

(10) 乱れた気流に対する橋梁構造の空力弾性応答に関する2, 3の考察

東京大学工学部 官田 利雄

住友重機械工業 ○ 宮崎 正男

東京大学大学院 山田 均

1. まぎき

長大、あるいは中支肉橋梁の設計において、自然風のもたらす効果は重要なファクタであるが、これは橋梁構造の耐力を支配する場合から、構造断面の形状を支配する場合に至るまで、多様な形で現われる。特に、風により誘起される不安定振動として、橋梁構造に現われるものに、まず、いわゆる橋脚振と呼ばれる、振幅の限られた振動がある。これは、鉛直たわみ、あるいは捻れ振動の形で比較的低い風速で現われる。さらに、フラッタと呼ばれる捻れ振動が、ある程度の鉛直たわみ振動を随伴しながら、より高い風速で起り、大振幅に発達することがある。こうした空力不安定振動が実際の橋梁で発生しないように、ふつう種々の形の設計案の縮尺模型について風洞実験が実施されている。このような風洞実験はかなりの伝統があるが、自然風の乱れの効果は考えず、一様な（一定な風速の）気流のもとで実験することがほとんどであった。一様な気流のもとで実験する方法は、多分に飛行機翼に関する実験法にたらうという要素が強かったからと考えられ、不安定振動に対して乱れの効果は小さいものであるという検証を経たわけではない。この方法は、数は少ないが、実際の橋梁、たとえば、旧 Tacoma Narrows 橋¹⁾や下種構挿入前の Golden Gate 橋²⁾において観測された振動が、橋梁構造の一部を取り出した部分模型において再現された事実によって、ある意味の妥当性を検証されたとも言える。とにかく、現在においても、橋梁構造の耐風性の検証に大いに用いられている。

これに対し、自然風の乱れが橋梁の不安定振動におよぼす効果の実験的検証は比較的新しいものである。Davenport, Isyumov, 官田³⁾は、境界層風洞において、自然風を乱れを相似させた気流のもとで、いくつかの橋梁断面の弾性全体模型（taut strip 模型）について実験を行ない、不安定振動に対する乱れの影響を観測した。これによると、風の乱れの強さが大きくなるで渦励振が減少、消滅し、フラッタの限界風速が増大する傾向が認められる。もっとも、乱れの影響は構造断面の形状によって異なり、プレートガータ補剛桁の Tacoma Narrows 橋タイプのフラッタは、トラス補剛桁の Golden Gate 橋タイプより乱れに敏感ではなく、執ように現われている。基本的な形状の平板桁タイプでは、乱れの影響がきわめて大きく現われ、一様気流におけるフラッタの急激な発現に対し、低い風速から鉛直たわみ、捻れ振動が見られる。これらの振動は不規則で、乱れによる、いわゆるパフエーティングであり、風速とともにその振幅が大きくなる。この場合の応答は理論的におよその予測が可能である⁴⁾。さらに、Irwin, Schuyler⁵⁾は下路トラス補剛桁の Lions' Gate 橋のフラッタについて、同じように自然風を相似させた乱れた気流のもとで、弾性全体模型実験を行なった。この例では、乱れの存在が一様流のもとで見られるフラッタを消滅させている。フラッタがパフエーティングに移行する程度は、上述の Golden Gate 橋タイプ、この例、そして平板タイプの順で大きくなるようである。

以上のように、橋梁構造の不安定振動に対して、乱れの影響は多様な形で現われているが、一般的

に、乱れの強さ I_u 、乱れのスケール L_u^* 、パワースペクトル形状、空間相関性などの乱れの特性と、構造断面形状、さらに固有振動数 f_n 、質量 m 、あるいは慣性モーメントの構造減衰 δ などの構造特性によって異なるものと考えられる。構造断面は、かつう、鋭い隅角部を持ち、ここから剥離する流れが考慮すべき大部分の空気を、応答を支配しているのであるが、この剥離流に対する乱れの振舞い、その複雑なメカニズムは不明のところが多し。本論文では、橋梁構造、部材として用いられるいくつかの断面形を対象に、風の乱れの効果を作用空気力、振動応答について、風洞実験による観測結果を示しながら考察しようとする。

なお、本論文で用いられる記号は、上述のもののほか、次のようなものがある。

風速(平均風速) $U(\bar{U})$,	換算風速 $U_r = U/\sqrt{\rho_0 B}$,	平均流方向変動風速 $u(t)$,
無次元パワースペクトル $\{S_u(f)/\bar{U}^2\}$,	振動数 f ,	スパン長 l ,
断面高さ d または H ,	断面幅 b または B ,	揺れ振幅 ϕ ,
たわみ振幅 a (無次元たわみ振幅 η),	迎角 α ,	位相角(進み) β ,
抗力 D (抗力係数 C_D),	揚力 L (揚力係数 C_L),	モーメント M (モーメント係数 C_M),
横力係数 C_{Fy} ,	圧力 P (平均圧力 $\bar{P}$),	平均圧力係数 C_p ,
変動圧力係数 C_{prms} .		

