

多点同時観測への挑戦

災害観測実験センター
潮岬風力実験所 尾崎 壽秀

1. はじめに

私たち潮岬風力発電所は、本州最南端（山口県よりも南）に位置し、毎年のように夏間台風が接近することから、強風時において、建築物が受ける風の影響を調べるため設立されたものであり、現在は大中小の観測模型（アスペクト比1：4）をテストフィールドに建てて、瞬間風速が20mを超えると、観測を開始するようにしています。（写真1）

強風中に置かれた建物の挙動は、渦による振動、ねじれ、壁面にかかる圧力分布の変動等が主なるものですが、私は10年程前から主として、この圧力分布の変動の観測に携わって参りましたので、このことについて、私なりの改良やまた観測の実績について述べます。

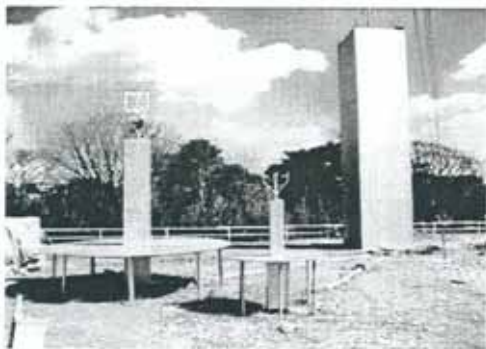


写真1 大中小の観測模型

壁面にかかる圧力分布をみる場合には、できるだけ多くの測点を壁面に配置する必要があります。今でこそ圧力センサーやアンブ類は、割と安価に出回っていますが、10年程前なら圧力計1c/hについて、フィルター等を含めるとやはり20万円は下らないものでした。

目指す180c/hを実現しようと思えば、記録装置を加えて相当の費用になり、科学研究費でも当たらずに望むべくもありませんでした。

2. 最初に手がけた多点同時観測

そこで最初に手がけたものは、最も安価に数多く作れるガラスのU字管でした。U字管にメチレンブルーで着色したイソプロアルコールを入れて、横一列に数多く並べ、それに各測点からの圧力をビニールチューブで導入し、水柱の動きをモータードライブのカメラで撮影して、水柱の動きから圧力を逆算しようとするものです。

この場合は、周波数応答も1Hz程度であり、それ以上高い周波数成分は観測できないことが判っていましたが、建物が影響を受けるのは、割合低い周波数成分によるものであるため、一応はこの方法で数十チャンネル程度の観測ができ、最も安価な方法としてスタートさせたわけであります。

とにかく50c/hの観測装置が実現したのでありますが、やっている内にだんだん欠点も出てきました。水柱の着色に使っているメチレンブルーが、ガラス管の内部に付着してガラス管の透明性が悪くなり、データそのものが判別しにくくなってきたのであります。

また、35ミリ判フィルムでの撮影だけでは、フィルム枚数にも限界があり、そんなに長い時間の観測が出来ないので、台風の時など強風のピーク時には、フィルム切れになるなど不測の事態を招くことになりました。

3. さらにチャンネル数を増やす工夫

そこで一計を案じ、このような欠点をなくすようにしたのが、ビデオカメラによる撮影でした。なるほどビデオなら、少なくとも2時間にわたって連続観測ができるし、途中でテープを交換すれば何時間でも、台風が過ぎ去るまで観測が可能である。

しかし問題なのは、ビデオ撮影したデータをどうして数値化するかであります。それには、ちょうど宇治の耐震構造部門で使用していたピアス（株）の画像解析ソフト「LA500」が使えることが判り、それによる解析を試みました。

これにより、観測時間の問題と数値化の問題は解決されたのでありますが、ビデオの場合はスチールカメラに比し解像度が悪く、前述したガラス管の汚れ等により、十分な精度が得られないのであります。

これを解決するには、「水柱を着色することなく見分ける方法」という、とんでもない問題に取り組みねばならなくなりました。アルコールを何で着色しても、いずれはガラス管までも着色してしまうのであるから、水柱を着色することは許されないのであります。

画像解析ソフトで数値化する場合、データと背景のコントラストが良くなければ、二値化して数値化しても、ノイズに紛れて正確なデータが抽出できない。透明の水柱などビデオに撮影したところで、背景と区別がつかないことは判っています。

実に偶然ではあるが苦難の末、水柱のメニスカス部分だけをきれいに光らせる方法を見つかることに成功したのであります。

その方法というのは、(図1)のようにU字管の下方より斜めに強い光を当てた場合、水柱に入った光が水柱を直進し、メニスカス部分から散乱して外に出るので、メニスカスがあたかも発光しているように見えるのであった。

