

日本鋼管(株) 正員 藤澤 伸光
正員 武田 勝昭

まえがき 流れの剥離を伴う物体に作用する非定常圧力の特性、特に物体振動変位に対する位相遅れには流れの遅れが支配的であり準定常的には説明できないとされるが、このような非定常圧力の特性を調べるための1方法として、ほぼ準定常状態とみなせるような高風速から出発して風速を低下させていった場合の圧力の挙動を追跡することが考えられる。本研究では偏平な矩形柱にねじれ振動を与えた場合の非定常圧力に着目し、無次元風速 V_r ($V_r = V/NB$, V は風速, N は振動数, B は弦長)を2から200まで広範囲に変えて圧力を測定した結果、いわゆる渦励振を生じるような断面ではないにも拘わらず圧力特性と風速の関係が単調でなく一般的な遅れという概念に馴染まない現象を生じること、この現象は変動圧力の周波数応答成分だけでなく、その波形の歪に着目することによって合理的に説明し得ることを見出したので、その概要を報告する。

実験方法 厚さ34mm, 弦長480mmの偏平な矩形柱を一樣流中におき、強制的にねじれ振動を与えて上面の圧力を測定した。ねじれ振幅は 1.5° 、実験風速は原則として 15m/s とし、加振振動数を調整して V_r を変えたが、 $V_r = 2 \sim 5$ については加振振動数を5Hzに固定し風速を変化させた。測定結果は、一般に行なわれているように、周波数応答成分の絶対値を動圧で無次元化した係数 C_p と変位に対する位相差 β の形で整理すると同時に、圧力の時系列データを、加振振動数成分を基本波とするフーリエ級数に展開し、この係数から高調波成分まで含めた変動圧力波形を再構成して検討を加えた。

非定常圧力係数 図1に C_p と β の分布、図2にこれらの係数と V_r の関係を示す。下流側の測点15~23における圧力はかなり特異な挙動を示しているが、別途行なわれた定常圧力の測定より、これらの測点の位置では $\pm 1.5^\circ$ の迎角範囲で流れが常に再付着していることが判っている。さて、図1によれば前縁から下流へ行くに従って位相は次第に遅れるが、再付着域に入ると一定値に収束する。ただしその収束値は V_r によって異なり、 $V_r \geq 10$ では約 270° 、 $V_r \geq 20$ では 0° である。図2から、この再付着域での β の変化は $V_r = 10 \sim 20$ の範囲で急激に起ること、これに対応するように再付着域での C_p は $V_r = 15$ 付近に最小値を持つ下に凸な曲線となっており、非定常圧力係数と V_r の関係が単調でないことが判る。なお、 $V_r = 15$ では C_p が微小なため、安定した β が得られなかった。また、下流端で β が 180° 変化しているのは迎角変化による定常圧力変化の方向の逆転に由来する。

圧力変動波形 上述の現象を詳細に検討するために変動圧力の波形を調べた。図3、4に結果の1例を示す。図中、最上段の波形はねじれ角変位(頭上げが正)で、2段目以下が変動圧力の波形(上向きが圧力低下)を示す。また、以下において振動一周期中のある瞬間を表わすのに角度 ϕ を用いる。($\phi = 0^\circ \sim 360^\circ$, $\phi = 0^\circ$ は模型が水平でねじれ角速度が正の時とする。) 図3は $V_r = 5, 7$ での各測

