

自然風中の模型ドームに作用する風圧について

石崎 潑雄・桂 順治

PRESSURES ACTING ON A MODEL DOME IN A NATURAL WIND

By *Hatsuo* ISHIZAKI and *Junji* KATSURA

Synopsis

In a seasonal wind on December 20 in 1981 a record of surface pressures on a spherical dome model 2.4 m in height and 6.35 m in horizontal diameter was obtained in the test field of Shionomisaki Wind Effect Laboratory. Four gusts in the record were analyzed. Regarding one of them the ordinary pressure distribution was found out because the flow around the model could be assumed to be quasi steady. For the other three gusts the surface pressures exceeded the dynamic pressure frequently. This disagreement between these pressures suggests that the stream direction of such gusts is not always horizontal but descendent.

1. ま え が き

本実験は自然風中のドームに作用する圧を測定することによって風荷重の基本的な性質を明らかにしようとするものである。関連の深い過去の研究として、実物構造物そのものの計測は数多く行われてきたが、立地条件の違いや、その構造物の機能維持のために、各個それぞれの測定項目についてはある程度解明できていても、一般的結論を導くにはもたたりない。本実験と同じような自然風中の模型実験となると数少く、1958年デンマークで家屋の模型について行われた M. Jensen, N. Franck の実験¹⁾ が知られている。この実験は境界層風洞実験の有意性を実証したのもとして貴重なもので、基準の風速は軒高できめるのがよいとか、マンメータの作製方法など本実験にも参考としたところが多い。ただ、現地の事情やその後の計測技術の進歩によるものであろうが、時間的な変動現象が平均化され過ぎているきらいがある。わが国では1968年立川が建物の屋上を実験場として、円柱²⁾ や角柱³⁾ について丹念な実験を行っている。これは自然風でも風洞風と同じような現象が生じることを立証し、物体周辺の流れの形態を知覚する上ですぐれたものである。しかしながら、自然風中の現象と風洞実験の違いを言及するところまでは至っていない。

本実験も方法的には風速と風圧を測定するという点で、先人の足跡を踏襲したことに他ならない。また計測データは1981年12月20日の午前8時ごろから30分間程度、潮岬風力実験所の敷地内で得られた季節風中のものという限られたデータによるものである。しかし構造物に影響がもっとも強いと考えられる突風現象を重点的に扱ったところが目新しいところである。

2. 計 測 方 法

2.1 実験環境

実験は京都大学防災研究所潮岬風力実験所の平坦な芝生の敷地内に **Fig. 1** に示す諸寸法をもつドーム模型を設置して行った。敷地の南側には 30 m 離れて実験所本館の建物があり、東側 20 m は崖で低くなっているため、その方面から吹く風は乱れが激しく、測定に適さないため、冬期の北西からの季節風を対象として実験を計画した。模型の西側 30 m には高さ 2.5 m 程度の灌木による垣根があるが、北西側には 50 m 離れた平屋が一軒あるのみであり、そこまでは平坦な理想的な実験環境であるといえる。

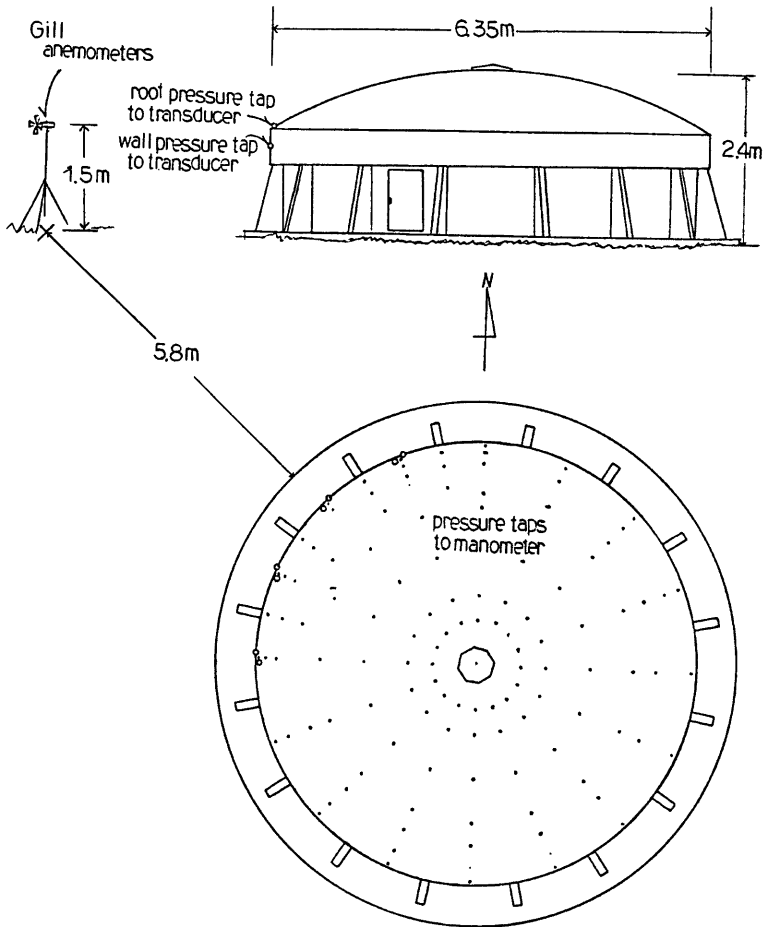


Fig. 1. Arrangement of model, anemometer and pressure taps.

