

スケールの大きい乱流中における角柱の応答特性

立命館大学理工学部 正 員 小林紘士

大阪大学工学部 正 員 川谷充郎

大阪大学大学院 学生員 ○中出 収

大阪大学工学部 学生員 太田 圭

立命館大学理工学部 学生員 畑中章秀

1. まえがき 風洞実験によって長大橋の動的耐風安定性を照査する場合に、乱流を用いた応答実験が行われてきている¹⁾。その結果、一様流中と乱流中とでは渦励振応答や高風速での応答に違いのあることが認められてきており、動的応答を評価する上で乱れの影響が重要である。乱れ強度に関しては、今までの研究で渦励振に対する制振効果が認められている²⁾。しかし、乱れスケールが動的応答にどれほど寄与しているかは、未だ不明確な点が多い。実橋に作用している自然風の乱れスケールは、橋桁の幅員よりも数倍大きいことが知られており、乱れスケールの効果を調査するためには大きな乱れスケールを有する乱流中における応答実験が必要である。そこで本研究では、乱れスケールの大きい乱流中における角柱の渦励振応答実験を行い、乱れスケールの影響について調査を行った。乱流発生装置としては、格子乱流より1桁大きい乱れスケールを有する乱流発生が可能であるアクティブな翼列と³⁾、新しく開発した平板列を用いた。

2. 実験概要 使用した風洞は1.8×1.8mの断面を有しており、その風路内に側壁を用いて図-1に示す断面1.8×0.9m、長さ3.1mの測定風路を設けた。風路の上流端に翼列を設置し、下流端に平板列を設置した。翼列はNACA0012型と呼ばれる断面形状であり、この翼をすべて同位相に回転変動させ、鉛直方向(w成分)の乱れを制御した。また、下流側の平板列を回転変動させることにより風路の閉塞率を変化させ主流方向(u成分)の乱れを制御した。なお、翼列および平板列はサーボモータを介しコンピュータにより10Hzまでランダム制御が可能であることを予備実験により確認した。

乱流のシミュレーションは、パワースペクトルの形状がKármánの式に適合する乱流を目標とした。u成分の乱れスケール $L_{x,u}$ およびw成分の乱れスケール $L_{x,w}$ の応答への影響をそれぞれ独立に調べるため、 $L_{x,u}$ のみを変化させた乱流と、 $L_{x,w}$ を変化させた乱流をシミュレートした。

シミュレートされた乱流中において、2次元角柱の気流直角方向の渦励振に着目した応答実験を行った。角柱模型の幅B×高さD×長さLは150×60×660mmで、長辺を気流に平行にばね支持した。模型重量は2.52kg、固有振動数は5.0Hz、対数構造減衰率は $\delta=0.005$ (振幅B/200)であった。

3. 実験結果・考察

(1) 乱流シミュレーション 図-2に翼列と平板列によりシミュレートされた気流のパワースペクトルの一例を示す。目標とする所要パワースペクトル(Kármánの式)も併記した。本システムにより得られた乱れの主流方向成分、鉛直方向成分共に所要パワースペクトル(Kármánの式)と比較的よく適合しており、スペクトルピークもほぼ一致した。また、得られた乱流の乱れスケールは、u成分のみ制御した場合には $L_{x,u}=36\sim363\text{cm}$ (模型の縮尺を1/50と仮定し、実風に換算すると、18~181m)、w成分制御の場合は $L_{x,w}=15\sim135\text{cm}$ (同じく、7.5~68m)であった。表-1, 2に乱流特性をまとめて掲げる。

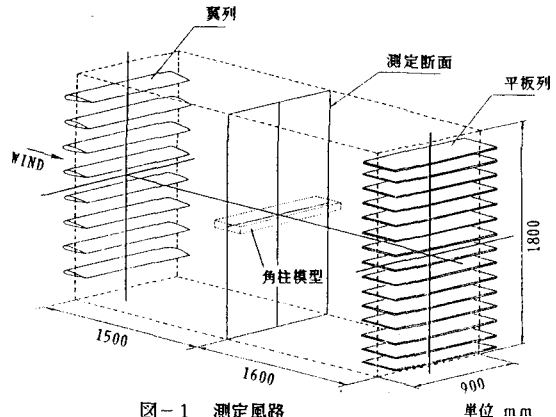


図-1 測定風路

(2) 渦励振応答実験 前項で得られた乱流中において応答実験を行い渦励振の振幅 (rms 値) を測定した。気流の乱れによる振幅の低減効果を次式で評価した。

$$\text{振幅低減比: } R\eta = \frac{\eta_{\text{tur}}}{\eta_{\text{smooth}}}$$

ここで、 η_{tur} 、 η_{smooth} は乱流中および一様流中での渦励振振幅 (rms 値) を示す。この $R\eta$ の $L_{x,u}$ による変化を図-3に示す。これは $L_{x,u}$ を約34cmとし、 $L_{x,u}$ を36～