しかし、U字管装置を暗い場所に置くことと、投光器の光がカメラに入らないよう注意すればメニスカスがくっきりと闇に浮かんで見え、非常にコントラストの良い画像を得ることに成功したのであります。

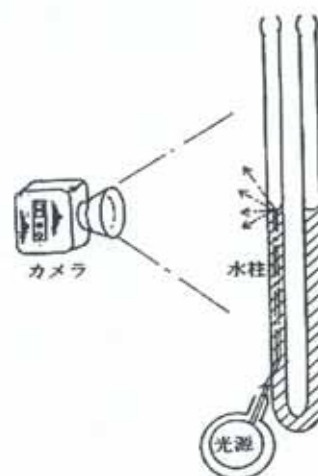


図1 U字管の照明法

この成功は、画像解析ソフトによる自動的な数値化を可能にしたばかりではなく、一面面に以前に倍近く99c/hのU字管を、撮りこむことをも可能にしたのであります。とはいっても、目指す180c/hを記録するには二台のビデオを、同時に動かす必要があるわけでありまして、これにもまた問題がありました。

二台のビデオを同時に動かした場合、カメラの特性からどうしても時間差を生じますので、双方のデータをシンクロナイズさせる必要があります。

最初は、1 Hz のパルスカウンターを双方に写し込み、このカウンターを基準にして解析を進めましたが、微妙なところで合わず、ビデオの撮影枚数である一秒間に30枚をカウントし、1フレーム毎に数字を写し込む回路を製作、結果として時間軸のずれは1/30秒以内にとどめることが出来ました。

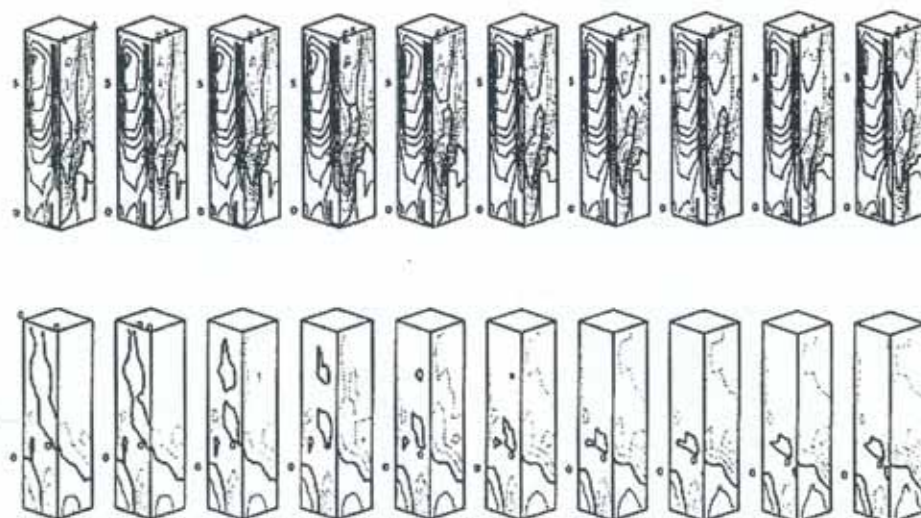


図2 得られた圧力分布のデータ

かくしてU字管という古代、画像解析という近代の同居した姑息なシステムながら、ひとまず180ch同時観測を実現し、得られた圧力分布は(図2)に示す通りであります。

しかしながら、苦心の未完成させたこの方法も、U字管の水柱という不安定なものが基礎となっているため、測定誤差も少ないとは云えず、小さい模型と渦のデータを比較する場合には、もっと高い周波数応答が必要となり、電気的なセンサーへの転換が望まれるところとなりました。

4. 電気的センサーへの転換

そのころ、たまたま目にしたカタログにより、コパル(株)の拡散半導体による圧力センサー「P3000S-501D」を知り、早速アンプを作って動作を見てみたところ、当然のことながら周波数応答、確度、安定度ともに格段に良いことが判り、また、アンプもICの飛躍的な普及のお陰で、安価で性能の良いのが自作できるようになった事から、急ぎ電気的なセンサーへの切り替えを推進する事となりました。

