

第 部門

非定常ギャロッピングと渦励振に及ぼすカルマン渦の役割

京都大学大学院 学生員 ○前田 耕治
 京都大学大学院 正会員 八木 知巳
 京都大学大学院 学生員 中瀬 友之

京都大学大学院 フェロー 松本 勝
 京都大学大学院 橋本 三智雄

1. 序論

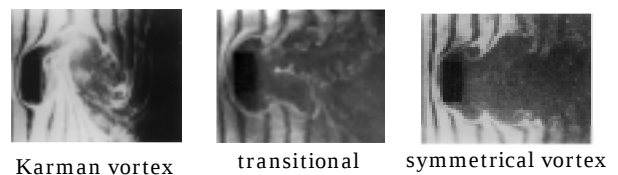
構造基本断面は非流線型断面であるため、流れが剥離し、渦を放出する。この断面背後に現れる渦により物体は様々な力を受け、それによって様々な空力特性と挙動を示す。そこで本研究では Bluff な断面まわりの流れ場に形成される渦のうち非常に特徴的で、他の多くの空力振動現象に影響を及ぼしていると考えられるカルマン渦に着目し、その影響を明らかにするとともに、カルマン渦制御により引き起こされる空力現象について考察を加える。

2. 辺長比(B/D)1:0.5 矩形断面の空力特性

既往の研究において、辺長比 1:0.5 矩形断面にカルマン渦放出周波数 f_k の 4 倍の周波数の刺激($4f_k$ pulsating flow)を与えた時、Fig.1 に示すように非常に強くカルマン渦が放出される状態と対称渦が放出される状態が非定常に変化することが知られている[1]。そこで本研究では、Fig.2 に示すように辺長比 1:0.5 断面を対象に $4f_k$ pulsating flow を与え、カルマン渦を非定常に抑制し、その時の空力特性の検討を行った。Fig.3 に $4f_k$ pulsating flow 中及び一様流中における無次元風速変化によるたわみ振動応答を示す。この図より一様流中に比べ、 $4f_k$ pulsating flow 中では渦励振の風速域で変位振幅が小さくなっており、それより高風速域では一様流中に比べ $4f_k$ pulsating flow 中で変位の振幅は大きくなっていることが確認できる。これは、 $4f_k$ pulsating flow により非定常にカルマン渦が抑制され対称渦が放出されたためであると考えられる。Fig.4 に $U=5.0$ [m/sec.]時の変位波形(たわみ固有振動数 f_0 で band pass filter を通した)及び後流域風速(カルマン渦放出周波数 f_k で band pass filter を通した)を示す。これより、カルマン渦が抑制されている間は振幅が大きくなっており、カルマン渦が放出されている間は振幅が小さくなっていることがわかる。つまり、カルマン渦を抑制すると空力的に不安定となり、ギャロッピングに対して不安定になると言える。

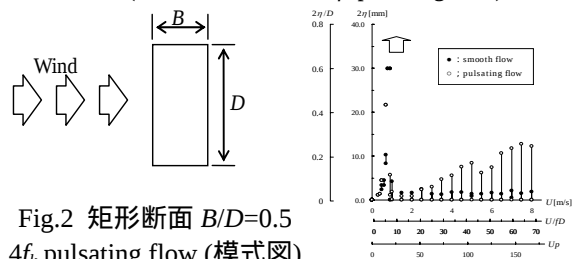
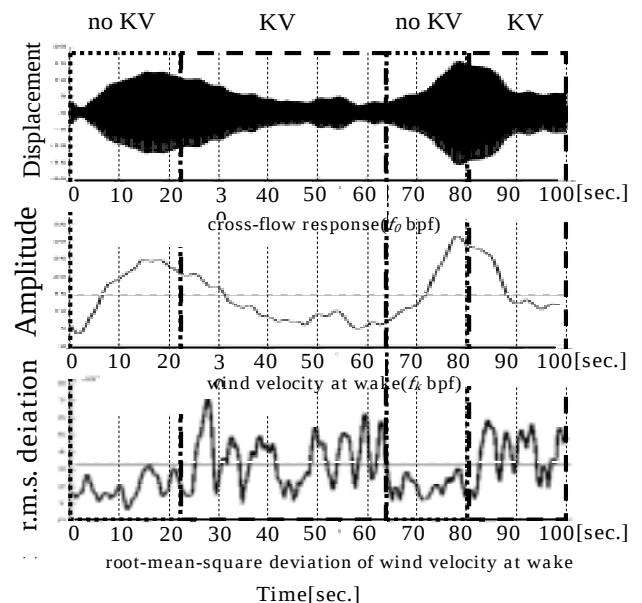
3. 渦励振風速域における円柱の空力特性

従来カルマン渦型渦励振は、ある限定された風速域でカルマン渦放出周波数と固有振動数が一致する lock-in 現象による共振現象と考えられてきた。しかしながら、既往の研究で渦励振風速域において 2P モード、2S モードというカ



(KV mode)

(no KV mode)

Fig.1 各モードにおける流れ場
(矩形断面 $B/D=0.5$ $4f_k$ pulsating flow)Fig.2 矩形断面 $B/D=0.5$
 $4f_k$ pulsating flow (模式図)Fig.3 自由振動実験結果
(smooth flow 及び $4f_k$ pulsating flow)Fig.4 変位波形(f_0 bpf)変位振幅 変動風速振幅(f_k bpf)の標準偏差
の時刻歴波形(矩形断面 $B/D=0.5$ $4f_k$ pulsating flow)