2.2 計測器とその配置

敷地内には小規模な気象現象の観測用に数10点の測点で風速計が設置されているが、それでも本実験用には規模が大き過ぎて、風速の測定用には不適當である。したがって、比較的応答性がよいとされている Gill 風速計 (R. M. Young Co. 21281) 2 台を Fig. 1 に示す点に設置し、模型の軒高に合わせた地上 1.5 m での風速 2 成分を測定して基準の風速を得ることとした。

圧の測定は瞬間的な応答が得られるものを風上側壁面に 4 点、それらの直上の風上側屋根面に 4 点設けた。用いた圧力変換器 (豊田工機 PD 106) は絶対圧型で、温度ドリフトがあり、平均的な圧を測定するには不向きであるが、ダイヤフラムの固有振動数は約 600 Hz と高く、1 m の導圧管を経ても 30 Hz ぐらいの変動成分までは平坦で遅れない応答が得られる。平均圧に対しては内径 3 mm のガラス管と着色したインク

ロパノールを用いた240点まで測定可能な傾斜管マノメータを作成した。このマノメータの基準圧はドームの室内としたが、室内の圧が外圧の影響を強く受けないようにできるかぎり隙間をつめた。またドームの北側8m高さ5mのところを直径80cmの円板を水平に支え、その面上中央部における圧をマノメータに導いて、室内の圧がその点での圧とあまり変わらないことを確認した。測点は Fig. 1 に示す屋根面に90点、壁面には Fig. 7 に示す52点であるが、壁面6点、屋根面2点が動作していない。

2.3 データの収録と分析

変動圧8成分と風速計2成分の出力電圧はアナログデータレコーダ (TEAC R 271) に強風観測的時間中収録を続けておく。マノメータの液柱は突風が来る瞬間をねらって、モータドライブ付のカメラ (Nikon FE) で1秒間約3コマの割合で連続撮影する。このとき風速計の北西成分の出力をデジタル電圧計にもつなぎ、その指示値と一緒に擦寫する。またカメラのシャッターを押えてモータドライブが動作している時間がわかるようにアナログデータレコーダの1成分に信号を入れておく。このようにすれば、風速、変動圧、平均圧の3種の測定が同時にできることになる。

データの分析は突風を扱う関係で統計的な手法はできるだけ排除し、現象を直接観察するという立場をとった。したがって、ローパスフィルター (NF社, E 3201) を用いた電磁オシログラフ (横河電機, EMO 121) による波形解析が主たるものである。なお速度圧は風速のデータをアナログの2乗回路 (日本科学工業 1019) を通して求めた。

3. 計測結果と考察

3.1 変動量計測の概要

風が吹いて構造物各部の外面に圧が発生すると考えるとき、圧の原因は風であるから、風速と圧を同時に測定すればよいのだが、どの位置の風速値が構造物周辺の流れの場の形成を支配するかどうかという問題は難しい。概念的に言うことは構造物の周り流れの場が共通したところで、かつ構造物の存在による影響がないところということになるのであるが、厳密にそのような場所は存在しない。限られた計器の台数で上の条件に近いところを探すと、風上側で、構造物の代表寸法だけ離れ、M. Jensen 等¹⁾ が推奨する構造物の軒高の点というのは基準風速の測定位置として妥当なものであると考えられる。

Fig. 2 は観測時間中の風速変動と風上側8点における風圧変動に境界周波数が0.05 Hzのローパスフィルターを通して得られたものである。風速計の1成分はほぼ平均風向に合うようにNW方向に向け、他の一成分はそれと直角方向のNE方向に向けられている。NE方向の成分が概して負の値を示すことから、平均的な風向は北西よりも西寄で、変動を含めても西から北北西の範囲に入っている。変動圧の記録は時間とともに圧が下がる方向にドリフトしている。記録の中央部で測定範囲をはみ出さないように0点移動した。

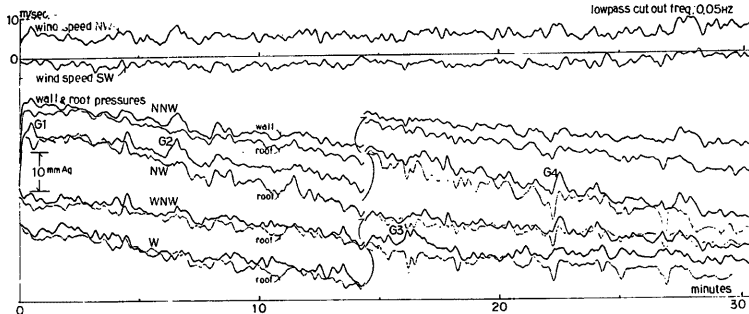


Fig. 2. Whole record of wind speeds and surface pressures.

