

風洞の高風速化への一例

中村 純生^{*1}
Nakamura Sumio

長大橋梁の耐風設計、大型構造物の風圧力にかかわる建築設計、船舶などの甲板上における気流状態の調査、プラントなどの建設にかかわる環境アセスメントなど風洞試験の適用分野は幅広い。近年では、昭和40年～50年代に建設された試験用風洞では対応できないニーズが出てきた。

そのような状況の中、設備の大幅な改修をとまなうことなく最近の試験で要求されている高風速を実現できる方法と適用例を紹介する。

キーワード：風洞、風洞試験、耐風試験

1. はじめに

当社が使用している風洞では、環境アセスメント、耐風工学、空気力学の実験を行っている。

環境アセスメントとは、発電所や揚運炭設備、LNGタンク、ごみ処理場などを建設するにあたり、ガスや熱の拡散、白煙などが周囲の環境にどのような影響を与えるかを地形や建物の影響、大気の安定度を加味して事前に予測することである。耐風工学では、橋梁やクレーン、運搬機械、高層ビル、煙突などの大型の土木・建築構造物の耐風安定性、ガスト応答（風速変動によって発生する構造物の不規則な振動）、空力弾性振動等に対する風の影響を調べている。空気力学では、船舶や海洋構造物、送風機、ファン、市街地のビルなどにかかる空気力、物体周りの流れのパターンや渦、乱れの影響などを調査研究している。

風洞設備は3つあり、試験の特性により使い分けている。最も高風速（20m/s）での試験が可能な構造物安定性風洞、クレーンや橋梁などの構造

物の全体模型および現地地形を再現した広範囲で大型の模型が設置可能な大型大気乱流風洞、環境アセスメント試験（煙拡散試験など）に適し、温度の状態による拡散現象の違いを模擬できる温度成層風洞がある。

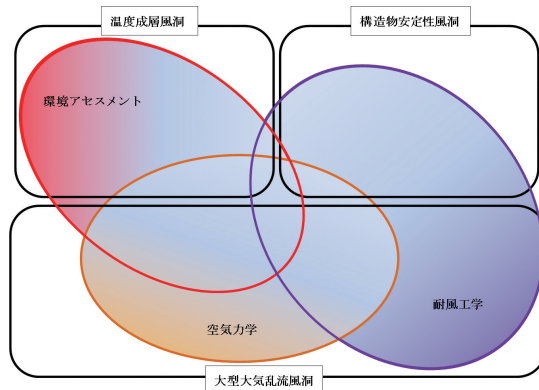


図1 風洞の用途

近年では縮尺模型を用いた試験のみならず、実物を用いた試験の引き合い（風速30m/s以上）が多くあり、これまで以上に高風速試験へのニーズが高まっている。そこで、風洞実験設備の試験能

*1：計測事業部 計測技術部 大型試験G 課長

力向上の一環として、大型大気乱流風洞の流速を向上させる手法の一例を紹介する。

なお、風洞実験設備とそれに付帯する設備はIHI 所有の設備であるが、IIC は構造物安定性風洞および大型大気乱流風洞の試験業務、維持管理を委託されており、IHI の試験業務の他に社外からの受託試験も行っている。

2. 風洞実験設備の仕様

IHI 横浜事業所内にある各風洞実験場の設備仕様を表 1 に示す。

表 1 風洞実験設備一覧

IHI・技術開発本部			
名称	構造物安定性風洞	大型大気乱流風洞	温度成層風洞
方式	吹出	吹出	回流
幅(m)	1.5	6.0	5.0
高さ(m)	2.5	3.0	1.8
長さ(m)	8.0	24	20
風速範囲(m/s)	0.5~20	1.0~12	0.2~8.0(加熱なし) 0.2~3.0(加熱あり)
付帯設備	3軸トラバース装置	6軸トラバース装置 φ3000ターンテーブル	3軸トラバース装置

