

突風発生時における構造基本断面の overshoot 現象に関する研究

Study on overshoot phenomenon of structural basic section on gust generation

○加藤 嘉昭¹⁾
Yoshiaki KATO¹⁾

白土 博通²⁾
Hiromichi SHIRATO²⁾

前田 耕治³⁾
Koji MAETA³⁾

高杉 祐仁⁴⁾
Yuzi TAKASUGI⁴⁾

1. 序論

突風発生時の構造物の耐風性は未解明の点も多く、従来まで考えられてきた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である。何故ならば、突風発生時における空気力は、風速の乱れ成分よりも主風速の変動そのものに注目すべきだからである。本研究では、風速急変時において発生する抗力の 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、構造物や列車等の耐風設計において非常に有益な成果をもたらすと期待できる。

2. 風洞システム

使用した風洞システムは、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い込み式の非定常気流発生風洞である。本研究では風速が急変する場合の空力特性を対象としており、主流をできるだけ step 関数的に非定常に変化させるため、Fig.1 に示す風洞を用いた。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により制御され、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により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。

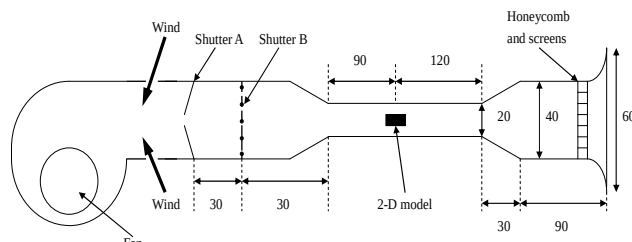


Fig.1 Wind tunnel experiment device [mm]

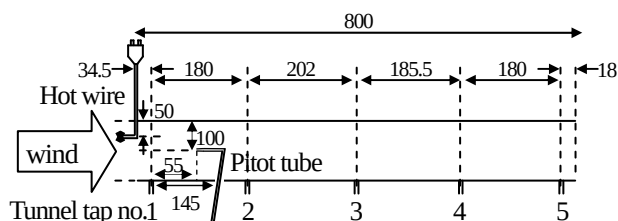


Fig.2 Tunnel tap position in wind tunnel [mm]

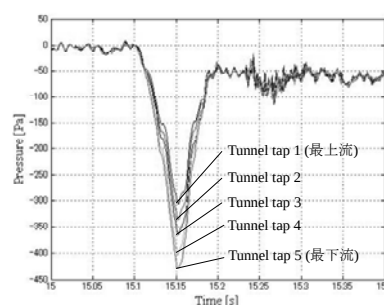


Fig.3 Static pressure distribution
in wind tunnel ($U=8.77$ [m/s])

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 overshoot 現象が発生していることが確認できた。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。

^{1),2)} 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 大学院生 教授

³⁾ 三菱重工業株式会社

Graduate Student, Professor, Kyoto University

Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

⁴⁾ 株式会社 キーエンス

Keyence Corporation

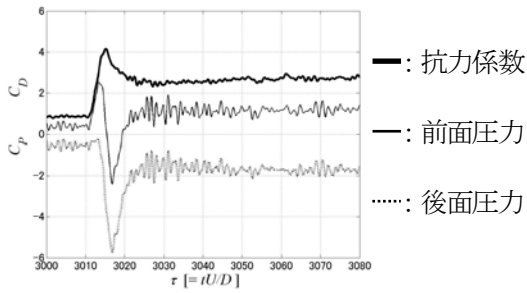


Fig.4 Wind pressure of model and drag coefficient
($B/D=5.0$, $U=3.05$ [m/s])

4. overshoot coefficient 及び無次元立ち上がり時間の関係

本研究では、圧力測定実験より得られた抗力係数において、overshoot 現象が発生した断面を対象に、風速の立ち上がり時間と overshoot coefficient の関係を検討した²⁾。overshoot coefficient は抗力のピーク値を定常状態における抗力値で除した値と定義し、風速の無次元立ち上がり時間は以下のように定義した。

$$\tau^* = \frac{Ut_r}{D} \quad (1)$$

但し、 τ^* : 風速の無次元立ち上がり時間、 D : 代表長 [m]、 t_r : 立ち上がり時間 [s] である。風速の立ち上がり時間 t_r は目視で定めた。Fig.5 に $B/D=5.0$ の風速の無次元立ち上がり時間と overshoot coefficient との関係を示す。この結果より、両者に線形な関係がある可能性が高いといえる。

