京都大学防災研究所年報　第39号 B-1　平8. 4
Annuals, Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., No. 39 B-1, 1996

自然風中に置かれた角柱模型に加わる風圧力の計測

奥田　泰雄・桂　　順治・塚原　康平

MEASUREMENTS OF WIND PRESSURES ON A PRISM MODEL IN NATURAL WIND

By *Yasuo* OKUDA, *Junji* KATSURA and *Kouhei* TUKAHARA

Synopsis

Using 192 channel multi-simultaneous data acquisition system, the Authors measured wind pressures on a prism model in natural wind. It was showed that the occurrence condition of wind pressures on the prism model was that the radius r of curvature of stream path s was longer than 5 times of the width of the prism model. In this case, the severe suctions was observed to move downward and leeward on the side face of the prism model, when the incident wind perpendicularly attacked upon the front face of the prism model.

1. まえがき

野外に模型を設置して計測を行うことは，風洞実験と実建築物の実測との間を補完する実験と位置づけられる。風洞実験で得られた新しい知見を自然風中で模型を使って確認できる，さらに何よりも実際の風の中で起こる実現象を観察することができる。一方，実建築物の実測を行う場合には何かと制約が多く，必ずしも期待したような成果が得られるとは限らない。野外に模型を設置して行った実験としては，Jensen[1]，立川[2]，桂[3,4]等の研究がある。立川[2]は角柱模型に加わる変動風圧力を綿密に計測し，角柱側面の前縁付近に発生する局部負圧の存在を示している。桂[4]は円錐状の屋根をもつ低層建築物模型に加わる風圧力を測定し，自然風中での物体まわりの流れ場の形成に関して「流程の曲率」という概念を導入し，その形成メカニズムの説明を行っている。

自然風中で物体に加わる風圧力の性状を3次元的に把握する目的で，その風圧分布図を描くためには，数十から数百の風圧測定点が必要である。またその多点の風圧力を同時に計測できるシステムも必要となる。風圧分布図は，目にみえない物体まわりの圧力場を可視化するものであり，その情報量は膨大である。これによってわずか数点の風圧力データからでは見えてこなかった，物体まわりの流れの様子を推定することができる。

筆者らは，京都大学防災研究所潮岬風力実験所の観測フィールドに角柱模型を設置し，それに加わる風圧力を180点の圧力変換器とパーソナルコンピュータを使って同時計測した。本報は多点風圧力計測システムの開発等，野外での模型実験を行う上での問題点や改良した点をまとめて報告し，このシステムを用いて得られた風圧力データの一例を結果を紹介する。さらに，この風圧力データを分析する際には「流程の曲率」という概念を導入して，自然風中に置かれた角柱模型まわりの流れ場の形成について考察する。

2.　自然風中での風圧力の計測

2.1　潮岬風力実験所

潮岬風力実験所は本州の最南端である和歌山県西牟婁郡串本町潮岬の南西側に位置する。潮岬は串本町から南に突きだした半島で周囲が約10 km の高台である。実験所の敷地は南北に細長く約4100 m^2 の広さがある。観測フィールドは敷地の北側に位置し凹凸がないように整地された約2000 m^2 の平地で，この観測フィールドの南側と東側はかなり切り立った斜面で雑木林になっているが，北側と西側は平坦な更地が広がっている。冬期の季節風時には主に北西の風が吹くので，わりあい良好な風のデータが得られるものと期待できる。また，夏季から秋期にかけては台風による強風がたびたび発生する。平成2年9月には台風9019号が潮岬より北西約50 km 離れた白浜町に上陸し，潮岬風力実験所では最大瞬間風速56.0m/sec を記録している[5)]。このように潮岬風力実験所は強風のデータを収録するには絶好の場所と考えられる。

2.2　角柱模型

角柱模型は高さ8 m 幅2 m の正方形断面を有する3次元角柱で，角柱模型のアスペクト比は4.0である。角柱模型の平面図と断面図を **Fig. 1(a), (b)** に，その外観を **Photo 1** に示す。

設計風速を55m/sec，風力係数 C_D を2.0としてこの角柱模型の設計風荷重を算定した。角柱模型の基礎の寸法は模型の転倒による基礎の引き抜きが起こらず，かつ模型取り壊し時の容易さを考慮して，4 m × 4 m × 0.6 m とした。骨組みはL型アングルで組み，基礎とアンカーボルトで剛に固定した。骨組みは4層建てで各層にはそれぞれ水平ブレース，垂直ブレースが張られ，風による振動をできる限り押さえるようにした。各層の床板にはエキスパンドメタルを用い，骨組みの剛性を高めるとともにケーブルやビニルチューブの敷設及び計測器の設置等，角柱模型内での作業がしやすいように工夫した。

