

シンガポール大観覧車の耐風性検討－風洞実験－

三菱重工業㈱ ○正会員 杉山 貞人¹⁾ 正会員 磯田 厚志²⁾
 正会員 坂野 茂²⁾ 正会員 伊藤 啓²⁾

1. はじめに

シンガポール観覧車は、平成20年4月にグランドオープンを迎えた直径150m（最高高さ165m）の世界最大の観覧車である^{i) ii) iii)}。設計段階において安全性を確保しかつ経済的な耐風設計を行うため、付属物がついた鋼管平面トラスと円筒のキャビンで構成されるリング部分の風荷重の設定が重要な課題の一つとなった。そこで、①. レイノルズ数の影響を考慮し28台設置されるキャビンのうちの1ユニット部分を取り出した大型部分模型、②. 風向・観覧車の位置に合わせて模型が2軸方向に回転する機構を有する模型という2つの特徴を有した模型による静的3分力風洞実験を実施した。本稿は、上記特徴を有した風洞実験の結果についてまとめたものである。



図1 観覧車全景

2. 試験内容

図2に実験装置を示す。リング軸およびキャビン軸周りに回転する縮尺1/7.85の大型部分模型を使用した。なお、気流は一樣流とし、模型端部の影響を考慮するため、計測部の両側にダミーの模型を設置し模型中央部の風荷重のみを計測している。また、表1に示すように実機の弦材、水平材、キャビンのレイノルズ数は、抗力係数が極小値から回復する極超臨界領域（ $Re > 10^6$ ）であるため、風洞で再現されるレイノルズ数領域（ $Re \approx 10^5$ ）でも、抗力係数が回復する現象が再現できるよう、別途実施した単円柱試験より、トリップワイヤの径およびピッチを決定した。



図2 大型部分模型（縮尺 1/7.85）

図3に風力係数および風向、キャビン位置の定義を示す。風力係数は機軸（ F_n , F_t ：面外、面内方向の風荷重, M ：モーメント, ρ ：空気密度, V ：基準風速, Ae ：基準面積 [風向 0° の主部材の投影面積], L ：代表長 [弦材中心間隔]）で整理する。また、風向 β は面外方向風を 0° とし、キャビンの位置を示す θ は、9時の位置を $\theta = 0^\circ$ として定義している。

最終的に、風洞試験結果は、風向 0° , $\pm 22.5^\circ$, $\pm 45^\circ$, $\pm 67.5^\circ$, $\pm 90^\circ$ に対して離散的に計測された風力係数を4次関数で近似し、リング軸方向に連続した風力係数曲線に置き換え、設計用データとしている。

表1 各部材の寸法とレイノルズ数の関係

部材		実機（風速 39.6m/s）		風洞実験（風速 15m/s）	
		直径[m]	レイノルズ数	直径[m]	レイノルズ数
リング	弦材	0.864	2.4E+06	0.110	1.1E+05
	斜材	0.3239	8.8E+05	0.041	4.2E+04
	水平材	0.813	2.2E+06	0.104	1.1E+05
キャビン		4	1.1E+07	0.510	5.3E+05

$$C_{F_n} = \frac{F_n}{\frac{1}{2} \rho V^2 Ae}, C_{F_t} = \frac{F_t}{\frac{1}{2} \rho V^2 Ae}, C_M = \frac{M}{\frac{1}{2} \rho V^2 AeL}$$

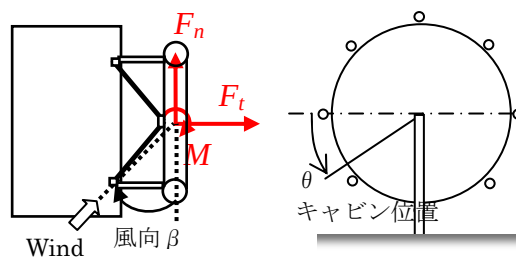


図3 風力係数、風向、キャビン位置の定義

キーワード 観覧車、風洞実験、レイノルズ数、風力係数

連絡先 1) 三菱重工業 長崎研究所 〒851-0392 長崎市深堀町 5-717-1 TEL:095-834-2842 FAX:095-834-2385
 2) 三菱重工業 神戸造船所 〒652-0854 神戸市兵庫区和田崎町 1-1-1 TEL:078-672-5375 FAX:078-672-2920

3. 風洞実験結果

① 風速特性について

風速特性の一例として、風向 $\beta=0^\circ$, キャビン位置 $\theta=0^\circ$ の風速に対する風力係数の関係を図4に示す。いずれの風力係数も風速によらず一定の値を取る。極超臨界の特性の再現を目指した大型模型で風速によらず風力係数が一定となった原因として、リング部材に関しては、付属物により剥離点が固定されること、キャビン等により気流が乱されるためレイノルズ数による影響が鈍くなったこと等が考えられ、キャビンに関しては、3次元形状であるため、端部の影響によりレイノルズ数の影響が顕著に現れなかったと考えられる。

