

垂直ループコースターの地震時挙動に関する実験的研究  
 -小規模模型を対象とした台車の自由落下及び加振実験-  
 Study on behavior of vertical loop coaster under earthquake  
 -Free fall test and vibration test of coaster using small scale model-

○木村太郎<sup>3</sup>, 岡田章<sup>1</sup>, 宮里直也<sup>1</sup>, 廣石秀造<sup>2</sup>  
 \*Taro Kimura<sup>3</sup>, Akira Okada<sup>1</sup>, Naoya Miyasato<sup>1</sup>, Shuzo Hiroishi<sup>2</sup>

Abstract :By law revision of 2007, as for amusement rides and devices over 60m , confirmation of safety by the time history response analysis have been required in Japan. Currently, the influence of acceleration due to movement of the coaster has on the main frame is not clear. In this paper, a vertical loop coaster was studied for the purpose of establishing a design method for an amusement facility with a height of more than 60m. From this point of view, the free fall test and the vibration test considering the coaster movement were performed, and the influence of the coaster movement on the response characteristics of the main frame under earthquake was experimentally examined.

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ている<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  
 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<sup>[1]</sup>. しかし, 告示では客席部  
 分(以下, 「台車」)の荷重について加速度の評価方法等  
 が明確にされていないのが現状である. 既報<sup>[2]</sup>では「U字  
 コースター」を対象として台車移動を考慮した振動実験  
 が報告されているが, 一般的なローラーコースターに用  
 いられる3次元的な形状に対する台車移動を考慮した検  
 討は未だ報告されていない.

以上を踏まえ, 本報では, 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, 「3次元のローラーコ  
 ースター」を取り上げ, 台車の自由落下実験, 及び台車移  
 動を考慮した振動実験を行い, 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検討を行う.

2. 検討モデルの概要

本報では, 検討対象としてローラーコースターの一つ  
 である「垂直ループコースター」を対象とする. 本モデ  
 ルの特徴として, 他の形状と比較して面内剛性が小さく,  
 面内方向への台車の移動荷重による影響が懸念され  
 ること, ループを通過するために一定以上の速度が必要  
 であること, 等が挙げられる.

3. 試験体概要

試験体は実規模の約1/100を想定し, 幅590mm, 高  
 さ1009mm, ループ部の直径は453mmとした. レールに  
 はアルミ板(幅30mm, 厚さ2mm), 支柱にはアルミパイ  
 プ(主管:φ10×t=2, 支管:φ6×t=1)を用いた. また,  
 台車にはベアリングを設け, 実際に走行可能な  
 試験体を設計した(Fig. 1).