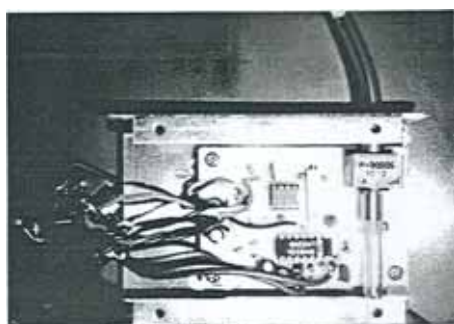


写真2 圧力計用のアンプ内部

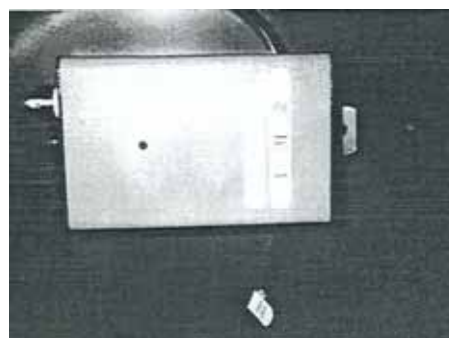


写真3 圧力計アンプ外観

最初に手がけたのは、基板上に圧力センサーも搭載して、壁面の測点にできるだけ近づけて配置できるように配慮し、1 c h 毎に小型ケースに納め、1 0 H z のローパスフィルター内蔵したものでした。(写真2、3)

その後、建築物の大小による渦の相違を観測するために、形状のうんと小さな模型が必要になり、それにもない圧力センサーには2 m程度のリード線をつけてアンプから分離、アンプ部も一枚の基盤に5 c h をエッチングして詰め込み、相当の小型化を図ったのであります。

長いリード線により、センサーをアンプ部から分離することは、ノイズを拾いやすいこととなり、この対策に苦慮することになりました。

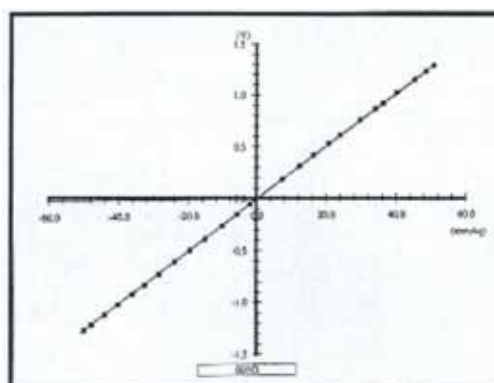


図3 圧力－出力電圧特性

5. 一層の小型化を図る

ノイズの問題は、結局アルミ箔でセンサー全体をシールドすることにより解決できましたし、大和設備（株）に一層小型の圧力センサー「DPM-PG」タイプを出していることを知り、このセンサーに直接リード線を取り付け、シールドする方法をとる事により、測点により近接してセンサーを取り付けることができました。(写真4)



写真4 リード線の直付け

小型に出来ることから風洞実験のような、小さなスペースに数多くの測点が必要な場合にも、使用可能であり、市販のアンプ内蔵型のセンサーなどは真似出来ないところであります。

性能の良いICが安価に出回ってきたことで、アンプは手作りであっても相当の精度が得られるし、小型の圧力センサーの普及により、私自身ここ数年間に数百チャンネルの圧力計を製作し、宇治防災研究所内にある風洞や、潮岬風力実験

所において使用され、かくしてガラスU字管は姿を消しました。

何といっても電氣的なセンサーは、すぐにA/D変換して数値化でき、パソコンに取り込めるのが強みで、現在は大中小の模型を合わせて220 c h が、強風時において同時に稼動し、データをMOに落とすところまでやっています。

自作の圧力計用アンプの性能も、ほぼ満足すべきものであり、特にリニアリティの良さは(図3)に示す通りであります。

6. その他の改良点

その他に改良した事はといいますと、台風のような降雨を伴う強風時において、雨水の影響を受けずに、壁面の圧力を測定する方法にしたことを挙げたいと思います。

従来、台風時には必ず強烈な降雨を伴うことから、圧力導入用のチューブが雨水で塞がれ、壁面の圧力の測定は不可能とされていましたが、私のちょっとした思いつきにより、(写真5)のように、太いめのビニールLボを測点からすぐに立ち上げ、10センチほど上がったところから、細いチューブウにジョイントし、チューブ先端に圧力計センサーを取り付ければ、雨水の影響を受けることなく、圧力だけをピックアップ出来ることが判りました。