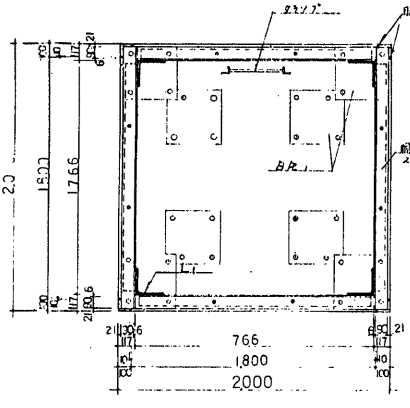


Fig. 1(a)　Plan of prism model.

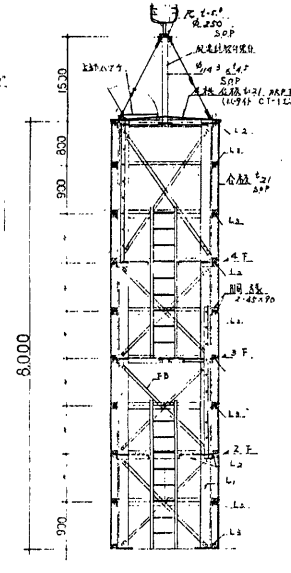


Fig. 1(b)　Section of prism model.

L型アングルの梁の上下に胴縁（45 mm × 90 mm）をとりつけ，その胴縁に厚さ21 mmのラワン合板を外壁としてはりつけた。合板どうしはシーリング剤で雨漏れのないように接着した。角柱側面の隅角部付近では非常に強い局部負圧が極めて狭い範囲で計測されるので，隅角部近傍の風圧力が詳細に計測できるようにL型アングルの柱と外壁との間に約10 cm隙間をあけている。合板が風によって振動を起こすと角柱模型内の内圧が大きく変動し風圧力の計測に支障をきたすので，ラワン合板は内側から補強材がとりつけられて合板の振動を押さえている。観測地は海のそばにあたるため外壁はFRP塗装されて防水防錆処理が施されている。角柱模型内部は梅雨期や夏期には高温多湿状態になり模型内の計測器に影響を及ぼすと考えられるので，家庭用空調器を取り付け常時空調を行っている。この空調によって模型内の内圧が常時変動していると考えられるが，この変動成分は恒圧空気溜を利用した室内圧計[6]で計測し補正している。角柱の屋根は雨が溜まらないように1/5の勾配がつけてあり，中央に超音波風向風速計の取り付け台として外径114 mmの鋼管が角柱骨組みの水平ブレースに固定されて，その四方をステーで支持されている。この角柱模型の竣工直後に行った強制振動実験より，模型の1次の固有振動数と減衰定数はそれぞれ約7Hzと約3％であった。

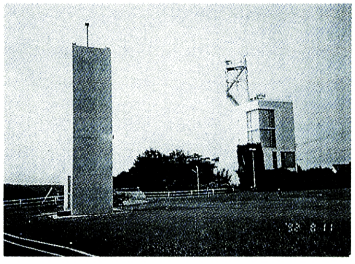


Photo 1　Prism model on observation field.

Fig. 2 に示すように角柱模型の各側面に45点，合計180点の風圧力測定点を設けて風圧測定孔をあけた。圧力測定孔には，**Photo 2** に示す内径16 mmのL型の塩化ビニルパイプが上向きに取り付けられて，雨が圧力測定孔に吹き込んだとしても詰まらずに流れ出るように工夫した。この塩化ビニルパイプから長さ2 m，内径4 mmのビニルチューブを介して180本の差圧型圧力変換器に繋いだ。

この風圧測定孔は付近に生息する蜂の絶好の巣穴になるようで，しばしばこの穴からなかに蜂が入り込んでチューブを詰まらしてしまった。そこでL型の塩化ビニルパイプ内に2枚の電極を出して蜂が風圧測定孔内に入らないように工夫した。

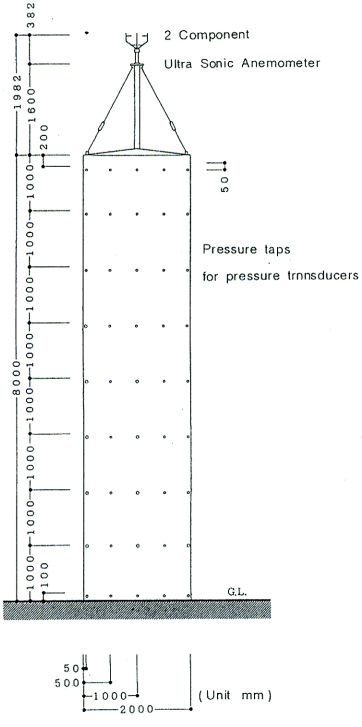


Fig. 2　Elevation of prism model and pressure taps.

