

風速急変時における構造断面に作用する過渡空気力に関する基礎的研究

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○佐々木治
 京都大学大学院工学研究科 正員 八木知己

京都大学大学院工学研究科 正員 白土博通
 京都大学大学院工学研究科 学生員 加藤嘉昭

1. 序論 竜巻等の突風の作用下では、空気力係数が瞬間的に定常値より大きくなる可能性があり、列車や原子力発電所等の人命的、環境的に危険度の高い構造物に対しては、その安全性に、より十分な考慮がなされるべきであり、従来のガスト応答係数や荷重の割増しだけでは、想定される荷重レベルが不十分であることが考えられる。本研究では、風速急変時における抗力の overshoot 現象[1]に代表される空気力の過渡特性に着目し、断面辺長比 0.5, 1(以下, B/D , B は主流方向断面長, D は主流直角方向断面長)の矩形断面を対象に、種々の実験を行い、検討を行った。

2. 風洞システム 本研究で使用した風洞 (図1 参照) は、主流風速を step 関数的に変化させることが可能であり、測定部高さ 200 [mm], 幅 200 [mm], 測定部全長 3000 [mm]である。下流部に空気吸入窓、2 種類のシャッターA, B を有し、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、非定常気流はシャッター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。

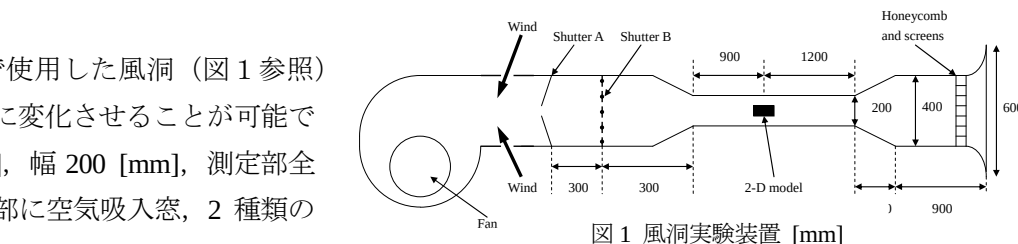
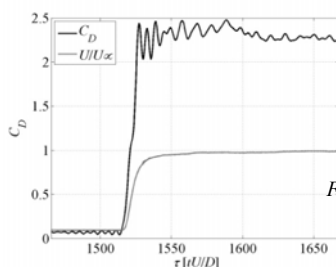
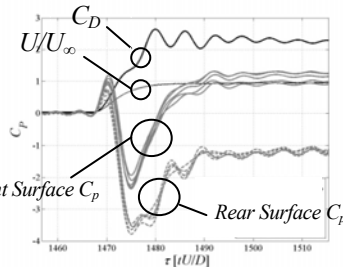
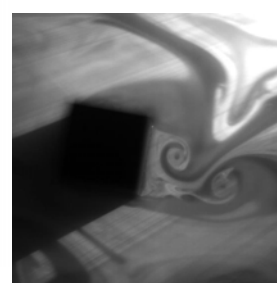
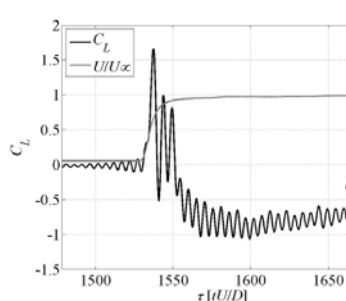
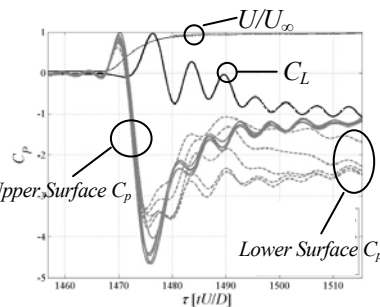
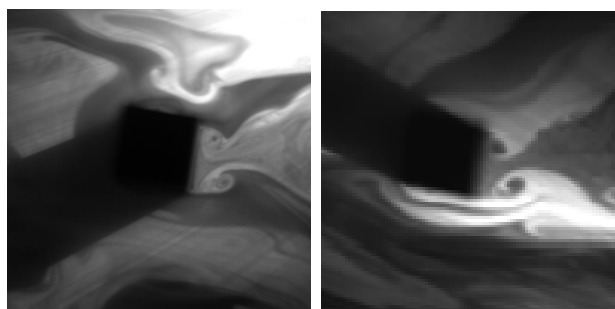


