

B-3

ケーブルを用いたスポークホイール型大観覧車の地震時挙動に関する基礎的研究
 スポーク張力と駆動装置によるリム拘束が動的応答性状に及ぼす影響

Basic Study on Seismic Behavior of Wire-Spoked Type Ferris Wheel Using Cable
 Effect of Tension of Spoke and Boundary Condition of Rim by Motor on Dynamic Behavior

○宮本悠平³, 岡田章¹, 宮里直也¹, 廣石秀造²

*Yuhei Miyamoto³, Akira Okada¹, Naoya Miyasato¹, Shuzo Hiroishi²

Abstract : With the revision of the Building Standards Code 2007, the verification of safety with time history response analysis has been required for amusement rides and devices over 60m heights in Japan. After the revision of the code, the Ferris wheel over 60m heights has not been constructed in Japan. On the other hand, the Ferris wheels with cable which are similar to a bicycle wheel have been constructed in the world, and especially the wire-spoked type Ferris wheel structure may be more superior than before. In this paper, the seismic response characteristics was considered of the wire-spoked type Ferris wheel by numerical analysis.

1. はじめに

2007 年の建築基準法改正により、高さ 60m 以上の観覧車に代表される大規模な遊戯施設の設計には大臣認定の取得が必要となった。これに伴い、時刻歴応答解析や長周期地震動に対する検討が必要となり、国内では 2007 年以降、高さ 60m を超える大規模な観覧車の新規建設が急速に減少した。

大規模な観覧車は、国内で主流のスポークに鋼管（圧縮材）を用いた構造形式（以下「トラス型」と称す）に対して、近年、海外ではスポークにケーブルを用いた構造形式で建設されている。この形式は、自転車の車輪に代表され、引張力のみに抵抗するケーブルと外周のコンプレッションリングの特性を組合せた形式（以下「スポークホイール型」と称す）である（Fig.1）。トラス型の構造と比べて、ケーブルの長尺性や軽量性を活かしていることから構造的合理性が優れていると考える。設計面では、トラス型に比べ風を受ける見付面積が小さくなる事により、風荷重が減少し、地震荷重が支配的となる事が想定される。また、大観覧車の設計に関しては、基本的構造特性は報告されているものの^[1]、地震時の挙動に関わる知見は未だ報告されていない。

本研究では高さが 60m を超えるスポークホイール型大観覧車の設計手法確立のための基礎的データの蓄積を目的とし、地震時挙動を数値解析的に詳解する。

2. 検討事項および検討モデル

地震動に対する主な設計上の検討事項を以下に示す。

- i) スポークに導入される適切な初期張力（以下「PS」と称す）量の設定。
- ii) リム底部の観覧車の回転に必要な駆動装置が支持点となり、地震時のリムへの応力集中が懸念される。対策として、一時的な駆動装置の解除が考えられる。
- iii) リムとハブを繋ぐスポークは長尺なため、質量を考慮した場合の地震時挙動を把握する必要がある。

本論では、検討事項 i), ii) について報告する。

まず初めに許容応力度計算により、Pallet Town 大観覧車^[2]を参考とした高さ 112.15m の観覧車をスポークホイール型の構造形式で試設計した（Fig. 2）。

