

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  
Study on Basic Structural Characteristics of Wire-Spoked Type Ferris Wheel Using Cable

○宮本悠平<sup>3</sup>, 岡田章<sup>1</sup>, 宮里直也<sup>1</sup>, 廣石秀造<sup>2</sup>

\*Yuhei Miyamoto<sup>3</sup>, Akira Okada<sup>1</sup>, Naoya Miyasato<sup>1</sup>, Shuzo Hiroishi<sup>2</sup>

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

1. はじめに

1-1. 研究背景

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されるようになり、国内では2007年以降は60mを超える大規模な観覧車の新規建設がなされていない。

日本国内における観覧車の構造形式は鉄骨トラスによるものが主流である (Fig. 1)。一方、海外ではスポーク部にケーブルを用いたスポークホイール型の大規模な観覧車が建設されている (Fig. 2)。これは、引張力のみで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、スポーク部に圧縮材を用いた従来型の観覧車構造と比べて、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可能性が考えられる。また設計面では、スポーク部に鋼管を用いた従来型に比べ風を受ける見付面積が小さくなることにより、風荷重が減少し、地震荷重が支配的となることも予想される (Fig. 3)。

1-2. スポークホイール型の構造に関する問題点

スポークホイール型は、自転車の車輪に代表され、観覧車の回転に伴いスポークの引張力、リムの圧縮力と曲げモーメントが常に変動する。そのため、観覧車が回転している状態で地震が発生した際の動的な応答性状複雑であり、筆者らが知る限り、この点を研究した既往の研究事例は存在しない。

2. 研究目的

本研究ではスポークホイール型の観覧車の地震時の応答性状を把握することを目的とし、実験的・数値解析的な検討を通して、基本的構造特性の把握を試みる。

3. リムの安定性に関する検討

3-1. 実験及び数値解析概要

スポークホイールの面外方向へ荷重が加わった際の挙動の把握を目的とし、模型による小規模実験を行い、数値解析結果と比較する。

ダイヤと花の大観覧車 (2000) シンガポール・フライヤー (2008)



