

# ステップ関数的突風を受ける構造物の

## 風力特性に及ぼす断面形状の影響に関する実験的研究

川下 寛正

### 1. 序

突風などの急激に流速の変化する流れ場において物体に定常時以上の大きな非定常力が発生するオーバーシュート現象が現れることや流速の変化時間を無次元化することで物体に作用するオーバーシュート現象の発現を予測できると種子田<sup>1)</sup>や著者ら<sup>2)</sup>は報告してきた。しかし、これらの実験で用いている対象模型は1つであり模型の断面形状が変化した場合や流速の変化時間を無次元化するために必要な流れ方向の模型代表長さが変化した場合のオーバーシュート現象の詳細な検討は行われていない。著者ら<sup>3)</sup>は突風生成時の風洞風路内には大きな圧力勾配が生じるため模型の設置位置によって模型表面風圧力値への影響度が異なることを指摘しており、流れ方向の長さによって模型に作用する風力特性は変化すると考えられる。

本研究では、ステップ関数的突風を受ける構造物に作用する風力特性の断面形状による変化を明らかにするために、断面サイズの異なる楕円柱模型と矩形柱模型を用いて突風風洞実験を行い、各々の模型における断面サイズの違いによるオーバーシュート現象を実験的に検証するとともに、無次元立ち上がり時間の算定に用いる模型の代表長さ  $d$  の取り方について考察を行う。

### 2. 実験概要

#### 2.1 実験装置概要

実験は九州大学大学院人間環境学研究院のエッフェル型吸込式風洞を用いて行った。風洞断面内での測定機器の配置状況を図1に示す。本風洞は、図1に示す

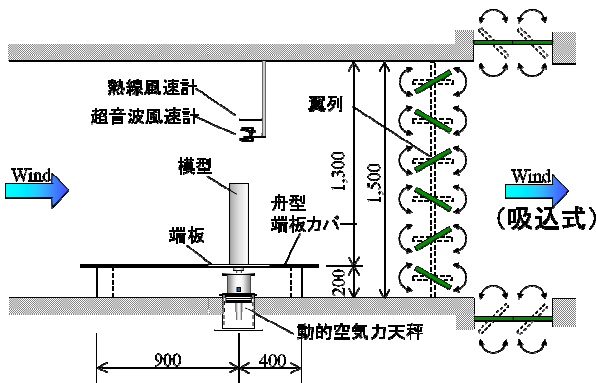


図1 風洞実験配置図

ような脈動流生成装置の翼列駆動を利用することで、最短時間 0.2 秒のステップ関数的突風を生成できる。測定部断面寸法は 1.5m×1.5m、測定部全長は 3m、測定部前面の風速調整部は 2m である。上述のように本風洞は吸込式であるので、吸引部の天井と床面に翼列を配置して、突風制御の翼列開閉と反転同期させることによって、翼列を閉鎖した状態での吸引部の急激な圧力低下の回避を行う<sup>2)</sup>。模型に作用する抗力と横力を動的空気力天秤で、風力の測定位置における風洞内の風速を熱線風速計と超音波風速計を併用して計測した。各風速計と空気力天秤の信号は 1000Hz で同時にサンプルした。また熱線風速計には翼列制御モーターによる 8Hz の電気ノイズが見られたので 6Hz のローパスフィルターを用いて高周波数側の成分をカットした時刻歴波形を検討した。