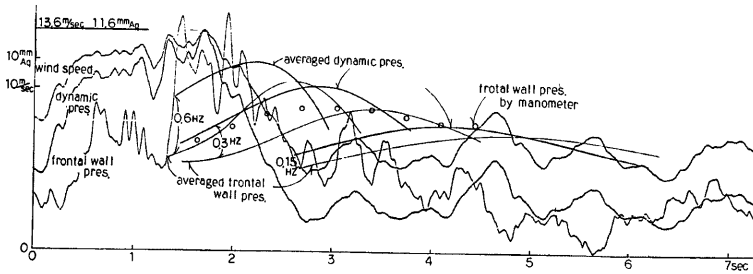


Fig. 3. Fluctuations of wind speed, dynamic pressure and frontal wall pressure in gust G1.

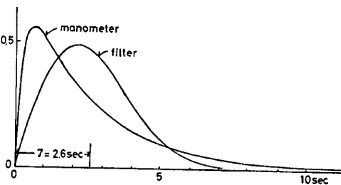


Fig. 4. Impulse responses of manometer and low pass filter.

このように変動圧の記録はこのまゝでは数値がさまならない。しかし、ドリフトの傾向は一方向的であり、また以下に示すように短時間の現象には差支えない。

観測時間中にはいくつかの突風が生じており、そのおのおのの風向に対して風上になる面の圧の値に G1, G2, G3, G4 といった記号を付した。圧の強さが風速によって一意的に定まるものならば、風向変化が少ないところでは風速の波形と圧の波形で一對一対応がなくてはならないのだが、それをすぐに見極めることは

困難である。以下各突風について、種々の現象を解析することにする。

3.2 風向変動の少ない突風 G1

Fig. 3 は測定開始直後に生じた突風 G1 についての風速の NW 成分とその正面にあたる北西に面した壁面における風圧変化の詳細である。速度圧を表わす曲線は風速の出力を 2 乗回路に通し、その振巾を最大風速に合わせて描かせ、単位を圧に換算したものである。このようにすれば、速度圧とそれに対応する正面の圧との関係がよくわかる。図からもわかるように 2 乗回路による時間遅れは無視できる。正面の圧は前述したように、このまゝでは原点が定まらないものであるから、すぐそばの測定孔から導かれた圧のマノメータの値を参考にするのである。マノメータの応答性が悪いため、圧力変換器からの信号をローパスフィルターを通し、モータードライブカメラで撮影した連続写真によるマノメータの値の変化を图示したようにして比較する。このとき、マノメータとローパスフィルターの動的応答特性が Fig. 4 に示すように異なるため、移動平均値の波形を合わせることは容易ではない。マノメータの動的応答特性は静穏時に圧をかけておき、それを急に開放したときのインデシャル応答から求めたもので、原理的にもイソプロパノールの粘性が効く一次系に近いものである。したがって、瞬時の応答性もあるが、相当以前からの値も加算されている。これに対してローパスフィルターのインパルス応答は時定数に近いところにピークをもつ理想的な加重移動平均となっている。マノメータの時定数は 2.6 秒なのであるが、時定数を合わせるだけでは応答を一致させることが難しく、ローパスフィルターの上限周波数を種々変化させてみて、そのうちのよく合いそうなものを選んでみる。この場合その値は 0.3 Hz となり、対応する時定数は 1.5 秒である。このようにすれば、マノメータの原点を変換器の原点に移すことが可能になり、フィルターを通さないデータにも原点が与えられることになる。

Fig. 3 から判断すると、壁面では高周波成分を多く含むものの、大略それらの波形は一致し、0.5 秒程度の時間遅れを伴って、速度圧の変動が壁面に到達していると考えられる。しかし、通常考えられているように、壁面の圧が速度圧に比例しているかどうかを確かめるためには、さらにいくつかの解析が必要である。

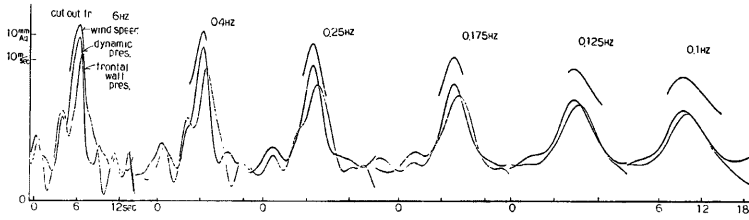


Fig. 5. Wind speed, dynamic pressure and frontal wall pressure through variable filters.

