

回転ローターによる正方形角柱の耐風制振法

九州工業大学・工学部 学生員 ○安田 英明

九州工業大学・工学部 正 員 久保 喜延

九州工業大学・工学部 沖井 宏成

1. まえがき 土木構造物や建築構造物は年々長大化や高層化が進み、風による振動が問題となっている。この風による振動の制振法には、振動の原因となる非定常空気を減少させるかまたは物体の振動と空気が同期しないようにする方法がある。前者は構造減衰や剛性等を増したり、断面形状を流線形化することである。後者にはTMDやTLDが挙げられる。しかし、これらは特定の振動数における制振効果はあるが、複数の振動数を含む振動には十分な効果が得られない。そこで本研究では風による振動を起こす原因となっている境界層を制御し、空力弾性振動を抑制できるかを検討した。これは図1のように物体の上流側剥離点に回転軸を設けて流体を加速することで流体の剥離を遅らせる方法である。

2. 実験概要 実験は(1)角柱静止状態で回転軸の回転数を変化させた場合の表面圧力の測定、(2)回転軸の回転数を変化させた場合の自由振動実験による応答測定(自由振動実験の諸元は模型重量 $w=6.04\text{kgf}$, 固有振動数 $f=2.79\text{Hz}$, 対数構造減衰率 $\delta=0.013$)に分けられる。また、それぞれにおいて上下の回転軸の回転速度を接近流速に対する比の形にした場合、上下の回転軸を①同じ回転速度で回転させた場合②異なる回転速度で回転させた場合③片側の回転軸のみ回転させた場合の3ケースについて測定した。実験には九州工業大学建設工学教室付属の空力弾性風洞を使用し、図1に示すような上流側の上下隅に直径15mmの回転軸を設けたの正方形角柱(150×150×900mm)の模型を使用した。この模型には表面圧力測定用圧力孔を、図2に示すように各側壁に10点ずつ設けてある。

3. 実験結果 (1)回転軸の回転速度と表面圧力分布との関係を見るために、図2に示す圧力孔の位置で測定された表面圧力の測定結果を次式に示す平均圧力係数 C_p 、および変動圧力係数 $\overline{C_p}$ で整理している。特に、変動圧力係数はR.M.S.を用いてある。

$$C_p = \frac{P_m - P_0}{1/2 \rho V_0^2}, \quad \overline{C_p} = \frac{\text{R.M.S.}}{1/2 \rho V_0^2}$$

ただし、 P_m :測定圧、 P_0 :上流無限遠点での圧力、 ρ :空気密度、 V_0 :上流無限遠点での流速
以下に用いられる V_u 、 V_l はそれぞれ上側と下側回転軸の回転速度の接近流速に対する比率を示している。

・平均圧力分布 上側回転軸を静止させ、下側回転軸のみ回転させたものが図3である。これによると、上側面と背面圧分布は下側回転軸の回転速度に関係なく平坦な分布形状を示している。これに対して、回転軸を回転させている下側側面圧は回転軸の回転速度の増加と共にかなり変化する。特に、圧力分布形状は回転軸が静止しているときに平坦であったが、回転速度の増加とともに下流側の圧力の回復が大きくなっている。下流側測点の圧力係数は $V_u=V_l=0$ で $C_p=-1.7$ 程度であるが、 $V_u=0, V_l=1.6$ では $C_p=-0.8$ 程度にまで回復している。また①、②の場合も実験を行っている。①での上下側面での圧力は、ともに図3(c)と、背面圧は図3(b)と同じ特性を示した。②では①と③の場合の中間的な特性を示している。

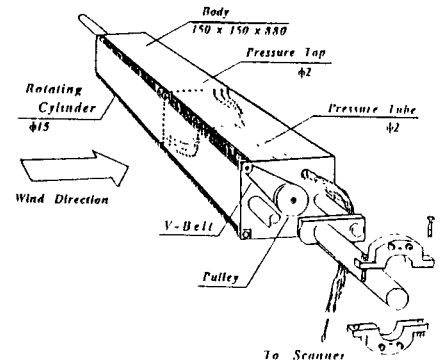


図1 供試模型

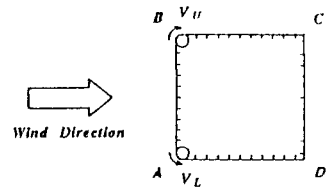


図2 圧力孔の位置

・変動圧力係数 上側回転軸を静止させ、下側回転軸のみ回転させたのが図 4 である。この図から、下側の回転軸が回転している場合には上側側面圧および背面圧の形状は平坦であり、 $\bar{C}_p=0.03$ 程度である。これに対し、下側面での変動圧力係数が上流側で大きく、下流側で小さくなっている。回転速度の増加に伴い下側の上流側の変動圧力係数が減少している。