#### 2.2 模型概要

実験には、図2に示すような2種類の楕円柱模型(短径と長径の比 1:2、高さ 500mm)と 13 種類の矩形柱模型(高さ 500mm)を試験体として使用した。

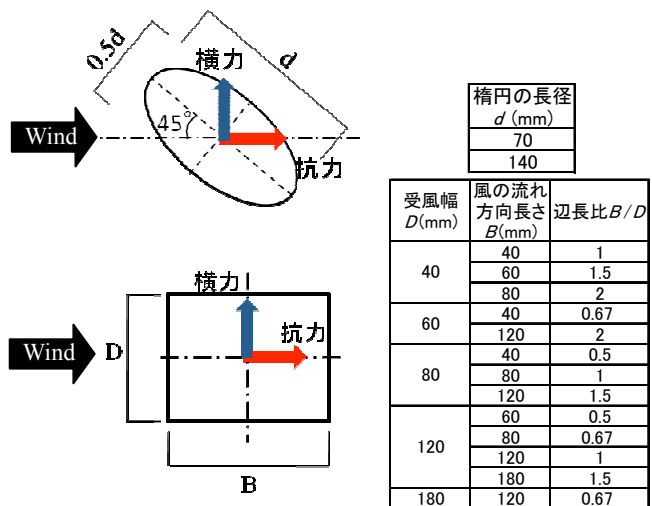


図2 試験体概要と断面寸法

表1 実験パラメータ

目標風速 $U_t$ (m/s)	2.0, 3.5, 5.0, 7.0
立ち上がり時間 $t_r$ (sec)	0.2, 0.3, 0.4, 0.6
迎角 $\theta$ (deg)	楕円柱: 45 矩形柱: 0, 90

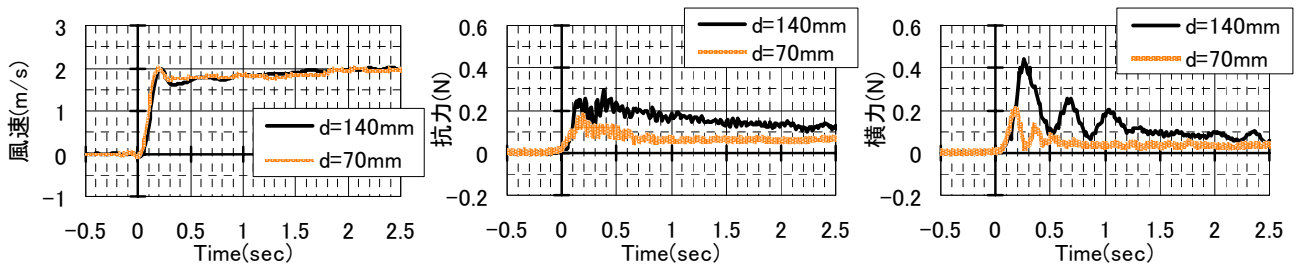


図3 楕円柱の計測波形( $U_t=2.0\text{m/s}$ ,  $t_r=0.2\text{sec}$ , 迎角  $45^\circ$ )

