

令和 2 年 5 月 23 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06657

研究課題名（和文）高さが60mを超える遊戯施設の設計手法に関する研究

研究課題名（英文）Study on design method of amusement facilities with height over 60m

研究代表者

宮里 直也（MIYASATO, Naoya）

日本大学・理工学部・教授

研究者番号：10513997

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,800,000円

研究成果の概要（和文）：平成19年告示改正以降、高さ60mを超える遊戯施設は時刻歴応答解析による安全性の確認が求められている。しかし、ローラーコースターの評価方法は明確でないのが現状であった。そこで、未だ検討の少ない、高さ60mを超える遊戯施設の設計手法の確立、基礎的なデータの蓄積を目的とし実験的検討、解析的検討を行うことで、複雑な形状を有するローラーコースターの基本的な振動性状について、定量的に把握し、設計に必要な知見を数多く得ることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で対象とする「ローラーコースター」等の遊戯施設は、日本国内に数多く存在するが、その耐震性及び台車の加速度の評価方法は明確となっておらず、申請者らの知る限り研究報告もほとんど行われていない。しかし、近年、日本各地で多くの地震が発生しており、今後も大地震の発生が想定されていること、台車の移動に伴う振動現象が問題となり運行中止となった遊戯施設の事例が存在すること、また告示改正以降に60mを超える遊戯施設の新規建設が行われていないこと、などから、台車の移動に伴い発生する加速度を考慮した設計手法の確立への期待は大きいものと考えている。

研究成果の概要（英文）：After the notification was revised in 2007, it is required to confirm the safety of amusement facilities with a height of more than 60 m by analyzing the time history response. However, the specific evaluation method is not clear. Therefore, for the purpose of establishing a design method and accumulating basic data, an experimental study and a numerical analytical study were conducted on the amusement facilities over 60 m in height. This research quantitatively grasped the basic vibration properties of a roller coaster having a complicated shape, and was able to obtain a lot of knowledge necessary for design.

研究分野：建築構造力学・構造設計

キーワード：遊戯施設 垂直ループコースター ローラーコースター 時刻歴応答解析 台車荷重

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年、観覧車やローラーコースター(いわゆるジェットコースター)に代表される遊戯施設の大型化・高速化が進んでいる(図1)。遊戯施設は、建築基準法で工作物として規定されており、規模によっては建築物と同等の構造安全性の確認が求められている。特に、主要な支持部分(客席部分を支える構造上主要な支柱等)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となった。

一方、告示(平成12年建設省告示1419号他)では、客席部分(以下「台車」と称す)の荷重について、加速度の評価方法が明確にされておらず、特に大規模遊戯施設における安全性の時刻歴応答解析による安全性の検証方法において課題が残されている。また、時刻歴応答解析結果に基づく安全性の検証方法も一切明確にされていない。

このため、平成19年の告示改正以降は日本国内において高さが60mを超える遊戯施設の新規建設がほとんど行われていないのが現状である。

現在、明らかとなっていない事項は、主に以下の2点である。

- (1) 台車から主要な支持部分に及ぼされる荷重の評価方法(長期荷重)
- (2) 地震荷重と台車荷重による2つの加速度応答の組み合わせに対する考え方(短期荷重)



図1 ローラーコースターの事例

### 2. 研究の目的

本研究では、高さ60mを超える遊戯施設の設計手法の確立を目的として、はじめに地震動が主架構に及ぼす影響の把握及び、台車の自由落下実験や台車移動を考慮した振動実験等により両者が主架構の応答性状に及ぼす影響の把握を実験的に検討する。続いて、数値解析を用いた検討を行い、実験結果との比較を通して数値解析手法の妥当性の確認を行う。最後に実規模モデルを対象として、地震時と台車移動時の2つの加速度応答の組み合わせについて数値解析を用いて検討を行う。

