

九州大学応用力学研究所 正 員 中村泰治  
九州産業大学工学部 正 員 吉村 健  
同 大学院 学生員 石田良三

### 1. まえがき

矩形、H型、口型等の充腹断面は斜張橋主桁等の構造断面として広く用いられている。その耐風設計を行なうにあたり、自然風の作用のもとで系の示す挙動を推定することが必要であるが、この目的のために、格子乱流を用いた実験的研究が盛んに行なわれて来た。すなわち、ギャロッピング<sup>1)</sup>、バフティング、流体抵抗力等について、気流の乱れの効果に着目した多くの研究結果が報告されている。ところが、破壊的振動現象として知られるねじりフラッタについては、一樣気流中に対する研究は多いが、乱流に関するものはほとんどないといえる。そこで、本研究では、断面比の異なる四種の矩形断面模型を用いて、一樣気流中と格子乱流中とでねじりフラッタ実験を行ない、主流の乱れがフラッタに及ぼす効果についてしるべた。その結果を以下に記す。なお、低風速域におけるねじりフラッタ(低風速励振)については現在研究中であり、ここでは高風速域におけるねじりフラッタ(以下にねじりフラッタと呼ぶ)についてのみ述べる。

### 2. 実験概要

実験に用いた模型は、 $d/2b = 1/2, 1/3, 1/4, 1/5$  ( $d$  と  $2b$  は、それぞれ主流垂直方向と主流方向の辺長)の四種の2次元矩形断面柱であり、 $2b \times$  スパン長 =  $40 \times 180$  cmである。模型の両端は、コイルばねで補剛した十字板ばねにより弾性支持され、系は断面中心まわりのねじり/自由度振動を行なう。これを模型を、平均迎角ゼロの状態で風洞測定部にセットし、一樣気流中と格子乱流中でフラッタ実験を実施して、片振幅 $0.5 \sim 1^\circ$ における系の発散率あるいは減衰率 $\gamma$ を求めた。また、流れの観察も行なった。ただし、一樣気流とは、主流方向の乱れの強さが約0.1%の気流であり、格子乱流では、模型前面における主流方向の乱れの強さが約10%、乱れの積分スケールが約7cmである。

### 3. 実験結果と考察

図-1～図-4にフラッタ実験結果を示す。図中、横軸は無次元風速 $\bar{V} = V/4b$ であり、縦軸は空力減衰パラメータ $k_a = 2\rho b S_a$ である。ここに、 $V$ は風速、 $f$ は気流中における系の振動数、 $I$ は単位スパン長あたりの系の慣性モーメント、 $\rho$ は空気密度、 $S_a = S - S_0$ 、 $S_0$ は無風時における系の対数減衰率である。また、 $\Delta \bullet$  と  $\circ \bullet$  は、それぞれ、一樣気流中と乱流中における結果である( $\Delta \bullet$  と  $\circ \bullet$  とでは、 $I$ 、 $S_0$ がいくぶん異なる)。まず、一樣気流に対する結果について述ると、 $1/2$ 断面では、 $\bar{V} > 14$ において系は減衰振動を示し、ねじりフラッタを生じない(共振風速 $\bar{V}_{cr}$ 付近のフラッタは過励振であり、それより低風速域におけるフラッタは低風速励振である)。 $1/3 \sim 1/5$ 断面では、いずれも $\bar{V} > 8$ においてねじりフラッタを生じる。これに対し、主流が乱れるとフラッタ特性が著しく変化する。すなわち、 $1/2$ 断面では、 $\bar{V} = 10$ でフラッタが発現し、風速の上昇に伴ない系の発散率は一様に増加する。一方、 $1/3$ と $1/4$ 断面では、一樣気流の場合よりもフラッタにおける系の発散が弱まり、さらに $1/5$ 断面では、減衰振動を示すようになる。つまり、主流の乱れによって、 $1/2$ 断面ではフラッタが助長されるが、一方、 $1/3 \sim 1/5$ 断面ではフラッタが抑制されるわけである。

さて、図に見たフラッタ特性の著しい変化は、いかなる乱れの効果によってもたらされるのであろうか? このことをしるる前に、まず、一樣気流の場合について述ると、ねじりフラッタの発生には流れの再付着が関係する。すなわち、再付着によって物体上下面に剝離バブルが形成されるが、ねじりフラッタの発生は、物体振動に伴なう剝離バブルの特異な挙動によってもたらされる。ただし、フラッタ発生の有無は、静止物体に対する時間平均的な剝離バブル(以下に剝離バブルと略称する)の大きさによっておおむね判定できる<sup>2)</sup>。図-1～図-4の図中にSMOOTHと記される図は、一樣気流中における時間平均的な流れのパターンを推

