

I-270 大型風洞施設における境界層乱流の生成

本州四国連絡橋公団	正会員	鈴木周一
本州四国連絡橋公団	正会員	保田雅彦
建設省土木研究所	正会員	金崎智樹
海洋架橋調査会	正会員	渡部剛賢

1. まえがき 本州四国連絡橋公団が建設省土木研究所構内に設置した大型風洞施設では、明石海峡大橋の全橋模型風洞試験が進行中であり、この試験では、一様流中での試験および境界層乱流中での試験を実施している。所要の特性を有する境界層乱流を発生させるために必要な粗度要素の決定手法としては、スパイヤの設計における Irwinの経験式があり、当初はこの式を基本としてスパイヤのみにより境界層乱流を発生させることを計画したが、結果的には試行錯誤による乱流発生装置の検討を実施することとなった。

ここでは、大型風洞施設において所要の境界層乱流を得るまでの検討経緯および得られた境界層乱流の特性を報告する。

なお、一連の実験は、本州四国連絡橋公団と建設省土木研究所とによる「超長大橋梁の耐風設計法に関する共同研究」の一環として、本州四国連絡橋耐風委員会(委員長:宮田利雄横浜国立大学教授)・大型風洞試験作業班の協力のもとで行われているものである。

2. 目標とする乱流特性 目標とする境界層乱流の特性としては、「明石海峡大橋耐風設計要領」により補剛桁高さにおける主流方向の乱れ強さ $I_u=10\%$ 、鉛直方向風速分布のべき指数 $\alpha=1/8$ を基本とした。また、比較ケースとして、補剛桁高さにおける乱れ強さ $I_u=5\%$ の境界層乱流についても作成することとした。

3. 検討経緯 大型風洞施設を建設するにあたっては、縮尺 $1/16$ のパイロット風洞試験を実施し、スパイヤによる境界層乱流発生の可能性についても検討した。パイロット風洞試験では、実物に換算して高さ $h=3.2\text{m}$ 、底辺の幅 $b=0.29\text{m}$ の三角形形状のスパイヤを 1.6m ピッチで配列した場合に、 $\alpha=1/7$ 、 $I_u=10\sim 12\%$ 、境界層厚さ $3.2\text{m}\sim 3.5\text{m}$ 程度の境界層乱流が得られると言う結論であった。

また、Irwinの式によれば、 $\alpha=1/8$ 、境界層厚さ $\delta=3\text{m}$ とすれば高さ $h=3.92\text{m}$ 、底辺の幅 $b=0.38\text{m}$ の三角形形状のスパイヤを 1.96m ピッチで配列することとなる。

これらの検討結果をもとにスパイヤの設計を行ったが、スパイヤ上部の振動を防ぐためには、高さ 4m の風洞の天井にスパイヤを固定した方が良いと判断した。したがって、基本的にはスパイヤの高さが概ね風洞測定部の高さに等しい Irwinの式によるスパイヤを用いることとした。ただし、このような天井にとどくスパイヤが使用された例はほとんどない。そこで、まず予備的に気流特性を計測し、その後、本格的な気流特性の計測を実施することとした。また、目標とした2種類の境界層乱流に対応させるため、スパイヤ底辺の幅 b は $0.27\sim 0.46\text{m}$ の範囲で可変できるよう設計した。設計されたスパイヤを図-1に示す。

4. 境界層乱流の特性 まず、スパイヤ底辺の幅を $b=0.27\text{m}$ および $b=0.46\text{m}$ とした場合の乱流試験位置における概略の気流特性を把握した。その結果、 $b=0.46\text{m}$ (Case1)とした場合でも補剛桁高さの乱れ強さが $I_u=8\%$ であり、所要の乱れ強さが得られなかった。そこで、床面に350個のブロックを試行錯誤的に敷き並べ、特性を改善することとした。まず、乱流試験位置より 5m 上流側に幅 5m の範囲でブロック敷き並べた場合(Case2)を実施したが、基準高さとした 800mm より低い範囲では乱れ強さが大きくなったものの、基準高さでの乱れ強さは十分でなかった。さらに、乱流試験位置より 10m 上流側に幅 5m の範囲でブロック敷き並べた場合(Case3)を実施し、概ね所要の気流を得ることができた。乱流発生装置の配置を図-2に、それぞれの試験ケースの乱れ強さおよび平均風速の高さ方向の分布を図-3、4に示す。また、Case3の風路中央、高さ 800mm で得られた主流方向風速変動のスペクトルを図-5に示す。乱れスケールは約 1m であった。