### 3. 研究の方法

本研究では、文献調査、既存施設の実測、縮小試験体を用いた振動実験及び数値解析により、台車落下による加速度と、地震による応答の組み合わせが及ぼす影響を把握する。

実験では、台車の走行が可能なレールを備えた支持部分及び台車を作成し、実際に走行させると共に振動台による加振を行う。また、数値解析では、台車の移動を模擬した数値解析モデルを用いて、台車と地震波の位相を考慮し、台車移動のタイミングをパラメータとして数値解析を行うことなどにより、その応答性状について把握を行う。

### 4. 研究成果

#### (1) 全体モデルに対する数値解析を用いた地震時挙動の検証(図2)

通常の建築物などに比べ、複数の高さの違う構築物が最上段のレールで繋がった形状で、非常に複雑な構造モデルとなるローラーコースターについて、実際に現存する高さ60mを超えるローラーコースターを参考にした数値解析モデルを構築して検討を行った。主架構のエネルギー吸収性能を表す「減衰定数」及び台車が走行するレール部分の部材断面の大小を表す「レール剛性」をパラメータとして、地震時における応答性状の把握を行うと共に、全体モデル及び部分抽

出モデルを対象とした静的解析を行うことで以下の知見が得られた。

- ① 減衰定数が小さいほど支柱の支持部分の水平反力は大きくなり、支柱高さが高いほど減衰定数の影響を受けることが把握された。また、減衰定数の違いにより応力の集中する箇所が異なり、適切な減衰定数を把握することの必要性が把握された。
- ② レール剛性が大きい場合、支柱高さの低い箇所及び各部位の境界部においては水平反力が卓越し、レール剛性が小さい場合、水平方向に大きな曲率を持つ箇所において層間変形角が大きくなることが把握された。
- ③ キャメルコースター部及び垂直ループ部においては部分抽出モデルを、ブーメラン部においては全体モデルを、それぞれ用いて静的解析を行うことで、構造計画段階において簡易的な検討が可能であることが示唆された。

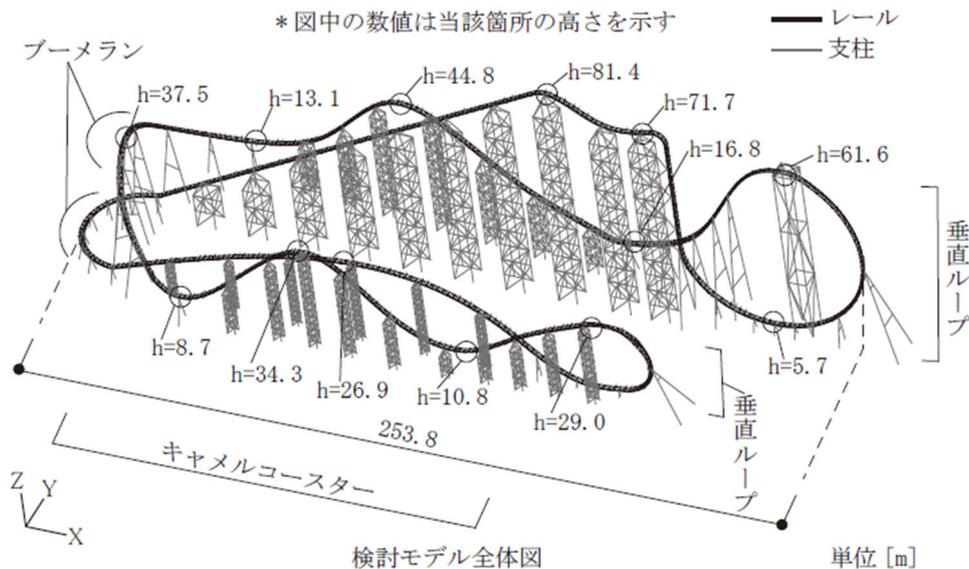


図2 高さ 60M を超えるローラーコースターの概要

### (2) 縮小モデルに対する小規模加振実験を用いた地震時挙動の把握

高さ 60m を超えるローラーコースターを模擬した縮尺モデルを、3D プリンターを用いて製作し、各測定点における共振振動数を把握するための加振試験を行った。試験体概要を図 3、各点の加速度応答倍率を図 4 に示す。