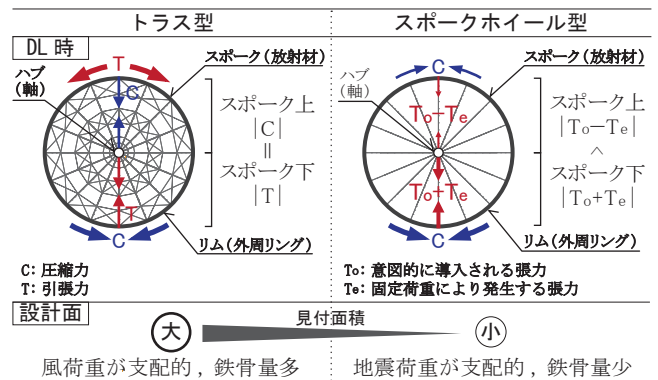


Figure1. Comparison between Truss type and Wire-Spoked type

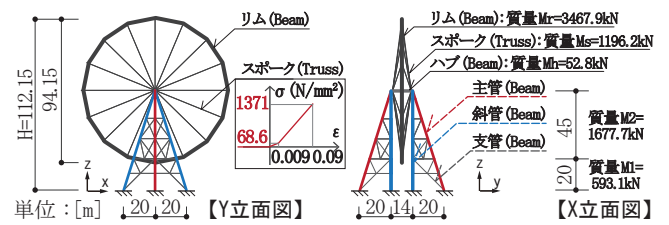


Figure2. Trial Design model

3. 地震荷重に対する動的応答の評価

前章の試設計モデルに対して数値解析を行い、面外 (Y) 方向への動的応答性状の把握を試みる。

Fig. 3 に解析概要を示す。数値解析のパラメータは初期張力 4 通りと駆動装置のリム拘束条件 3 通り (FIXA: 独立した支柱 (EI=∞) に取付く駆動装置の拘束, FIXS: ホイールを支持する支柱と一体の駆動装置の拘束, FREE: 駆動装置部の拘束の解除), 全 12 通りの検討を行った。なお、駆動装置による拘束は並進 Y 方向にのみ作用するばね (k ≒ ∞) として仮定した。応答値算出点は、リムが時計方向に頂部①から底部⑤までの 5 点、支柱が頂点部 (St) および駆動装置部 (Sm) の 2 点とした。

1 : 日大理工・教員・建築 2 : 日大短大・教員・建築 3 : 日大理工・院 (前)・建築

3-1. 固有値解析結果

並進 Y 方向の固有値解析結果を Table1 に示す. なお本検討結果は, 初期張力と固定荷重によってスポークとリムに生じる, 軸力 N による幾何剛性を考慮した項を含んだ次式によって導いた [3].

$$f[\text{Hz}] = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{\pi}{L}\right)^4 \frac{EI}{\rho A} + \left(\frac{\pi}{L}\right)^2 \frac{N}{\rho A}} \quad (1)$$

拘束条件に関らず PS 量 (T_0) の増大に伴い, 1 次固有周期は短く, 1 次有効質量比は増える事が確認されたが, 2 次固有周期が変化しない結果となった. これは PS 量 (T_0) に因らない支柱の周期であるためと考える.

$T_0=1000\text{kN}$ 時の, 並進 Y 方向と X 軸回りの回転方向の 1 次モード図を Fig. 4 に示す. FIXA と FIXS はリム頂部①で最大振幅比を示したのに対して FREE の並進 Y 方向と X 軸回りの回転方向で異なる固有周期と, 最大振幅比の位置を示した. これは駆動装置部の拘束が解除されたことで, 固定荷重によって生じたスポークの張力差が, リム底部⑤の応答に影響を与えたためと考える (Fig. 1).

3-2. 時刻歴応答解析結果

前節のモデルの動的挙動の把握を目的として, 時刻歴応答解析を行った. 入力波は BCJ-L2 とし, 地動加速度を支柱脚部に並進 Y 方向へ与えた. 減衰定数は Rayleigh 減衰で, 1 次と 2 次に対して 1% と仮定した.

最大変位応答倍率を Fig. 5 に示す. PS 量の増加に伴い, FREE のみ最大変位応答倍率が上昇する傾向が把握された. これは PS 量 (T_0) の増加に伴い, 固定荷重による張力 T_0 の割合が減少し, リムが回転する挙動からリム全体が並進する挙動に移行したためと考える.

Fig. 6 に $T_0=1000\text{kN}$ 時の最大応答変位をリムの位置で比較して示す. 1 次の最大振幅比が大きい点と同様, FIXA と FIXS はリム頂部①, FREE はリム頂部①と底部⑤で最大応答変位を示した. このことから, 本モデルの FIXA と FIXS に対して主に 1 次の応答による評価ができる可能性が示唆された. FREE は並進 Y 方向のみならず, X 軸回りの回転方向を考慮した評価が必要であると考える.

ここで, リム上の隣合う応答値算出点間 (①-②, ②-③, ③-④, ④-⑤) の相対加速度を最大値で比較する (Fig. 7). FREE に対する FIXS の応答低減率は PS 量 (T_0) に関らず平均 87% となり, 一定となる事が把握された. 以上より駆動装置部の拘束の解除によって, 応力集中を回避できる可能性が示唆された.

4. 今後の検討

本論ではスポークの PS 量や駆動装置によるリム拘束条件をパラメータとした動的応答性状について検討を行った. 今後, 検討事項 iii) に関する検討や質点系モデルでの数値解析を行う予定である.

