

B-11

高さが60mを超える遊戯施設の主要な支持部分の構造設計手法に関する研究
 (その2)U字型コースターの解析モデルの構築と解析的検討

Study on Structural Design Method of Main Supporting Part of Amusement Rides and Devices Over 60m
 (Part2)Proposal of Numerical Analysis Model of U-shaped Coaster and Study with Numerical Analysis

○前田浩靖³, 岡田章¹, 秦一平¹, 宮里直也¹, 廣石秀造², 菅野貴行³
 *Hiroyasu Maeda³, Akira Okada¹, Ipei Hata¹, Naoya Miyasato¹, Shuzo Hiroishi², Takayuki Kanno³

Abstract : This paper proposes a numerical analysis method which simulates behavior of roller coaster. Thereby, the authors construct the numerical analysis model of test pieces (Part1) and perform eigenvalue analysis and time history response analysis. By comparing the result of the model and vibration experiment, the authors verify the validity of this model.

1. はじめに

(その2)では, (その1)で小規模模型振動実験を行った試験体に対し, 固有値解析及び時刻歴応答解析を行い, その結果を実験値と比較することによって, 解析モデルの妥当性の検証及び振動特性の把握を試みる. また, 台車の移動を模擬した解析手法の提案を行い, 台車が架構に与える影響について数値解析的に検討する.

2. 固有値解析 (解析モデルの構築)

2-1. 解析概要

実験値との比較及び振動特性の把握を目的とし, 固有値解析を行った. Fig. 1に解析モデルの概要を示す. モデルはU字型の架構と支柱から構成されており, 規模・材料等は(その1)小規模模型振動実験の試験体と同様とした. 頂部の付加質量は質点でモデル化し, 鉛直方向をローラーで支持することで, 水平方向のみに慣性力が作用するものとした. また, 質点に生じる慣性力をモデル全体に伝えるため, 質点とU字架構頂部の節点を仮想材で繋ぎ, 水平方向の変位が同一となるよう設定した. なお, U字架構はレール部分も含めた断面性能を持つようにモデル化を行った.

2-2. 解析結果及び考察

Fig. 2に解析結果を示す. 実験値は(その1)の正弦波加振実験の結果を参照した. 1・2次モードではY方向が卓越し, 固有周期は実験値が0.950秒, 解析値が1.017秒となった. 3・4次モードではX方向が卓越し, 固有周期は実験値が0.975秒, 解析値が0.893秒となった. X・Y方向ともに, 固有周期の誤差が0.1秒以内であり, 本解析モデルは十分な妥当性を有していると考えられる.

3. 時刻歴応答解析

3-1. 解析概要

動的荷重下のモデルの妥当性及び挙動の把握を目的として, 時刻歴応答解析を行った. Fig. 3に解析概要を示す. 入力波は地震波加振実験(入力波: JMA_Kobe波)時に計測した振動台応答変位とし, モデル境界部を強制変位させることで2方向同時入力とした. モデル全体の減衰定数はRayleigh減衰を用いて, 前項の1次と3次の固有振動数より1.0%とした. なお, 実験時には付加質量を支持する上部リニアガイド部分にお