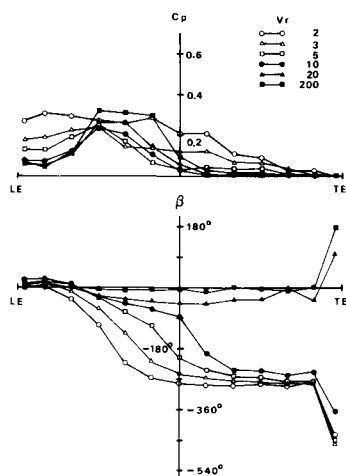


図1 非定常圧力係数の分布

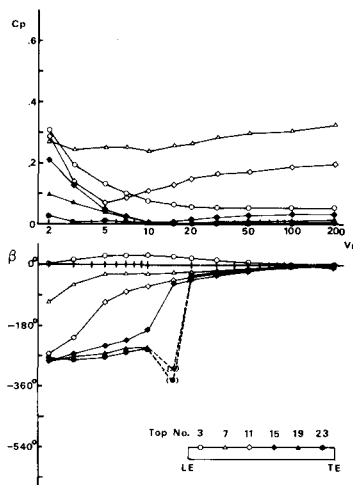


図2 非定常圧力係数と V_r の関係

点の波形であるが、○印で示した負圧の山についてみると、前縁付近では $\phi \approx 90^\circ$ で発生しているものが下流へ行くに従って次第に遅れ、断面中央付近で 180° 弱の遅れとなる。その後、再付着域に至ると遅れはそれ以上進行せず一定となる傾向にある。一方、測点9～11付近から下流では、これとは別の第2の負圧の山の存在が認められる（図中の◇印）。この山の発生時刻は $\phi \approx 0^\circ$ ではほぼ一定である。すなわち、再付着域では2種類の負圧の山を生じ、その発生時刻は測点の位置によらず約 0° および 270° と一定である。しかし山の大きさについては位置の影響が大きく、下流へ行くほど第2の山が相対的に優勢となる。図4は再付着域内の測点17の圧力波形の V_r による変化を示したもので、問題の $V_r=15$ では $\phi \approx 0^\circ$ および 180° で負圧の山を生じ、しかも両者の大きさはほぼ等しい。この中、 $\phi \approx 0^\circ$ での山は V_r によらず一定の時刻で生じており、図3での第2の山と同じものと考えられるので◇印で示した。 $\phi \approx 180^\circ$ での山は、 $V_r=200$ では $\phi \approx 90^\circ$ で発生していたものが V_r の低下とともに遅れて 180° に達したもので、図3の○印の山に相当するものと推定される。図3、4から明らかに V_r が低いほど、また観測点が後縁に近いほど○印の負圧の山は相対的に減少し、◇印の山は増大する。

負圧の山と周波数応答成分 図1における前縁から断面中央付近にかけての位相遅れは○印の負圧の山の遅れによることは明らかであろう。この山の発生時刻は再付着域に入ると一定となり、ここで用いた模型の場合、 $V_r=5$ で $\phi \approx 270^\circ$ である。これによってもたらされる位相遅れは 180° に過ぎない。しかし、再付着域に入ると $\phi \approx 0^\circ$ で発生する◇印の負圧の山が次第に増してくるため、周波数応答成分すなわち基本波の位相としては更に遅れが進行し、 270° にまで至るように見えるのである。図2の下流側測点（再付着域）の特性についても同様に負圧の発生状況から説明できる。高 V_r では○印の山が卓越しているので V_r の低下とともに徐々に位相遅れが進行するが、 V_r が20程度になると◇印の山の影響

が現れてくる。本実験の場合、 $V_r=15$ での○印の山の発生時刻は約 180° であり、しかもその大きさが◇印の山とほぼ等しくなるため、圧力波形は加振振動数の倍の振動数の正弦波に近いものとなり、周波数応答成分はほとんど0として評価される。これより低 V_r では◇印の山が優勢となるため β は 270° に近付き、 C_p は再び増加する。○印の負圧の山はその性状から考えて前縁からの剥離渦と密接な関係にあることが容易に想像される。これに対して◇印の山の発生理由は必ずしも明らかでないが再付着域だけで観測されるものであることから、後縁からの剥離等によって定まる物体表面での流速変動に関係するものではないかと推測される。いずれにせよ、この2種類の負圧の山の発生は互いに独立な現象であろう。負圧の大きさが相対的に優勢となる条件（ V_r 、物体上の位置）がこの2つの現象で異なるため、周波数応答成分だけを見ると、前述のように、一見特異ともみえる挙動を示すものと結論される。

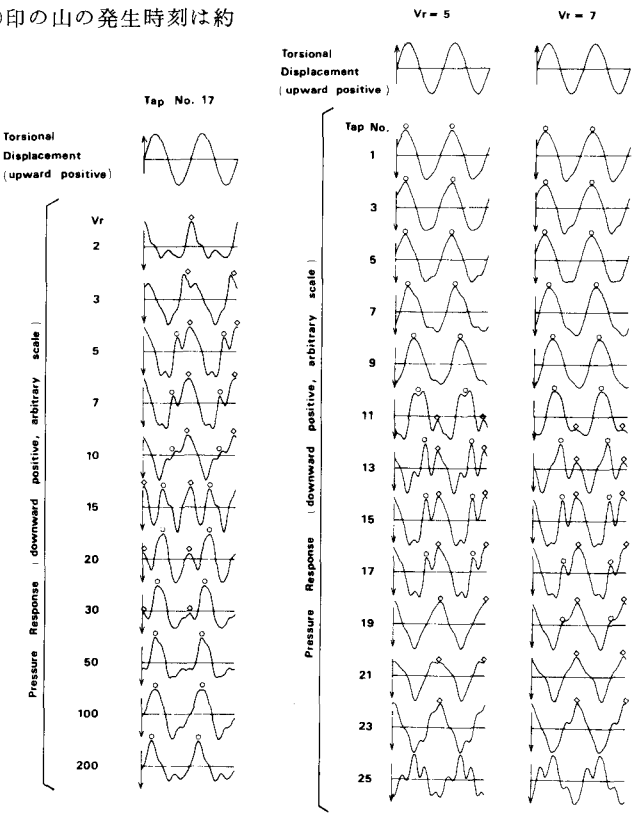


図4 圧力波形に及ぼす V_r の影響

図3 変動圧力波形