2. 静止時の平均空気力に対する乱れの効果

2.1 上路トラス補剛桁断面

かつうの吊橋の補剛桁に用いられるトラス断面について、乱れのスケールと断面の代表長の比を変化させたときの、三合力係数(抗力、揚力、モーメント係数)に対する乱れの効果を見えみよ。次のようである。Fig. 1 は不安定振動の理わけない、安定な断面の抗力、揚力係数と迎角の関係である。揚力係数は、迎角の絶対値が大きくなると、一様流の場合にくらべてその絶対値が大きくなる。乱れのスケールと桁幅の比 L_u^*/B の効果はほとんど認められない。一方、抗力係数は、 $|\alpha| \leq 18^\circ$ の範囲において一様流の場合よりも 10~20% 程度大きくなり、この差は迎角 α にも大きくなっている。

Fig. 2 は高欄を閉塞した場合で、揺れフラッタが生じ易い断面のモーメント係数と迎角の関係である。係数の負勾配が小さい迎角域で見られるが、乱れた流れ中ではこの負勾配がゆるくなり、しかもその迎角範囲が狭くなる傾向が認められる。

2.2 長方形断面

乱流中にかかれた長方形柱に作用する抗、揚力は、断面の辺長比、乱れの強さ、あるいは乱れのスケールによって著しくその特性が変化するものである。ここでは、辺長比 d/b が $1/1$, $2/3$, $1/2$ の場合について、乱れのスケールと断面幅の比 L_u^*/b の効果を見えみよことにする。

Fig. 3, 4 は $d/b = 1/1$, $1/2$ の場合の抗力係数、揚力係数と迎角の関係を示すものである。抗力係数 C_D について見ると、 $1/1$, $1/2$ 断面ともに、一様流と乱流との差が著しいが、 L_u^*/b の影響はほとんど認められない。 $2/3$ 断面についても全く同様である。

揚力係数 C_L は、迎角 $\alpha = 0^\circ$ 付近の負勾配に着目すると、 $1/1$ 断面ではほとんど差がないのに対し、 $1/2$ 断面では一様流に比べ乱流ではその絶対値がかなり小さくなっている。しかも、 L_u^*/b が大きい

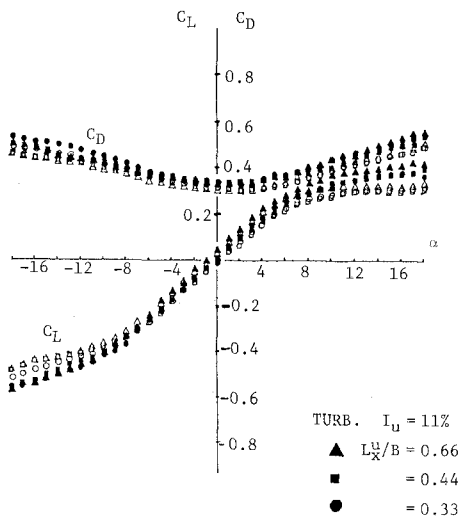


Fig. 1 Mean Force Coefficients of Truss Section with Open Hand Rail

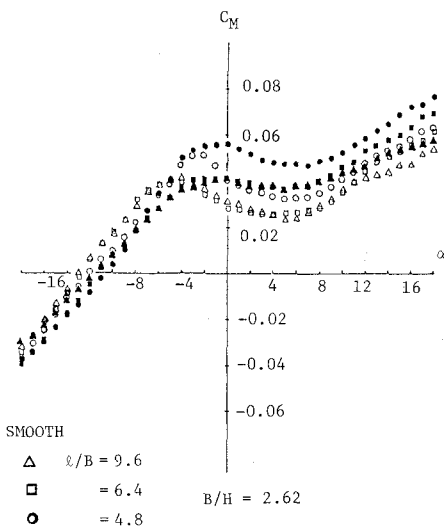


Fig. 2 Mean Moment Coefficient of Truss Section with Solid Hand Rail

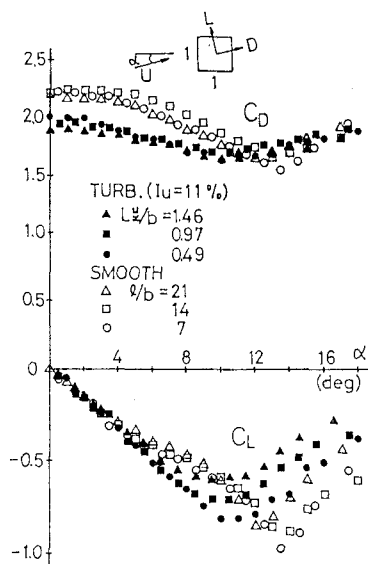


Fig. 3 Mean Force Coefficients of 1/1 Section

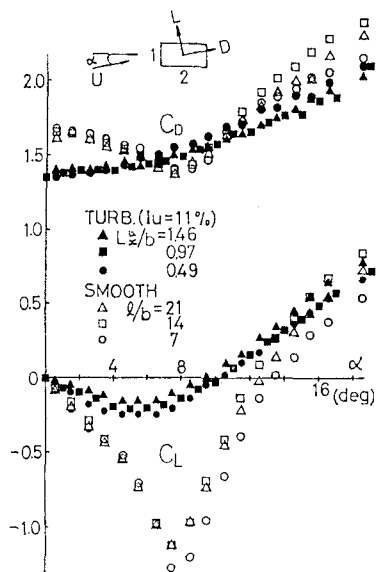


Fig. 4 Mean Force Coefficients of 1/2 Section

ほけ、より小さくなっている。このことは、ギャロップ現象に関する準定常理論における揚力係数の勾配 $dC_F/d\alpha$ が L_x/b が大きくなるほけ、より小さくなることを予期させる。この点については次項で再びふれることにする。

長方形断面の前縁からの剥離せん断層の後縁側への再付着に着目すると、1/1、1/2 断面ともに乱流中の再付着を生ずる迎角(揚力の極小値を与える迎角をさす)は、一様流にくらべ小さくなっており、しかも L_x/b が大きいほけより小さい方へ移っている。このような再付着迎角、ならびに前述した揚力係数の負勾配と L_x/b との関連は、断面まわりの圧力分布を測定するとよく分る。す