363cm (乱れスケール比 $L_{x,u}/B$ に換算すると、2～24の範囲) に変化させたものである。D:B=1:2.5の2次元角柱の渦励振応答に関して、 $L_{x,u}$ の増加により渦励振振幅 rms 値は減少の傾向を示すものの、その割合は小さく、振幅低減効果のほとんど無いことが認められた。また、渦励振発生風速も一様流中と変わらず同一の風速域であった。

次に、 $R\eta$ と $L_{x,w}$ の関係を図-4に示す。 $L_{x,w}$ が15cmから135 cmに増加すると渦励振最大振幅が約1割減少している。この場合 $L_{x,u}$ も変化しているが、図-3からその影響が小さいと思われる。従って、 $L_{x,u}$ と比較すると、 $L_{x,w}$ の方が振幅低減効果が若干大きいと推測される。

4. まとめ ①風洞内において翼列および平板列を用いて、Kármánの式に適合するパワースペクトルを有する乱流シミュレーションを行った。その結果、乱れスケール $L_{x,u}=36\sim363\text{cm}$ 、 $L_{x,w}=15\sim135\text{cm}$ の乱流を発生させる事ができた。②D:B=1:2.5の2次元角柱の渦励振応答に及ぼす乱れスケールの影響を調べた結果、 $L_{x,u}$ および $L_{x,w}$ が増加すると振幅の若干減少する傾向が認められるものの、顕著な振幅低減効果は見られなかった。また、 $L_{x,u}$ より $L_{x,w}$ の方が振幅を減少させる効果が大きいと思われる。

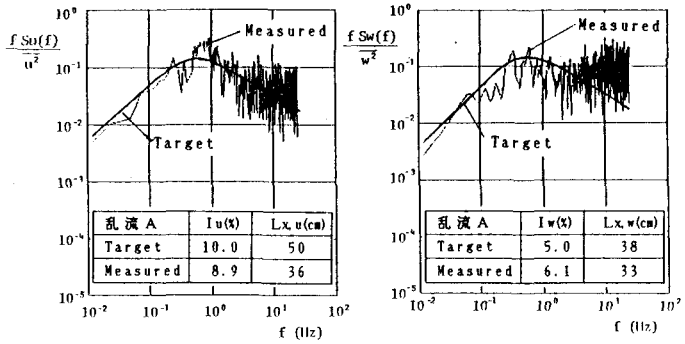


図-2 気流変動の基準化パワースペクトル

表-1 乱流特性 (u成分制御)

気流名	Iu (x)	Iw (x)	Lx,u (cm)	Lx,w (cm)
乱流 A	8.9	6.1	36	33
乱流 B	9.7	5.8	126	28
乱流 C	9.8	5.8	209	35
乱流 D	10.2	5.2	267	33
乱流 E	11.8	5.1	363	40

表-2 乱流特性 (w成分制御)

気流名	Iu (x)	Iw (x)	Lx,u (cm)	Lx,w (cm)
乱流 1	2.3	4.7	10	15
乱流 2	2.2	4.1	17	37
乱流 3	4.3	4.2	317	102
乱流 4	5.7	4.8	116	125

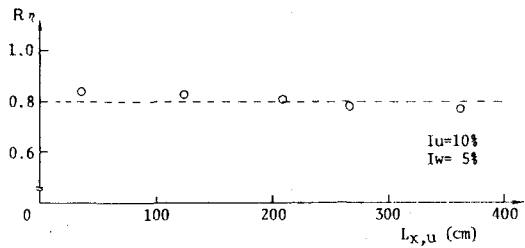


図-3 乱れスケール ($L_{x,u}$) による振幅低減効果

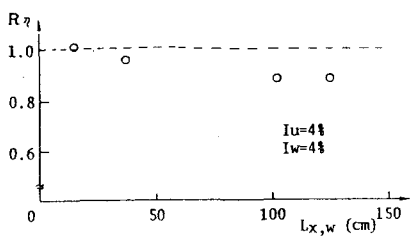


図-4 乱れスケール ($L_{x,w}$) による振幅低減効果

参考文献 1) 例えば 鈴木利彦・樋上琇一: 土木学会第40回年次学術講演会講演概要集, I-223, 1985.
 2) 中出 収・小林紘士・川谷充郎: 土木学会第42回年次学術講演会講演概要集, I-300, 1987.
 3) Cermak, J. E., Bienkiewicz, B. and Peterka, J. A : Federal Highway Administration Report No. FHWA/RD-82/148, 1983. 2.