

九州大学応用力学研究所 正員 岡島 厚

〃 〃 溝田 武人

〃 〃 原田 健一

1. まえがき. 矩形断面構造物の空力弾性的不安定振動に関し, 自由振動法あるいは強制振動法などにより構造物の振動挙動や流体力の測定および構造物まわりの流速の測定などの数多くの実験的研究がある. たとえば, 矩形の2辺の比が2の断面を有する構造物の空力弾性的不安定振動の発生は非常に複雑で, 共振風速より高風速の領域と共振風速の約 $1/2$ 付近の2ヶ所の風速域で不安定振動が生ずる.

本研究では, この様な1:2矩形断面(矩形の2辺の比が1:2)模型を一樣流中で静止および強制的に振動させ, 模型表面上50点にわたり, 非定常圧力を測定した. 特に, 共振風速の $1/2$ 付近で生ずる不安定振動に注目し, その時の振動模型上・下面の圧力分布と流れの様相との関連を調べた.

2. 実験方法. 風洞測定部(高さ3m, 幅0.7m)に高さ $H=180\text{mm}$, 長さ $C=360\text{mm}$ の1:2矩形断面模型(スパン長さ, 700mm)を設置する. そして加振装置により, 模型を流れと直角な方向に並進振動させ, 模型表面上の圧力分布を測定した. 圧力は模型表面上スパン中央に10mmおきにありた総計50ヶの直径0.8mmの圧力孔から, 切換コック, 導圧管などを径ち, 圧力計により検出される. 模型が振動する場合, 圧力計を模型外に装着すると, 圧力計自身の振動による雑音が出力に混入し易くなるので, 本実験では圧力計を模型の外に置いた. そのため圧力孔から圧力計までかなり長い導圧部を必要とするので, 圧力出力には若干の位相遅れが生ずる. 従って別に検定を行い, それを補正した. 圧力計で検出された出力はバンドパスフィルターにより圧力の定常成分, 変動成分に分離される. 変動成分の振幅は実効値計により, 位相は直接, 極性相関計により模型の並進振動の変位を基準として測定された. なお, 本実験では模型の加振々数 $f=2.4\text{Hz}$, 加振々幅 $A/H=0.05$ に固定し, 無次元風速 $\bar{V} (\equiv V/fH, V\text{は一樣風速})=5\sim 20$ の範囲で風速を変えた. 従って, レイノルズ数 $Re (\equiv VH/\nu, \nu\text{は空気の動粘性係数})=(4.3\sim 13.4)\times 10^4$ である.

3. 静止矩形柱まわりの圧力分布. 一樣流中にある静止矩形柱表面上圧力分布をその定常成分 $\bar{C}_p$ と変動成分(振幅 $\tilde{C}_p$ (実効値), 位相 ϕ)に分けて図1に示す. 図の圧力の変動成分はカルマン渦列により誘起されるので, この場合 ϕ は矩形柱後縁から下方へ約 $1.5H$ 離れた位置における風速変化を基準とした. 上・下面対する位置の $\bar{C}_p$ および $\tilde{C}_p$ はそれぞれ相等しく, ϕ は互いに 180° の位相差を持つ. そして上・下面の $\tilde{C}_p$ の値は流れ方向に余り変わらず, $\tilde{C}_p \approx 0.22$ で, ϕ は下流に行くに従い若干位相遅れを呈している. また図には, レイノルズ数 $Re=6.2\times 10^4, 12.4\times 10^4$ の圧力分布を示したが, $\bar{C}_p, \tilde{C}_p, \phi$ はいずれもよく一致しており, 本実験範囲ではレイノルズ数の影響は少ないと云える. なお, 測定された圧力分布から矩形柱に作用する揚力 C_L (実効値) を求めると $C_L \approx 0.4$ である. 一方, 揚力の直接測定による結果⁽¹⁾ は $C_L \approx 0.36$ であり, ほゞ一致している.