風洞設備の構造について大型大気乱流風洞を例にとり述べる (図 2)。

送風機により風を送り、拡散胴、整流胴、縮流胴

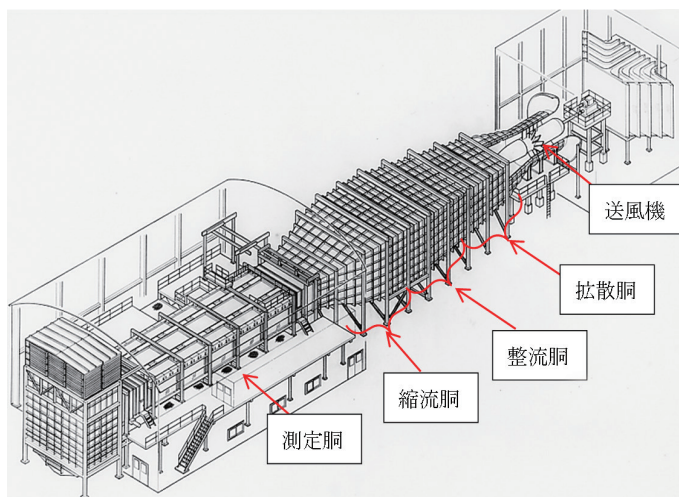


図 2 大型大気乱流風洞

にて気流乱れの少ない状態にし、測定胴に導入する。測定胴では実験する対象物を設置し、各種計測を行う。この測定胴が大きいと、実物や大きいモデルを使用することができるため、モデルの再現精度が上がることにより計測精度が向上するメリットがある。

3. 高風速化への手法

大型大気乱流風洞において、測定胴内に縮流ノズル (2次元) を設置し最大風速を 12m/s から 35m/s 以上に引き上げるための検討をした結果、風路の幅を 6.0m から 1.7m とし断面積を約 1/3 にすることで、最大風速を 3 倍にすることができた。図 3 に示すとおり縮流ノズルは設置作業性に配慮して分割して製作した。

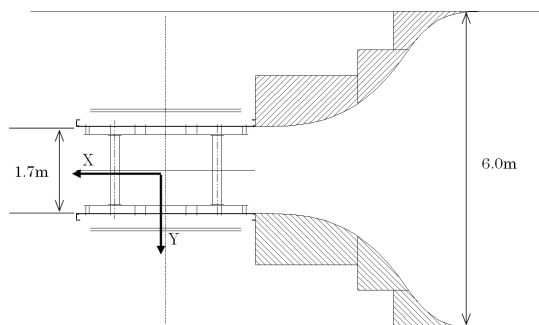


図 3 縮流ノズル設置図 (測定胴平面図)

3.1 縮流ノズル

縮流ノズルは木製で、人力により運搬できるように1パーツ30kgf程度を目標とした。縮流ノズルの外観を写真1に示す。表面は境界層の発達を抑えるため、ニス塗装をして表面の粗さを極力小さくした。運搬設置に要する期間は4人で2日ほどである。



写真1 縮流ノズル外観

3.2 気流特性計測

縮流ノズルを用いて生成された気流の妥当性を検証するため、気流特性精度（風速分布、乱れ強さ）を計測した。使用した計測器を表2に示す。計測にはトラバース装置を用いて熱線流速計プローブを移動させた。

表2 計測機器一覧

計測器名	メーカー	型式
熱線流速計	KANOMAX	MODEL7100
流速計プローブ	TSI	1241-20
ローパスフィルター	NF	P-81

3.3 気流特性結果

測定断面のY方向に計測した結果を図4に示す。測定部の幅は1.7mであるが、端部の境界層を排除した実際の測定可能部分は約1.4mである。計測は中心(Y=0)を基準に±600mmの範囲を計測した。風速U=30m/sおよび35m/sにおいて、基

準風速計との風速比U/U₀の偏差は±0.8%以内で一定であり、その際の乱れ強さはほぼ1%以下であった。

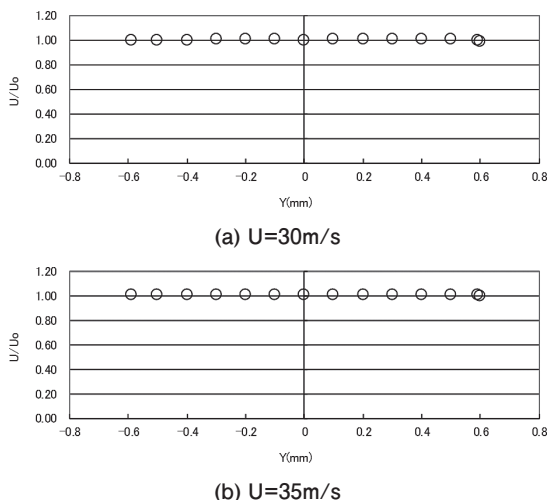


図4 気流分布計測結果

本州四国連絡橋風洞試験要領⁽¹⁾によると、風洞の具備すべき性能として平均風速に対する偏差1%以下、乱れ強さ1%以下を基準と定義していることをふまえると、縮流された風路内の気流は要求性能を満たしているといえる。高風速化へ対応後の風洞の主要仕様を表3に示す。

