

## ローラーコースターの地震時における基本構造特性に関する研究 Study on Basic Structural Characteristics of Roller Coaster under Earthquake

○内田啓太<sup>3</sup>, 岡田章<sup>1</sup>, 宮里直也<sup>1</sup>, 廣石秀造<sup>2</sup>

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

Abstract: After the Building Standards Law was revised 2007, in designing of amusement rides and devices over 60m, confirmation of safety with the time-history response analysis has been required in Japan. But it is complicated to construct an entire model for the time-history response analysis. Therefore, recently, amusement rides and devices over 60m have not been constructed in Japan. In this paper, for the purpose of simplification a design method of amusement ride that higher than 60m, the authors grasp the response of the amusement ride under earthquake with dynamic analysis, and propose a simplified evaluation method.

### 1. はじめに

近年、ローラーコースターに代表される遊戯施設の大型化・高速化が進んでいる。遊戯施設は、建築基準法で工作物として規定されており、規模等によっては建築物と同様の構造安全性の確認が求められる<sup>[1]</sup>。特に、主要な支持部分(客席部分を支える構造上主要な部分)の構造については、平成19年の告示改正によって、高さが60mを超える場合には時刻歴応答解析による安全性の確認が求められることになった。しかし、従来の遊戯施設の設計は、静的解析により断面検討が行われてきたため、遊戯施設を対象とした時刻歴応答解析はほとんど実施されておらず、遊戯施設メーカーが蓄積してきた設計データの利活用が困難な状況となっている。さらに、遊戯施設は複雑な形状を有する 경우가多く、全体を包括する解析モデルの構築は煩雑であり、数値解析手法や構造設計手法の確立が喫緊の課題とされている。

以上を踏まえ、本研究は高さ60mを超える遊戯施設の設計手法の簡略化を最終目標として、はじめに全体モデルを対象として、動的応答解析を行い、複雑な形状の遊戯施設の基本的な構造特性の把握を行う。

### 2. モデルの定義と試設計

本研究では、高さ60mを超えるローラーコースターを検討対象として、実例を参考にしながらモデル化を行った。検討モデルは、高低差のある複数の山から構成されるローラーコースターの最も基本的な形状であるキャメルコースターと回転運動を行う垂直ループ、ブーメランを有する (Fig. 1)。

数値解析に先立ち、遊戯施設技術基準<sup>[1]</sup>に従い、許容応力度計算により、検討対象モデルの部材断面を決定した。設計荷重は、運行時(強風時)、地震時、暴風時とした。



Fig.1 Example of Coaster

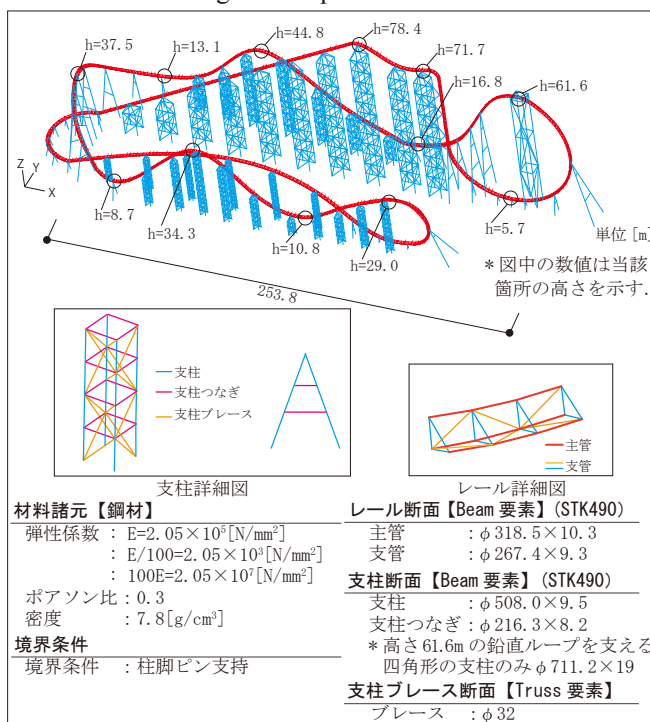


Fig.2 Outline of Numerical Analysis

### 3. 数値解析概要

検討モデルの数値解析概要をFig. 2に示す。ローラーコースターは剛床仮定が成立しないため、レールの曲げ剛性が支柱に及ぼす影響について把握した。検討にあたってレール剛性(ヤング係数)を $E=2.05 \times 10^5$  N/mm<sup>2</sup>を基準として、E, E/100, 100Eの3ケースを設定し、動的応答解析を行った。

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

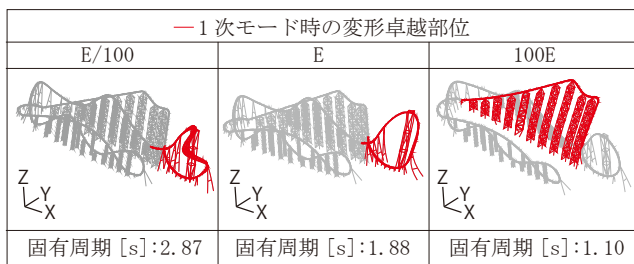


Fig.3 Result of Eigenvalue Analysis

#### 4. 固有値解析

検討モデルの基本振動特性の把握を目的として固有値解析を行った。Fig. 3に1次モード時の固有値解析結果を示す。レール剛性がE/100及びEの固有周期はそれぞれ2.87[s],1.88[s]となり、高さ61.6mの垂直ループのY(面外)方向変位が卓越した。また、100Eの固有周期は1.09[s]となり、最高高さ78.4mを有するキャメルコースターのY(面外)方向変位が卓越する性状が把握された。