すなわち、気流の入射する側と反対の側面の負圧分布に L^2/b の影響を明らかに認めることができる。
 このよう特性は文献(6),(7)にすでに述べられている。

3. 長方形柱のギャロップینگに対する乱れの影響

構造断面が充満した形状をもつとき、前縁から剥離する流れによるギャロップینگ^{*}、すなわちたわみの不安定振動が発生するこれが知られている。ここでは、辺長比 d/b が $1/1$, $2/3$, $1/2$ の長方形柱について、乱れのスケールと断面幅の比 L^2/b のギャロップینگへの影響を見てみることにする。

Fig. 5, 6 に、 $1/1$, $1/2$ 断面で、断面幅と乱れのスケールがほぼ等しい場合の振動応答をみる。
 $1/1$ 断面では、一様流において、質量・減衰比 $\frac{2m}{\rho b d L} \cdot \delta_s$ (図中で Γ と表示) ≤ 20 では、 $U_r = 6$ 付近より振動応答が立ち上がり、そのまゝ大振幅のギャロップینگへと移行するが、 $\frac{2m}{\rho b d L} \cdot \delta_s \geq 30$ では、渦励振が生じ、振幅がピークに至った後小さくなり、振動がいったんおさまる。そして、より高風速域においてギャロップینگが発生する。これに対し、乱流中では、渦励振は現れなくてもその振幅が小さくなるこれが特徴的であり、ギャロップینگについては一様流、乱流による応答の差は少ないと言える。

他方、 $1/2$ 断面では、一様流において、 $\frac{2m}{\rho b d L} \cdot \delta_s \leq 40$ では、渦励振からギャロップینگへと振動応答は連続して移行していき、 $\frac{2m}{\rho b d L} \cdot \delta_s \geq 60$ では、不安定なリミットサイクル(図中の点線の部分)が存在し、振幅の小さいところでは質量・減衰比の値によらず、ほぼ一致した応答を呈している。乱流中では、 $1/1$ 断面に比べ、渦励振の振幅の小さくなる傾向が強く、さらにギャロップینگの発生はきわめて高風速側に移り、一様流の場合との差は大きい。実験された振幅の範囲内には不安定なリミットサイクルは認められず、応答曲線は風速の上昇に対して連続的に立ち上っている、すなわちソフトギャロップینگを呈していることが特徴的である。