図1 風洞実験装置 [mm]

図2 過渡抗力特性
 $B/D=1, U=3.03[\text{m/s}]$ 図3 過渡表面圧力特性
 $B/D=1, U=2.93[\text{m/s}]$ 図4 抗力ピーク時の
流れ場の可視化写真

3. $B/D=1$ 断面, 迎角 $10[\text{deg.}]$ の過渡空気力特性
 図2の過渡抗力測定実験結果より、定常時に平均抗力係数が $C_D=2.25$ を示すのに対し、風速急変時に $\tau=1540$ 付近で $C_D=2.46$ を示し、抗力が定常値よりも大きな値を示す overshoot 現象が発生した。また、風速の立ち上がりから無次元時間で約 100 の間 ($\tau=1530$ から $\tau=1630$)、抗力が定常値を超える値で変動することがわかった。図3の過渡表面圧力測定実験結果より、前背面の圧力が負のピークを示した後、背面の圧力回復が比較的緩やかに起きるため、上で述べた抗力が定常値を超える時間帯がみられたと考えられる。図4で示される可視化実験における抗力のピーク時の流れ場写真より、模型後背には上面から卓越した渦がみられ、この渦の影響を受けて背面の圧力回復が緩やかに生じ、抗力が定常値を上回ったと考えられる。図5の過渡揚力測定実験結果より、揚力は風速が立ち上がる時間帯に著しい正值のピークを示して

図5 過渡揚力特性
 $B/D=1, U=3.06[\text{m/s}]$ 図6 過渡表面圧力特性
 $B/D=1, U=2.93[\text{m/s}]$ 図7 $B/D=1$, 揚力ピーク時の
流れ場の可視化写真

キーワード overshoot 現象, 突風, 剥離バブル, カルマン渦, 抗力, 揚力

連絡先 〒615-8246 京都市西京区京都大学桂 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 TEL 075-383-3167

おり、揚力の overshoot 現象が発生した。その後変動幅の減衰を伴いながら、負の定常値へと遷移する。図 6 の過渡表面圧力測定実験結果より、揚力がピークを示している時間帯には、上下面に著しい圧力差が生じており、これにより揚力が瞬間的に大きな正值を示したものとわかる。図 7 で示される可視化実験における揚力のピーク時の流れ場写真より、風速が立ち上がり始めた直後の短い時間に、上下面に剥離バブルの形成がみられ、上面の剥離バブルは下面より大きいいため、この時上面の圧力が下面より低くなり、揚力は正のピークを持ったと考えられる。

