としたとき, 物体の鉛直振動による 1 次刺激 (f_B , $\lambda_B = \infty$) が wake に対し 2 次刺激 (f_B , $\lambda_B \neq \infty$) を与え, wake のうねりを引き起こす. 境界層の T S 波 (f_{TS} , λ_{TS}) に対し, f_{TS} に近い音波 ($\lambda_s \gg \lambda_{TS}$) を印加すると著しく遷移が促進される. これは, 平板上の突起や粗度によって secondary wave ($\lambda \sim \lambda_{TS}$) が発生し, 遷移促進の原因となるため. 刺激-応答の関係もこれと同様.

3. 刺激-応答の立場より

TS波発生における boundary layer receptivity との類似
 相対座標系による考察
 (流れ模様と座標系)

刺激が応答に与える影響:

"刺激の scales が物体周囲流の intrinsic scales に
 近いことが必要"

時間と空間の scales

静止物体

Intrinsic time scale $\sim T_v$

Intrinsic spatial scale $\sim \lambda_v \sim h$

振動物体

物体運動 → Wake のうねり
 刺激 応答

$f_B \sim f_v$ の時共振

物体座標系より見る

物体鉛直運動 → 1 次刺激 = 振動数 f_B , $\lambda_B = \infty$ の
 (primary response) 鉛直ガスト

1 次刺激 → 2 次刺激

= Wake のうねり f_B , λ_B

最終応答 $F[y(t)]$
 に至る

$$\overline{U} = \frac{U}{f_B h} = \frac{\lambda_B}{h}$$

水平ガストについても同じ

Boundary layer receptivity

f_{TS} に近い音波 ($\lambda_s \gg \lambda_{TS}$) を印加 → 著しく遷移促進

何故?

A. 平板上の突起 or 粗さより, Secondary

wave ($\lambda \sim \lambda_{TS}$) 発生

4. 乱れのスケール効果

小スケールの乱れ ($L_x/D \ll 1$) (剥離せん断層厚程度のスケール) は再付着の促進に、物体スケールの乱れ ($L_x/D \sim 1$) (カルマン渦程度のスケール) は渦との強い相互作用にそれぞれ寄与。後者は3次元物体の場合共鳴による渦強度の増加、2次元物体の場合スパン方向の相関度の低下を招く。3番目の代表スケールとしてwakeのうねり(2次的刺激)の波長が挙げられる。

4. 主流の乱れの影響

乱れ=強さとスケール
 $u'/U \quad L_x/h$

大気乱流 $L_x/h > 1$, $u'/U=10\sim 20\%$

Scale効果のパラドックス

u'/U 影響大
 L_x/h 影響なし

風洞実験 $L_x/h < 1$

① 小スケール $L_x/h \ll 1$
 再付着の促進

② 物体スケール $L_x/h \sim 1$
 渦との強い相互作用
 3D渦: 共鳴→強化
 2D渦: Spanwise → 弱体化
 相関の低下

中村・大屋 J.Fluid Mech. 1983
 " " 1984
 " " 1986
 中村・小園 " 1987

静止物体の持つintrinsic spatial scales

Shear layer thickness t (再付着に関係)
 物体のlateral scale h (カルマン渦)

Implicit scaleとしてのwakeのうねりの波長 (Taylor仮説のもとに)

I. Castro,

$L=U\tau$

どんなtime scaleの刺激でもそれが直接応答を引き起こすわけではない。2次的刺激としてwakeのうねりが発生

(質疑)

運動物体周囲の特性

- $G=0$ になることが、準定常の仮定が成立し渦の影響が無くなることと等価と考えて良いか。
- その通り。
- Kussner 問題では Kussner 関数 $\Psi(0) = 0$ となるが、時間原点を断面前縁に移動させた修正 Sears 関数も $k \rightarrow \infty$ で 0.5 となり、ほとんど Theodorsen 関数 $C(k)$ と同じ形となる。
- 何故 $\Psi(0) = 0$ となるかも paper に書いたの、参照いただきたい。

ギャロッピングの発生機構

- $B/D > 3$ では galloping は発生するか?
- 時間平均流れが定常再付着となり、galloping は発生しない。渦励振は生じる。

乱れのスケール効果

- impinging shear layer による渦とカルマン渦との関係はどのようなものか。
- 両者は全く異なるものと考え。
- 断面辺長比 $B/D = 2 \sim 6$ では両者の周波数は極めて近い。
- impinging shear layer instability は広い意味の T S 波と考える。