$2/3$ 断面では、以上に述べた $1/1$ 断面と $1/2$ 断面のほぼ中間的な特性を示していると言える。

ギャロップینگ振動は準定常理論によりよく記述できるといわれているが、この理論において用いられる横力係数 C_{FY} は静止

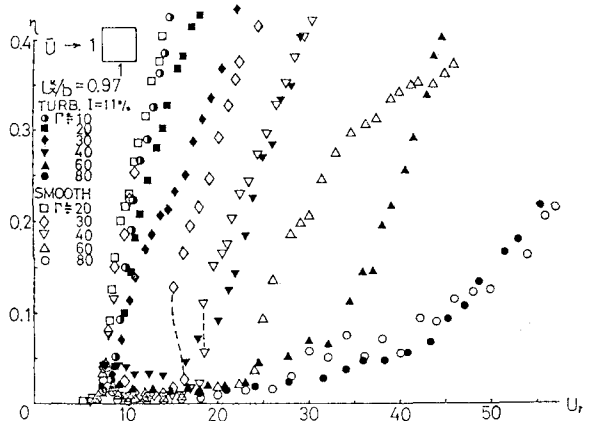


Fig. 5 Galloping Response of 1/1 Square Section Cylinder

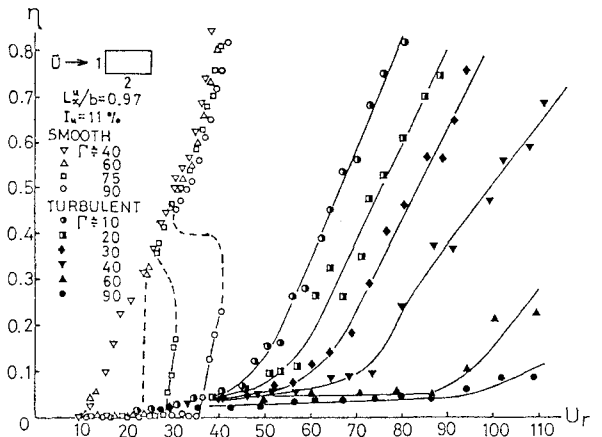


Fig. 6 Galloping Response of 1/2 Section Cylinder

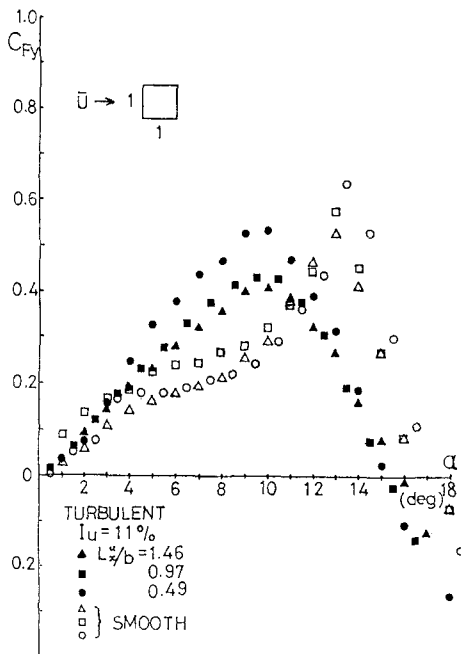


Fig. 7 Lateral Force Coeff. of 1/1 Section

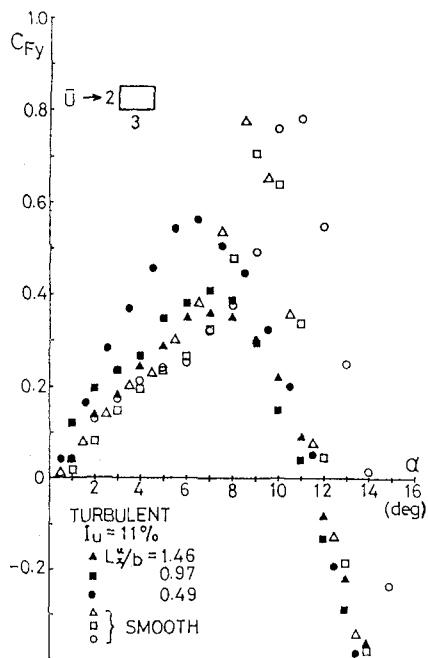


Fig. 8 Lateral Force Coeff. of 2/3 Section

時の平均空力係数、すなわち抗力係数、揚力係数を用いて

$$C_{Fy} = -(C_L + C_D \tan \alpha) \sec \alpha$$

のように求めらる。この係数 C_{Fy} と迎角の関係を示したものが Fig. 7, 8, 9 である。1/1, 2/3, 1/2 の各断面に共通する傾向として、一様流中にくらべ、乱流中では C_{Fy} のピーク位置が小迎角側へ移り、しかもピーク値が低減してゐる。この程度は 1/1, 2/3, 1/2 断面の順に大きく、乱流の効果がこの順に大きいことが知られる。抵抗力係数の勾配 ($dC_{Fy}/d\alpha$) に着目すると、1/1 断面では、一様流、乱流の差は小さく、しかも乱れのスケールと断面幅の比 L^*/b の効果もほとんど見られない。2/3 断面では若干の差、効果が認められる。1/2 断面では顕著な差が現われ、 L^*/b の効果も著しい。ここに示した実験結果は乱れの強さが $I_u = 11\%$ の場合であるが、以上に述べた特性には乱れの強さの効果がさらに重なつてくることが推測される。

Fig. 10, 11, 12 は、振幅比 $\eta = 0.2$ の場合の $\Gamma = \frac{2m}{\rho b a U} \cdot \delta_s$ と U_r の関係を描動応答図から求めたものである。1/1 断面では、上述した結果から予測されるように、乱流の効果はほとんど認められない。

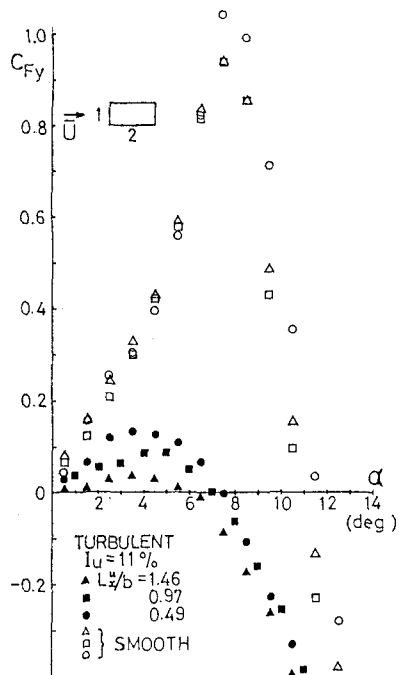


Fig. 9 Lateral Force Coeff. of 1/2 Section

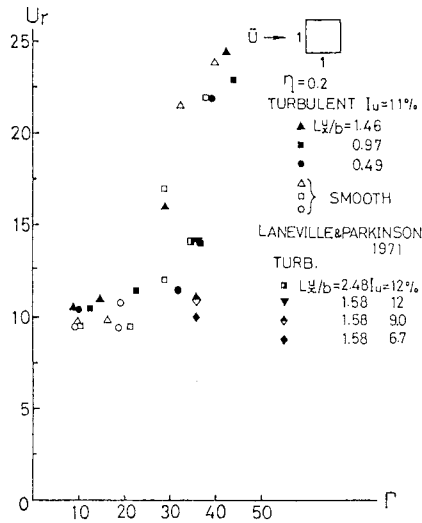


Fig. 10 Response of 1/1 Section at Specified Amplitude Ratio $\eta = 0.2$

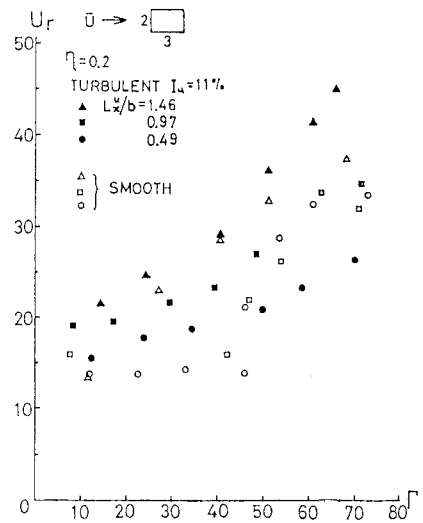


Fig. 11 Response of 2/3 Section at Specified Amplitude Ratio $\eta = 0.2$

が、2/3, 1/2 断面では、 L_z/b が大きくなるほど応答が高風速側へ移行し、質量・減衰比 (I) に比例して大きくなっている。ギャロップシブンの共振風速は、先に示した種々係数の勾配に反比例することから分っているが、振動応答と静止時の平均抗、揚力の両方に対する乱れの効果が相互に符合していることが知られる。

いずれにしても、長方形柱、特に 1/2 断面の系すギャロップシブンに対する乱れの効果はきわめて著しく、このことは振動を起させる剥離流、その再付着のメカニズムに乱れが大きく関係していることがわかる。