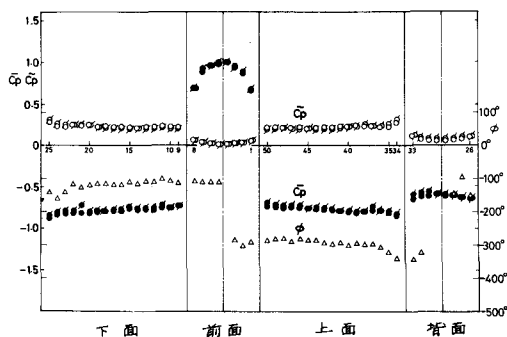
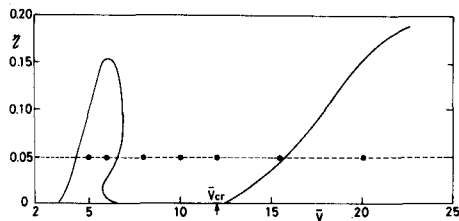


図1. 静止矩形柱まわりの圧力分布

○ Δ : $Re = 6.2 \times 10^4$
 $\bullet$ $\blacktriangle$: $Re = 12.4 \times 10^4$

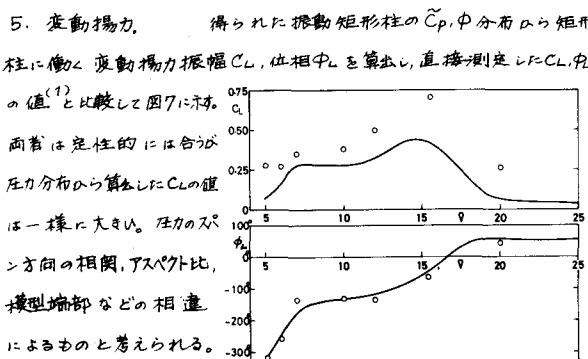
図2. 弾性支持した1:2矩形柱の振動挙動⁽¹⁾

($\bar{V}_{cr} = 12, 2\text{MS}/\rho H^2 = 2.215, f_n = 4.159$)

4. 並進振動する矩形柱まわりの圧力分布. まず, 図2には 1:2 矩形柱模型を弾性支持した際の振動振幅 η ($\equiv a/H$, a は振動振幅)の挙動⁽¹⁾を示す. 図から, 1:2矩形柱の空力弾性的に不安定な風速域は共振風速($\bar{V}_R \approx 12$)より高風速域と $\bar{V}_{cr}$ の約1/2の $\bar{V} \approx 6$ 附近の2ヶ所にある. そこで, 本実験では図2で $\eta = 0.05$ の線上, ●印で示す $\bar{V} = 5 \sim 20$ の風速につき, 並進振動する矩形柱まわりの圧力分布を測定した. $\bar{V} = 20$ を除く $\bar{V} = 5 \sim 15.5$ のいずれの場合も, 圧力変動の振動数は全て加振々動数と一致している. まず, 共振風速 $\bar{V}_{cr}$ より高風速域の $\bar{V} = 15.5$ および共振風速 $\bar{V}_{cr} = 12$ における矩形柱の圧力分布を図3, 4に示す. 図から $\bar{V} = 15.5, 12$ の場合共に, 上下面の $\bar{C}_p, \tilde{C}_p, \phi$ の値の流れ方向の変化は少く, 特に $\bar{C}_p$ 分布は静止の場合(図1)とほとんど変わらない. 一方, $\tilde{C}_p$ の値は, 静止時より, $\bar{V} = 12$, さらに $\bar{V} = 15.5$ の場合, 漸次一様に大きな値となり, 上下面の中も $\bar{V}$ の増加に伴い, 一様に進んでいる. 即ち, $\bar{V}_{cr}$ 附近における $\bar{V}$ の変化に伴う矩形柱上下面の $\tilde{C}_p$ や ϕ の値は局所的に変化するのではなく, むしろ一様になる.