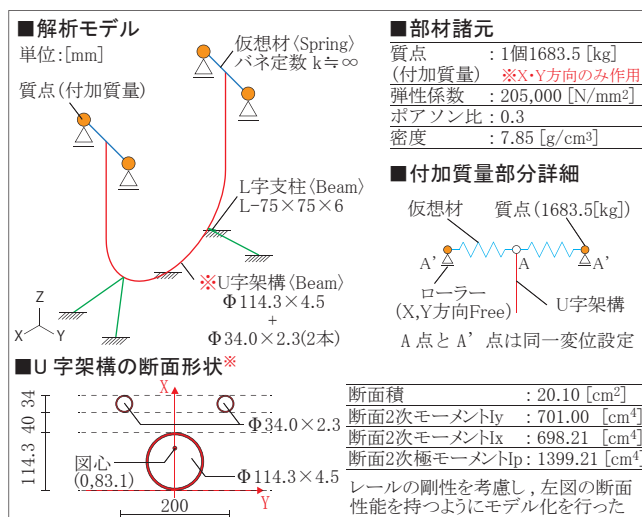


Fig.1 Outline of Analysis Model

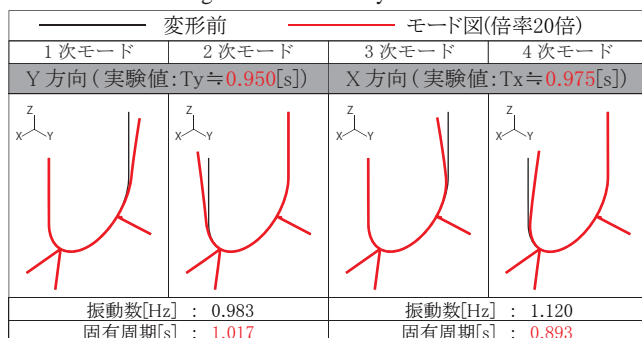


Fig.2 Result of Eigenvalue Analysis

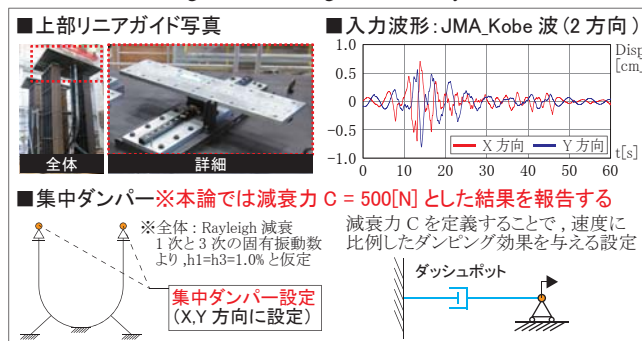


Fig.3 Outline of Dynamic Analysis

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

いて、ガイド間の摩擦等による減衰が働いたと考えられる。このことから、解析モデルの頂点部には集中ダンパーを設定し、発生する減衰力Cを500Nとして、X・Yの2方向に速度に応じた減衰効果を持たせた。

3-2. 解析結果及び考察

Fig. 4に地震波加振実験結果と時刻歴応答解析結果を併せて示す。図の左側は全時間における時刻歴応答を、右側は最大値近傍の10秒間の応答を示している。

①南東側支柱軸力に注目すると、実験結果と解析結果がほぼ同様の波形を示している。最大軸力の差異も10%以内となっており、実験値と解析値は良く対応していると考えられる。一方、②③南側頂部応答変位は、実験結果と解析結果に大きな差が生じている。特に、③Y方向変位では、全時間帯において解析値の方が著しく大きな値を示しており、本解析モデルは地震時の挙動を十分に模擬できていない。これは、加振実験時に試験体頂部で回転運動を生じていたことや、上部リニアガイドの減衰効果が十分評価できていないためであると考えられる。

4. 台車移動解析

台車の自由落下が架構に与える影響を理論的に把握するため、台車の移動を模擬した数値解析手法の提案を行う。台車荷重Pを理論式により算出し、集中荷重として各節点に作用させる(Fig. 5-a)。なお、対象は円弧部分のみとし、摩擦等による台車の減衰は考慮しないものとする。

4-1. 台車位置と水平反力の関係

Fig. 5に解析概要を示す。解析モデル全体の水平反力と台車位置(角度)の関係を把握するため、台車移動を等速円運動とみなして数値解析を行った。台車の移動を模擬するため、各荷重に荷重倍率-時間関係を設定することで、各節点に順次荷重が作用するものとした(Fig. 5-b)。なお、自由落下開始時の台車位置は(その1)の小規模模型振動実験のTypeIIIと同様とした。

Fig. 6に解析結果の水平反力-台車位置関係を示す。(その1)の自由落下実験の結果と同様に、角度45度付近で水平反力が最大となることが確認され、本解析手法の妥当性が示された。