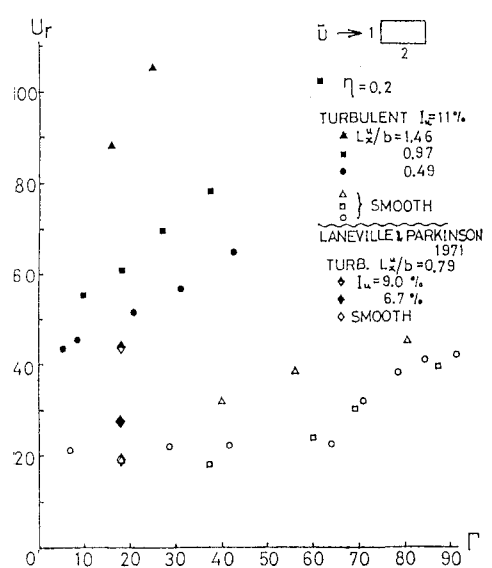


Fig. 12 Response of 1/2 Section at Specified Amplitude Ratio $\eta = 0.2$

4. 箱桁断面の渦励振に対する乱れの効果

4.1 偏平逆台形断面

斜張橋にしばしば採用される偏平逆台形断面は、

偏平ではあるが、充満した断面形状であるために、低風速域でいわゆる渦励振と、比較的高風速域でフラッタを発生しやすい特性を持っている。Fig. 13 は低風速域のみに着目して、鉛直たわみ振動応答を観測した結果である。一様流中では、いわゆる渦励振と考えられている振動が、図に示すように、2つの風速域で発生している。これに対し、乱れた気流中では、一様流中で特徴的であった2つの振動応答のピークが消滅して、乱れの変動性に起因するパフエーティングとされている振動が現れ、風

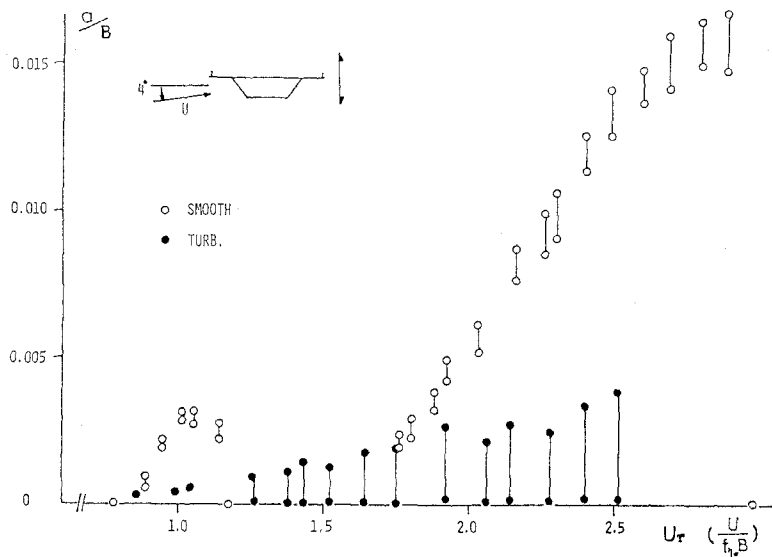


Fig. 13 Vertical Response of Shallow Box Girder Section

($I_u = 11\%$, $L_x/B \div 0.2$)

速とともにその振幅を増大させるのみである。このような大きな乱れの効果は、風洞実験によって耐風性を検証し、断面改良を意図しようとするとき、十分評価しておかなければならない要因であるといえる。

4.2 1/2 長方形断面

低風速域で発生する渦励振の特性を問題にするとき、よく議論の対象となる断面に 1/2 断面がある。この場合の応答は、ストローハル数の逆数 U_{cr} 近傍から立ち上るものと、 U_{cr} 付近でピーク状の限定振動を伴うものから成っている。Fig. 14 [a] に鉛直たわみ振動応答の、[b] にねじれ振動応答の実験結果を示している。

まず、鉛直たわみ振動について見ると、一様流中では、 $1/2 U_{cr}$ 付近のものは、 $U_r = 4$ 前後で発振し、ピークを越えた直後で不安定なリミットサイクルを持つために、 $U_r = 6$ 付近で急激に止む。また、 $U_{cr} \approx 12$ 付近から再び振動が立ち上がり、 $U_r = 20$ 付近までは著しい

ピーク状の応答振幅を形成するのが特徴的である。質量・減衰比 $\frac{2m}{\rho b x l} \cdot \delta_s$ に対して、 $1/2$ 付近の振動は敏感に作用して、大きい比のとき振動は発現しないが、 U_{cr} 付近から立ち上る振動は敏感でない。

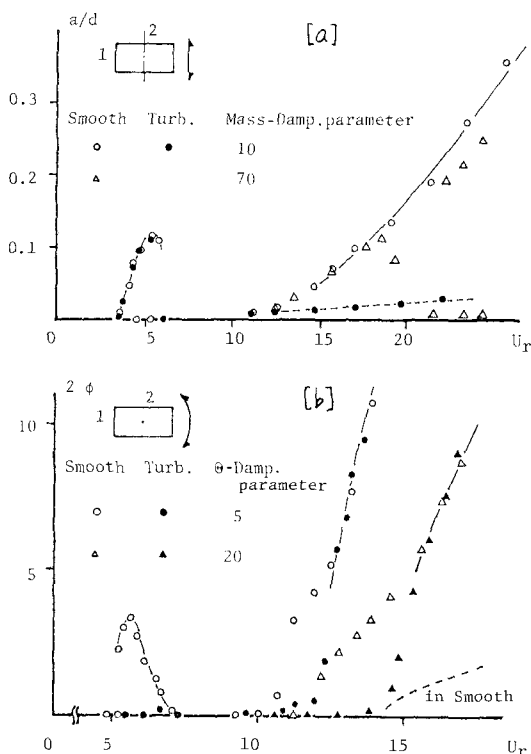


Fig. 14 Vertical and Torsional Responses of 1/2 Rectangular Section Cylinder
($I_u = 11\%$, $L_x/b \div 0.5$)