通常、空気密度は小さいため、主流の方向が一定ならば、非定常性による仮想質量効果は無視できると考えてよい。したがって、まず乱れの効果を考えてみる。物体をすっぽり包み、なおその物体の影響を受けないようなスケールの大きな乱れは物体まわりにその形に固有な流れの場の形成に寄与するであろうし、物体に当たってこわれたり、変形したりするスケールの小さい乱れは流れの場の形成を妨げる効果をもつものと考えられる。自然の風の中には突風といえどもこのような種々のスケールをもつ乱れが混在していると考えられ、そのスケールの大きさと物体への影響がどのようにになっているかがわかればよい。それを解析する方法の一つとして、速度圧と正面のデータを種々のローパスフィルターに通し、そのピークの尖る様子を比較したものが Fig. 5 である。速度圧と壁面の変動圧とは振巾はほぼ同じであるから、ピークにおける曲率が同じ程度であれば、速度圧と変動圧が比例すると考えられる。最初の上限周波数が 0.6 Hz のものでは変動圧の方が尖っている。これは Fig. 3 からもわかるように、変動圧の方に高周波成分が多いためである。上限周波数が 0.4 Hz のあたりで曲率は一旦等しくなるが、これは高周波成分の影響が残っているためで、それより上限周波数を低くすると、速度圧の方が尖ってくる。このようにして上限周波数を下げ、高い周波数成分すなわちスケールの小さい乱れの影響を除いていくと 0.1 Hz ぐらいで曲率は等しくなる。したがってこの程度以下の周波数成分以下ならば定常性を仮定してもよいことになる。この周波数をスケールに換算するにはいくつかの方法が考えられる。たとえば波長のようなものでもよいのだが、ここでは流速に移動平均に用いた平均時間を乗じて、その時間内に流れの中の物質が移動する距離をとることにする。このときの流速のピークは 8.8 m/sec、0.1 Hz のフィルターの時定数は 4.6 秒、つまり等価な単純移動平均の平均時間は 9.2 秒となって、そのスケールは 80 m となる。これは模型の代表寸法としてドームの直径をとることにすれば、その 13 倍であり、それ以上のスケールの乱れならば準定常的な考え方ができることを示している。

Fig. 5 はまた突風のピーク付近に風速のデータを入れ、このような実験に用いるべき風速計の応答性の影響を調べる意味をもたせている。縦軸の目盛りは Fig. 3 のものと揃えており、ここでは風速の値と速度圧の値をくっつけるようにして作図している。測定状態としてはこの間隔が開けば開くほど理想的なのである。いま誤って 0.1 Hz 程度の応答性しかもたない風速計を用いたとする。その風速計による風速の指示値 8.8 m/sec であるから、速度圧は 4.9 mm Aq 程度となる。ここで得られた値は 5.5 mm Aq であるから、かなり小さい目の値となってしまふ。つまり風速計から速度圧を求める場合、風速を 2 乗してから平均するのはよいが、平均された風速を 2 乗すると値が小さくなり過ぎるということである。このような意味で Fig. 3 における現象を速度圧について高周波成分まで議論することは難しい。しかし、Gill 風速計は超音波風速計や熱線流速計を除けば、感度のよいものであり、風速 10 m/sec の状態で上限周波数 5 Hz 程度となっている。したがって、壁面にみられる高周波成分は速度圧に比例しない別の原因が考えられ、後程突風 G 3 で考察する。

さて、前述の議論により、模型の 13 倍以上のスケールがあれば、定常性が成立つことになるのだが、ある限定された強さをもつ突風の各成分から、スケールの小さいものをどんどん除いていく場合に、残る成分がどれだけの強さを保ち得るものかという問題は興味がある。そこでローパスフィルターの上限周波数をさ

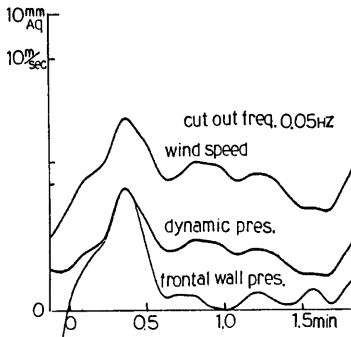


Fig. 6. Wind speed, dynamic pressure and frontal wall pressure for long averaging time.

スケールをもつ乱れの影響をうけてしまうのである。面が平面であればこのようにはならないと思われ、また突風の規模が大きければ、別の結果が得られるであろう。

一方、この突風による模型全体についての圧の状態はマノメータによって得られている。マノメータの特性による平均時間は5.2秒間の平均記録になるのだが、上限周波数が0.3 Hzのローパスフィルターの特性に換算すると3.1秒の平均時間ということになる。ここでは平均特性のよいフィルターの平均時間を用いることにする。**Fig. 7 (a)** はマノメータの値がピークを示すときのものをフィルターのかかった速度圧のピーク値で除して無次元化した値を用いている。正面の壁面における圧の議論からすれば、平均時間3.1秒というのはまだまだ小さいスケールの成分を含んでいることになる。連続写真から得られるマノメータの数値を各々平均すれば、さらに長い平均時間のものが得られ、平均時間を単純に加え合わせると、6秒程度にまではなる。このときの速度圧は**Fig. 5**の0.175 Hzのフィルターをかけたものに相当するため、その値で無次元化したものが**Fig. 7 (b)**である。(a)場合と比較して、速度圧が小さくなった分だけ、数値が大きくなるとともに、空間的にも平均化が進んだ結果が得られるが、全体的な模型周辺の流れの形態には極だった違いはないようである。つまり正面ではスケールの小さい乱れの影響が現われやすいが、屋根面や側面ではその

らに下げて、0.05 Hzとしたものが**Fig. 6**である。最初に、壁面の圧が異常に低いのは、この突風が測定開始直後に来たものであるため初期の影響が残ってしまったものである。ピーク前後の15秒間は速度圧と壁面の圧はよく一致している。この間の平均風速を7m/secとすると、この突風における定常性が成立する最大スケールは105m程度となり、最小スケールの80mとあまり変わらない。結局この突風はこの程度以上のスケールをもつ成分は含まれないということになる。現象的に考えると、この壁面は曲面になっており、**Fig. 7**の分布図からもわかるように壁面の圧は風向に対して敏感である。したがって長時間のうちに風向が偏れば、このようにピークの裾の方では速度圧と壁面の圧とは合わなくなってしまふ。つまり、必然的に風向変化、すなわち定常性が保たれるスケールよりも小さな