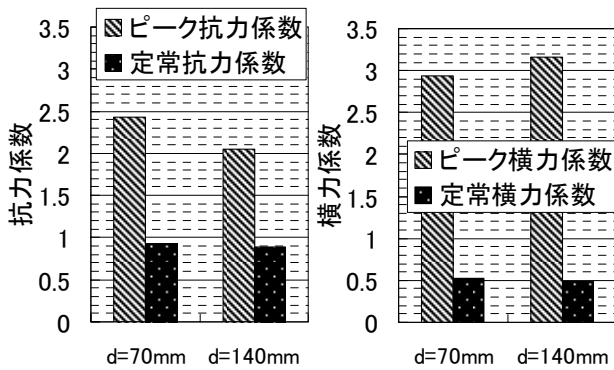


図4 楕円柱の風力係数

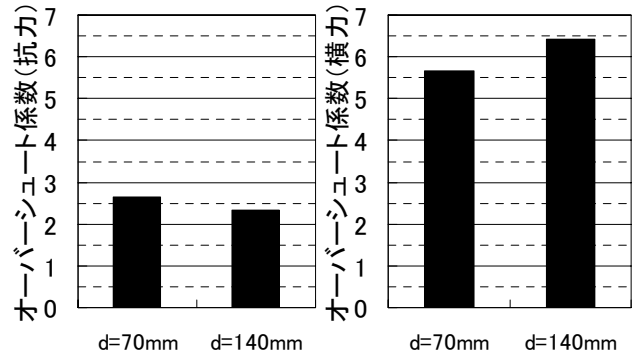


図5 楕円柱のオーバーシュート係数

それぞれの材料は楕円柱模型ではバルサ材、 $40\text{mm} \times 40\text{mm}$ の正四角柱模型ではアルミ、その他の矩形柱模型はバルサ材またはベニヤ板を用いた。本報では楕円柱の迎角を $45^\circ$ 、矩形柱の迎角を $0^\circ$ と $90^\circ$ に固定して実験を行った。実験変数を無風時からの立ち上がり風速（以下、これを目標風速  $U_t$ ）と目標風速の立ち上がりに要する時間（以下、これを立ち上がり時間  $t_r$ ）とし、目標風速は $2.0\text{m/s}$ から $7.0\text{m/s}$ で、立ち上がり時間は $0.2$ 秒から $1.4$ 秒で実験を行った。それぞれの実験パラメータの値を表1に示す。

### 3. 断面サイズが異なる楕円柱模型の実験結果

#### 3.1 計測波形

図3は迎角 $45^\circ$ で設置した大小の楕円柱模型を用いた実験で目標風速が $2.0\text{m/s}$ 、立ち上がり時間が $0.2$ 秒の風速と抗力及び横力の測定波形である。既往の研究<sup>2)</sup>と同様、大小の楕円柱ともに抗力と横力で風速の立ち上がりと同時に定常値以上のピーク値が現れるオーバーシュート現象が確認できる。また、それぞれの実験における風速の立ち上がり方はほぼ等しいのに対し、抗力波形をみると $d=140\text{mm}$ の楕円柱の抗力では $0.3$ 秒間に2度ピークが発生している。横力では $d=70\text{mm}$ の楕円柱実験のピーク発生時間よりも $d=140\text{mm}$ における実験の方がピーク発生時間が遅くなっている。

#### 3.2 風力係数

図4に目標風速が $2.0\text{m/s}$ 、立ち上がり時間が $0.2$ 秒における大小の楕円柱の風力係数を示す。ただし、抵抗力係数と横力係数はそれぞれ抗力と横力を定常風速の速度圧と模型の受風面積を用いて定義している。また

定常状態での風力係数の平均値を定常風力係数とし、オーバーシュート現象が見られたピーク時での最大値の風力係数をピーク風力係数とした。図4において大小の楕円柱で定常抵抗力係数と定常横力係数ともほぼ同じ値になっている。一方でピーク風力係数を見ると断面サイズの大きい $d=140\text{mm}$ の楕円柱ではピーク抵抗力係数が減少し、ピーク横力係数が増加している。

#### 3.3 オーバーシュート係数

図5はピーク値と定常値の比（以下、これをオーバーシュート係数とする）を表したものである。図5において模型の断面サイズが小さい $d=70\text{mm}$ の楕円柱の方が抗力のオーバーシュート係数は大きくなり、 $d=140\text{mm}$ の楕円柱の方が横力のオーバーシュート係数は大きな値をとった。

#### 3.4 無次元立ち上がり時間による検討

無次元立ち上がり時間と模型に作用するピーク風力係数及び風力のオーバーシュート係数との関係を調べる。なお、無次元立ち上がり時間  $t'_r$  は(1)式で定義する。

$$t'_r = \frac{U_t \cdot t_r}{d} \quad (1)$$

ここに、 $U_t$ : 目標風速、 $t_r$ : 立ち上がり時間、 $d$ : 試験体の代表長さ(楕円の長径)とする。

無次元立ち上がり時間とその時のピーク風力係数との関係を図6に、無次元立ち上がり時間とオーバーシュート係数との関係を図7にそれぞれ示す。図6と図7において各抗力の係数とも黒い菱形で表した点(目標風速 $2.0\text{m/s}$ 、無次元立ち上がり時間が約 $5.5$ の小楕円柱模型実験)が外れているものの、無次元立ち上がり時