次に $\bar{V}_{cr}/2$ 付近の例として, $\bar{V} = 7.6$ の場合の $\bar{C}_p, \tilde{C}_p, \phi$ の分布を図5, 6に示す. $\tilde{C}_p$ の値は局所的に変化している. 特に $\bar{V} = 6$ の上・下面下流側および背面における $\tilde{C}_p$ の増大は著しい. また上下面の中は流れ方向に位相遅れを呈し, $\bar{V} = 6$ の場合には前縁付近と後縁付近の ϕ の差は 300° 以上に達している. また, 図2から $\bar{V} = 6$ の場合, 矩形柱は空力弾性的に不安定であり, この不安定は主に矩形柱上下面における ϕ の位相遅れと局所的な $\tilde{C}_p$ の増大に起因していると考ええる. さらに $\bar{C}_p$ 分布は $\tilde{C}_p, \phi$ の大きく変化する上・下面下流側で急激に圧力回復していることは注目すべき点である. また, 水槽実験や煙による可視化実験によれば $\bar{V} = 6$ の場合, 矩形柱前縁で剥離した流れは下流側下面に極端に近づく流れとなるが, この事と上述の $\bar{C}_p, \tilde{C}_p, \phi$ の挙動とは密接に関連していると思われる.

5. 変動揚力. 得られた振動矩形柱の $\tilde{C}_p, \phi$ 分布から矩形柱に働く変動揚力振幅 C_L , 位相 ϕ_L を算出し, 直接測定した C_L, ϕ_L の値⁽¹⁾と比較して図7に示す. 両者は定性的には合致し, 圧力分布から算出した C_L の値は一様に大きい. 圧力のズレ方向の相関, アスペクト比, 模型端部などの相違によるものと考えられる.



(1) Y. NAKAMURA, ASCE, Vol. 101, No. EM6, Proc. Paper 11813, (1975) p. 855.

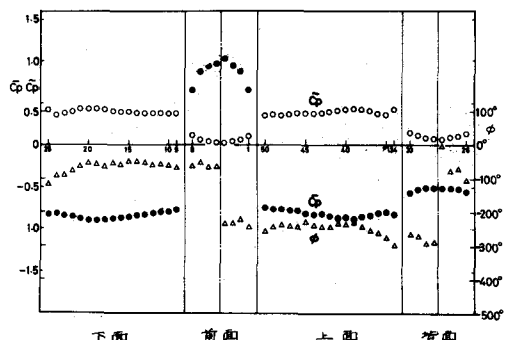


図3. 並進振動する矩形柱まわりの圧力分布 $\bar{V} = 15.5$

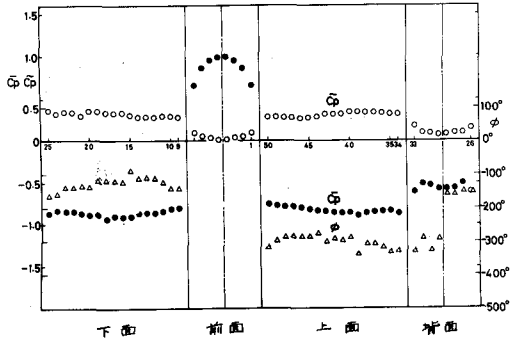


図4. 並進振動する矩形柱まわりの圧力分布 $\bar{V} = 12$

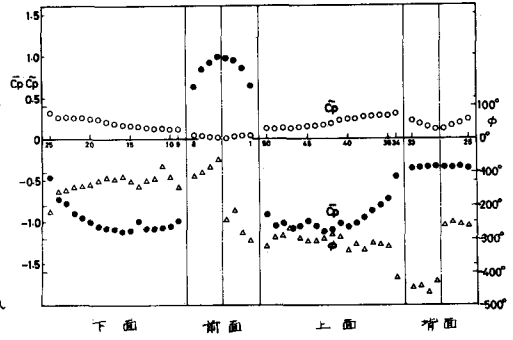


図5. 並進振動する矩形柱まわりの圧力分布 $\bar{V} = 7$

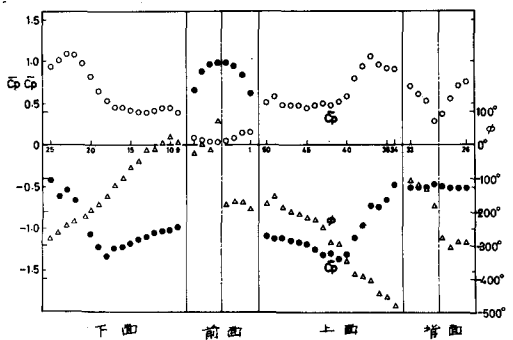


図6. 並進振動する矩形柱まわりの圧力分布 $\bar{V} = 6$