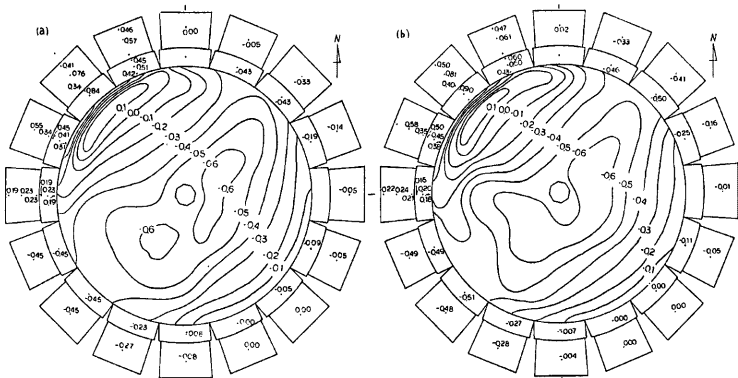


Fig. 7. Pressure distributions in gust G1, averaging time 3.1 sec (a), 6.15 sec (b).

影響が消え、スケールの大きい成分による流れの形態が残る。このように考えると、この6秒間の平均時間から得られた分布は定常状態のものと同様と変らないものと考えられる。

この圧の分布から略述できる流れの形態は屋根面前縁で剝離した流れがすぐに再付着し、頂部に進むにつれて、速度を増す。そして屋根面で剝離することなく速度を落しながら後縁に近づき、ほど模型に当る前の速度で後縁を離れるというものである。つまり背面の負圧はほとんどなく、流れが回復しているのである。これはスケールの小さな乱れによる外側からの運動量の補給によるものか、あるいは突風のスケールが小さく、持続時間が短かいために、後流が未発達であるためであるのかは現時点ではわからない。

3.3 風向変化を伴う突風 G2, G3

風向変化の少ない G1 とは異なり、これらの現象を説明することは現在のところ難かしい。したがって、ここでは個々の現象についての叙述を中心にしたいと思う。G2の詳細は周辺の壁面の圧の変化について Fig. 8 に示す。風についてのデータは両方向の風速をそれぞれ2乗回路を通し、風速計の方向特性がその方向の速度成分を表すものと仮定して、それら2乗されたものを加算回路を通して加算し、速度圧のものとする。また風向に関しては0.1秒ごとに読みとった風速の値から風向を算出した。また、このデータにはマノメータの補助がないため、圧の原点は突風前後の風速の小さいところの値から推定したものである。なお、現象を見やすくするために上限周波数 3 Hz のローパスフィルターを通してている。

Fig. 8 より、まず 5~6 m/sec の風が WNW よりやや N 寄りから W 方向へ風向変化する。このとき NW 側の面、ついでその両側の NNW, WNW 側の面、最後に W 側の面の順でゆるやかな圧上昇が生じる。これは通常の準定常状態のものとは逆で、仮想質量傾向をもつ効果である。そこでかなり急に 10 m/sec 強の小突風が WNW 方向から来るのであるが、このときには NW 面の圧は相当高くなって止り、突風の根跡はその正面 WNW 面に生じている。そしてそれ以前の圧上昇と重って速度圧の2倍近くになる。つぎに風速は低下して第2の小突風が同じ方向から出現するが、このときはその根跡が NW 面に大きく、WNW 面には小さく、W面には負圧となって現れる。このときにも NW 面では以前の圧上昇の影響と重って正圧はこの突風で最高値を示す。そこで風速は一旦 6 m/sec 程になるが、壁面の圧はそれほど低下しない。その間風向は NW 寄りになり、再び WNW にもどっている。最後に第3次の小突風が NW 方向から来る。ほど同時刻に NW ピーク面が見られるが、これは前の弱風時の風向変化に伴う仮想質量の効果によるものと考えられる。そして最後の小突風の根跡としては NNW 面に現れる。このようにして、最後の段階では NW 面と NNW 面とが入り替わるもの、最初に生じた圧上昇の順番をほど保ちながら緩やかにこの突風現象は終る。

突風 G3 の詳細は Fig. 9 に示す。データの調整方法は G2 の場合とほとんど同じである。ここでも図を見やすくするために、1 Hz の上限周波数をもつローパスフィルターを通してている。G2 では風向変化が強風

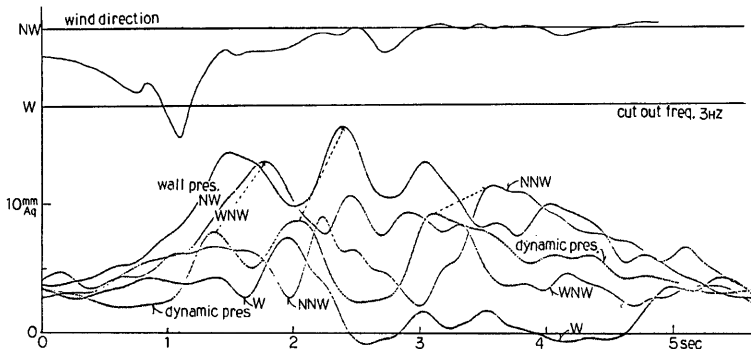


Fig. 8. Fluctuations of wind direction, dynamic pressure and wall pressures in gust G2.