2. 3　計測器

(1) 超音波風向風速計

基準の風速は，角柱模型の屋根面より約2m上方の位置（**Fig. 2** 参照）に，2成分の超音波風向風速計（Kaijo-WA-200, TR-51）を水平に設置して計測した。気象官署では，野外の観測にはこの超音波風向風速計のほかにプロペラ型風速計や三杯型風速計が一般的に用いられるが，本研究のように幅2 m程度の角柱模型まわり流れのような，小スケールの流れ場の基準風速を計測するには，できるだけ周波数特性のよい風速計を用いる必要がある。プロペラ型風速計や三杯型風速計では応答特性が悪いので，本研究では超音波風向風速計を用いることにした。この風向風速計

の最大応答周波数は10 Hzで，最大測定可能レンジを60m/secで使用した。

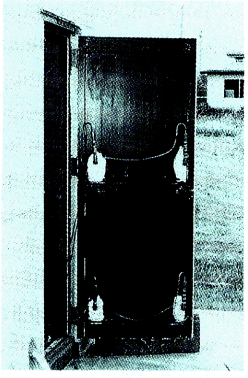


Photo 2　Pressure taps on door of prism model.

(2) 室内圧計

差圧型圧力変換器の他端は角柱模型内に開放されているので，風圧計の背圧には角柱模型内部の内圧が加わることになる。角柱模型内部の内圧は，大気圧の変動や風によって発生する角柱模型まわりの圧力場の影響等によって刻々変化する。そのためその変動成分を正確に計測して風圧計の出力を補正しなければならない。本研究では恒圧空気溜を利用した室内圧計[6)]で角柱模型内の内圧の変動を計測し，風圧計の出力から差をとって補正した。この室内圧計は，差圧型圧力変換器の一端に魔法瓶を利用した空気溜を繋ぎ，密閉したものである。この魔法瓶内部の圧は外部の温度の影響によって大きく変動するため，できるだけ温度変化の影響を受けないように魔法瓶の周りを断熱材で覆ってある。また温度変化や大気圧による魔法瓶内の圧の変動成分は，風によって生じる内圧の変動成分と比べて十分長い波長であるので，この室内圧計の出力ではトレンドとして補正することができる。

差圧型圧力変換器の背圧にはかなり大きな圧が加圧されて圧力変換器を破損してしまう恐れがあるので，当初はレンジの大きい静電容量型の圧力変換器（Setra model 239，762 mmAq ≒ 7470Pa）を用いていた。しかしこの圧力変換器では内圧変動の解像度が悪く，角柱模型の内圧変動を精密に計測しているとはいえなかった。そこで電磁弁を利用して圧力変換器の背圧が圧力変換器の許容圧をこえる前に空気溜内の圧を逃がすことで，より感度のよい半導体型圧力変換器（Copal P3000S-501D，200 mmAq ≒ 1960Pa）に変更することができた。

(3) 差圧型圧力変換器

角柱模型に加わる風圧力を180台の半導体型圧力変換器（Copal P3000S-501D × 60台，大和設備DPM-0.025 × 120台）を用いた。長さ40 cm，内径4 mmのビニルチューブを繋いだ場合の圧力測定系の周波数特性は，1次の共振周波数は約150 Hzで，約20 Hzまでは応答倍率，位相とも極めて良好である。本研究では，風圧力の解析対象周波数は5 Hz程度と考えているのでこの周波数特性で十分計測できる。当初この圧力変換器の最大許容圧のレンジが±100 mmAq（≒980Pa）であったが，局部負圧が－100 mmAqをこえる場合があることがわかり，平成5年9月より±200 mmAq（≒1960Pa）に最大許容圧のレンジを変更している。

