

### 構造基本断面の overshoot 現象に関する研究

京都大学大学院 学生員 ○加藤 嘉昭  
 京都大学大学院 正会員 白土 博通  
 三菱重工業株式会社 前田 耕治  
 株式会社キーエンス 高杉 祐仁

#### 1. 序論

構造物等の突風作用時の耐風性は未解明な点も多く、従来のガスト応答係数を用いた空気力算定式による設計では不十分といえる。何故ならば、突風発生時の空気力は、風速の乱れ成分よりも主風速の変動に着目すべきだからである。本研究では、風速急変時に発生する抗力の overshoot 現象[1]に着目し、表面圧力測定実験及び過渡抗力測定実験を行い、構造基本断面における overshoot 現象について検討を行った。また、従来の抗力算定式に inertia force を加えた新たな抗力算定式を用いて、解析により求まる抗力と実験結果との比較検討を行った。overshoot 現象の発生メカニズムを明らかにすることができれば、突風作用に対する構造物の安全性評価に有益な成果をもたらすと期待できる。

#### 2. 風洞システム

風洞システムは、京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻内に設置された吸込式の非定常気流発生風洞である(Fig.1)。本研究では風速が急変する場合の空力特性を対象とし、主流を step 関数的に非定常に変化させている。風洞は測定部高さ 200 [mm]、幅 200 [mm]、測定部全長 3000 [mm]の非定常気流発生風洞であり、下流部に空気吸入窓、2種類のシャッターA、Bを有する。定常風速はシャッターAのスリットを調整することで制御され、また非定常な気流はシャッターBを全閉の状態から急激に開放の状態にすることで発生させることができる。模型の圧力を測定する前に突風発生時における風洞内の静圧分布を調べた。風洞床面上の Fig.2 の Tunnel tap 1~5 における、定常風速  $U=8.77$  [m/s]となる突風発生時の圧力分布を Fig.3 に示す。これより、風洞内静圧は全ての圧力孔において同時に変化したが、下流方向にいくにつれて負圧ピークの絶対値が大きくなる傾向がみられた。なお、以下で述べる圧力は、模型に設置された圧力孔から計測された値と Tunnel tap 1(最上流)における静圧との差で評価している。

#### 3. 表面圧力測定実験

本研究では、構造基本断面( $B/D=0.5, 1.0, 2.0, 5.0$ )及び円柱断面を対象に表面圧力測定実験を行った。その結果、 $B/D=2.0, 5.0$ 、円柱断面において顕著な overshoot 現象が発生した。Fig.4 に  $B/D=5.0$  断面の前面・後面の圧力及び抗力係数の同時プロット図を示す。この図より、抗力が急増する無次元時間において模型後面の圧力は負圧を示すが、同時刻において模型前面の圧力は正圧の絶対値が増大しており、これにより overshoot 現象が生じていると考えられる。

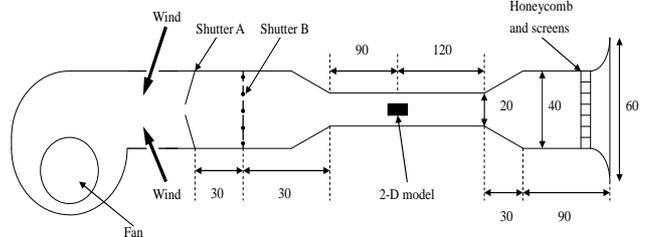


Fig.1 風洞実験装置[mm]

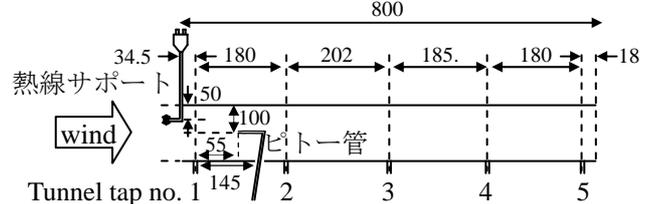


Fig.2 風路内圧力孔位置[mm]

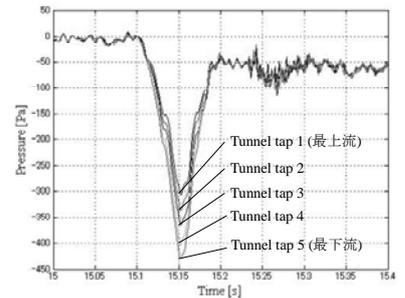
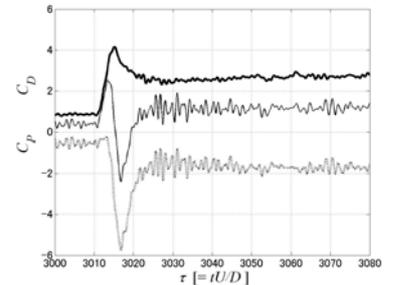


Fig.3 風路内静圧分布 定常風速  $U=8.77$  [m/s]の突風



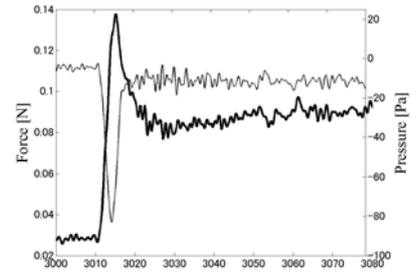
—: 抗力係数  
 —: 前面圧力 .....: 後面圧力  
 Fig.4 模型圧力・抗力係数 ( $B/D=5.0, U=3.05$  [m/s])