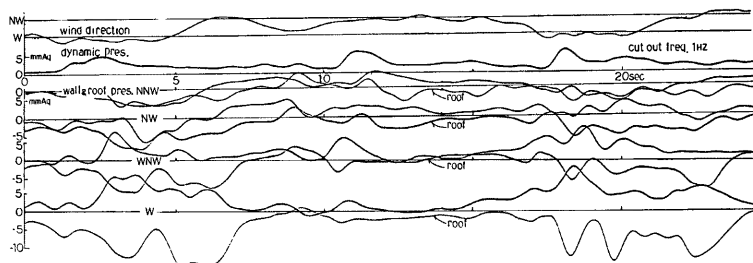


Fig. 9. Fluctuations of wind direction, dynamic pressure and surface pressures in gust G3.

に先行していたのに対し、この突風は強風が風向変化に先行する。速度圧の記録をみれば、この突風も3つのものに分けられるが、G2の小突風が一つの系統に属していたのとは違い、3つの突風はそれぞれ独立したものであるとも考えられる。このうち第1のものと第3のものによる壁面、屋根面の圧の挙動まったくよく似たものである。速度圧の波形はそれほど似ているとはいえないにもかかわらず、このようになるのは風向変化が似ているためであることがはっきりしている。ここでも壁面の正圧は速度圧を上まわっている部分が多い。

まず、W方向から強風が吹く。それにつれてW側の壁面には正圧が、屋根面には負圧が発生する。そこで風速の低下とともに圧の強さも衰えるが、風向がWからNWに変化すると、流線が引張られる側であるW側の屋根面では再び強い負圧が発生する。すなわち壁面では仮想質量的傾向をもつ効果と流線が引張られる効果が相殺するのに対し、屋根面ではともに負圧の効果が助長されて、二つの効果が相乗するのである。こうして屋根面の縁に近いところでは非常に強い負圧が発生する。Fig. 2をみるとこの突風以後にもその現象は随所に見られるようだが、まだ解析される段階には至らない。

第一系統の突風が終わった時点で、風速は5~6 m/secと弱いが、風向だけが変化する状態が続いている。これまでである状態が変化するとき、その変化を妨げる傾向を仮想質量的傾向をもつ効果というあいまいな表現を続けてきたが、ここではそれをもう少しだけはっきりとしたものにできる。まず風向は前述のW方向からNWに達し再びWNW方向へと変化している。NW壁面で上昇はゆるやかだが、急に低下する直前の部分はその効果に対応している。また、その後WNWを少し過ぎてNW方向へともどっている。そのときWNW壁面にはかなり顕著なピークがみられる。ピークの強さは風向変化の速度と測定点の位置関係によって異なるものと考えられ、前の状態を維持するという意味で仮想質量的という表現をした。

このようにして現象は第2系統の突風へと移っていく。この突風では壁面や屋根面での圧が速度圧より弱く、G1と同類のものかとも考えられるが、風向に対して正面に近いNW面でははっきりした根拠がなく、むしろNNW面にその根拠が出るというG2の第3番目の小突風と似た性状を示す。すなわち、突風の持続中にゆるやかではあるがWNWからNW方向への風向変化があり、その風向変化の到達点を過ぎた方向に根拠が現われるという種類である。

最後に第3系統の突風について考える。これは大略的には前述したように第一系統のものと似ている。しかしこの突風は風向がWになったまゝ風速にきれいなピークが現われ、後半部分を除けば、W側の壁面と屋根面との圧の変化の対応がよい。本実験の計画段階では準定常的な流れを予期していたため、このような現象がもっと頻繁に生じ、これによって風向変化がより直接的に検出できることを期待していた。圧力変換器による測定点の配置はこの考え方に立脚したものである。Fig. 9のデータには上限周波数1 Hzのローパスフィルターがかかっており、現実にはこれよりも高周波成分が多く含まれていたため、ここでは高周波成分は別にFig. 10にとり出した。これは0.8~6.4 Hzの3オクターブに含まれる成分を示しており、Fig. 9の成分とやゝ重なるものをこれを加算すると、ほぼ現実の値となる。別の記録から瞬時的な圧は突風時で

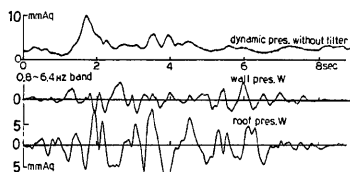


Fig. 10. High frequency components of frontal wall pressure and frontal roof pressure.

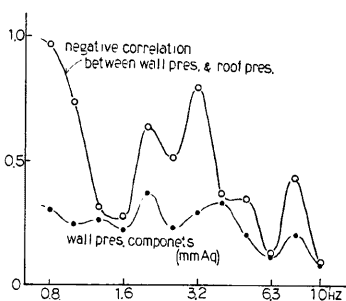


Fig. 11. Correlation coefficients between frontal wall pressure and frontal roof pressure at variable frequency components.