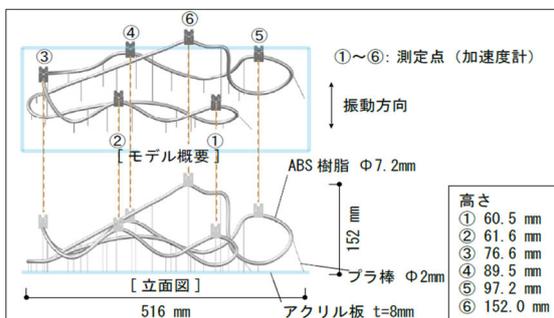


図3 小規模加振実験モデル概要

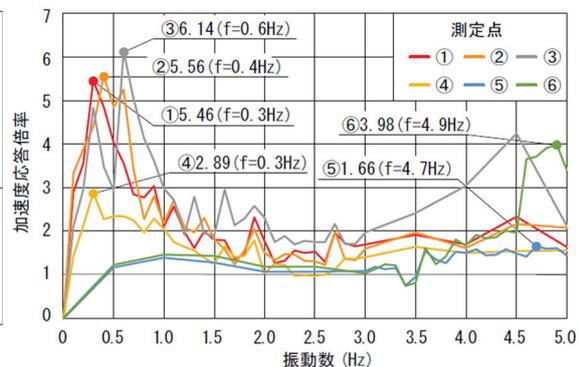


図4 加速度応答倍率

図 4 より支柱の高さが低い測定点(測定点番号①～④)では、比較的小さい振動数で加速度応答倍率が最大値を示した。一方、支柱の高さが高い測定点(番号⑤, ⑥)では、比較的大きい振動数で加速度応答倍率が最大値を示した。

以上よりローラーコースターの形状、特に高さの違いにより架構の剛性(変形のしにくさ、堅

さを表す)が異なり、レールにより連結された支柱同士は相互に影響することが把握された。今後の検討として、連結していないモデルを用いた試験により連結がどのような影響を及ぼすのかを検討することで、より正確な応答性状の把握が期待できる。

### (3) 台車移動を考慮した垂直ループコースターの地震時挙動に関する検討

垂直ループコースターを模擬した小規模模型(図5)を用いて、架構のみに振動を与える正弦波加振試験(図6)、架構に台車を走らせる自由落下実験(図7)、架構に台車を走らせながら水平振動を与える加振時落下実験(図8)を行い、台車移動が地震時の主架構の応答性状に及ぼす影響を実験的に把握した。

