

境界層自己制御による正方形角柱の耐風制振に関する研究

九州工業大学大学院 学生員 ○小野元嗣

九州工業大学大学院 フェロー 久保喜延 正会員 加藤九州男 木村吉郎

三菱化学エンジニアリング(株) 非会員 金 聖求

1. はじめに 風による構造物の振動には、隅角部から剥がれた流れによって、物体の背後にできるカルマン渦による渦励振や、物体の振動に伴って生じる付加的な空気力によるギャロッピング振動などがある。これらの振動はいずれも自励振動的な傾向が強く、一旦発生すると構造物の破壊に繋がる恐れもある。特に橋梁主塔や超高層ビルなどの細長い構造物では、そういった現象が発生する可能性が高い。従ってこれらの振動を抑制することは高層建築物の耐風設計にとって重要である。自己制御法は、断面に付加部材を使わないで、図1のように断面の間に隙間を設け、隙間の位置と間隔を変えながら風の剥離流によって生じる断面上下の圧力差を制御し、耐風性を向上させようとする手法である。今までこういった手法はあまり報告されておらず、この手法の制振メカニズムが解明されれば高層ビルの耐風設計だけではなく色々な分野に応用できると考えられる。本研究では、境界層を自己制御することによって構造物の空力弾性振動を抑制できるかどうかを検討する。

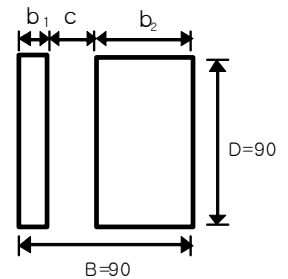


図1 模型断面図

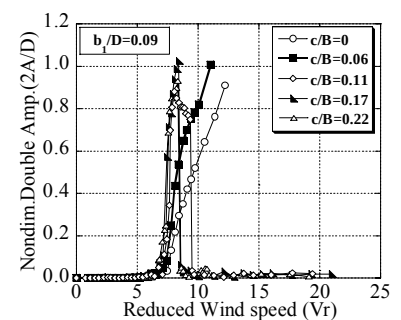


図2-1 応答実験結果(風上側)

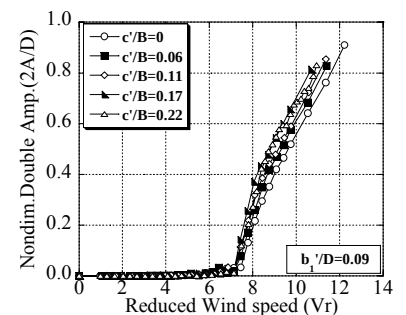


図2-2 応答実験結果(風下側)

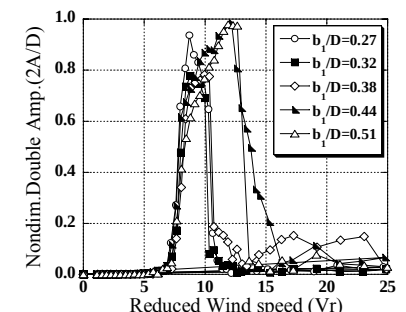


図2-3 応答実験結果(中央部)

2. たわみ1自由度振動応答実験

2.1 実験概要 応答実験は回流式空力弾性試験用風洞(測定断面: 1780 mm×910 mm)で実施した。使用した模型は断面幅B=90mm, 高さD=90mm(辺長比B/D=1.0)の正方形断面柱を基本断面として、隙間の間隔及び位置を図1に示すように風上, 風下側(模型を反転), 中央部分に設けて実験を実施した。ここで、図1に示すように $b_1=8.5\text{mm}$, $b_2=61.5\text{mm}$, 最初に隙間の間隔を $c=20\text{mm}$ とし、隙間の間隔を0, 5mmから20mmまで5mm刻みで左右から変化させ、また隙間を風上側と風下側に二つに分けて応答実験を行った。

2.2 実験結果及び考察 たわみ1自由度振動応答実験結果を、横軸に換算風速($V_r=V/fD$), 縦軸にたわみ無次元倍幅 $2A/D$ で示した応答図を表す。図2-1より隙間を風上側に設けた場合、 $c/B=0$, $c/B=0.06$ の断面においては $V_r=7$ 付近より振動が生じ、そのまま発散振動であるギャロッピングに移行している。しかし $c/B=0.11$, 0.17 , 0.22 の断面においてはギャロッピングの発生はなかった。図2-2より隙間を風下側に設けた場合においては、いずれの場合も基本断面と同様な結果となり、耐風性の向上は見られなかった。

2.3 ギャロッピング発現境界層の検討 以上の結果を踏まえて、図1-2の模型を使用し、ギャロッピングの発現境界の検討を行った。隙間の間隔は $c/B=0.11$ にして b_1 の長さを右方に5mmずつ隙間の位置を移動させて行った。図2-3にギャロッピングが抑制されたケースを、図2-4にギャロッピングが発生したケースを示す。図2-3より $b_1/D=0.27$, 0.32 , 0.38 では換算風速 $V_r=7$ 付近より振動

キーワード: 正方形角柱, 境界層自己制御, 耐風制振法, 揚力係数, 抗力係数, 高層建築物

連絡先: 〒804-8550 福岡県北九州市戸畑区仙水町1-1 九州工業大学 TEL 093-884-3109 FAX 093-884-3100

が発現し、 $V_r=8$ 付近で最大となるものの、 $V_r=10$ 付近で振幅はかなり小さくなる。しかし隙間の位置が中央である $b_1/D=0.44$ 及び風下側に転換する $b_1/D=0.51$ においては振動発現風速に変化はないが、 $V_r=13\sim 16$ まで大振幅の振動が持続しており、耐風性が低下している。図 2-4 より $b_1/D=0.57, 0.62$ においては、 $V_r=7$ で発現した振動はそのまま発散振動であるギャロッピングに移行した。以上より耐風性に有効な隙間の位置は風上側であると考えられる。