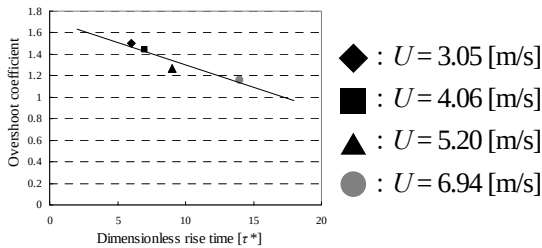


Fig.5 overshoot coefficient, $B/D = 5.0$

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、

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

と表わすことができる。但し、 ρ : 空気密度 [N/m^3]、 V : 体積 [m^3]、 C_D : 抗力係数、 A : 投影面積 [m^2]、 C_m : inertia coefficient である。本研究では、式(2)を用いて過渡抗力測定実験結果との比較検討を行った。overshoot 現象が顕著に見られた $B/D=5.0$ 断面では、Fig.6 より、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 に示すように、カルマン渦が強く放出され

る $B/D=0.5$ の断面では、overshoot 現象は明確には確認できなかった。また、別途実施された流れの可視化実験によれば、風速の立ち上がり時間に模型後流に对称渦の形成が確認されたケースも多く見られた。今後、風速急変時のカルマン渦放出及び既往の研究で報告されている対称渦^{3), 4)}についても詳しく検討する必要がある。また、式(2)の第2項で表わされる抗力にも非定常性が存在する可能性があり、その非定常性が overshoot 現象に及ぼす影響について検討する必要がある。

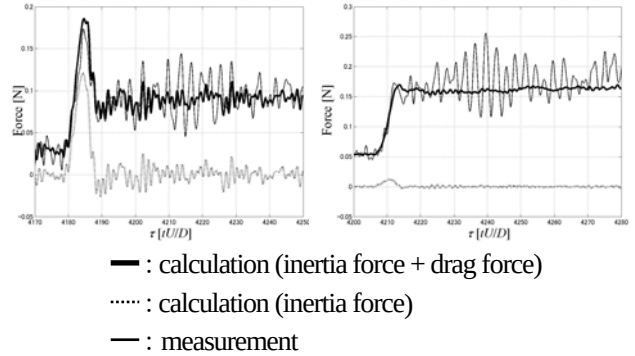


Fig.6 eq.(2) and measurement Fig.7 eq.(2) and measurement
($B/D=5.0$, $U=3.99$ [m/s]) ($B/D=0.5$, $U=3.97$ [m/s])

6. 結論及び今後の課題

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. 風速の無次元立ち上がり時間と overshoot coefficient に、線形的な関係性が確認できた。今後ケースを増やし、近似の精度を高める必要がある。
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. 今後、式(2)の第1項に関して、粘性及び渦の影響を考慮する必要がある。また、式(2)の第2項の抗力に非定常性が存在する可能性があるため、その非定常性が overshoot 現象に及ぼす影響について検討する必要がある。

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, 1982, pp.107-113
- 2) 前田潤滋, 竹内崇, 川下寛正: 車輻形状物体に作用する風力に及ぼす突風の立ち上がり時間の影響, 第20回風工学シンポジウム論文集, 2008, pp.331-336
- 3) T. Sarpkaya: Separated Flow about Lifting Bodies and Impulsive Flow about Cylinders, *American Institute of Aeronautics Astronautics Journal*, vol.4, No.3, 1966, pp.414-420
- 4) T. Sarpkaya: "An Analytical Study of Separated Flow about Circular Cylinders", *Transactions of the American Society of Mechanical Engineers, Journal of basic engineering*, 1968, pp.511-520