(4) 野外計測用多点データ収録システム

時系列データを計測する場合，これまではアナログデータを磁気テープに記録したり，あるいはAD変換を行ってディジタルデータをハードディスクやフロッピィディスクといった，記憶媒体に保存したりする方法が行われてきた。最近では，通信も含めたデータ処理上の便利さから後者のディジタルデータを取り扱うことの方が一般的になってきている。この場合，AD変換されたデータは一旦コンピュータ内のメモリ上に書き込まれるので，どうしてもそのメモリの制限によって計測可能な総データ数が制限されることになる。そのため一度に連続して計測できる測定時間が限られることになる。さらに計測チャネル数が多くなるほど1チャネルあたりのデータ数が減ることになり，測定時間が短くなる。また通常はメモリ上に書き込まれたデータを別の記憶媒体に移して保存しなければならないために，その間はAD変換自体は停止状態となり，データの欠測が生じることになる。このため連続的に大量（長時間）のデータを計測し保存するためには，

大容量のメモリをもったコンピュータが必要となり，かなり大がかりなシステムが必要になる。

一方自然風中でのデータ計測では，風洞実験の場合とは異なり基本的にデータの取り直しができないために，データの欠測のような事態が起こってはならない。さらに自然風中で物体まわりの非定常な流れの様子を調べるには，風圧分布図が描けるぐらい多チャネルの風圧力データを同時に計測する必要がある。筆者は，これまで野外計測用多点データ収録システムとして，32チャネルのPCMデータレコーダ（NF回路設計）を用いてきた。しかし連続測定時間が約2時間と限られており，しかもこのデータを処理するにはPCMデータレコーダをプレイバックして再びAD変換をおこなわなければならず，大変面倒であった。またこれまで使用してきたマノメータと画像処理装置を利用したシステム[7]では，多点の風圧力を同時に計測できるという利点があったが，局部負圧のピーク付近のような過渡的な現象には追随できず，しかもデータの後処理が極めて面倒であった。そこで周波数特性がよく，長時間のデータを連続的に収録保存でき，かつデータ処理も容易にできるようなデータ収録システムが必要となりこのシステムを作製した[8]。

このシステムは，**Fig. 3(a)** に示すようにパーソナルコンピュータ（NEC PC-9801DA），拡張ユニット（I/O データ PC-BOX168），AD変換ボード（Canopus ADJW-98 × 6枚），SCSIハードディスク（ICM RX-1000），光磁気ディスク（ICM PMO-230L）で構成された非常に安価なシステムである。これにAD変換ボード用ハンドラソフト（Canopus CHS-ADT）を使って，インタラプト（割り込み）モードでAD変換ボードを動作させる。**Fig. 3(b)** に示すように，AD変換を行ってデータをサンプリングするとき，必ず次のサンプリングまでの間AD変換が休止している状態が存在する。この間に割り込み（インタラプト）をか

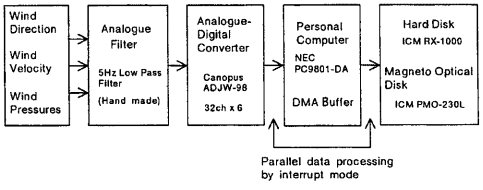


Fig. 3(a)　Data acquisition system.

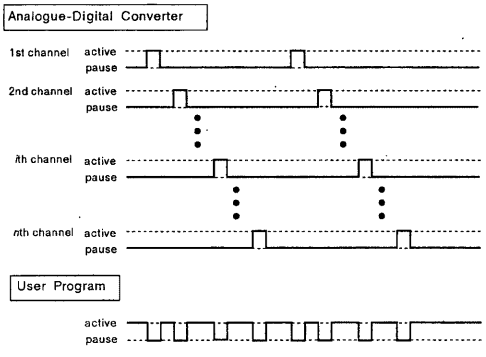


Fig. 3(b)　Concept of interrupt mode on data acquisition.