3. 静的三分力実験

3.1 実験概要 三分力実験は境界層型波浪風洞（測定断面：1800 mm×1100mm）で実施した。使用した模型は 2.1 のものと同じである。実験は基本断面とたわみ 1 自由度振動応答実験の結果より制振効果があった隙間を風上側に設けた場合の 7 ケースと比較のため隙間を風下側に設けた場合の 1 ケース（ $c'/B=0.22$ ）について検討した。以下に風上側に隙間を設けた場合の静的三分力実験結果を示す。

3.2 実験結果及び考察 静的三分力実験の結果を、横軸に迎角 α 、縦軸に抗力、揚力係数で示した図で表す。風上側に隙間を設けた場合の静的三分力の抗力係数を図 3 に示す。図 3 より隙間を設けることによって基本断面より抗力係数が大きくなった。また、隙間の大きさが小さいほど抗力係数の値が大きくなる傾向が見られた。これより、隙間を設けることにより背面の圧力が低下して抗力が増加したのではないかと考えられる。次に図 4 に揚力係数の結果を示す。図 4 より $c/B=0$ では全ての測定範囲（ $-13^\circ \leq \alpha \leq 13^\circ$ ）において揚力係数勾配 $dC_L/d\alpha$ は負勾配となっている。 $c/B=0.06$ では、揚力係数勾配の傾きは基本断面に比べて小さくなる傾向を示すが、同様に全ての測定範囲において負の値となった。これに対して、 $c/B=0.11, 0.17, 0.22$ では、迎角 $\alpha=0^\circ$ 辺りでの揚力係数が正勾配となっている。図 5 に Den Hartog の判別式より求めた判定結果を示す。また Den Hartog の判別式を以下に示す。

$$dC_L/d\alpha + C_D < 0 \quad (1)$$

準定常理論によれば、迎角 $\alpha=0^\circ$ において (1) 式を満足する場合に、発散振動であるギャロッピングが発生すると言われている。図 5 より基本断面と $c/B=0.06$ では、 $(dC_L/d\alpha) + C_D$ は負の値となりギャロッピングが発生するが、 $c/B \geq 0.11$ では $(dC_L/d\alpha) + C_D$ が正となるため、ギャロッピングが発生しない。この結果は、前述の応答結果と合致する。

4. まとめ 以上より $B/D=1$ の断面について自己制御法を用いると、たわみ 1 自由度振動応答実験では隙間を風上側に設けて、その大きさを $c/B=0.11$ 以上にした場合、発散振動であるギャロッピングを抑制することができた。そして静的三分力実験では風上側に設けてその大きさを $c/B=0.11$ 以上にした場合、迎角 0° 周りでの揚力勾配が負から正へと変わりギャロッピングが抑制された。

5. 今後の課題 本研究ではギャロッピングが抑制されるメカニズムの解明及び渦励振域の振動の抑制対策などは十分にできていないため、より詳細な検討が必要となる。静的三分力測定実験結果により、隙間を設けることによって抗力が増加する原因及び隙間を $c/B=0.11$ 以上にした場合、揚力の傾きが正となる原因の解明などがあげられる。

<参考文献> 社団法人 日本鋼構造協会；構造物の耐風工学，東京電機大学出版局（1997）

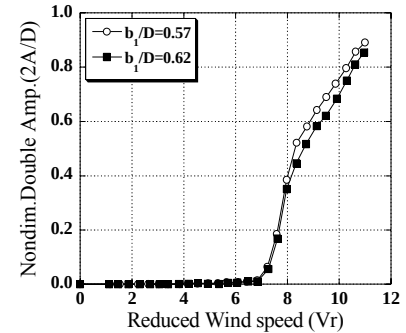


図 2-4 応答実験結果（中央部）

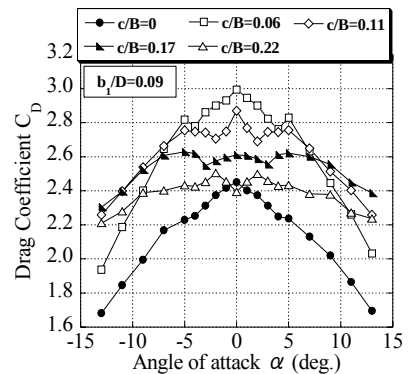


図 3 抗力係数（風上側）

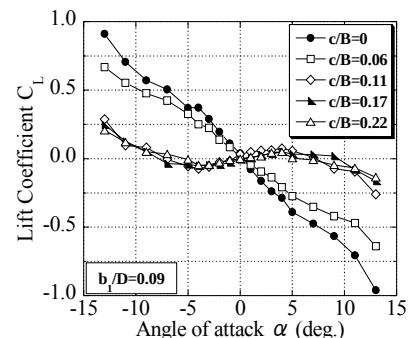


図 4 揚力係数（風上側）

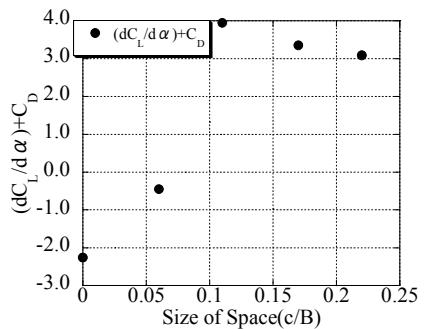


図 5 判別式計算結果