

立命館大学 理工学部 正員 小林紘士 立命館大学 大学院 学生員 ○畑中章秀
日立造船(株) 正員 植田利夫 日立造船(株) 砂田博幸
日立造船(株) 山口映二

1. まえがき 一様流中でみられる空力不安定振動は、乱れにより影響を受ける。一様流中でみられる渦励振は、六角形断面などの例外を除けば、乱れにより応答振幅が低減する¹⁾。フラッタも乱れの影響を受け、一様流中でのフラッタ限界風速が高風速側に移行する²⁾。しかし、乱れスケールの大きな乱流中では、逆に一様流中よりも大きな応答振幅となるという報告もあり、フラッタに及ぼす乱れの影響については不明な点が多い。本論文では、アクティブ制御された大スケール乱流中でのねじりフラッタの応答特性を調査し、ねじりフラッタに及ぼす乱れの影響について若干の考察を加えた。

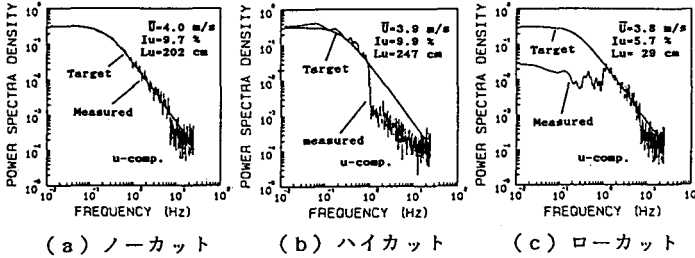


図1 シミュレートされた気流のパワースペクトル

2. 実験概要 実験には、辺長比が10のプレートガードモデルを使用した。モデルは、鉛直方向の変位を拘束したねじり1自由度支持とした。無風時の振動数および対数減衰率は、それぞれ $f_n=3.19\text{Hz}$ 、 $\delta_n=0.02$ である。実験に用いた乱流は、アクティブ乱流発生装置によりシミュレートされたアクティブ制御乱流である⁴⁾。

3. 実験結果 (1) 乱流中でのフラッタ応答 乱れ強度の異なる二種類の乱流をシミュレートした(表1のT1,T2)。図1(a)に測定された主流方向成分の流速変動のパワースペクトル示す。図中には目標としたカルマン型のパワースペクトルも併記している。測定された流速変動のパワースペクトルは、目標値に良く一致している。本論文では掲載していないが、鉛直方向成分の乱れも目標とするスペクトル形状によく一致した気流がシミュレートされている。本実験では、翼列および平板列を水平に静止させた状態で得られる乱れの小さな気流を準一様流として使用した。準一様流の乱れ強度は、 $\bar{U}=2\sim7\text{m/s}$ の範囲で、 $I_u=2\sim0.7\%$ となり、風速とともに乱れ強度が低下する傾向を示した。

図2は、上述の準一様流および乱れの異なる二種類の乱流中での応答曲線を示したものである。横軸は、平均風速で、縦軸はねじり振幅の標準偏差の2倍である。標準偏差が 2° を越える風速は乱流中の方が高く、また乱れ強度が大きいほど高風速側になっている。

(2) 乱れの周波数成分とフラッタ応答 乱れの低周波側および高周波側の周波数成分の影響を際立たせるために、 $I_u=10.0\%$ を持つ乱流(T1)の0.5,1.0,3.5Hzより高周波側および低周波側をカットした乱流

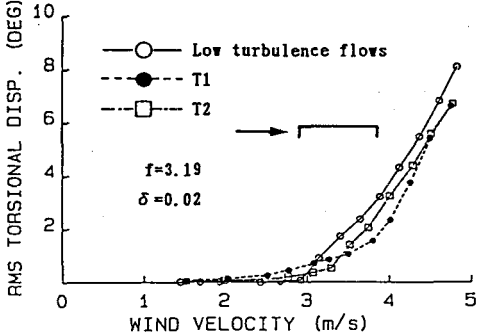


図2 風速-応答図

表1 シミュレート気流の乱れ特性値

Turbulence No.	Iu (%)	Iw (%)	Lu (cm)	Lw (cm)
T1	9.7	4.8	202	84
T2	5.1	2.5	199	58
T1-HC-0.5	9.0	3.2	316	183
T1-LC-0.5	6.8	4.1	43	35
T1-HC-1.0	9.9	3.8	247	110
T1-LC-1.0	5.7	3.3	29	24
T1-HC-3.5	10.2	4.6	198	66
T1-LC-3.5	3.2	1.7	12	8

中での応答を調べた。シミュレートされたハイカットおよびローカットフローの乱れ特性値を表1に示す。シミュレートされた1Hz ハイカットおよびローカットフローの主流方向成分のパワースペクトルを図1(b), (c)に示す。測定されたパワースペクトルは、1Hz を境にして急変している。

