

（株）ニチゾウテック 正員 畑中章秀
立命館大学 理工学部 正員 小林敏士
日立造船（株） 正員 植田利夫

1. まえがき 一様流中で橋梁断面に生じる空力不安定振動は、乱流中では応答性状が変化する。渦励振は、偏平六角形断面などの例外を除けば、乱れが強くなれば応答振幅は低減し、乱流中では安定化する¹⁾。ねじりフラッタについては、乱流中ではフラッタ限界風速が高風速側に移行し、安定化する傾向にある²⁾。しかし、一方では乱れスケールの大きな乱流中では、逆にフラッタが不安定化する傾向にあるという報告例³⁾もあり、ねじりフラッタに及ぼす乱れの影響には不明な点が少なくない。そこで、本研究では、乱れ特性の異なる種々の乱流を作用させて、ねじりフラッタに及ぼす乱れの影響を調査する。

2. 実験概要 実験には、幅高さ比が10のプレートガーダータイプの橋梁断面模型（図1）を使用した。模型の振動諸元は、図中に示している。模型は、鉛直曲げ振動を拘束したねじり1自由度支持とした。

模型に作用させた乱流は、アクティブ乱流発生装置⁴⁾により制御されたアクティブ制御乱流である。アクティブ制御された乱流のパワースペクトルの一例を図2(a)に示す。シミュレートされた乱流は、目標としたカルマン型のパワースペクトル（図中に併記している）とよく一致している。

また、ねじりフラッタに及ぼす乱れの影響の基本的な特性を調べる目的で、①高周波側の乱れを除去するハイカットロー、②低周波側の乱れを除去するローカットロー、③主流方向正弦変動流の3種類の気流を模型に作用させた。図2(b), (c)には、1Hzよりも高周波側ならびに低周波側の乱れの成分を除去した気流のパワースペクトルを示す。1Hzを境にパワースペクトルの値が、急変していることが分かる。表1は、特定の周波数成分を除去しない乱流、ローカットおよびハイカットローの乱れ特性値を示している。表中には、乱れスケール u_0 と模型の代表幅 B との比 u_0/B も示している。これより、ハイカットローは模型の幅

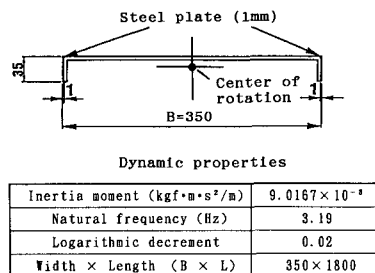


図1 模型断面図

の数倍以上の乱れスケールを有しており、ローカットローは模型の幅と同等かそれ以下の乱れスケールを有する乱流であることがわかる。なお、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の乱れの小さな乱流中（ $\bar{U}=2\sim 7\text{m/s}$ で $Iu=2.0\sim 0.5\%$ 、以下では他の乱流と区別するために準一様流と呼ぶ）での実験も行っており、他の乱流中での実験との比較を行っている。

3. 実験結果と考察 まず、準一様流と乱れの異なる2種類の乱流中での応答を調べた。風速-応答図を図3に示す。これより、振幅が 2° を越える風速は、乱れが大きくなるにつれて高風速側になっており、乱れとともにフラッタが安定化する傾向にあることがわかる。

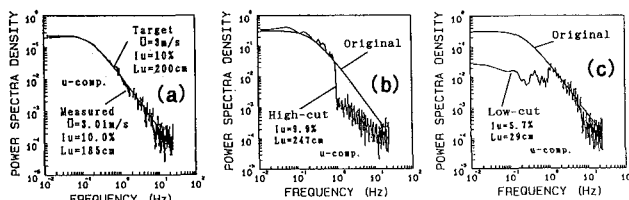


図2 アクティブ制御された乱流のパワースペクトル

表1 アクティブ制御された乱流の乱れ特性値

Cut-off freq. (Hz)	No.	Measured			
		$Iu(\%)$	$Iw(\%)$	$Lu(\text{cm})$	$Lw(\text{cm})$
Original	T1	5.1	2.7	171(4.9)	51
	T2	10.0	4.8	185(5.3)	60
Low-cut	T2-LC-0.5	6.8	4.1	43(1.2)	35
	T2-LC-1.0	5.7	3.3	29(0.8)	24
	T2-LC-3.5	3.2	1.7	12(0.3)	8
High-cut	T2-HC-0.5	9.0	3.2	316(9.0)	183
	T2-HC-1.0	9.9	3.8	247(7.1)	110
	T2-HC-3.5	10.2	4.6	198(5.7)	66

次に、フラッタに及ぼす乱れのスケールの影響を調べる目的でロケットおよびハイクットローを作用させて、応答を調べた。図4は、乱れ強度 I_u と応答振幅 2σ (deg)の関係を示したものである。特定の周波数成分を除去しない乱流(T1, T2)中では、乱れ強度ともに応答振幅が低減している。