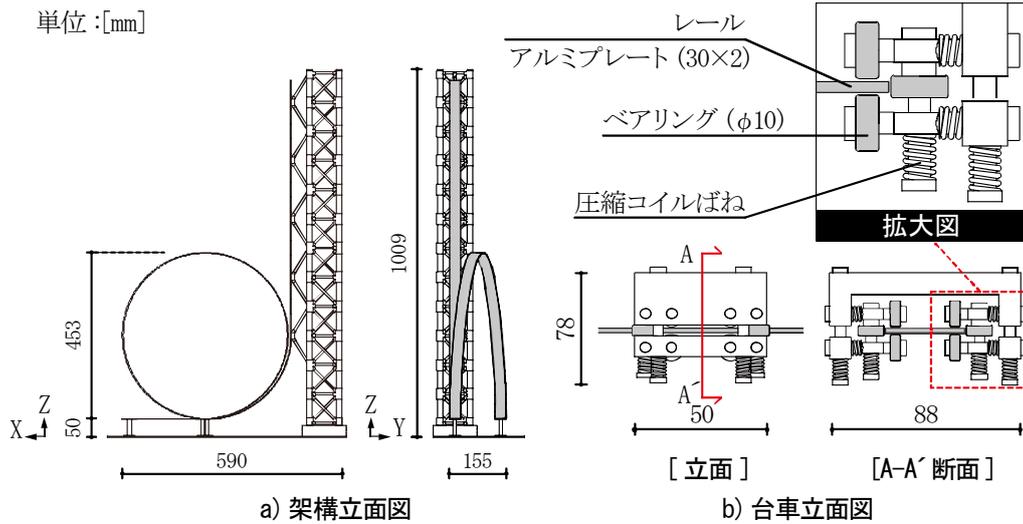


図5 台車移動を考慮した垂直ループコースターの試験体概要

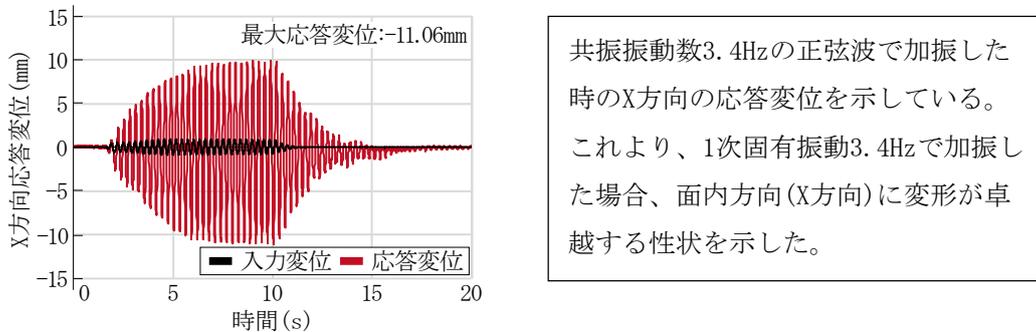
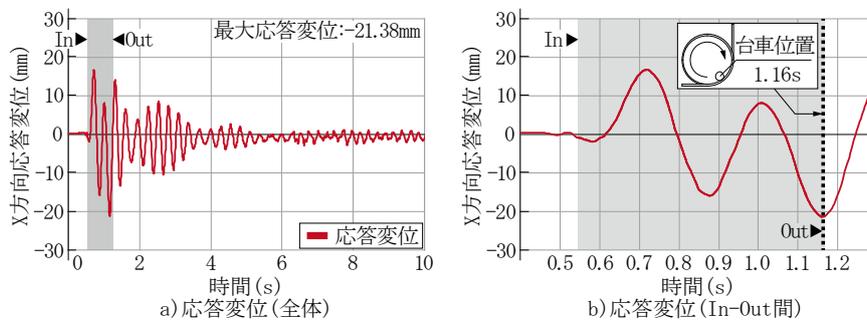
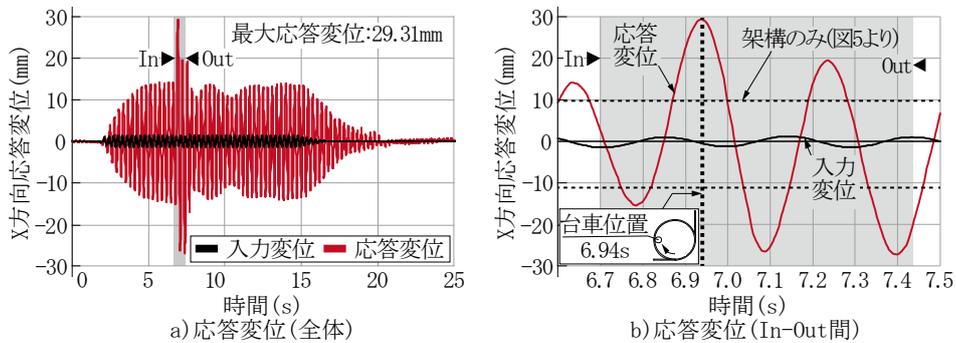


図6 架構のみを対象として正弦波加振試験



図中のIn-Outは、台車がループ最下部のループ入口からループ出口の間を通過した区間を示す。台車のループ走行時にループ頂点部の面内(X方向)方向の変位が変動する性状が得られ、台車がループを約3/4周移動した付近で最も応答変位が卓越している。