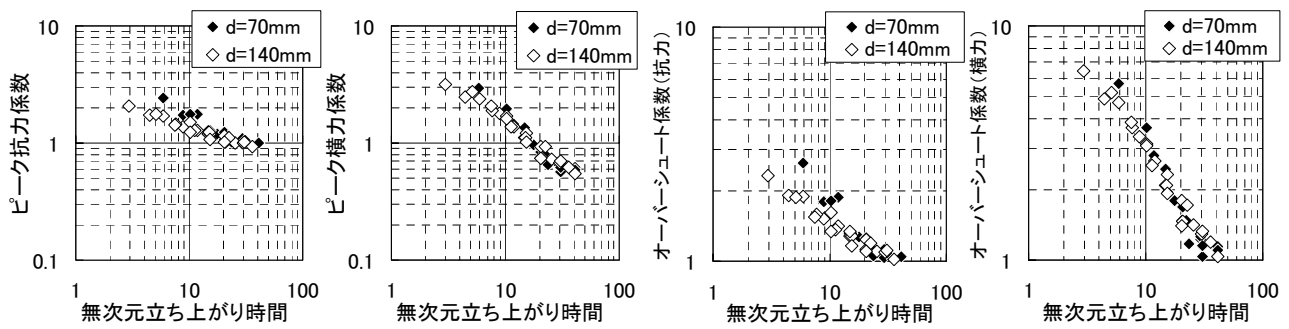


図 6 楕円柱の無次元立ち上がり時間とピーク風力係数

図 7 楕円柱の無次元立ち上がり時間とオーバーシュート係数

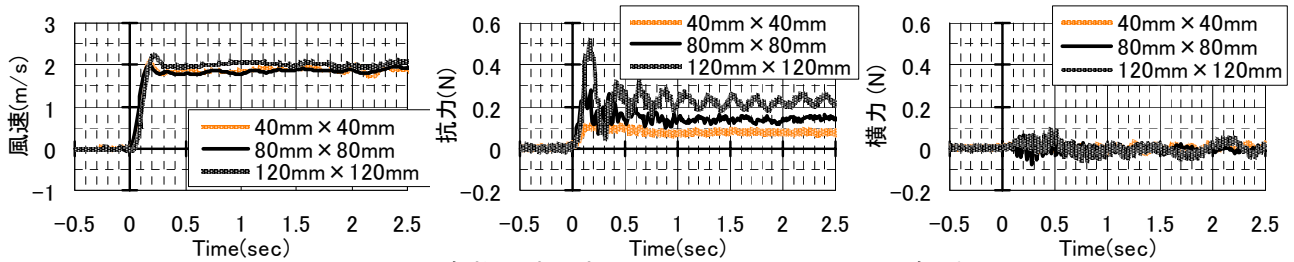


図 8 正四角柱の計測波形( $U_t=2.0\text{m/s}$ ,  $t_r=0.2\text{sec}$ , 迎角  $0^\circ$ )

間が大きくなると各係数が小さくなっている。この傾向は横力の各係数でより強く表れている。

#### 4. 断面サイズが異なる正四角柱模型の実験結果

##### 4.1 計測波形

図 8 は迎角  $0^\circ$  で設置した 3 種類の断面サイズを持つ正四角柱模型実験で目標風速が  $2.0\text{m/s}$ 、立ち上がり時間が  $0.2$  秒の風速と抗力及び横力の測定波形である。前節の楕円柱実験と同様、抗力ではオーバーシュート現象が確認できる。横力では目立ったオーバーシュート現象は確認できず定常状態でもほぼゼロの値をとった。これは風の流れ方向に正対した状態で模型が設置されているためである。また、各正四角柱とも抗力のピークの発生時間は風速の立ち上がる  $0.2$  秒の間である。

これは風の流れ方向に正対した状態で模型が設置されているためである。また、各正四角柱とも抗力のピークの発生時間は風速の立ち上がる  $0.2$  秒の間である。

##### 4.2 風力係数

図 9 は目標風速が  $2.0\text{m/s}$ 、立ち上がり時間が  $0.2$  秒における各正四角柱の抗力係数である。ここで横力係数については図 8 より横力の値がほぼゼロであると確認できるので検討からはずした。図 9 において模型の断面サイズが大きくなるほど定常抗力係数は減少している。この定常抗力係数の変化は既往の研究<sup>4)</sup>とよく