乱流中の鉛直たわみ振動は、 $1/2 U_{cr}$ 付近のものと U_{cr} 付近のものとでは乱れの効果が変わるのか、前者は一樣流中で見られた応答ともおおよそ差がないが、ピークを越えた直後で見られた不安定なリミットサイクルは消滅している。一方、後者の U_{cr} 付近からのものはバフティング的な不規則で、微小な振幅の応答に変化している。

次に、揺れ振動であるが、一樣流中では、ピークを越える前に不安定なリミットサイクルをもつ限定振動が $1/2 U_{cr}$ 付近に現われ、さらに U_{cr} 付近から立ち上る振動が見られる。極慣性モーメント・減衰比 $\frac{2\theta}{\rho b^2} \cdot \delta_s$ が増大すると、 $1/2 U_{cr}$ 付近の振動は振幅を減少させ、 U_{cr} 付近から立ち上る振動は高風速側へ移行して、継続する。後者の性質は鉛直たわみ振動と異なっている。乱流中に置かれると、 $1/2 U_{cr}$ 付近の振動は消滅して現われず、 U_{cr} 付近の振動は小振幅領域では不規則であるが、やがて一樣流中で見られたものと同じ振幅の大きい振動へと推移している。いずれの気流の場合も、 U_{cr} 以降の大きな振幅の振動はフラックと呼ぶべき特徴を備えている。

4.3 $1/2$ 長方形断面の鉛直たわみ振動時の圧力分布

鉛直たわみ振動している $1/2$ 長方形断面について、 $U_r = 5.5$ 、および $U_r = 18$ における平均圧力係数、変動圧力係数、ならびに振動変位に対する位相差を観測したものが Fig. 15 [a], [b], [c], Fig. 16 [a], [b], [c] である。

U_{cr} を若干上まわす $U_r = 18$ の観測結果から、質量・減衰比が小さい場合の振動応答曲線が一つの境界線を形成し、これを境にして平均圧力係数、変動圧力係数の振幅依存性が必要になっているのを見える。小振幅側では振幅依存性が小さくなる。位相差について見ると、境界線より大きな振幅になるで作用