けてユーザプログラム上でのデータ処理を行えば，AD変換処理とユーザプログラム上でのデータ処理があたかも並列的に動作する状態となる。これによって，AD変換されたデータを途切れることなくハードディスク等の記憶媒体に，MS-DOS上のデータファイルとして保存することができる。このとき保存されるデータファイルの大きさは，プログラム上で任意の大きさにすることができるが，データ処理の段階での使い勝手を考えるとできるだけ小さなデータファイルに分割して保存する方が便利である。筆者はバイナリファイル形式で1チャネルあたり128点，192チャネル分を1ファイルとしている。このようなファイルが連続して記憶媒体の最大許容量まで保存できることになる。勿論，連続して保存されるファイル数を減らして，測定時間を短くすることも可能である。また，風速データをトリガとしてこのシステムを起動させることも可能である。ただし，このインタラプトモードを用いると，AD変換されてメモリ（DMAバッファ）上にデータが一旦書き込まれる速さよりもハードディスク等の記憶媒体へデータを転送保存する速さが勝っていなければならない。そのため，現時点でのAD変換のサンプリング周波数は192チャネルで100Hz程度が上限となる。今後より高速なデータ転送能力をもつインターフェイスの開発により，さらにサンプリング周波数を高くすることは可能である。容量が約1Gバイトのハードディスクでは，サンプリング周波数20Hz，チャネル数192点，1チャネルあたりのデータ数128点としてバイナリファイル（約49Kバイト）でデータを保存すると，30時間以上のデータを連続で記録することが可能である。ハードディスクに記録されたデータは最終的には光磁気ディスクにコピーされて保存される。またこのシステムでは連続的にハードディスク等の外部記憶媒体にデータが書き込まれるので，データ収録中に万一停電になったとしてもそれまで計測されたデータは消滅せずに残すことができる利点がある。ただし，ハードディスクが作動中に電源が切れるということは，ディスク自体を破損させてしまう恐れもあるので，パーソナルコンピュータ用の無停電装置や或いは自家発電装置を取り付けておく方が望ましい。

このシステムを用いた本研究での計測には，AD変換のサンプリング周波数を20Hzとし，アンチ・エリアシングフィルタとしてカットオフ周波数が5Hzの2次バターワース型アナログローパスフィルタを通している。ナイキスト周波数である10Hzでは応答倍率は1/10以下で，位相特性も1Hzまでほぼフラットで良好である。

3.　角柱模型に加わる風圧力の計測結果

3.1　流程

角柱模型頂部の超音波風向風速計の出力 $V(t)$ より，流程 $s(t)$ 及びその曲率 $\kappa(s)$ は以下の式で定義する[4]。

$$s(t) = \int_0^t V(t')dt' \quad \cdots\cdots (1)$$

$$\kappa(s) = \frac{d\theta(s)}{ds} \quad \cdots\cdots (2)$$

ここに $\theta(s)$ は，流程 s での風向である。これを離散化すると，流程 $s_i(s_{xi}, s_{yi})$ は，

$$s_{xi} = \sum_{k=0}^{i} V_k \cdot \cos\theta_k \Delta t \quad \cdots\cdots (3)$$

$$s_{yi} = \sum_{k=0}^{i} V_k \cdot \sin\theta_k \cdot \Delta t \quad \cdots\cdots (4)$$

と書ける。V_k と θ_k は，風速と風向で，Δt は，サンプリング間隔（sec）である。これをもとに，流程 $s_i(s_{xi}, s_{yi})$ を描いた一例が**Fig. 4**である。x 軸が東西方向，y 軸が南北方向に対応している。また角柱模型の4つの側面を，正確に東西南北に合わせた。**Fig. 4**に示すように，流程 $s_i(s_{xi}, s_{yi})$ は等時間間隔でプロットしているので，風速の速い部分は間隔が長くなり風速の遅い部分は間隔が短くなる。これを距離間隔の

等距離間隔でサンプリングし直したものを流程$s'_j(s'_{xj}, s'_{yj})$とする。

$$s'_{xj} = \sum_{k=0}^{j} \cos\theta'_k \cdot \Delta s \quad \cdots\cdots (5)$$

$$s'_{yj} = \sum_{k=0}^{j} \sin\theta'_k \cdot \Delta s \quad \cdots\cdots (6)$$

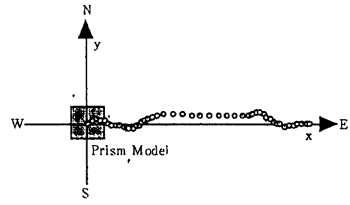


Fig. 4　Prism model and an example of stream path.