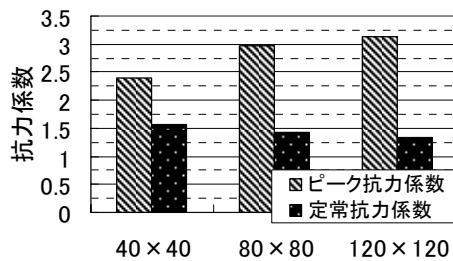


図 9 正四角柱の抗力係数

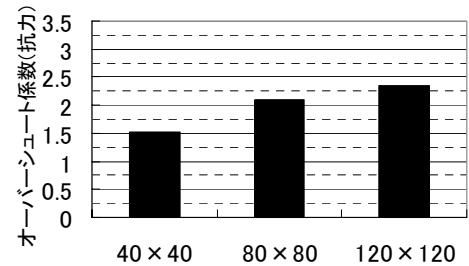


図 10 正四角柱のオーバーシュート係数(抗力)

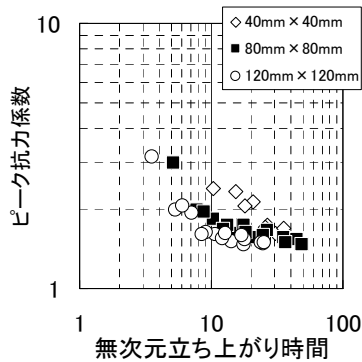


図 11 正四角柱の無次元立ち上がり時間とピーク抗力係数

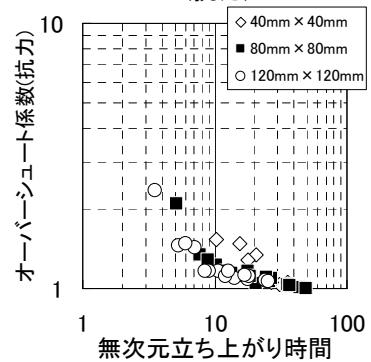


図 12 正四角柱の無次元立ち上がり時間とオーバーシュート係数(抗力)

一致している。一方でピーク抗力係数は断面サイズが大きくなるほど増加している。

##### 4.3 オーバーシュート係数

図 10 は各正四角柱における抗力のオーバーシュート係数を示したものである。模型の断面サイズが大きいが抗力のオーバーシュート係数は大きな値をとっている。

##### 4.4 無次元立ち上がり時間による検討

図 11 と図 12 に無次元立ち上がり時間とピーク抗力係数及び抗力のオーバーシュート係数との関係をそれぞれ示す。正四角柱模型でも無次元立ち上がり時間が

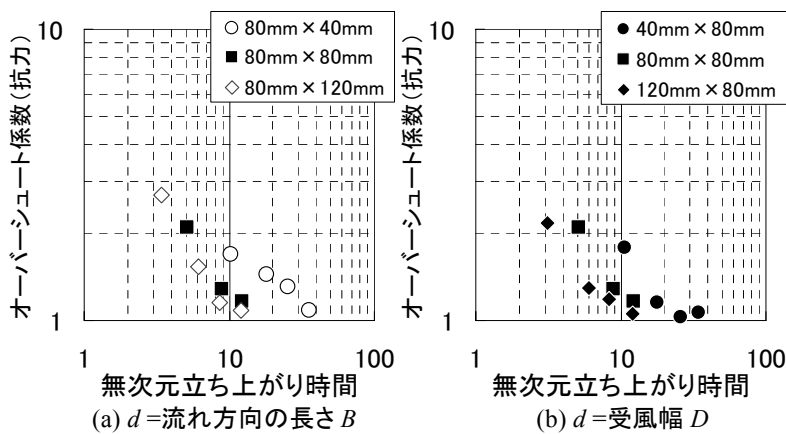


図 13 代表長さ  $d$  の異なる無次元立ち上がり時間とオーバーシュート係数

大きくなるほど各抗力の係数が小さくなっており一定の相関はみられるが、楕円柱模型を用いた実験と比べると特に  $40\text{mm} \times 40\text{mm}$  の結果はばらついていて