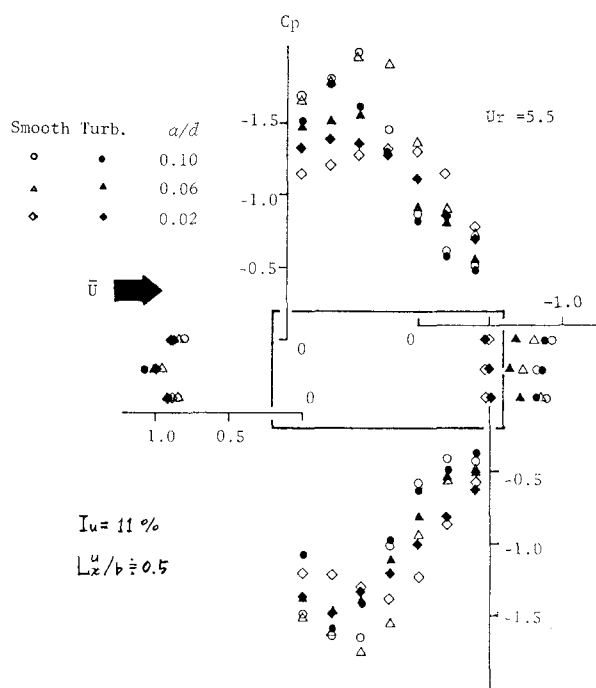


Fig. 15 [a] Mean Pressure Coefficient in Vertical Motion

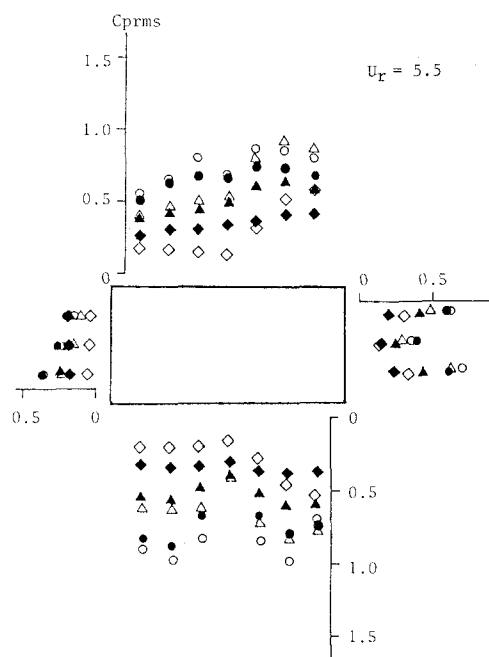


Fig. 15 [b] R.M.S. Pressure Coefficient in Vertical Motion

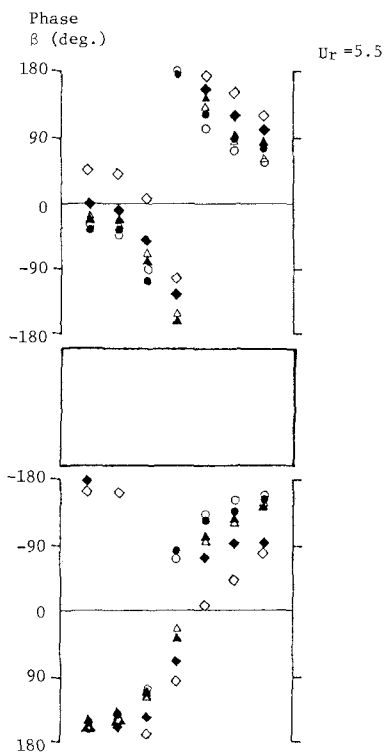


Fig. 15 [c] Phase Difference between Motion and Pressure

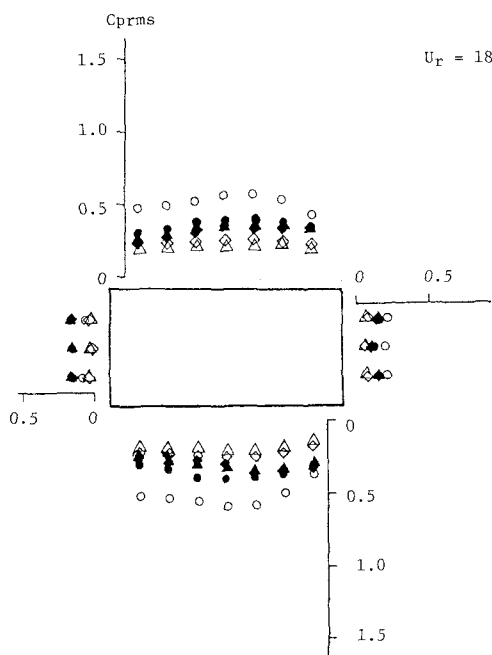


Fig. 16 [b] R.M.S. Pressure Coefficient in Vertical Motion

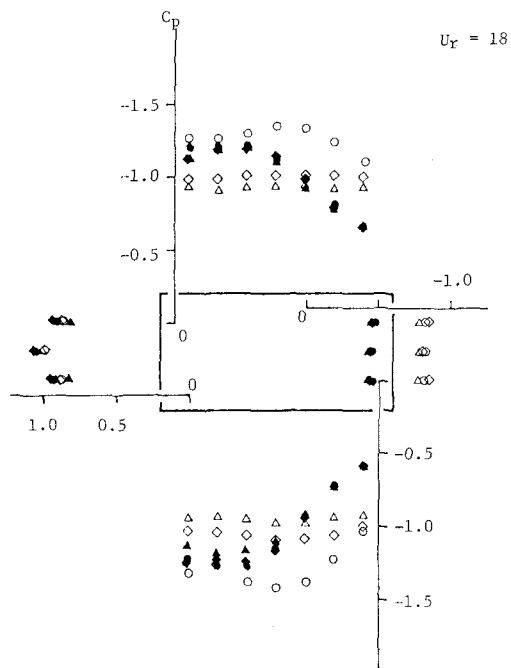


Fig. 16 [a] Mean Pressure Coefficient in Vertical Motion

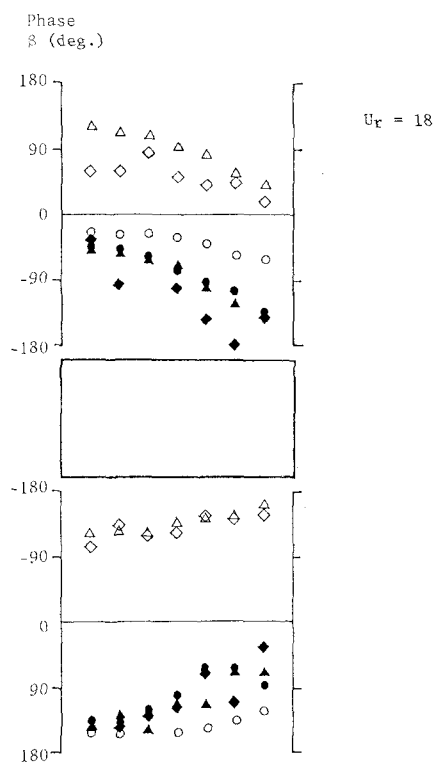


Fig. 16 [c] Phase Difference between Motion and Pressure

力が減衰力として働くようになり、振動が存在し得ないことを示している。逆に、境界線より小さい振幅では振動が存在し得るような力を形成する位相差分布を有している。乱流中での位相差を見ると、以下の振幅でも振動が存在し得ないような位相差分布になっており、振動応答の観測結果と完全に符合している。

$1/2 U_{cr}$ 付近の $U_r = 5.5$ における観測結果は、 U_{cr} 付近のものとは異なり、平均圧力係数は前縁側で大きな圧力低下が、後縁側で急激な圧力回復が見られる。変動圧力係数については、一樣流中で側面中央付近の再付着による若干のへこみが特徴的である。位相差分布の変化もきわめて著しい。この領域での圧力分布の特徴は、側面において大きな変化を示していることである。

一樣流、乱流の差については、振動応答に大きな差がたいことを裏付けるように、認められる。一樣流中での平均圧力係数が、後縁側で著しく圧力回復する特性を持つているために、乱流が存在することによってこの特性を大きく変化させるようには効かず、結局、差が生じなかったと考えられる。

5. トラス補剛断面のフラッタに対する乱流の効果

補剛断面幅に比べて乱流のスケールが小さい乱流中で観測されたフラッタの応答特性が、一樣流中に対して大きく異なる場合から、ほぼ同一とする場合に至るまで種々のケースが見られる。Fig. 17 は乱流の強さ $I_u = 11\%$ 、 $L_d/B = 0.24$ のとき、場合によって乱流の効果が異なる様子を示すものである。概して、一樣流中で認められる不安定なリミットサイクルが、乱流中では消滅し、風速とともに振幅を増すソフトフラッタに移行している。しかも、振幅風速が相対的に高くなり、場合によってはフラッタは存在しない判断すべき例がある。図において、CASE A はグレーティング有、充塞