キーワード overshoot 現象, inertia force, 風路内静圧変化

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C1-3 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 TEL075-383-3167

4. 風路内静圧変化が及ぼす overshoot 現象への影響

2節で述べたように、風路内各点において風速急変時に負圧のピーク値が圧力孔位置で異なるため、特に  $B/D=5.0$  断面において模型前後面の静圧差による overshoot 現象の発生の可能性について検討した。Fig.3 より定常風速  $U=8.77$  [m/s]の突風発生時において、風路内の静圧差は圧力孔間約 180 [mm]で 25 [Pa]程度である。圧力は風速の2乗に比例するため、 $B/D=5.0$ ,  $U=3.05$  [m/s]のケースでは、突風発生時に生じていると考えられる静圧差から求まる抗力差は0.016 [N]と評価される。Fig.5 より、このケースにおける抗力のピーク値は、定常値に比べ 0.05 [N]大きかったため、その静圧差が抗力のピークに寄与する割合は約 30 %程度と判定される。このことから、風速急変時に模型幅で生じる静圧差の overshoot 現象への寄与は小さいといえる。したがって、抗力のピークを発生させる要因は前後面の静圧差以外に別の要素により発生しているといえる。



—: 抗力 [N] - - : 風路内静圧 [Pa] (Tunnel tap 1)

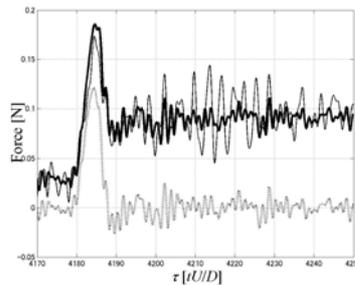
Fig.5 模型抗力・風路内静圧 ( $B/D = 5.0$ ,  $U=3.05$  [m/s])

5. 過渡抗力測定実験及び抗力算定式との比較

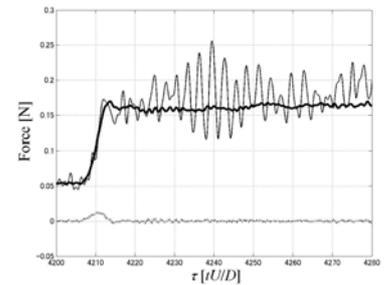
物体に作用する力は、風速が急変する場合に働く inertia force と物体に作用する抗力を足し合わせて、

$$F = \rho V C_m \dot{U} + \frac{1}{2} \rho U^2 A C_D \quad (1)$$

と表せる。但し、 $\rho$ : 空気密度 [N/m<sup>3</sup>],  $V$ : 体積 [m<sup>3</sup>],  $C_D$ : 抗力係数,  $A$ : 投影面積 [m<sup>2</sup>],  $C_m$ : inertia coefficient である。本研究では、式(1)を用いて過渡抗力測定実験結果との比較検討を行った。



—: inertia force + drag force .....: inertia force  
Fig.6 抗力算定式・測定値 ( $B/D=5.0$ ,  $U=3.99$  [m/s])



—: 測定値 .....: inertia force  
Fig.7 抗力算定式・測定値 ( $B/D=0.5$ ,  $U=3.97$  [m/s])

Fig.6 より、overshoot 現象が顕著な  $B/D=5.0$  断面では抗力算定式により比較的よい精度で時刻歴過渡抗力特性を表現できた。また、抗力が急変する無次元時間で inertia force が増加しているため、overshoot 現象を引き起こす原因として、inertia force の寄与が大きいと考えられる。また、Fig.7 に示す  $B/D=0.5$  断面を含め、 $B/D=5.0$  断面以外の断面では、抗力算定式と測定値であまり良い一致は見られなかった。したがって、 $C_m$ の断面形状ごとの評価に検討を加える必要がある。また、 $B/D=0.5$  断面はカルマン渦が強く放出される断面であることから、風速急変時のカルマン渦放出及び対称渦[2][3]についても詳しく検討する必要がある。

6. 結論

- 1) 表面圧力測定実験により、 $B/D=2.0, 5.0$  断面及び円柱にて overshoot 現象が確認できた。
- 2)  $B/D=5.0$  断面において、風路内静圧変化が抗力のピークに寄与する割合は約 30%程度であり、模型幅の静圧差が overshoot 現象を引き起こす割合は小さかった。
- 3)  $B/D=5.0$  断面では、抗力算定式により比較的よい精度で時刻歴過渡抗力特性を表現できた。また、抗力のピークがみられる時間において inertia force が急増していることが確認できた。
- 4)  $B/D=5.0$  断面以外の断面では、抗力算定式と測定値であまり良い一致は見られなかったため、 $C_m$ の断面形状ごとの評価に検討を加える必要がある。

参考文献

[1]白石成人, 松本勝, 北川雅章: “風速が急変する場合の物体に作用する空気力”, 第7回風工学シンポジウム論文集, pp.107-113, 1982  
 [2] T. Sarpkaya: “Separated Flow about Lifting Bodies and Impulsive Flow about Cylinders”, *American Institute of Aeronautics Astronautics Journal*, vol.4, No.3, pp.414-420, 1966  
 [3] T. Sarpkaya: “An Analytical Study of Separated Flow about Circular Cylinders”, *Transactions of the American Society of Mechanical Engineers, Journal of basic engineering*, pp.511-520, 1968