図7 台車の自由落下試験



台車が約1/4周ほど走行した付近で最も応答変位が卓越する性状を示し、振動方向と台車移動の組み合わせによって応答変位が増幅する性状が得られた。

図8 架構に台車を走らせながら水平振動を与える加振時落下試験

また、当該試験体を対象とした数値解析的検討、及び実規模を想定した台車移動を考慮した時刻歴応答解析(図9)を行った。

- ① ローラーコースターの支柱を設計する上では、各支柱において水平反力の大小関係は地震時と台車移動時で異なる挙動を示したことから、支柱を設計する際には台車荷重についても考慮することの必要性が示唆された。
- ② 実規模モデルの数値解析結果から、地震時と台車移動時の2つの加速度応答の組み合わせは、単純な線形和により安全側に評価できる可能性が示唆された。

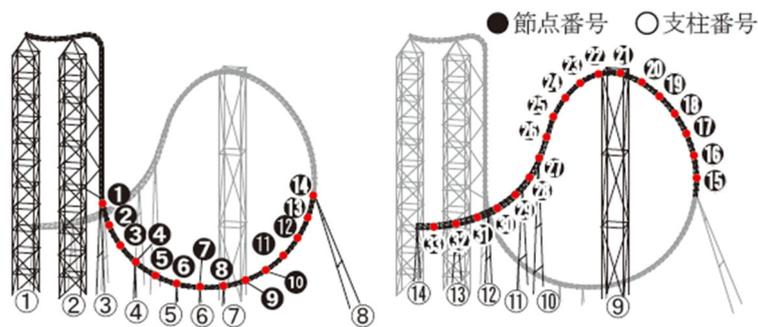


図9 台車移動を考慮した時刻歴応答解析モデルの各支柱番号, 節点番号

#### (4)まとめ

「ローラーコースター」等の遊戯施設は、日本国内に数多く存在するが、その耐震性及び台車の加速度の評価方法は明確となっておらず、申請者らの知る限り研究報告もほとんど行われていない。しかし、近年、日本各地で多くの地震が発生しており、今後も東南海地震を含めて大地震の発生が想定されていること、台車の移動に伴う振動現象が問題となり運行中止となった遊戯施設の事例が存在すること、また、告示改正以降に60mを超える遊戯施設の新規建設がほとんどないことなどから、台車の移動に伴い発生する加速度を考慮した設計手法の確立への期待は大きいものと考えている。

本研究は、より既存の遊戯施設に近い架構を対象として検討を行ったものであり、本研究で得られた結果は遊戯施設の耐震性について考慮すべき要点を示している。今後、高さ60mを超える遊戯施設の新規建設を行う際の有用な資料として、その成果の公開が早急に求められており、非常に有意義な研究であると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 福壽谷宗一郎、岡田章、宮里直也、廣石秀造、内田啓太
2. 発表標題 ローラーコースターの地震応答性状に関する基礎的研究 その1 減衰定数の違いが地震応答性状に及ぼす影響の把握
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 根本光、岡田章、宮里直也、廣石秀造、内田啓太
2. 発表標題 ローラーコースターの地震応答性状に関する基礎的研究 その2 動的解析結果と静的解析結果の比較
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 内田啓太、岡田章、宮里直也、廣石秀造
2. 発表標題 ローラーコースターの地震応答性状に関する基礎的研究 その3 レール剛性の違いによる影響の把握及び一部抽出モデルの検討
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 内田啓太、岡田章、宮里直也、廣石秀造
2. 発表標題 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
3. 学会等名 平成29年度（第61回）理工学部学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 内田啓太、岡田章、宮里直也、廣石秀造
2. 発表標題 ローラーコースターの地震応答性状に関する基礎的研究
3. 学会等名 日本建築学会関東支部研究報告集
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	岡田 章  (OKADA Akira)	日本大学・理工学部・教授  (32665)	
研究協力者	廣石 秀造  (HIROISHI Shuzo)	日本大学・短期大学部・准教授  (32665)	