θ'_kは，距離間隔Δsで等距離間隔でサンプリングしたときの風向である。流程$s'_j(s'_{xj}, s'_{yj})$は，流程$s_i(s_{xi}, s_{yi})$の直線近似した線上に求めた。流程$s'_j(s'_{xj}, s'_{yj})$での瞬間の風向をθ'_jとすると，そのときの流程$s'_j(s'_{xj}, s'_{yj})$の曲率κ_jは，

$$\kappa_j = \frac{\theta'_j - \theta'_{j-1}}{\Delta s} \quad \cdots\cdots (7)$$

となる。

流程sが直線に近いほどかつそれが長い距離続くほど，物体まわりの流形は形成されやすくなり，物体に風圧力が発生すると考えられる。逆に，風向が変化し流程sが曲がるほど物体まわりの流形が形成されにくく，風圧力が発生しなくなると考えられる。このとき，流程sが直線に近い（風向変化の小さい）風がどのくらいの時間（距離）継続するかが，物体まわりの風圧力の発生条件となり，距離座標上で物体の代表長さで表わすことができる。

3.2　角柱表面の風圧力と流程の関係

瞬間風速15m/secをトリガ値として平成7年9月よりこれまでに数十時間分のデータが得られている。**Fig. 5**は平成7年12月に計測されたデータの一例で約64秒分の時系列データである。上から室内圧，風圧力（No. 1-180），風向，風速である。180点の風圧は45点毎に北面，東面，南面，西面の順で，各測定点の番号は左上から右下に順に並んでいる。風速は，10 m/sec～20 m/secで変化しているが，風向はほとんど真西であるので，模型の西面が正面となり，南北面が側面，東面が背面に相当する。図中の風圧力データは1目盛りが100Paとし上下につめて表示したので，隣のチャネルの風圧力データと重なってしまっているが，風圧力が発生している部分と風圧力が小さいあるいは消滅している部分に明瞭に区別できることがわかる。風洞実験で得られたデータはエルゴード的定常過程であることが言え，時間平均操作により平均風圧や変動風圧といった統計量を抽出することができるが，**Fig. 5**からもわかるように自然風中で得られたデータは一般的にエルゴード的定常性が仮定できず，時間平均操作することに意味がないことはこの図より明らかである。4つの側面に発生する風圧力データには，それぞれ特徴的な性状がみられる。正面である西面（No. 136-180）では，風速の2乗に比例する速度圧の変化に追随し，風圧力は上層部から下層部に伝播している。一方，側面に相当する北面（No. 1-45）と南面（No. 91-135）では，スパイク状の強い負圧が何度も発生している。背面に相当する東面（No. 46-90）では，発生する負圧が小さくなり，側面で見られたスパイク状の負圧はみられなくなる。物体に背圧が発生するのは物体まわりの流形が完成して発生するものと考えると，角柱の4つの側面に発生する風圧力は4つとも同じ条件下で発生しているのではなく，正面，側面，背面の順に風圧力の発生条件はより厳しくなることが考えられる。この条件を示す目的で流程の曲率κ(1/m）を計算した。**Fig. 6**は**Fig. 5**の風速データより距離座標に変換したもので，**Fig. 6(a)～(c)**が風速，風向，流程の曲率κ(1/m）である。**Fig. 6(d)～(g)**は角柱模型の各側面中央の高さ6 mの位置での風圧力である。この流程sを計算すると**Fig. 6(c)**に示すように風向変化が極めて小さく，流程sの曲率κが0.1(1/m）以下の部分(s = 390～480 mとs = 550～600 m）と，風向が変化して流程sの曲率κが0.25(1/m）を超えている部分が存在する。そしてこれらの部分と，風圧力が発生する部分と消滅している部分