#### 4.5 代表長さが異なる無次元立ち上がり時間の検討

図 13 に代表長さ  $d$  の異なる無次元立ち上がり時間とオーバーシュート係数の関係を示す。表 1 に示す断面寸法のうち、(a)試験体の受風面の幅  $D$  を  $80\text{mm}$  に固定し、風の流れ方向長さ  $B$  を変化させ、そのときの代表長さを風の流れ方向長さ  $B$  にした場合と(b)流れ方向長さ  $B$  を  $80\text{mm}$  に固定し、受風面の幅  $D$  を変化させ、そのときの代表長さを受風面の幅  $D$  にした場合の比較を行っている。また、各点は目標風速  $U_t$  を立ち上がり時間  $0.2$  秒で立ち上げたときのオーバーシュート係数をプロットしたものである。

図 13 の(a)では無次元立ち上がり時間の増加とともに抗力のオーバーシュート係数が減少することがわかる。図 13 の(b)でも(a)と同様に、無次元立ち上がり時間の増加とともにオーバーシュート係数の減少が見られるが、図 13 の(a)と比較して減少する傾きが小さく、相関も小さいことがわかる。

すべての矩形柱に関して、試験体の風の流れの方向長さ  $B$  を代表長さ  $d$  とした無次元立ち上がり時間とオーバーシュート係数の関係を図 14 に示す。図 14 をみると、すべての点がほぼ同一線上にプロットされている。よって、受風面の幅  $D$  に関わらず試験体の風の流れ方向  $B$  を代表長さ  $d$  として立ち上がり時間を無次元化することで無次元立ち上がり時間とオーバーシュート係数に高い相関が得られ、オーバーシュート現象の予測をすることができると考えられる。

#### 5. まとめ

ステップ関数的突風を受ける構造物に作用する風力特性の断面形状による変化について断面サイズの異なる

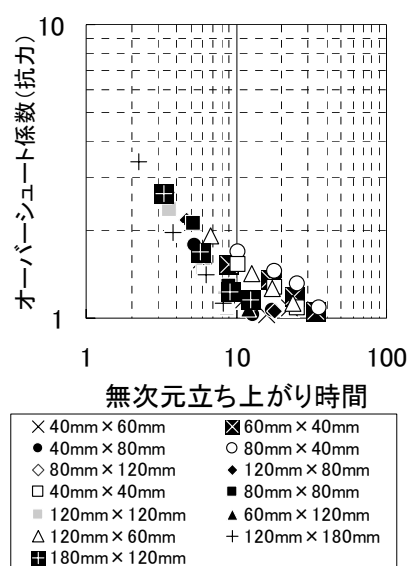


図 14 矩形柱の無次元立ち上がり時間とオーバーシュート係数( $d = B$ )

る楕円柱と矩形柱を用いて

突風風洞による実験的検証を行った結果、以下の所見を得た。

- (1) 試験体の断面サイズが変化した場合でも既往の研究<sup>1) 2)</sup>と同様に楕円柱と矩形柱においてオーバーシュート現象を確認した。
- (2) 試験体の断面サイズが変化した場合でもオーバーシュート発生時の最大風力係数のピーク風力係数及びオーバーシュート係数は無次元立ち上がり時間で整理することが可能である。
- (3) 矩形柱を用いた実験において無次元立ち上がり時間の算定に用いる模型の代表長さ  $d$  は、受風幅の値をとるよりも風流れ方向の値を用いる方がオーバーシュート係数との相関が高くなることを示した。

#### 参考文献

- 1) S.Taneda : The Development of the Lift of an Impulsively Started Elliptic Cylinder at Incidence, Journal of the Physical Society of Japan, Vol. 33, No. 6, pp.1706-1711, 1972.
- 2) 川下寛正, 前田潤滋, 早田友彦, 竹内崇, 中村諭史, 鶴則生, ステップ関数的突風を受ける楕円柱の風力特性, 第 20 回風工学シンポジウム論文集, ISSN 0918-8231, pp.325-330, 2008.
- 3) 中村諭史, 前田潤滋, 川下寛正, 竹内崇, 早田友彦, 鶴則生, 切妻屋根物体の非定常風圧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, ISSN 0918-8231, pp.337-342, 2008.
- 4) Barry J.Vickery : Load fluctuations in turbulent flow, Proc. of the ASCE, EM 1, pp.31-46, 1968.