27 mm Aq, 後の風向変化時で 45 mm Aq にも達する負圧となっている。G1 の解析で高周波成分については風速変動には含まれない成分として考えたのであるが、Britter, Hunt, Munford の円柱についての研究⁴⁾ではスケールの小さい変動が物体に近づくにつれて増巾することになっている。Fig. 10 で速度圧には突風の頂上が \searrow 尖るぐらいで、あまり高周波成分は見られない。しかるに壁面とその直上の屋根面の部分では突風前後によく正負の対応した高周波成分がみられる。これは壁面に当り、屋根面に吹上る流れに高周波成分が含まれることを意味している。これをさらに詳しく知るために突風時における壁面と屋根面における周波数別同時相関を $1/3$ オクターブバンドパスフィルターを用いて求めたものが Fig. 11 である。同時相関の計算に用いた壁面の変動成分も記入したが、通常の乱流では平衡状態で高周波数になるほどその成分が弱まるのに対して、2~5 Hz で成分が強くなる様子がみられ Britter 等の結果に合っている。また相関係数は 1.2~1.6 Hz で谷となっている。0.8 Hz 以下の成分というのは模型の大きさより大きいスケールをもつ成分であり、模型周辺の流れの場を形成できるものである。G1 の解析では正面では定常でなくても、模型周辺の流れの場を形成する模型の大きさの 13 倍以下の成分について述べた。その下限がこの 0.8 Hz 近辺の成分すなわち模型より \searrow 大きいスケールであるといえる。それより小さいスケールのものは流れの場をこわし、さらにスケールが小さくなると、形成された流れの場に乗って流れ、流れの形態に与える影響は小さいが、前面で増巾され、その近く屋根面ぐらいにまではその影響が現われると考え、現象をうまく解釈できる。

3.4 変動圧の激しい突風 G4

この突風 G4 は持続時間が長く、その全様を詳細に図示することは難しい。したがって、特徴的な始まるの部分と、マノメータデータを含む中央部を示すに止める (Fig. 12 (a), (b))。この突風が発生する以前の状態は Fig. 12 (a) に示すように、4~5 m/sec の風が西から吹き、変動圧も落付いている。そして途中から風速計の指示はそれほど変わらないのに突然壁面の圧が激しく変化する。その \searrow 後になって風速計にもその影響が現れてくるというものである。ここではもはや仮想質量的傾向といった細かいことよりも、場の性質そのものが変化したとしか表現できない。たとえば図の前半では地表付近から上空までは \searrow 様な流れがあるのに対して、図の後半では強い乱れを含んだ流れが降下してくるといったようなものである。つまり変動圧の原因は地上付近にある風速計によって捕えられる速度圧とか風向といったものではなく、上空から降りてくるものであると考えるのである。それも音響的なものや、単に静圧が変化するというものであれば、各壁面について同時性がなくてはならない。しかるに、NW, W, WNW の各面の順に波動的に圧が上昇し、NNW 面では圧が下降するのであるから、上空の流れから機構的につながったものということになる。屋根面のデータを調べてみると、少しずれがあるが壁面と同じ傾向を示すところから、単に水平に流れが当たる

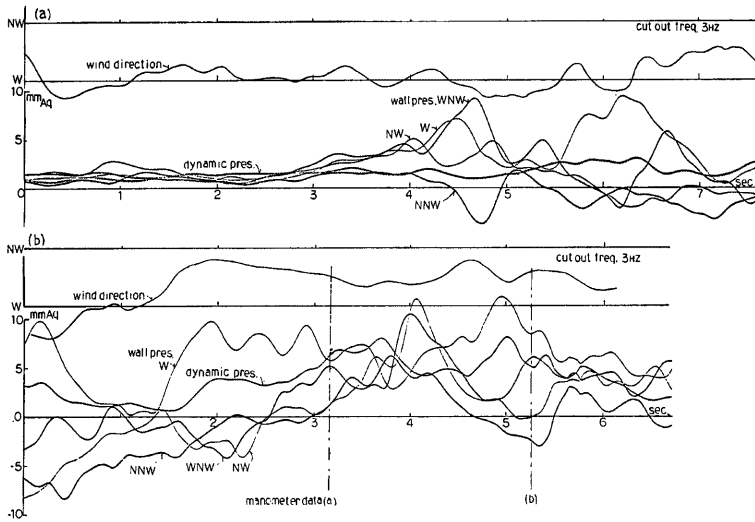


Fig. 12. Fluctuations of wind direction, dynamic pressure and wall pressure in gust G4, beginning (a), middle (b).

