

九州大学応用力学研究所 正会員 平田勝哉 中村泰治 深町信尊 渡辺公彦

1. はじめに 著者らは、低速ギャロッピング¹⁾と渦励振の理解の為、煙により振動矩形柱周りの流れの可視化を行い、これらの励振に関係した興味深い結果を得たのでここに報告する。

2. 実験方法 実験は、測定部が高さ $\times$ 幅 $\times$ 長さ $=2\text{ m} \times 4\text{ m} \times 6\text{ m}$ の大型低速風洞を使用して行われた。模型の寸法は、スパン $L=1\text{ m}$ 、流れに直角方向の辺長 $h=0.15\text{ m}$ 、流れに沿う方向の辺長 $d=0.03\sim 0.15\text{ m}$ とし、その辺長比 d/h は $0.2\sim 1.0$ となる。模型は風洞内部に鉛直に立てられ、その上・下端には厚さ 0.005 m 、一辺 1.35 m の正方形端板が据えられた。本実験では、模型を流れと直角・水平方向に振幅 0.1 h で加振し、スモーク・ワイヤー法により流れを可視化した。模型加振振動数 f_y を $1.0\sim 1.2\text{ Hz}$ の範囲で、また主流風速 U を $0.6\sim 1.5\text{ m/s}$ の範囲で変化させて、様々な無次元風速 $\bar{U} (=U/(f_y \cdot h))$ を得た。なお、対応するレイノルズ数は $0.6\sim 1.5 \times 10^4$ である。

3. 低速ギャロッピング 図1は矩形柱の曲げ1自由度自由振動実験結果²⁾である。斜線部は励振の発生する領域であり、(高速)ギャロッピング・渦励振・低速ギャロッピングの3種類の励振が示されている。本報に示す写真が撮影された瞬間と模型の変位との関係を図2に示す。変位が上方というのは、図3～9の各写真での上方を意味する。また図中(a)～(d)は図3～5の(a)～(d)の撮影瞬間にそれぞれ対応する。振動物体周りの流れは f_y 成分と S_t 成分という大きな2つの変動成分を持っている(ここに S_t 成分(ストローハル数成分)は物体静止時の自然渦放出周波数成分)。辺長比の小さい物体は、一般に S_t 成分の方が大きいので、可視化写真にも f_y 成分は現れ難い。図3(a)～(c)には、 $d/h=0.4$ 、 $\bar{U}=4.4$ でのストリーク・ラインを示している。それらの3枚の写真が撮影された状況では低速ギャロッピングが発生しているが(図1を参照)、3枚に共通な剥離流のフロー・パターンはほとんど見い出せない。つまり S_t 成分が卓越しているのである。ところで f_y 成分は無次元風速の減少とともに、また辺長比の増加とともに、大きくなるであろう。図4と図3の違いは、無次元風速が 4.4 から 2.8 と小さくなったことにある。図4(a)～(c)の各写真では、模型側面のごく近くの剥離流の巻き込みがよく一致している。つまりこの共通のストリーク・ライン・パターンは明らかに f_y 成分によるものであることがわかる。更に図5(a)～(c)は、 $\bar{U}=2.8$ 、 $d/h=0.6$ であり、辺長比が図4の時より大きい。図5(a)～(c)では3枚の写真に共通なストリーク・ライン・パターンの領域が広がっている。また図5の写真は、図1からもわかる様に励振を生じない状況を示すものだが、下側面に現れる渦巻が下面の圧力を低下させ、減衰力を生み出していることが推察される。一方、図5(d)は模型が上死点位置にある時のものだが、剥離流が上側面に再附着していることがわかる。

4. 渦励振 上にも述べたように無次元風速:大・辺長比:小の場合、 S_t 成分の影響はかなり大きく、可視化写真からは、ギャロッピングに直接的影響をもつ f_y 成分は見分け難い。しかし、渦励振の起こる共振域(図1を参照)では、模型周辺で S_t 成分と f_y 成分が一致する。ここで、励振域の境界では渦励振と高速または低速ギャロッピングはお互いの特徴を保ったまま調和して現れていると考えられる。つまり、 f_y 成分によるギャロッピングの発生または減衰の為の流れの特徴はそのままであり、かつ S_t 成分と f_y 成分は一致しているであろう。図6、7には小辺長比矩形柱の代表例として $d/h=0.2$ での流れを、図8、9には大辺長比の代表例として $d/h=1.0$ での流れを示した(ここで辺長比の大小は臨界面³⁾との比較による)。図6、8は共振域の下流側境界、図7、9は上流側境界である。撮影した瞬間の変位は全て図2での(e)の位置である。まず図6、7を比較すると、渦巻の配置がほぼ逆位相であることがわかる。このことは、変動揚力の変位との位相が共振域で急変する事実⁴⁾とよく対応している。また図6は低速ギャロッピングとの境界であり、図7は安定領域との境界であるが、図6では下側の前縁角をまわり渦巻を形成する流れの曲率が大きく低圧であると考えられ、上側はその逆であり、従って励振力の発生がよく説明される。図7ではこの関係は図6の場合の逆である。図8、9についても図6、7と同様な推論が成り立つ。ただし、この場合は共振域より下流側は安定であり、上流側で(高速)ギャロッピングが起こっていることが図6、7とは逆である。これらの4枚の写真が示唆する興味深い事実は、6と8、7と9とをそれぞれ見比べたとき、同じ共振