Figure 1. Conventional Type Figure 2. Spoke Wheel Type

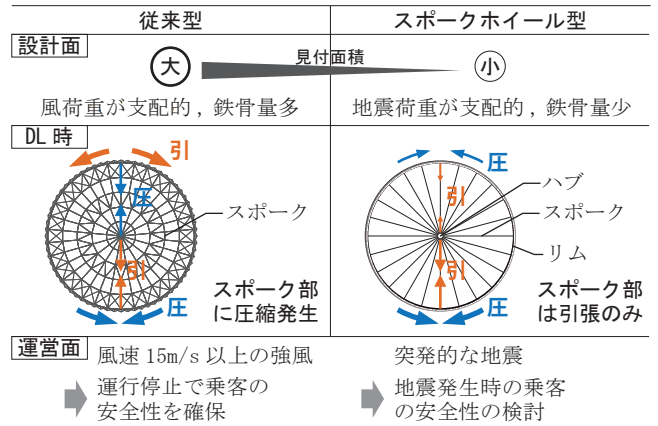


Figure 3. Compared with Conventional Type and Type of Spoke Wheel

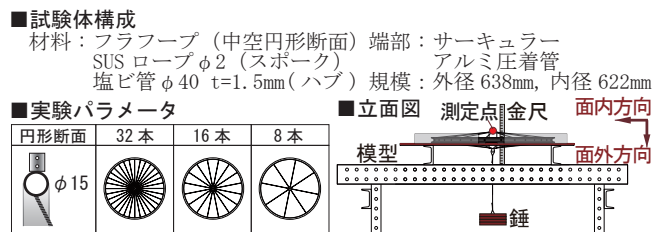


Figure 4. Outline of Experiment

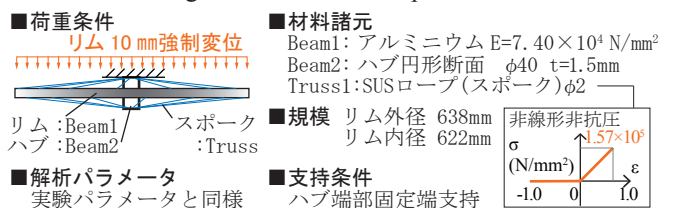


Figure 5. Outline of Static and Buckling Eigenvalue Analysis

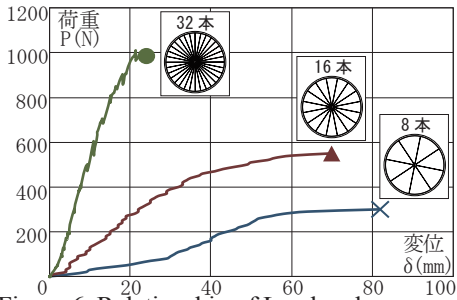


Figure 6. Relationship of Load and Out-of-Plane Displacement (Experiment)

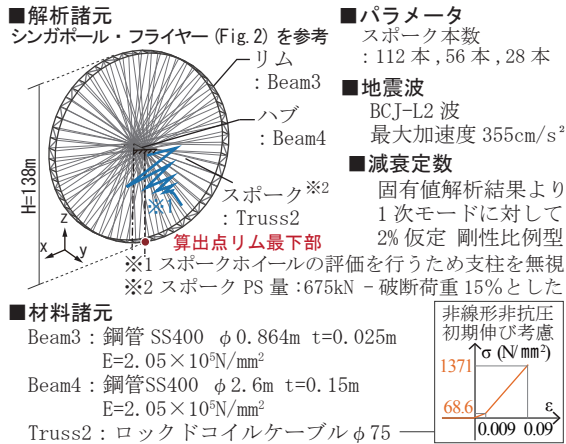


Figure 8. Outline of Dynamic Analysis

ケーブル本数	方向	1次固有振動数 [Hz]	1次有効質量比 [%]	1次モード
112本	y	0.57	80.72	
56本	y	0.35	83.84	
28本	y	0.16	85.15	

Figure 9. Result of Modal Analysis

実験概要をFig. 4に、数値解析概要をFig. 5に示す。実験および数値解析のパラメータはスポークの本数とし、全3パターンでの検討を行った。実験ではリムを鉄骨に載せて、境界条件を面内方向のローラー支持とした。載荷方法は、スポークが集まる中央のハブに対して面外方向に10Nピッチで、リムが座屈するまで載荷を行った。鉛直変位は、ハブ上端の位置を測定した。数値解析ではハブ上端を固定端とし、リムを面外方向に強制変位させた。

### 3-2. 実験及び数値解析結果

実験結果の荷重－変位関係をFig. 6に示す。スポーク16本と8本は、非線形の挙動を示した。これは載荷に伴うスポークの引張力の増加によって、低荷重域ではリムの円周方向への圧縮力が卓越し、一定の変位量に達すると、面内方向の曲げモーメントが卓越することが原因であると考えられる。また、スポークが多いほど剛性・耐力ともに向上する結果となった。

数値解析結果をFig. 7に示す。スポーク本数の減少に伴い面内の曲げモーメントが大きくなり、スポーク8本は32本の約4倍の曲げモーメントがリムに発生している。スポーク32本は8本の約4倍の崩壊荷重となった (Fig. 6)。また1次座屈モードを比較すると、実験結果と同様に複数箇所が節になるモードなど、実験結果と概ね同様の結果が得られた。