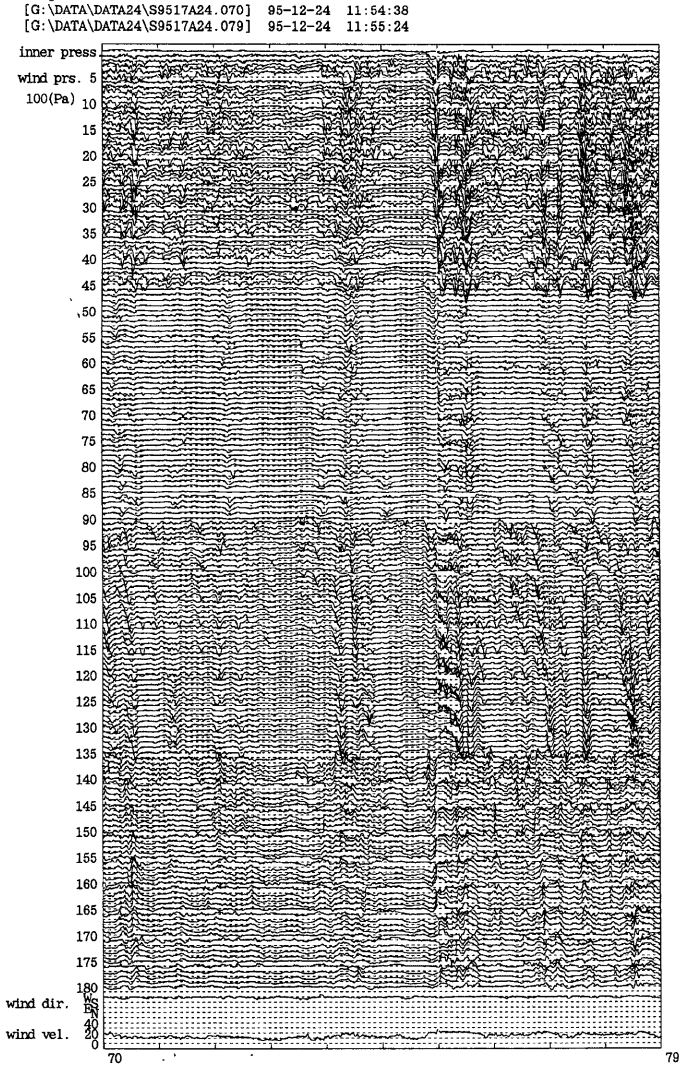


Fig. 5 An example of data in time variable.

に上手く対応することがわかる。つまり，角柱全壁面に流形が形成されて風圧力が発生する条件は，流程 s が約 10 m (= 5D：D は角柱模型の幅) 以上の曲率半径 r をもつことであり，これを流形完成長さ[4] と呼んでいる。逆に，流形の形成が妨害されて風圧力が消滅してしまう条件は，流程 s が約 4 m (= 2D) 以下の曲率半径 r の場合となる。

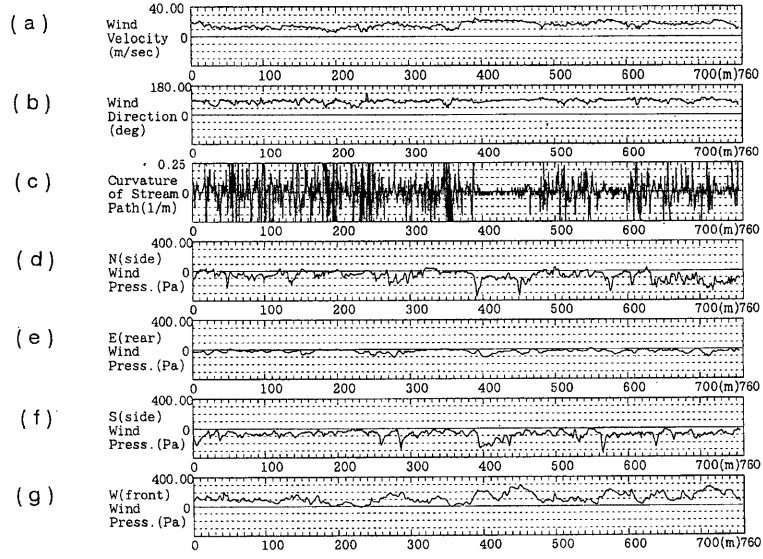


Fig. 6　Data in distance variable.
(a) Wind velocity, (b) Wind direction, (c) Curvature of stream path, (d) Wind pressures on north side, (e) Wind pressures on east side, (f) Wind pressures on south side, (g) Wind pressures on west side.