4. $B/D=0.5$ 断面、迎角 $10[\text{deg.}]$ の過渡空気力特性

図 8 の過渡抗力測定実験結果より、定常時に平均抗力係数 $C_D=3.42$ を示すのに対し、風速急変後の $\tau=1610$ で $C_D=3.91$ を示し、瞬間的な抗力の overshoot 現象がみられた。また、風速が立ち上がり始めてから無次元時間で約 120 の間($\tau=1580$ から $\tau=1700$)、抗力が定常値を上回っている。また、図 9 の過渡揚力測定実験結果より、風速が立ち上がり始めてから無次元時間で約 120 の間、揚力は正負に大きく変動している。図 10 の風速立ち上がり後の PSD 解析結果より、約 $18[\text{Hz}]$ のピークがみられるため、揚力の変動はカルマン渦の影響を強く受けているといえる。図 9 で示した揚力特性は、 $20[\text{Hz}]$ ローパスフィルタ(以下、LPF)によるデジタルフィルタ処理を施しており、これには $18[\text{Hz}]$ のカルマン渦の影響を受けた成分が含まれている。そこで図 11 の LPF15[Hz] とした過渡揚力測定実験結果より、カルマン渦の影響を受けた成分が除去され、風速急変時に $B/D=1$ 断面と同様の正值のピークが見られた。図 12 で示される風速立ち上がり直後の断面背後の流れ場と風速立ち上がり後しばらく時間が経過した後の断面背後の流れ場の可視化写真より、断面背後のカルマン渦の巻き込み位置は時間が経過すると後流方向へ移っていることがわかる。したがって、風速急変後の比較的長い時間にみられた抗力及び揚力の過渡特性は、この断面背後のカルマン渦の巻き込み位置の変化が密接に関係していると考えられる。

5. 結論

$B/D=0.5, 1$ 断面、迎角 $10[\text{deg.}]$ について得られた結論を以下に示す。

- 1) 風速急変時に抗力の overshoot 現象が発生した。これは、風速急変時に断面背後に形成される渦が背面の圧力回復を緩やかにすることで生じていると考えられる。
- 2) 風速急変時のわずかな時間に上下面に大きさの異なる剥離バブルが形成されることによって、瞬間的な揚力の overshoot 現象がみられた。
- 3) 特に $B/D=0.5$ 断面の過渡空気力は、風速急変時から定常状態になるまでの間、カルマン渦の巻き込み位置の変化の影響を強く受けることがわかった。

【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

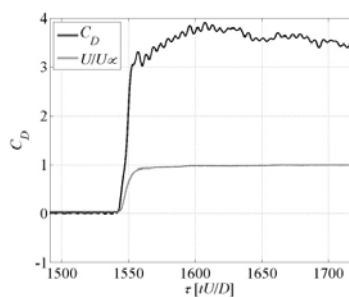


図 8 過渡抗力特性

$B/D=0.5, U=3.08[\text{m/s}]$

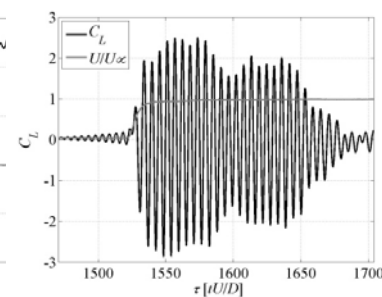


図 9 過渡揚力特性

$B/D=0.5, U=3.04[\text{m/s}]$

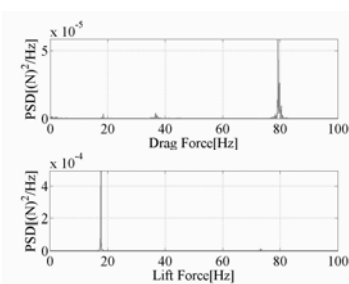


図 10 PSD 解析結果

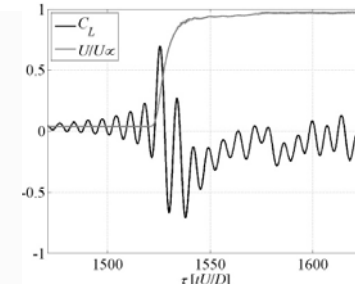
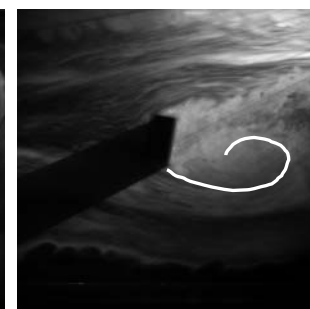


図 11 過渡揚力特性

$B/D=0.5, \text{LPF:}15[\text{Hz}]$



風速立ち上がり直後



しばらく時間が経過後

図 12 断面背後のカルマン渦の位置