② 風向特性について

風向特性の一例として、キャビン位置 $\theta=0^\circ$, 風速 15m/s の風向特性を図5に示す。正の風向（キャビンが風上側に位置する風向）において、面外方向、面内方向の何れの風力係数も小さくなる事（合力で換算して15%程度減）が明らかとなった。この原因として、正の風向では、キャビンの遮蔽効果によりリングに作用する風荷重は大幅に減少するが、負の風向では、リングによる遮蔽効果が小さいため、キャビンに作用する風荷重の低減量が正の風向ほど大きくないことが考えられる。また、面外方向と面内方向の合力で見ると、キャビンが風下側に位置し、かつ受風面積が大きくなる風向 -45° で最大を取り、その値は風向 0° に比較して 2.4 倍の風荷重となる。風向 -45° の投影面積は風向 0° の投影面積の 2.1 倍であることから、風荷重の増加の主要因は、受風面積の増加であると考えられる。以上のことから、風向特性に関して、投影面積およびキャビンとリングの遮蔽効果の2つの要因が複合して風力係数が変化していると予想される。

4. まとめ

- ・鋼管平面トラスで構成されるリング部および円筒のキャビン部の風力係数に関して、今回用いた大きさの模型にトリップワイヤを設置する事で、実機のレイノルズ数領域を再現する事ができ、風速の影響が少ない状態での風力係数の推定ができた。
- ・風向特性に関して、投影面積およびキャビンとリングの遮蔽効果の2つの要因が複合して風力係数が決定され、風向 -45° の時に風荷重が最大になることが明らかとなった。
- ・実験結果より、図6に示す風向 β でのキャビン位置 θ の風力係数を近似式で与えた。その結果リング全周に作用する風荷重が最大となる風向 $\pm 45^\circ$ で、BS^{iv)}を用いた設計値に比較して2割程度風荷重が低減された。

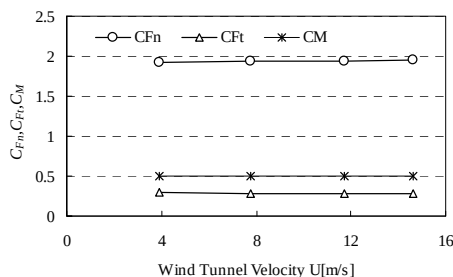


図4 風速－風力係数特性 ($\beta=0^\circ$, $\theta=0^\circ$)

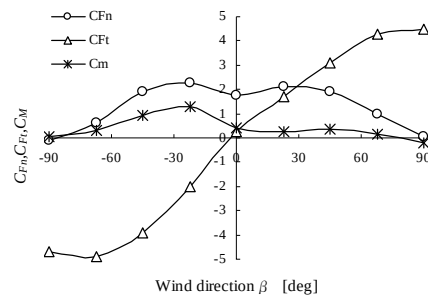


図5 風向－風力係数特性 ($\theta=0^\circ$, $U=15\text{m/s}$)

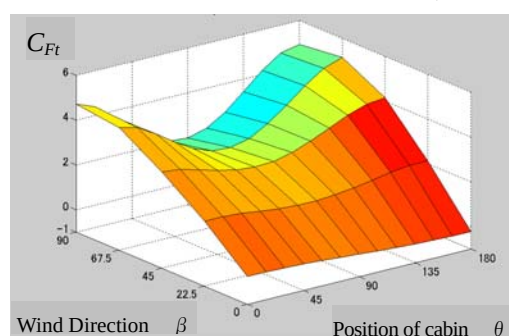
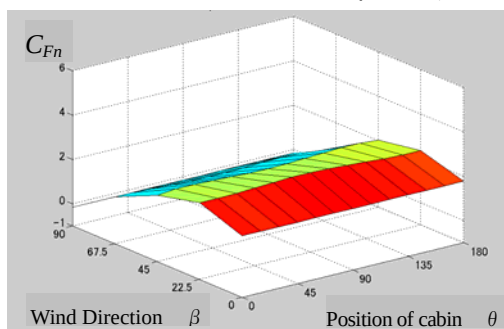


図6 風向 β ・キャビン位置 θ －風力係数特性(左: C_{Fn} , 右: C_{Ft})

i) 亀井他, "シンガポール大観覧車の建設概要", 第63回年次学術講演会(投稿予定), 2008, ii) 伊藤他, "シンガポール大観覧車－ケーブル張力の計測および調整", 第63回年次学術講演会(投稿予定), 2008, iii) 近藤他, "シンガポール大観覧車-回転架設用大型クランプジャッキの開発", 第63回年次学術講演会(投稿予定), 2008, iv) British Standard Institution, "Code of basic data for the design of buildings Chapter V. Loading Part2 Wind load", 1972