図3 は、乱れ強度に対するねじり振幅の標準偏差を示したものである。対象とした風速は、4m/sである。ノーカットの乱流については、乱れ強度が大きくなるにつれて応答振幅(○)が低下している。ガスト応答の場合、乱れ強度が大きくなれば応答振幅は大きくなるが、本実験での風速4m/sの領域はガスト応答よりも自励的な振動による寄与が大きいものと考えられる。0.5, 1.0Hz ハイカットフローは、乱れ強度が約10% あるが、応答振幅(●, ▲)は、準一様流中とほぼ等しくなっている。一方、ローカットフローは、乱れ強度が約2.5~5% であるが、準一様流および $I_u=5.0\%$ の通常の乱流中での応答振幅よりも小さくなっている。以上のことから、フラッタの抑制には、高周波側の乱れの影響が大きいことが分かる。

(3) フラッタ応答に及ぼす乱れスケールの効果 カルマン型のパワースペクトルは、乱れスケールが大きくなるほど高周波領域の乱れのパワースペクトルの値が大きくなる。そこで、乱れスケールが、 $Lu=400, 200, 100\text{cm}$ ($I_u=10.0\%$, $I_w=5.0\%$, $L_w=Lu/4$) の三種類の乱流中でのフラッタ応答を調べた。

図4 に応答曲線を示す。いずれの応答もあまり大きな差が認められなかった。乱流中でのフラッタ空気力成分を調べるために、次式により空力減衰 δ_a を算定した。

$$\delta_T = 2\pi S_0 / 81 \rho^2 \sigma^2 \omega^3, \quad \delta_a = \delta_T - \delta, \quad (1)$$

S_0 は、乱れによるガスト空気力のパワースペクトルであり、固有振動数周辺の二乗平均帯域幅の平均値を用いた。なお、ガスト空気力は、ひずみゲージにより計測した。

図5 に測定結果を示す。これより、乱流中での空力減衰は、準一様流中よりも正の方向に大きな値となっており、乱流中ではフラッタが安定化する傾向にあることが分かる。また、

風速とともに空力減衰は小さくなる傾向にあり、乱流中でもフラッタに向かう傾向にある。また、高周波領域の乱れのパワーの値が最も小さくなる $Lu=400\text{cm}$ のケースが、最も小さな値となっており、上述の高周波の乱れによるフラッタ抑制効果と整合する結果となっている。しかし、 $Lu=200, 100\text{cm}$ のケースでは大きな違いが認められなかった。乱流中のフラッタ応答には模型の固有振動数付近の乱れの周波数成分だけでなく、周期 5~10秒の長周期の変動も重要な影響を与えていると考えられ、今後検討の余地がある。

4. まとめ

本研究により得られた成果を以下にまとめる。①ねじりフラッタの乱れによる抑制効果として、特に高周波成分の乱れの寄与が大きい。②空力減衰から、乱流中では準一様流中よりもフラッタが安定化することを確認した。③乱流中でも、フラッタ不安定性の傾向が認められる。

参考文献 1) 武田・園部：第39回年講, 1984.、2) Tanaka, H. & Davenport, A. G. : ASCE, No. 108, No. EM1, 1982.、3) Huston, D. R. : Ph. D論文, 1986.、4) 小林・畑中はか：第12回風工学シンポジウム, 1992.

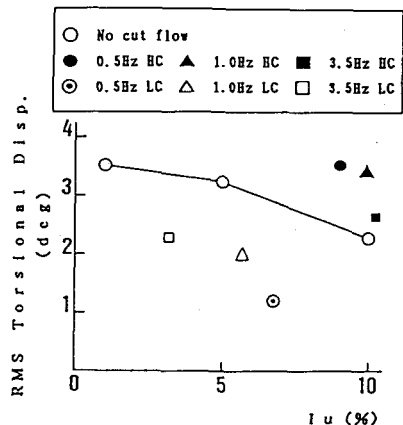


図3 乱れ強度とフラッタ応答の関係

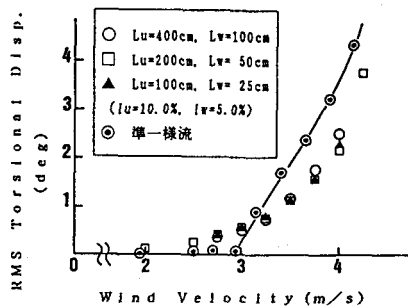


図4 風速-応答図

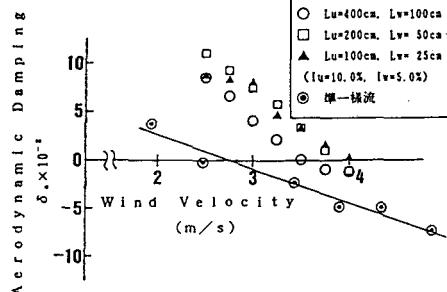


図5 風速-空力減衰図