#### 5. 時刻歴応答解析

##### 5-1. 時刻歴応答解析概要

地震時におけるローラーコースターの基本的な応答性状の把握を目的として、時刻歴応答解析を行った。解析モデルは、Fig.2と同様とし、入力地震波にはBCJ-L2波を用いて、X,Y方向それぞれに入力した。なお、モデル全体の減衰定数は、Rayleigh減衰を用いて2.0%とした。

##### 5-2. 時刻歴応答解析結果及び考察

Fig. 4に各柱に生じるせん断力を把握するためにレール剛性毎の支柱の水平反力を示す。なお、図中の値は加振方向の最大値を示している。各支柱の水平反力は、レール剛性が大きくなるほど大きな値を示した。特に、支柱高さが最も低い柱番号14,15付近において水平反力が卓越した。また、ブーメランとキャメルコースターの境目である柱番号32においてもY方向加振時に同様の性状を示した。以上より、支柱高さの低い箇所及び曲率が大きく変化する境界部においては設計上注意が必要であることが示唆された。

Fig. 5に時刻歴応答解析により得られた、最高高さ78.4mを有するキャメルコースター部の支柱高さとしせん断力係数(=加振方向の水平反力/鉛直反力)の関係を示す。レール剛性E/100,Eの場合は、支柱高さに関わらず、ほぼ一定の値を示し、全ての支柱でせん断力係数が0.5以下となっている。また、レール剛性100Eの場合、高さの低い支柱(7.8m)やキャメルコースターの境界部(30m)で大きな値を示したものの、他の支柱においては0.5以下となっている。なお、文献[2]ではローラーコースターは、地震荷重を算出する際の層せん断力係数が0.5と定められており、静的解析により概ね安全側の評価が可能であることが示唆された。以上より、高さの低い支柱や境界部においては注意が必要であるものの、キャメルコースターにおいては高さが60mを超える場合においても一山部分を抽出したモデルに対して、静的解析により評価が可能であることが示唆された。

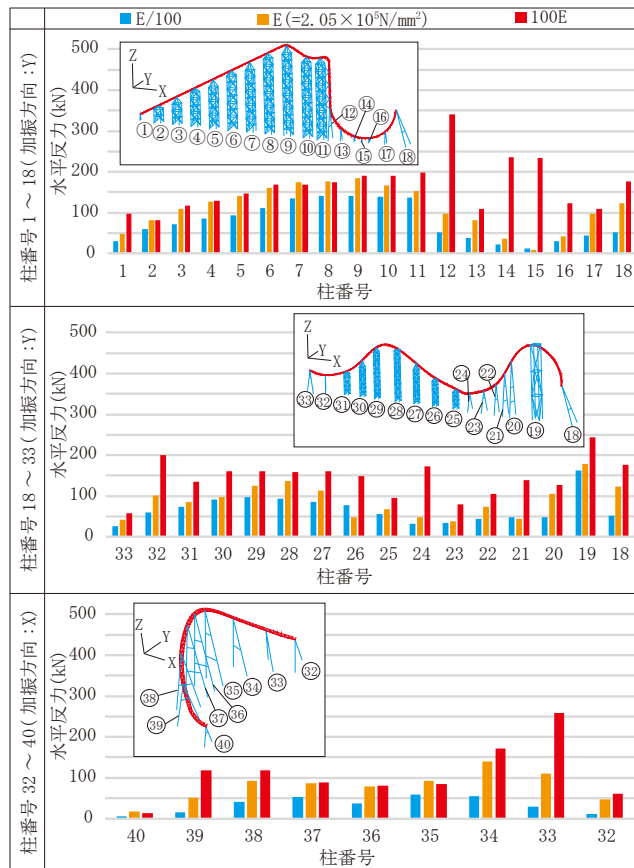


Fig.4 Lateral Reaction-Pole number

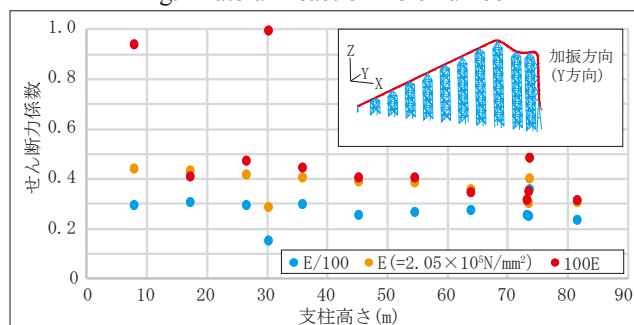


Fig.5 Shear Power-Pole height

#### 6. まとめと今後の検討

本論では、全体を包括するモデルを対象に、レールの剛性をパラメータに地震時における応答性状の把握を行い、以下の知見を得た。

- 支柱高さの低い箇所及び曲率が大きく変化する境界部においては設計上留意する必要があることが示唆された。
  - キャメルコースターにおいては高さが60mを超える場合においても、一山部分を抽出したモデルを対象とした静的解析により評価が可能であることが示唆された。
- 今後の検討として、様々な地震波に対する応答性状の把握及び実験的検討等が挙げられる。

#### 7. 参考文献

[1]日本建築設備・昇降機センター：遊戯施設技術基準の解説, 2010  
 [2]全国官報販売協同組合：建築物の構造関係技術基準解説書, 2015