定したものであって、毛糸法により、再付着点を求めて得られたものである(図中、模型上面に記した矢印が再付着点)。1/3~1/4断面のような比較的厚い断面では剥離バアルが大きく、これら断面ではフラッタが生じる。一方、さらに厚い1/2断面ではもはや再付着せず、この場合フラッタの発現はない。また、1/10断面のように断面が薄くなると剥離バアルが小さくなり、これら断面ではフラッタを生じない。<sup>2)</sup>

以上を前置きにして乱流の問題にもどる。よく知られているように、主流の乱れにより、剥離せん断層の mixing rate が増大し、その結果、再付着が促進される。主流の乱れがねじりフラッタ特性の変化にもたらす効果では、ギャロッピング<sup>1)</sup>におけると同様、再付着の促進に伴う剥離バアルの減少が支配的と思われる。そこで、乱流中における流れのパターンを上記と同様にして推定し、得られた結果を図中に TURB. として示した。1/3~1/5いずれの断面でも主流の乱れにより剥離バアルの著しい減少が認められるが、特に、1/2断面では、流れの変化が著しい。すなわち、一様気流中では再付着しないのに対し、乱流中では前縁より終点付近で再付着している。その結果、相対的には、剥離バアルの大きさが一様気流中における1/2断面とほぼ同程度となっている。乱流中における1/2断面の  $\bar{V}-k_a$  曲線が、一様気流中における1/2断面のそれとおおむね一致することは興味深い。また、乱流中における1/2断面の剥離バアルはきわめて小さく、このバアルの大きさは、一様気流中における1/10~1/5断面のそれと同程度と思われる。

結局、1/2断面と1/3~1/5断面では、フラッタに及ぼす主流の乱れ効果が全く逆に現われるが、このことは、乱れによる再付着の促進効果の結果生じたと考えればうまく説明できる。

#### 4. 結論

断面比が1/2~1/5の矩形断面柱について、一様気流中と乱流中でねじりフラッタ実験を行なった。その結果、主流の乱れにより、フラッタ特性が著しく変化することがわかった。その原因は、主流の乱れによる再付着の促進によるものと考えられる。

謝辞：本研究を行なうにあたり、九大応力研の渡辺公彦、柏田純夫両氏と九産大工学部の馬場聖、徳重喜一、カ丸俊昭三氏に実験の援助を受けたことを記し、謝意を表したい。

#### 参考文献

- 1) Nakamura, Y. and Tomonari, Y. : Galloping of Rectangular Prisms in a Smooth and in a Turbulent Flow, J. Sound and Vibration, 52(2), 1977.
- 2) Yoshimura, T. and Nakamura, Y. : On the Indicial Aerodynamic Moment Responses of Bridge Deck Sections, Proc. 5th Int. Conf. Wind Engineering, 1979.

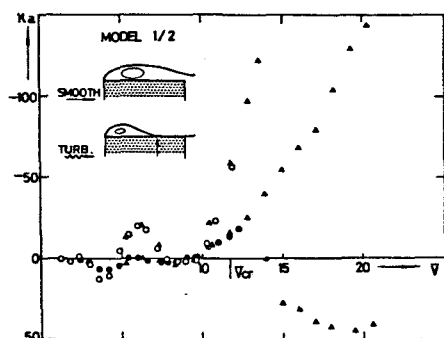


図-1 1/2 矩形断面

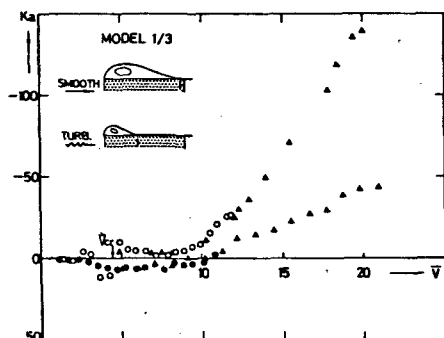


図-2 1/3 矩形断面

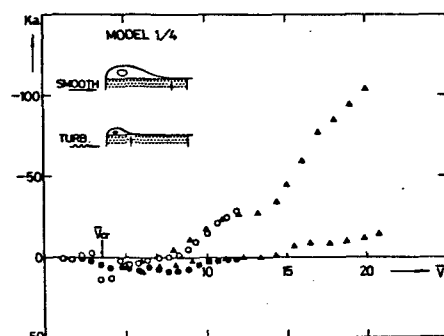


図-3 1/4 矩形断面

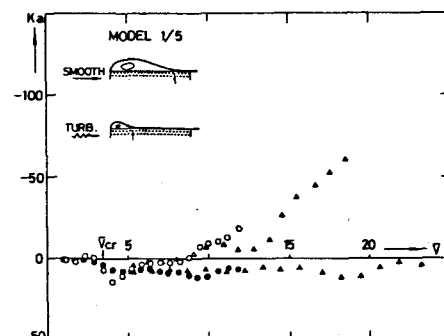


図-4 1/5 矩形断面