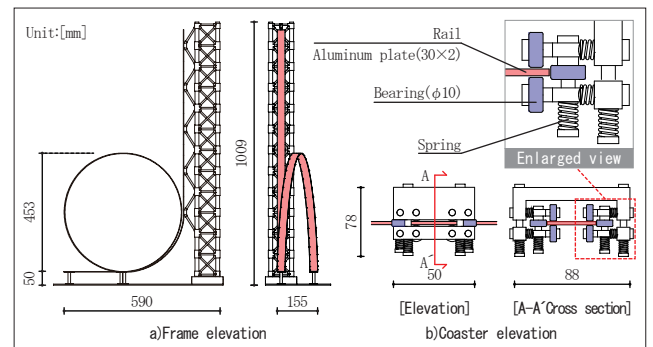


Fig.1 Outline of Test Specimen

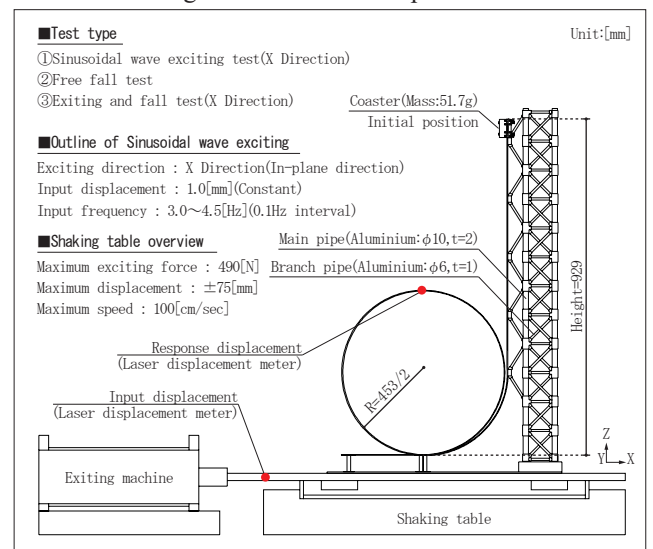


Fig.2 Outline of Test

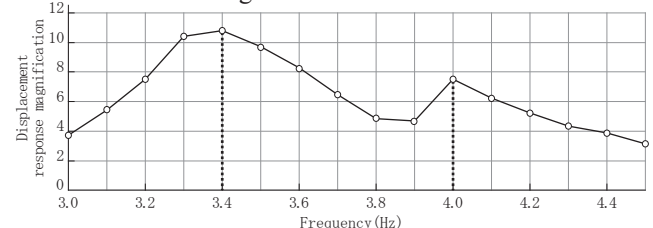


Fig.3 Resonance Curve

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

#### 4. 動的挙動の把握実験概要

垂直ループコースターの面内方向の動的挙動の把握を目的として、正弦波加振実験、自由落下実験、及び加振時落下実験を行った。振動台には起振器を使用し、加振はX方向のみ、入力変位は1mmで一定とし、ループ頂点部のX方向応答変位を測定した(Fig. 2, 4)。なお、本試験体は実規模の曲げ剛性及び質量の模型相似則は考慮せず、台車移動が架構に与える影響の把握を主目的としたモデルである。

「正弦波加振実験」は、3.0~4.5Hzの範囲を0.1Hz刻みでそれぞれの正弦波により加振を行い、変位応答倍率から共振振動数を求めた(Fig. 3)。その後、求められた共振振動数の正弦波で計3回加振を行った。

「自由落下実験」は、振動台を加振しない状態で、台車を高さ929mmの支柱頂点部から計3回自由落下させ、台車移動による架構の振動特性を把握した。また、台車の軌跡を時刻歴で把握するため、実験の撮影動画内に時計を配置し、測定器の時間データと照らし合わせることで台車の軌跡を把握した。

「加振時落下実験」は、正弦波加振実験より得られた1次の共振振動数の正弦波で加振した状態で、台車の自由落下実験を計10回(以下、「実験①~⑩」)を行い、台車加速度と加振加速度の組み合わせによる影響を把握した。

正弦波加振実験及び自由落下実験は、各試験とも結果に大きな差が生じなかったため、各3回行った試験の中で応答が最大となった結果のみ報告する。

#### 5. 実験結果及び考察

##### 5-1. 正弦波加振実験

Fig. 3に変位応答倍率, Fig. 5に共振振動数3.4Hzで加振した時の結果を示す。Fig. 3に示すように本試験体では1次固有振動数3.4Hz, 2次固有振動数4.0Hzが得られた。また、入力変位に対する応答変位はループ頂点部で卓越し、X方向に変形する性状を示した。

##### 5-2. 自由落下実験

Fig. 6に自由落下試験の結果を示す。台車がループ走行時に変位が卓越する性状を示した。また、グラフと台車位置の関係から、台車が頂点部を過ぎた付近で最も応答変位が卓越する性状を示した。

##### 5-3. 加振時落下実験

Fig. 7に加振時落下実験の実験④の結果, Fig. 8に実験⑧の結果をそれぞれ示す。実験④ではグラフと台車位置の関係から、台車が架構中腹部を過ぎた付近で最も応答変位が卓越する性状を示した。一方で、実験⑧では台車がループ通過時に架構の応答変位が減少する性状を示した。これより、正弦波と台車荷重の2つの加速度応答の組み合わせは、単純な線形和では評価できない可能性が示唆された。