以来、数々の台風時において、壁面の圧力のデータを収集していますが、雨水の影響を受けることなく、順調に観測を行っているところであります。

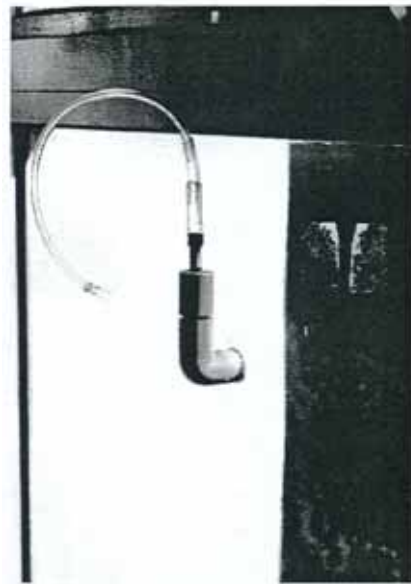


写真5 壁面から圧力導入

7. 思わぬ伏兵

計器も充実して、220chが観測の度にパーフェクトに動いているかといえば、そうではなかった。時折数チャンネルが動かず欠測しているのである。

よくよく調べてみると、それは思わぬ伏兵によるものであることが判った。

何と山の蜂の仕業であった。

観測から次の観測まで1～2週間もたつと、山から蜂がやってきて、観測孔にちゃっかりと巣作りをしているのであり、巣作りの蟻でチューブを塞いでいることが判明したのであります。この自然災害じつは簡単なようでまた難しい問題でもあった。

8mの高さの模型に栓をすっぽりと網を掛けるわけにもいかず、また竿で追うわけにもいかず、とうとう観測孔に栓をすることになった。観測が終わったら栓をして観測を始める時には取り外すのであるから、確実といえば確実なのだが、これがまた急いで観測を始めたい時などは、面倒なことなのであります。

肝心のときに栓を抜き忘れる人災もあつたりして、良い解決策が求められるところとなりました。次のアイデア、「電気ショックによる撃退」を思いつくまでは、既に何ヶ月かはたっていました。

生きた蜂はなかなか手に入らないので、確実に撃退できるかどうかは保障されなかったし、電圧や電極の形状、またどの場所に電極をしかけたら良いか等を、解決せねばならなかったが、この方法に賭けるしかなかったのであります。

幸いにして、塩化ビニールのパイプは電気絶縁性が良いので、このパイプに数ミリの間隔で二ヶ所に穴をあけ、この穴に1ミリ径程のステンレス棒を差し込んで電極とし、この電極に30V程度の交流電圧を常にかけておくことにしました。

だんだんに、電極を埋めた数を増やしていったのでありますが、どうみても通電している分は蜂の被害を受けてないようだったので、意を強くして、とうとう全部の測点に電極を埋設してしまいました。これでなんとか来ないでくれと、最初は祈るような気持ちだったのでありますが、通電し始めてからというもの、さしも蜂も、とうとう営巣を諦めてくれたらしいのであります。

その後は、蟻による被害が一件もないことから、このアイデアの効果だと信じているのですが、彼らがこの電極に触れて、どのような振る舞いをしているのかは、未だに見届けたわけではありません。それには、幾日も幾日も観察し続けなければならないからであります。

いずれにしても、今では観測から次の観測まで幾月おいても、スイッチぽんで直ぐに観測に掛かれるようになったのだから、大変に能率を上げる結果となりました。

8. 今後への展望

現状では、幅2m、高さ8m観測模型に180点、中小の模型にはそれぞれ20点の測点を配置していますが、強風時に壁面に風が吹き付ける確度によって、壁面上に特異な渦が発生し、この渦により局部的に強烈な負圧が観測されたりします。

このような、局部的な現象を詳しく見るためには、さらに多くの測点を必要とします。今後、さらに二倍、三倍と測点を増加させる事が望まれるわけです。

9. 感謝のことば

私事ではございますが、お陰様をもちましてこの三月定年退職を迎えることになりましたので、これを限りに現場から退かせて頂きます。

永い間ご指導賜りました教官先生方、また色々とお世話になりました事務部の皆様、ご支援下さいました技官の皆様には、紙面をお借りしまして心から感謝申し上げます。

ふりかえって見ますと、技術的には何程の改良も改善もなく、我ながら恥ずかしい限りでございますが、私のアイデアなり工夫したことが、今後チャンネル数を増設するにあたり、及ばずながら何がしかお役に立たせて頂けますならば、幸甚に生じる次第でございます。また、そう有ってほしいものと念じつつペンを置かせて頂きます。