### 4. 地震荷重に対する動的応答の評価

動的応答解析概要をFig. 8に示す。スポークホイール型観覧車の基本的振動特性の把握を目的として、シンガ

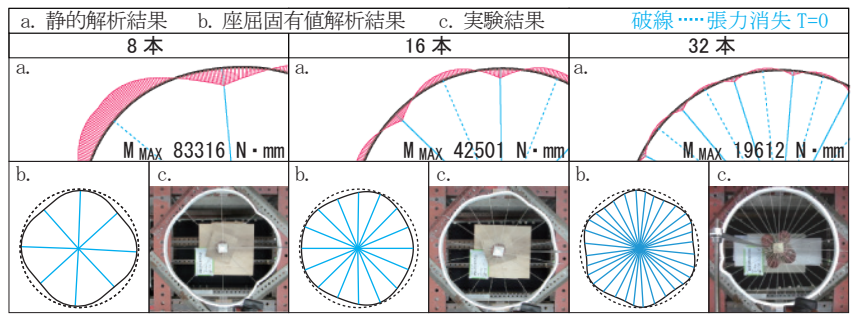


Figure 7. Result of Static Analysis and Buckling Eigenvalue Analysis

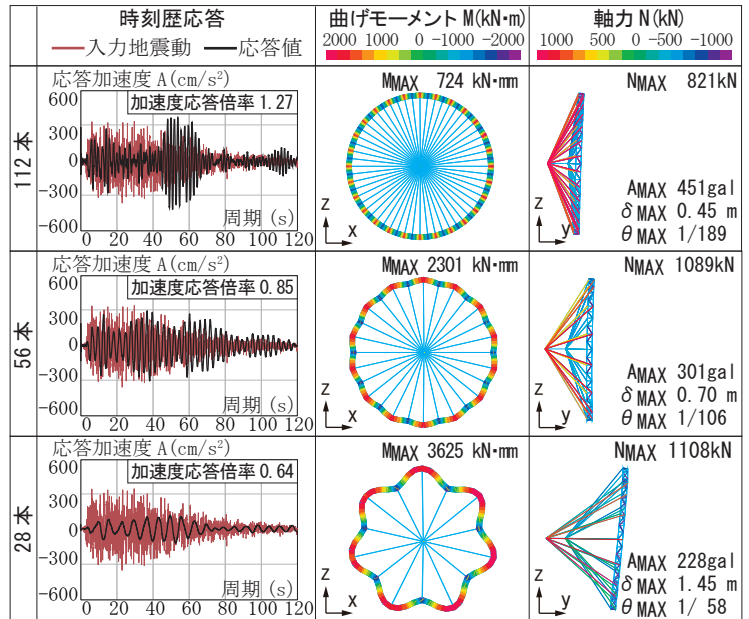


Figure 10. Result of time history response analysis

ポール・フライヤー<sup>[1]</sup> (Fig. 2) を基本とした立体フレームモデルに対して時刻歴応答解析を行った。なお先立って行った固有値解析結果 (Fig. 9) より、スポーク本数が多いほど、固有振動数が大きくなることが確認された。

Fig. 10にy方向のリム最下部の水平加速度応答の時刻歴波形と地震応答性状を示す。水平加速度の時刻歴波形を比較すると、スポーク本数が少ないほど最大応答加速度が小さくなる傾向が確認された。

ここで、最大変形時のモード図を比較すると、スポーク本数が28本の場合、112本の場合と比較して、約5倍の曲げモーメントを生じ、スポーク本数の減少とともに曲げモーメントが増大する傾向が得られた。また同様に面外方向 (y方向) への最大応答変位も約3倍の値を示した。これは前項で示した、ハブ端部に入力される地震荷重に伴う、スポーク本数に応じたリムが負担する曲げモーメントの違いおよび面外に対する剛性の違いが原因と考えられる。

### 5. 今後の検討

本論ではスポーク本数の違いによる応答性状の違いを検討した。スポーク本数が少ないほど長周期化し、リムが曲げ抵抗型となることが定量的に確認された。今後、長周期成分を含んだ地震動に対する検討、支柱を含めた地震応答に関する検討等を実施する予定である。

【参考文献】 [1] 坂野, 磯田, 伊藤, 亀井, 清水 「シンガポール観覧車の設計と施工その1. 構造及び設計の概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国) p.919-p920, 2008.9