場とは異っている。模型からわずか 6 m しか離れていない風速計にはならず、模型だけに斜上空から流れがやってきて、それが10数秒も続くといわざるを得ない。このように考えると、G1 は風速計よりも風上側に降り、G2, G3, G4 はより模型に近いところに降りたとすれば、模型表面の圧が速度圧を上まわる現象が説明できる。しかし、この現象については一層進んだ実験による証明が必要であると思われる。Fig. 12 (a) の状態から約 5 秒経て Fig. 12 (b) の状態に続いている。ここでも風速計から得られる速度圧が変動圧の絶対値を越えるのはそれがピークを示す 0.2 秒だけである。このピークの前後に 7 枚のマノメータの連続写真があり、圧力変換器の原点を合わせるために用いている。ただしこの場合は G1 のように急激なピークではなくならかなものであるから等価なローパスフィルターの上限周波数は時定数を合わせた 0.2 Hz を用いる方が波形がよく合った。連続写真のうち最初のもので最後のものから得られる模型全体の圧の分布の移り変りを示す (Fig. 13 (a), (b))。撮影した時点は Fig. 12 (b) に記入したが、マノメータの時定数が 2.6 秒であるから、それらの時点以前 5.2 秒からの手前のところに加重のかかった平均値ということになる。等価なフィルターを通した速度圧の値は最初の図については 3 mm Aq 程度、最後のものについては 4 mm Aq 程度であるが、そのようなもので無次元化しても物理的意味に乏しいので圧の値をそのままで記した。最初の写真から描いた分布図 Fig. 13 (a) ははゞW方向から吹く風によるものと考えられるが、北側に比して南側に負圧が強いことが特徴的である。2.1 秒経過して Fig. 13 (b) のようになるが、全体的な流れの形態としては風向が WNW に変化したものを表わしている。しかし、南側の負圧はまだ残っているしW壁面の正圧および屋根前縁の負圧も残ったまゝである。これはマノメータの応答性が悪いからであると考えられなくもないが、マノメータの応答性はすべての測点で同じであること、W壁面については Fig. 12 (b) の図が参考になることを考慮すれば、上空からの影響というものには持久性が強いようである。またこれらの図からも背面の負圧はなくなっていること、突風が後流の方に降りるという気配はないことなどがわかる。

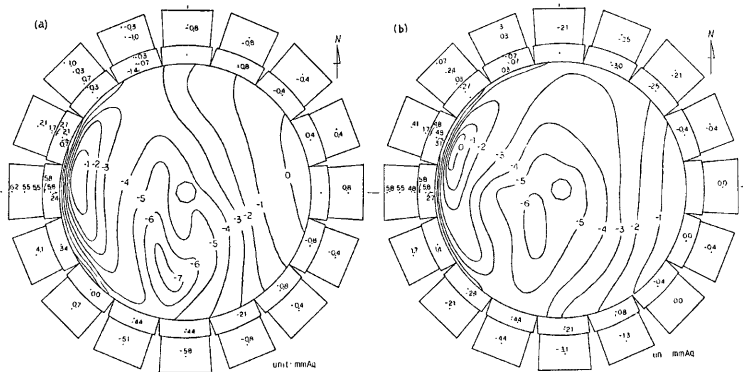


Fig. 13. Change of pressure distribution in gust G4.

4. ま と め

比較的平坦な草原に模型のドームを設置し、冬季節風時に Gill 風速計、半導体ダイヤフラム式圧力変換器、傾斜管式マンオメータを用いて、風速とドームに作用する風圧を測定し、測定中に発生した4つの突風についてデータ解析を行った。

突風の中にはほぼ水平で風向変化の少ないものがあり、それによって得られた準定常性が適用できる乱れのスケールは模型の大きさの13倍以上のものである。それより小さいスケールをもつ成分でも模型の大きさぐらいのものまでは正面では正圧、側面では負圧といった通常の流れの形態の形成に加担する。さらにスケールの小さい成分はより大きいスケールの成分によって形成される流れに乗って模型の風上面で増巾されるが、全体的な流れの形態には影響しない。このような比較的扁平な形のものには背面での負圧は発生しない。

風向変化を含む突風では急激な風向変化に対して状態変化に対する仮想質量的効果がみられること、流線が伸びる側の屋根面前縁には強い負圧が作用することなどがわかった。

計画時には予期されず、今後詳しい実験が必要なものとして、平坦なところに単一の凸部があれば、そこに上空の強風が集中して降下しやすいことである。そのようなとき凸部に対応する物体の表面には水平に吹く風とはやゝ異った風圧分布が生じる。

最後に本実験を行う動機は武藤構造研究室で設計された貯炭ドームであった。機会を与えていただいたことについて同研究室に感謝するとともに、実験の実施にあたっては模型の維持管理、マンオメータの改良、写真撮影、データ読取に尽力いただいた林泰一、尾崎寿秀、河内伸治の潮岬風力実験所スタッフ諸氏に感謝する。

参 考 文 献

- 1) Jensen, M. and N. Franck: Model-Scale Tests in Turbulent Wind, Part II, The Danish Technical Press, 1966, pp. 1-35.
- 2) 立川正夫：自然風中において極造物に作用する風圧力に関する実験的研究 一その2・円柱の風圧測定一，日本建築学会論文報告集，第153号，昭和43，pp. 9-16.
- 3) 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 一その4・壁面風圧測定一，日本建築学会論文報告集，第159号，昭和44，pp. 17-24.
- 4) Britter, R.E., J.C.R. Hunt and J.C. Munford: The Distortion of Turbulence by a Circular Cylinder, J. Fluid Mech., Vol. 92, part 2, 1979, pp. 269-301.