##### 5-4. 各実験の比較

Fig. 9に各実験の最大応答変位を示す。加振時落下実験では最大値に大きなばらつきが生じた。自由落下実験と加振時落下実験を比較すると、自由落下の最大応答変位に対して正弦波加振が加わることで試験④では増幅し、試験⑧では減少する傾向を示した。

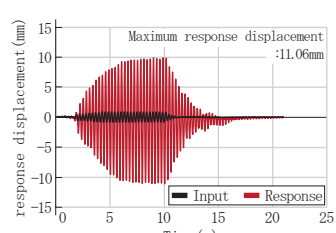


Fig.5 Result of Resonant vibration test(3.4Hz)

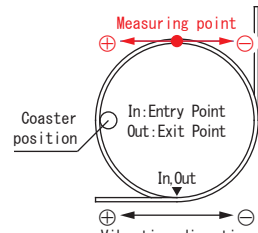


Fig.4 Measuring point

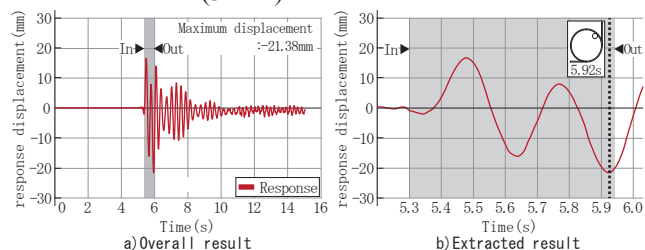


Fig.6 Results of Free fall test

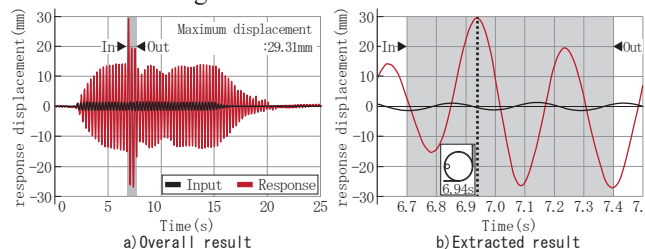


Fig.7 Results of Vibration-free fall test No.4

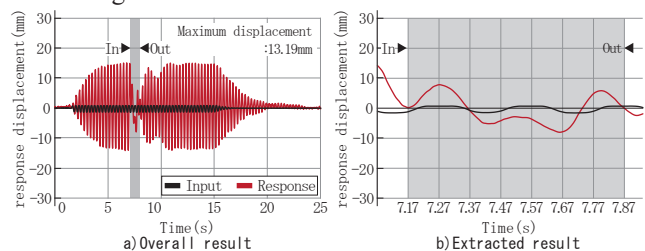


Fig.8 Result of Free fall test under Result vibration No.8

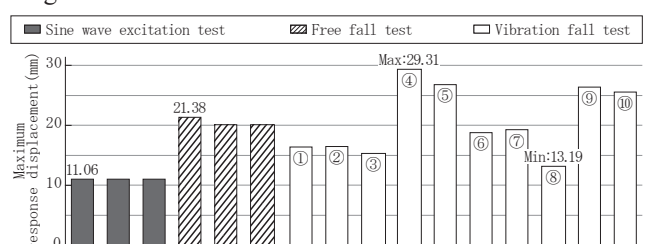


Fig.9 Maximum value of displacement for each test

#### 6. まとめ

本報では垂直ループコースターを模擬した小規模模型を用いて正弦波加振試験、自由落下実験、及び加振時落下実験を行い、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。また、加振時落下実験より台車加速度と加振加速度の組み合わせにより応答変位が増幅する性状を把握した。

#### 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]前田,他:「U字コースターの地震応答性状に関する基礎的研究」,日本建築学会技術報告集 第22巻 51号,pp.175-180,2017,3  
 謝辞

本研究は、JSPS科研費17K06657の助成により実施された。