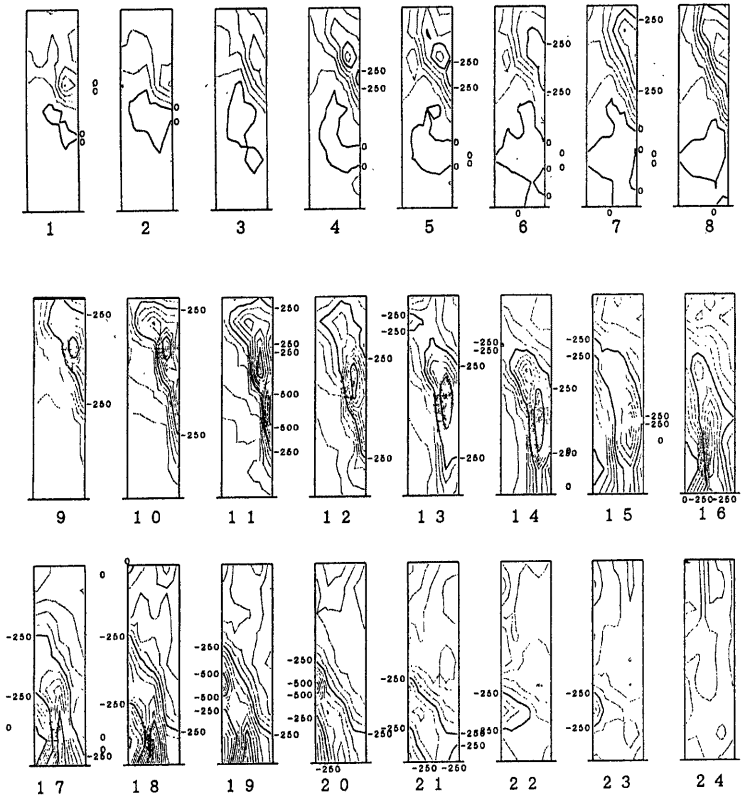
3. 3　角柱表面の風圧力分布

Fig. 7 は流程 s の曲率半径 r が 10 m 以上で，角柱の南面に風が垂直にあたった場合の西面（側面）での風圧力分布図で，1 コマ 1/20sec で左上から順に並べて表示した。各図の右側が風上側に相当し，風は側面に沿ってほぼ平行に流れている。図番号 4 で風上側の上層部に −250Pa を超える負圧が発生し，それが次第に大きく成長しながら風下側及び下層部に移流しているのがわかる。図番号 14-15 でこの負圧は地面に到達し，その後減衰しながら風下側に流れ去っている。この強い負圧は，移流型の下向きの円錐状渦（逆円錐状渦[9,10]）によるもので，乱流境界層を用いた風洞実験でもしばしば観察されるものである。自然風中においても，風が角柱の表面にほぼ垂直にあたり，そのときの流程 s の曲率半径 r が角柱の幅の約 5 倍以上の場合に，このような現象を観察することができることがわかった。

4.　まとめ

自然風中に置かれた幅 2 m 高さ 8 m の角柱模型に作用する風圧力を計測することを計画し，以下のことを報告した。

1. 180 点の圧力変換器とパーソナルコンピュータによる多点風圧力計測システムを開発し，角柱模型に加わる風圧力を計測した。
2. 角柱模型に発生する風圧力の条件として，流程 s の曲率半径 r が角柱の幅の約 5 倍以上の長さをもつことがわかった。



Fig．7　Time series of wind pressure distributions on side (Pa).

3．上記のような条件の場合で代表的な圧力分布の例として，角柱側面の強い負圧の特徴的な性状を示した。

謝　辞

本研究の一部は文部省科学研究費（研究代表者桂　順治）によって行われたものである。また，本研究を実行するにあたり京都大学防災研究所技官尾崎壽秀，河内伸治氏の多大な協力を得たことに感謝する。

参考文献

1) Jensen, M：The Model-law for Phenomena in Natural Wind, INGELFREN, Vol. 2, No. 4 1958, pp.121-128.
2) 立川正夫：自然風中において構造物に作用する風圧力に関する実験的研究 その1～5，日本建築学会論文報告集，1968. 8～1969. 6.
3) 桂　順治：突風によって模型建物の生じる流形の形成について～風圧計測結果のよる，日本建築学会

論文報告集第451号，1993. 9，pp.65-78.
4) 桂　順治：続・突風によって模型建物の生じる流形の形成について～自然風中の模型ドーム風圧計測，日本建築学会論文報告集第477号，1995. 11，pp.25-30.
5) 林　泰一，光田　寧：台風9019号の強風とその被害について，京都大学防災研究所年報第34号，B-1，1991，pp.39-48.
6) 桂　順治：室内圧計測用疑似恒圧空気溜の試作，京都大学防災研究所年報第31号，B-1，1988，pp.393-398.
7) 奥田泰雄・桂　順治・川村純夫・尾崎壽秀，“自然風中に置かれた3次元角柱の加わる風圧力分布”，第21回可視化情報シンポジウム講演論文集，Vol. 13 Suppl. No. 1, 1993, pp.63-66.
8) 奥田泰雄・桂　順治・川村純夫，“自然風中に置かれた3次元角柱の加わる風圧力の計測　野外用多チャネルデータ収録システム”，日本建築学会大会（東海）学術講演梗概集，1994. 9，pp.229-230.
9) 奥田泰雄・谷池義人，“3次元角柱まわりの渦構造　その2　側面上に形成される渦”，第11回風工学シンポジウム論文集，1990. 12，pp.125-130.
10) 奥田泰雄・谷池義人，“3次元角柱側面上に形成される逆円錐状渦”，第12回風工学シンポジウム論文集，1992. 12，pp.167-172.