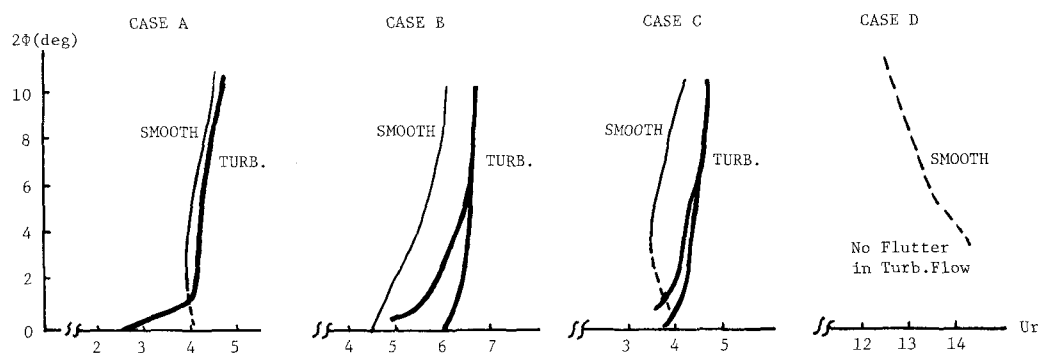


Fig. 17 Various Responses of Flutter in Truss Sections

高橋 ($\alpha = 0^\circ$)、CASE B はグレーティング有、かつ高橋 ($\alpha = 2^\circ$)、CASE C は同じ断面 ($\alpha = 6^\circ$)、さらに CASE D は肉床、充塞高橋 ($\alpha = 0^\circ$) の場合である。

6. あとがき

橋梁構造、部材として用いられるいくつかの断面形を対象に行なわれた風洞実験結果を示して、静止時に作用する定風力、ならびに不安定振動である渦励振、ギャロップング、揺れフラッタの各振動応答に対する風の乱流の効果を述べてきた。本論文で示した特性、あるいはまえがきにも述べた既往

の研究において示された特性をもとに、風の乱れの効果を一言で言えば、対象とする構造断面形状、対象とする現象、すなわちその座標系、その振動応答であるかによって、現われ方が多様であるといふことである。したがって、具体的な事例について、風の乱れの効果を正しく評価するためには、似かよった例に対する観測の資料を活用することは言うまでもなく、よりよく自然風を相似した気流の中で風洞実験を実施することが必要であろう。しかし、よりよく自然風を相似した乱れた気流を得るということには、乱れの効果のメカニズムに関する、より一層の理解を並行して行なうことが、また欠かせない。すなわち、乱れの特性としての、乱れの強さ、乱れのスケール、パワースペクトル形状、空間相関性によって、乱れの効果の現われ方が異なるであろうことを考慮されるからである。最近、断面寸法に比べて小さい乱れのスケールの場合、すなわち L_x/b が大きい場合についての理論的研究が争かけられているが⁸⁾、これらの研究が乱れの効果をより明確に評価する上で有用になると期待される。

7. 参考文献

- 1) Farguherson, F. B., Smith, F. C. and Vincent, G. S., "Aerodynamic Stability of Suspension Bridges with Special Reference to the Tacoma Narrows Bridge", Univ. Washington Engg. Exp. Station Bull. No. 116, Parts I~V, 1950~54.
- 2) Vincent, G. S., "Golden Gate Bridge Vibration Studies", Trans. ASCE, Vol. 127, Part II, 1962.
- 3) Davenport, A. G., Isyumov, N. and Miyata, T., "The Experimental Determination of the Response of Suspension Bridges to Turbulent Wind", Proc. 3rd Int. Conf. Wind Effects (Tokyo), 1971.
- 4) Miyata, T. and Ito, M., "Evaluation of Gusts on Flexible Structures", Proc. 9th Int. Cong. IABSE (Amsterdam), 1972.
- 5) Irwin, H. P. A. H. and Schuyler, G. D., "Experiments on a Full Aeroelastic Model of Lions' Gate Bridge in Smooth and Turbulent Flow", NRC Canada, Nat. Aeronautical Est. Rt., LTR-LA-206, 1977.
- 6) Miyata, T. and Miyazaki, M., "Turbulence Effects on Aerodynamic Response of Rectangular Cylinders", Proc. 5th Int. Conf. Wind Engg. (Colorado), 1979.
- 7) 宮崎正男, 宮田利雄, "静止角柱の場合, 抗力に及ぼす乱れのスケール効果", 第6回土木学会関東支部年次研究発表会概要集, 1979.
- 8) Durbin, P. A. and Hunt, J. C. R., "Fluctuating Surface Pressures on Bluff Structures in Turbulent Winds: Further Theory and Comparison with Experiment", Proc. 5th Int. Conf. Wind Engg. (Colorado), 1979.

Turbulent Wind Effects on Aerodynamic Responses of Bridge Deck Structures

by Toshio MIYATA*, Masao MIYAZAKI*** and Hitoshi YAMADA***

The effect of wind is an important factor in the design of bridge structures. In order to avoid aerodynamic instabilities on the proposed full scale bridge, it is usual to carry out dynamic tests in a wind tunnel. In the wind tunnel tests, it is an important requirement how to simulate the turbulent flow, and to evaluate the effects of turbulence on various responses. Some wind tunnel results for typical bridge decks are shown and discussed in this paper.

1. Introduction
2. Turbulence Effect on Mean Aerodynamic Forces
 - 2.1 Truss Stiffening Girder Sections (Fig.1, 2)
 - 2.2 Rectangular Sections (Fig.3, 4)
3. Turbulence Effect on Galloping of Rectangular Cylinders (Fig.5 ~ 12)
4. Turbulence Effect on Vortex Shedding of Box Girder Sections
 - 4.1 Shallow Box Girder Section (Fig.13)
 - 4.2 1/2 Rectangular Section (Fig.14)
 - 4.3 Pressure Distribution of 1/2 Rectangular Section in Vertical Motion (Fig.15, 16)
5. Turbulence Effect on Torsional Flutter of Truss Stiffening Girder Sections (Fig.17)
6. Concluding Remarks

* Assoc. Professor, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Tokyo
** Research Engineer (Sumitomo Heavy Industries), ditto.
*** Graduate student, ditto.