表3 高風速化対応後の風洞主要仕様

	通常	高風速化
幅(m)	6.0	1.7
高さ(m)	3.0	3.0
風速範囲(m/s)	1.0~12	1.0~35

4. 高風速化実験の事例

斜張橋は橋桁を斜めケーブルで支えた橋梁形式であり、吊橋と同様に長大橋で採用される。斜張橋ではケーブルが風雨の相互作用で振動するレインバイブレーションと呼ばれる現象が耐風設計上問題となる。制振対策としてはケーブル同士をワイヤーで連結し剛性を増加する対策、制振装置の

設置、ケーブルの表面を工夫する空力的対策があげられるが、今回は空力的対策に注目した。空力対策としてヘリカルリブが設置されたケーブルは多くの橋梁で採用されている。ここで紹介するのはヘリカルリブが設置されたケーブルにかかる空気力特性を把握する実験である⁽²⁾。ケーブルに作用する空気力は流体の慣性力と粘性力の比を表す、物体周りの流れの相似に関する指標であるレイノルズ数の影響を受ける。そのため、実橋ケーブルの空気力を評価するために、実際のケーブルと同じ大きさ、実橋風速での試験を行った。

レイノルズ数とは式(1)により定義される相似則であり、流速に比例して増加する。

$$Re = \frac{UD}{\nu} \quad (1)$$

(流速：U (m/s)、代表長：D (m)、流体の動粘性係数： ν (kg/(m·s)))

特定のレイノルズ数領域では抗力の急減 (Drag Crisis) が確認されているが⁽³⁾、その現象を含めてヘリカルケーブルの空気力特性を計測した。

4.1 試験方法

縮流ノズルを設置した測定部に定常空気力計測装置を据え付け、ケーブル模型を設置し計測した。ケーブル模型の設置例を写真2に示す。実

際のケーブルで用いられるHDPE (High density Polyethylene) 管と、表面粗度のより小さいアクリル管を用意した。さらに、振動対策ケーブルとして、リブを一定間隔でらせん状に2重に巻き付けたヘリカルケーブル (double helices)、リブを一定間隔で周方向に巻き付けたサークルリブ (circular Ribs) を用意した。流速は数段階変化させ、それぞれの流速に対して抗力を計測した。



写真2 ケーブル模型の設置例(ヘリカルケーブル)

4.2 試験結果

抗力係数の計測結果を図5に示す。通常の風路では図中 $Re < 1.20 \times 10^5$ の部分でしか空気力評価をすることができず、高速化実験へ対応したことにより、計測できる領域が図中 $Re > 1.20 \times 10^5$ に拡

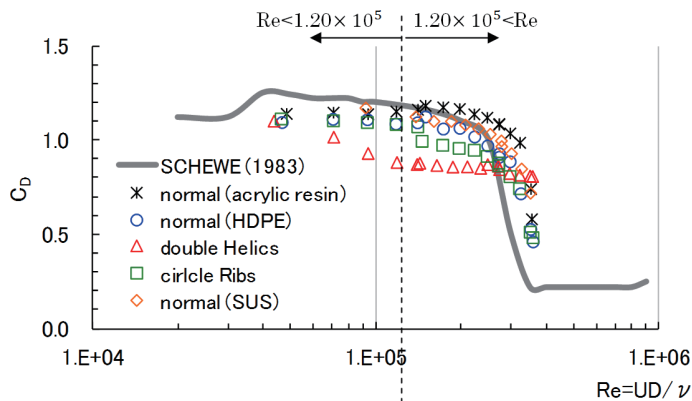


図5 抗力係数計測結果

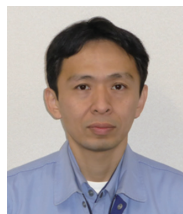
大さげ、レイノルズ数の増加による抗力急減の発生も確認できた。

5. おわりに

風洞実験では風洞性能範囲の低風速域で、縮尺模型を用いて比較検討する機会が多い。しかし、一方で流速に依存した相似則に留意しなければならない現象もある。また、実機そのものを風洞内に設置し、30m/s以上の強風を試験条件とした高風速化へのニーズも多い。今後は縮流ノズル設置方法の効率化などを推進し、新たな各種風洞試験要求にも対応していく所存である。

参考文献

- (1) 本州四国連絡橋風洞試験要領(1979)・同解説、1979、PP.14-15
- (2) 山内邦博、上島秀作：レインバイブレーション対策ケーブルの風洞実験、第66回土木学会年次学術講演会、2011
- (3) Gunter Schewe：On the force fluctuations acting on a circular cylinder in crossflow from subcritical up to transcritical Reynolds numbers, J.Fluid Mech., 1983, vol.133, PP.265-285



計測事業部 計測技術部
大型試験 G 課長
中村 純生
TEL. 045-759-2085
FAX. 045-759-2119
大型大気乱流風洞
TEL. 045-759-2054
構造物安定性風洞
TEL. 045-759-2056