ルマン渦とは違った流れパターンが存在していることが報告されている[2][3]。そこで本研究では、これらの渦がカルマン渦であるのか、もしくは物体振動に起因する自己励起型の渦であるのかを検証するとともに、ヒステリシスが存在している風速域に着目し、このメカニズムを明らかにする。Fig.5 に横軸に無次元風速、縦軸に加振振幅、及び H_1^* の値を白黒で識別したものを示す。また H_1^* が 0 となる振幅をプロットした。この図には既往の研究[2]による渦放出モードを重ね合わせている。また、強制加振実験で得られた各振幅において H_1^* が 0 とする風速を既往の研究の自由振動実験結果と重ね合わせた図を Fig.6 に示す。既往の研究においてヒステリシスが存在している風速域では、非定常リミットサイクルが確認できた。また Fig.7,8 に後流域変動風速(カルマン渦放出周波数 f_k で band pass filter を通した)及び変動揚力(f_k で band pass filter を通した)の結果を示す。この図より、 $U/fD=5=1/St$ 付近においてカルマン渦強度が大きい intensive zone が確認された。つまり、この渦励振の立ち上がりはカルマン渦による共振現象であると考えられる。しかし、振幅が大きくなるとカルマン渦が弱まっていることから、この振動はカルマン渦による強制振動ではなく、自己励起型の渦による振動である motion induced vibration もしくは self-excited vibration であると考えられる。言い換えると、今まで言われてきたような lock-in 現象は存在しないと考えられる。また、本実験で確認されたりミットサイクル付近及び少し高風速域においても intensive zone が確認された。これら Second intensive zone 及び Third intensive zone が 2P, 2S モードの境界付近に存在していることから複雑な相互作用があると考えられるが、今後詳細な検討が必要である。

結論

- 1) $B/D=0.5$ の矩形断面に $4f_k$ pulsating flow を与えると、強いカルマン渦放出モードと対称渦放出モード及びその推移時というモード変化が生じる。またカルマン渦放出時には $4f_k$ pulsating flow の刺激を受けることで非定常に抑制され応答振幅が増加し、ギャロッピングに対して不安定となる。
- 2) 円柱断面におけるカルマン渦型渦励振は、既往の研究ではカルマン渦の放出周波数が振動周波数に一致する lock-in 現象のためであると考えられてきた。しかし本研究での特筆すべき点は、渦励振発現風速付近において、カルマン渦の存在が確認されなかった。そのため従来考えられていたカルマン型渦励振 2P, 2S モードに関係する自己励起の渦が出現することによる空力振動であると考えられる。

参考文献

- [1] M. Matsumoto, C. Knisely, F. Menacher; "On Flow Pattern and Fluid Characteristics of Rectangular Prism in Unsteady Flow", Proceedings of 8th symposium on Wind Effects on Structures, pp.263-269, 1984
- [2] C.H.K. Williamson, A. Roshko; "Vortex formation in the wake of an oscillating cylinder", Journal of Fluids and Structures 2, pp.355-381, 1988.
- [3] D. Brika, A. Laneville; "Vortex-induced vibrations of a long flexible circular cylinder", Journal of Fluid Mechanics 250, pp.481-508, 1993

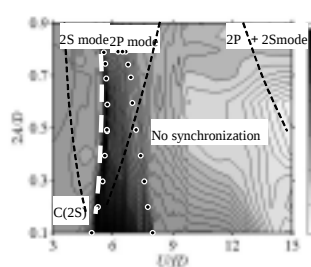


Fig.5 V-A- H_1^* 図及び渦放出モード[2]

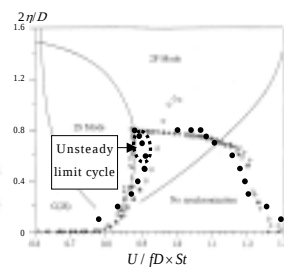


Fig.6 本実験結果及び既往の研究[3]との比較

- : this experiment
- : increasing velocity ○ : decreasing velocity
- ◇ : increasing velocity with large steps
- : bifurcation amplitude Brika & Laneville [3]
- : Williamson & Roshko

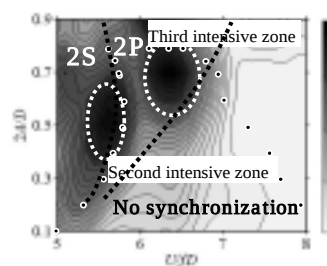


Fig.7 V-A- u'/U 図 (f_k bpf)
渦励振発生風速域 ($U/fD=5\sim 8$)

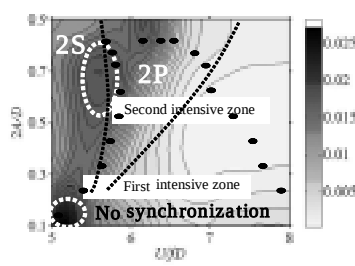


Fig.8 V-A- C_L' 図 (f_k bpf)
渦励振発生風速域 ($U/fD=5\sim 8$)