ハイクットロー中での応答は、ほぼ同じ乱れ強度を持つ乱流T2中よりも大きな応答となっている。0.5 および 1.0Hzのハイクットローは、模型の固有振動数近傍のパワースペクトルが乱流T2よりも小さく、風の乱れに起因した応答は小さくなるものと予想される。しかし、ハイクットロー中での応答の方が大きくなっている。ハイクットロー中の応答には、自励振動による応答が多く含まれており、このため乱流T2よりも大きな応答となったものと考えられる。この場合、高周波成分の乱れを除去することにより応答が大きくなっており、高周波成分の乱れが乱流中での自励振動の発現に影響を及ぼすものと考えられる。

ロケットロー中での応答は、ほぼ同じ乱れ強度を持つ乱流T1と比べて、半分程度の応答になっている。同じ乱れ強度なら、乱流T1よりも0.5 および1.0Hzのロケットローの方が固有振動数付近の乱れのパワーが大きい。それゆえに、もし応答が、不規則強制振動ならロケットローによる応答（狭帯域応答）の方が大きくなると考えられる。しかし、ロケットロー中での応答の方が小さくなっており、これは乱流中の応答にはフラッタ応答がかなり含まれており、高周波成分乱れがフラッタ応答を抑制する傾向を持つものと考えられる。同じ乱れ強度でも低周波成分の乱れを除去した高周波成分の乱れが顕著な乱流中では、自励振動が抑制される傾向にあることを示すものと考えられる。

以上のことから、偏平な橋梁断面に生じるねじりフラッタは、乱れにより抑制される傾向にあるが、特に高周波側の乱れが抑制効果に寄与しているものと考えられる。

乱れの周波数成分とフラッタ応答の関係についてはさらに各周波数の主流方向正弦変動流を用いて調査した。図5に各周波数の主流方向正弦変動流の乱れ強度 I_u と各正弦変動流に対する応答振幅 2σ (deg)の関係を示す。図中 $T_A \sim T_D$ は、 I_u がほぼ同じで f の異なる変動流を示したものであり、 $T_A \sim T_D$ の変動流に対する応答を下図の $R_A \sim R_D$ に示している。同じ乱れ強度では、高周波数の変動流になるほど応答振幅が小さくなっている。また、低周波側に比べて、高周波数側の変動流は小さな乱れでも応答が大きく低減しており、上述の実験結果と同様に高周波数側の乱れが自励振動の抑制に大きく寄与していることが確かめられた。

参考文献 1) H. Kim, 大阪大学博士論文, 1922.

2) H. Tanaka and A. G. Davenport, ASCE, Vol. 108, No. EM1, 1982.

3) D. R. Huston, フリスツン大学Ph.D論文, 1986.

4) 小林ほか, 第47回土木学会年講, 1992.

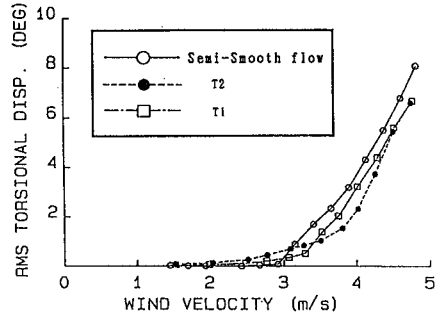
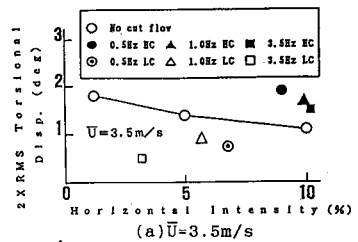
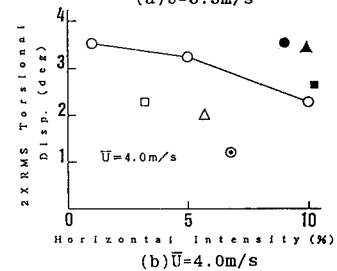


図3 風速-応答図

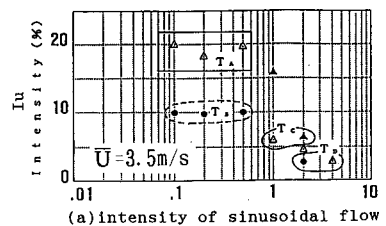


(a) $\bar{U}=3.5\text{m/s}$

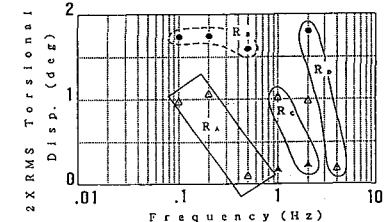


(b) $\bar{U}=4.0\text{m/s}$

図4 各種乱流によるねじり応答振幅の変化



(a) intensity of sinusoidal flow



(b) response amplitude

図5 各周波数の正弦変動流とねじり応答振幅