なお、これらの分布がスパイヤの背後とその中間とで差がないことも確認した。

5. まとめ 今回の、調査により判明したことを以下にまとめる

- (1) 大型風洞では、Irwin の式によるスパイヤのみでは所要の境界層乱流が得られなかった。
- (2) Irwin の式によるスパイヤに床面のブロックを併用することにより良好な境界層乱流が得られた。
- (3) 床面のブロックは、目標とする乱流特性に合わせ適切に配置する必要がある。

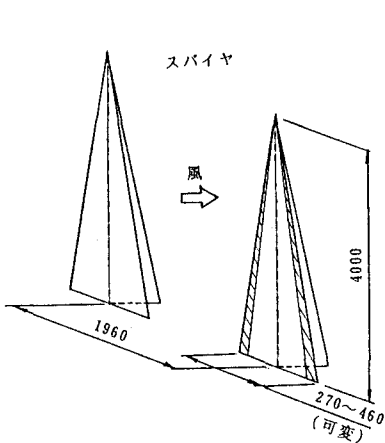


図-1 スパイヤ
(単位 mm)

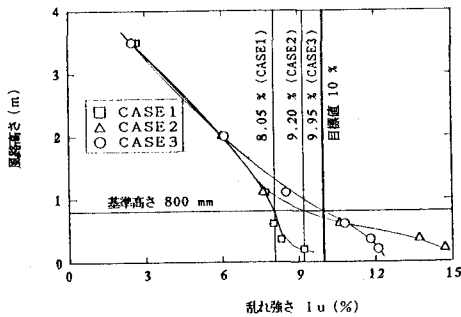


図-3 乱れ強さの高さ方向分布

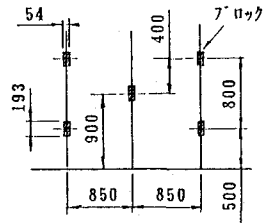
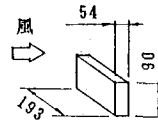
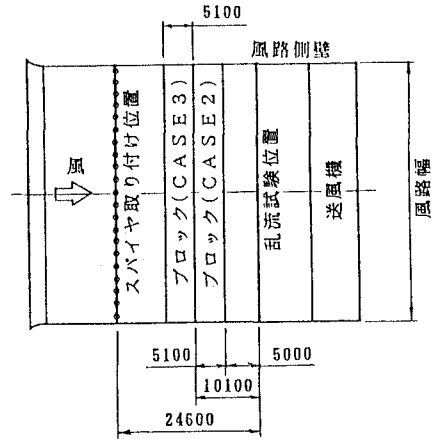


図-2 乱流発生装置の配置
(単位 mm)

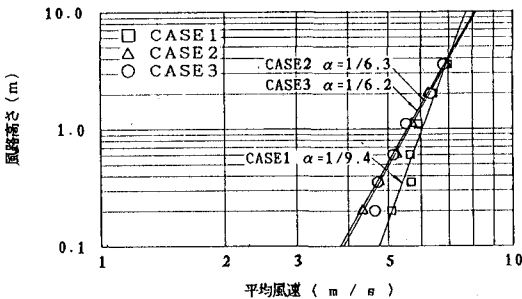


図-4 平均風速の高さ方向分布

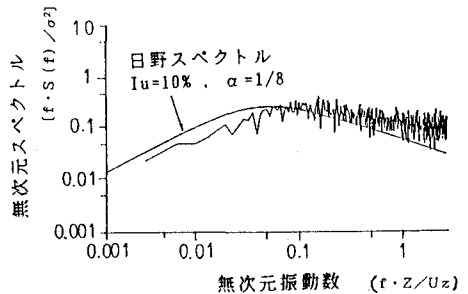


図-5 主流方向風速変動のスペクトル