【参考文献】

- [1] 宮本, 岡田, 宮里, 廣石: ケーブルを用いたスポークホイール型観覧車の基本的構造特性に関する研究, 平成 26 年度日本大学理工学部学術講演会論文集, B-9, 2014. 12
- [2] JSSC: 日本鋼構造協会機関誌 JAPANESE SOCIETY OF STEEL CONSTRUCTION 34, p. 9-13, 1999. 10
- [3] 西岡隆: 構造振動解析, 培風館, 1987. 4

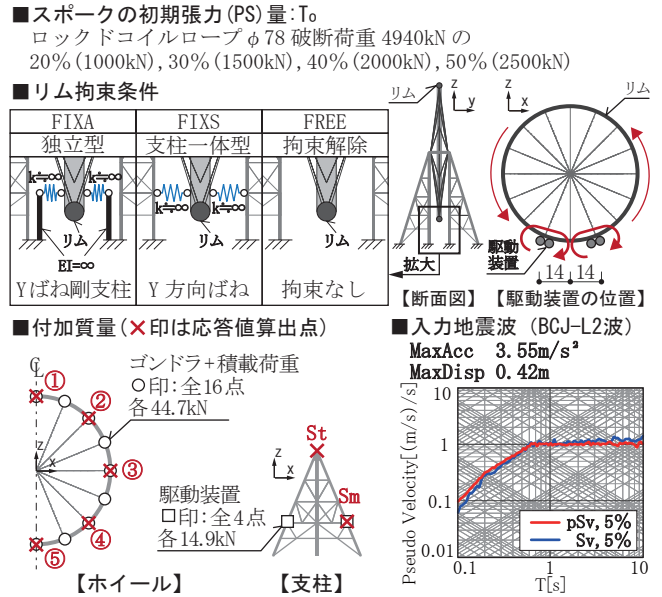


Figure3. Outline of Analysis

Table1. Results of Modal Analysis

	PS量 T_0 [kN]	FIXA		FIXS		FREE	
		1次	2次	1次	2次	1次	2次
固有周期 T_1 [s]	1000	1.45	0.31	1.45	0.35	1.53	0.31
	1500	1.43	0.31	1.43	0.35	1.51	0.31
	2000	1.41	0.31	1.41	0.35	1.48	0.31
	2500	1.39	0.31	1.39	0.35	1.46	0.31
有効質量比 [%]	1000	32.55	44.56	32.86	50.41	34.64	41.78
	1500	33.13	44.50	33.47	50.26	36.40	41.69
	2000	33.66	44.44	34.03	50.12	37.89	41.60
	2500	34.15	44.37	34.55	49.97	39.17	41.51

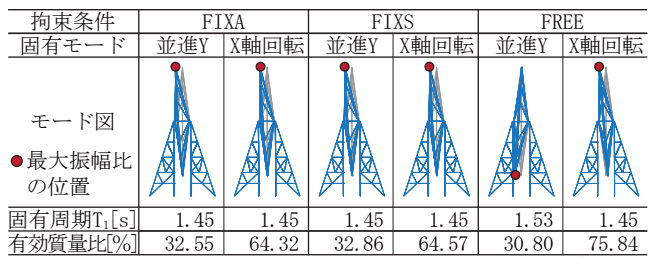


Figure4. Figure in a Primary Mode ($T_0=1000\text{kN}$)

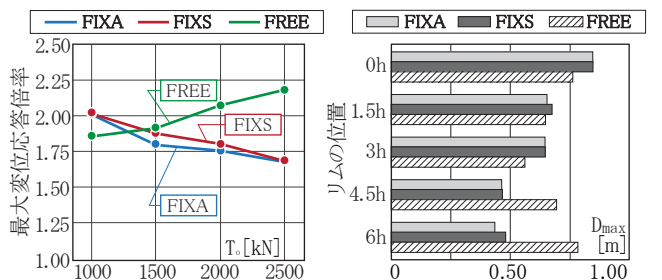


Figure5. Response Factor of Maximum Displacement

Figure6. Maximum Displacement ($T_0=1000\text{kN}$)

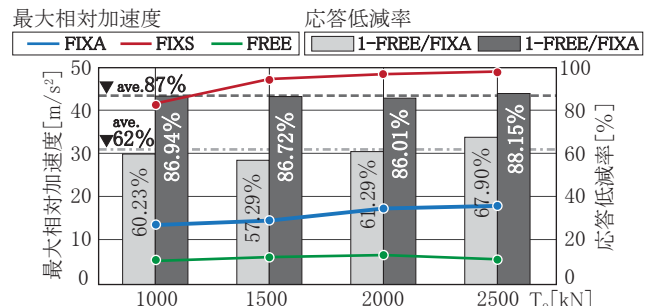


Figure7. Maximum Relative Acceleration and Response Reduction Factor