・空力弾性振動 自由振動実験により回転軸を回転させた場合の制振効果について検討した結果が図 5, 6 である。両側の回転軸が静止しているときは $V_r = 6$ あたりからギャロッピングが発生しているが、上下の回転軸の回転速度が同じ $V_u = V_l = 0.8$ では $V_r = 9.6$ に移行している。また、 $V_r = 4.8$ では渦励振が発生している。回転速度を増すことで、ギャロッピングは高風速側に移行してゆくが、渦励振の振幅はわずかに小さくなるがほぼ同じ風速で発生している。これに対し、上側の回転軸を静止させ、下側の回転軸を回転させた場合には渦励振はほとんど発生せず、ギャロッピングは高風速側に移行している。

4.まとめ 今回の実験結果から次のようなことが分かった。1. 回転軸の回転により、抗力が低減することから本手法の採用は長大構造物等の静的風荷重の低減にもなる。(平均圧力係数の結果から背面圧の静止時($\bar{C}_p=-1.5$)と回転軸の回転時($\bar{C}_p=-0.8$)を比べると、風荷重を約 7割程度にすることができる。) 2. 上下の回転軸を回転させるだけでは十分な制振を行えなかったが、片側の回転軸だけの回転で十分な制振を行えたことから境界層加速による制振では、上下面での位相差を生じさせることが重要であると考えられる。

今回測定することの出来なかった各測点間の位相差の測定を含め、今後詳細な検討を行う予定である。

謝辞 本研究は科学研究費一般研究(B)の補助で行われていることを記して謝意とする。

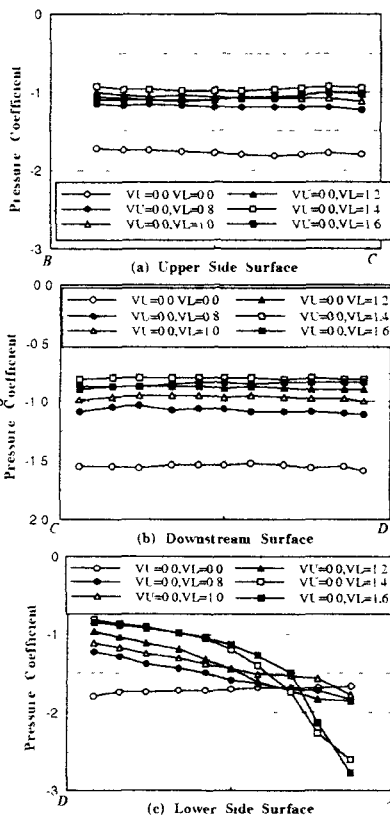


図 3 平均圧力係数(片軸のみ回転)

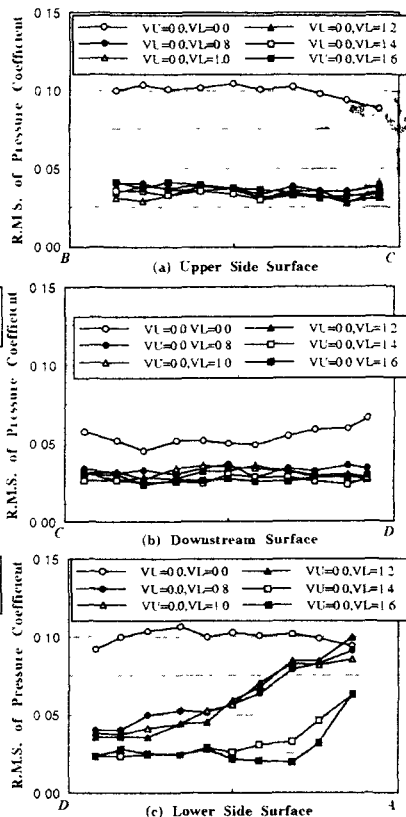


図 4 変動圧力係数(片軸のみ回転)

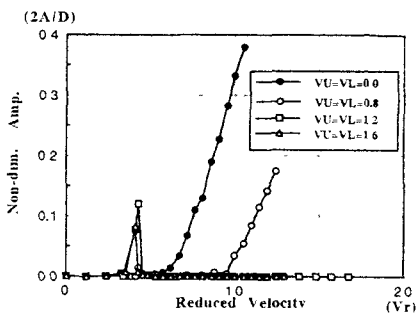


図 5 応答図(両軸同回転)

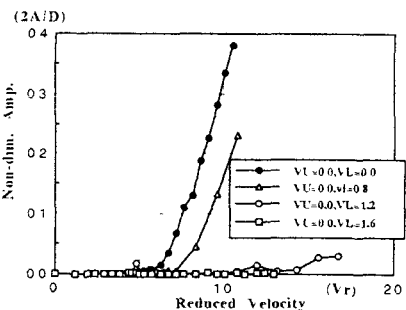


図 6 応答図(片軸のみ回転)