域の下流端あるいは上流端であるにもかかわらず各々ほぼ逆位相を示していることであり、小辺長比矩形柱と大辺長比矩形柱の渦励振での大きな違いとして注目されよう。

5. まとめ 無次元風速をかなり下げると、 f_y 成分も可視化写真に十分現れる。 $d/h=0.6$ 、 $\bar{U}=2.8$ 程度では側面で間欠的再付着が起こる。小辺長比矩形柱と大辺長比矩形柱の渦励振には、渦巻の配置に大きな違いがある。

模型製作では早川愛喜氏の、風洞実験では川原明氏の御協力に感謝致します。

- 参考文献 1) 中村泰治、平田勝哉：土木学会講演概要集掲載予定、1989、
2) 平田勝哉、深町信尊、中村泰治：応用力学研究所所報、第66号、1988、
3) Y.Nakamura & K.Hirata: Submitted to JFM、
4) Y.Nakamura & T.Matsukawa: JFM(1987), vol.180、

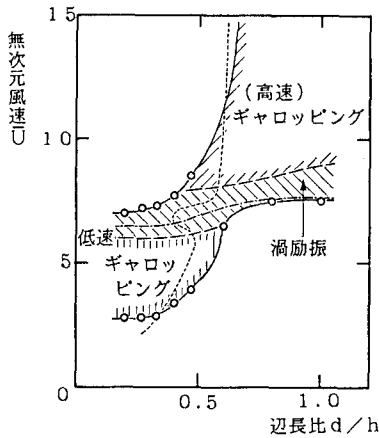


図1 矩形柱における曲げ1自由度
フラッタの発生領域²⁾
1点鎖線： $\bar{U}r=1/St$ ，点線：臨界断面

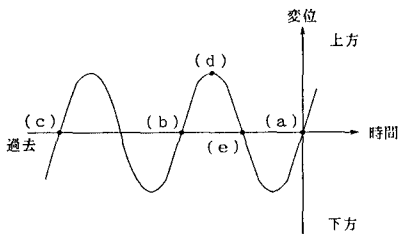


図2 写真撮影瞬間の
模型変位とのタイミング

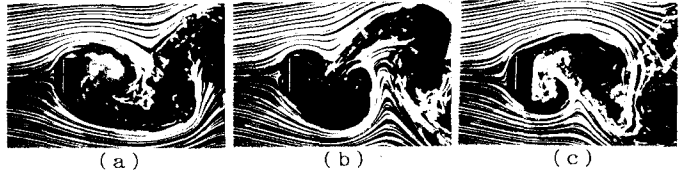


図3 振動矩形柱 ($d/h=0.4$, $\bar{U}=4.4$) のストリーク・ライン
(模型変位は図2を参照)

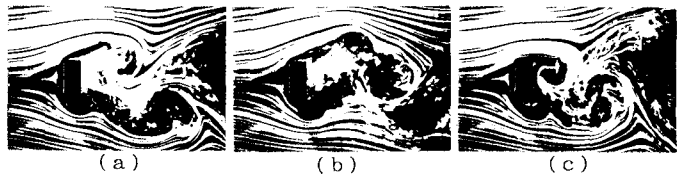


図4 振動矩形柱 ($d/h=0.4$, $\bar{U}=2.8$) のストリーク・ライン
(模型変位は図2を参照)

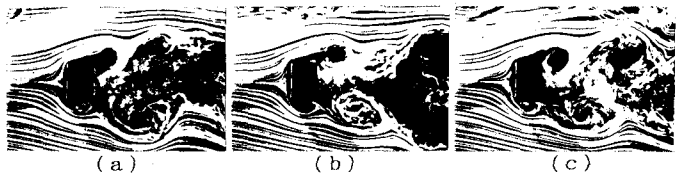


図5 振動矩形柱 ($d/h=0.6$, $\bar{U}=2.8$) の
ストリーク・ライン
(模型変位は図2を参照)

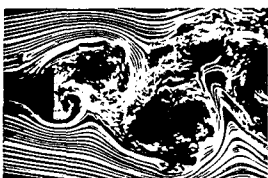
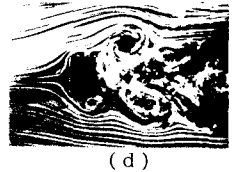


図6 振動矩形柱の
ストリーク・ライン
 $d/h=0.2$, $\bar{U}=6.1=0.96\bar{U}r$
(模型変位は図2の(e))

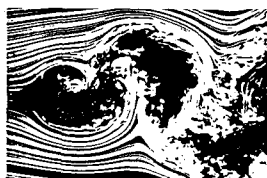


図7 振動矩形柱の
ストリーク・ライン
 $d/h=0.2$, $\bar{U}=6.7=1.05\bar{U}r$
(模型変位は図2の(e))

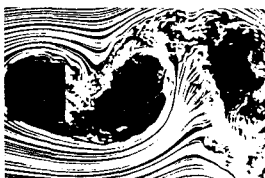


図8 振動矩形柱の
ストリーク・ライン
 $d/h=1.0$, $\bar{U}=7.9=1.00\bar{U}r$
(模型変位は図2の(e))

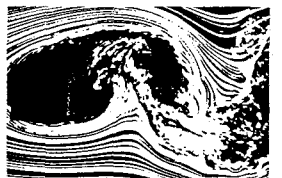


図9 振動矩形柱の
ストリーク・ライン
 $d/h=1.0$, $\bar{U}=8.7=1.10\bar{U}r$
(模型変位は図2の(e))