4-2. 移動時間の考慮

前項では台車移動を等速とみなしたが、実際は時々刻々と速度が変化しており、等速でない運動となる。そこで、台車の移動時間を考慮した解析手法の提案を行った。Fig. 7に節点間の移動時間の理論式を示す。理論式より各節点の荷重到達時間を算出し、節点間の台車移動は等速とみなすことで、簡易的に荷重倍率-時間関係を設定した。

Fig. 8に実験結果と解析結果を併せて示す。水平反力の最大値はほぼ同様の値を示した。実験値は台車の減衰により、徐々に値が低下していくが、解析値は定常とみなしているため、その影響は見られない。また、実験値では台車が架構の半円部分の境界にさしかかった後、直線部分に到達し、水平反力が0となる時間帯(Fig. 8の緑点線部分)が存在しているが、解析上では半円部分のみを検討対象としているため、その影響も見られない。本解析手法では、水平反力の最大値及び台車荷重の移動を概ね把握できる可能性が示唆された。しかし、節点間の移動速度の変化が考慮されていないなど、地震荷重との組合せに向けて、更なるモデルの検討が必要であるといえる。

5. まとめと今後の検討

(その2)では(その1)の試験体のモデル化を行い、数

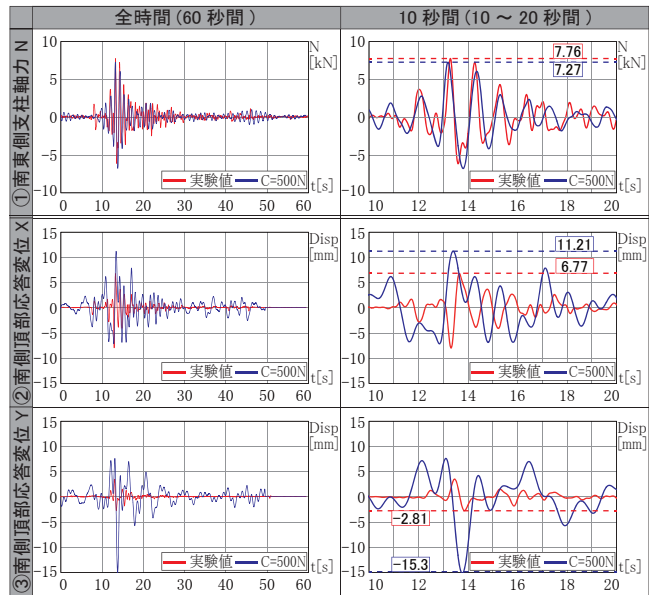


Fig.4 Result of Dynamic Analysis and Shaking Table Tests

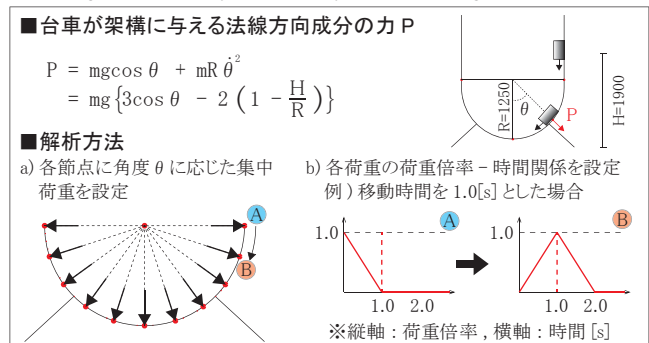


Fig.5 Outline of Analysis Considering Moving Bogie

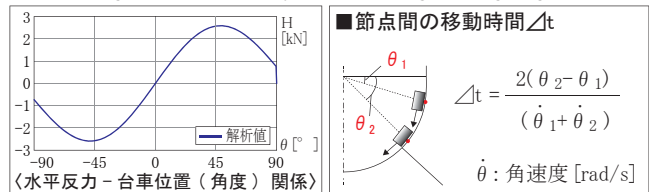


Fig.6 Result of Analysis Considering Moving Bogie

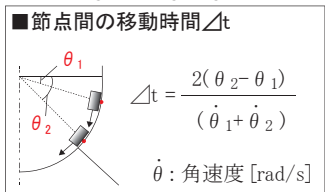


Fig.7 Theoretical Equations of Transit Time

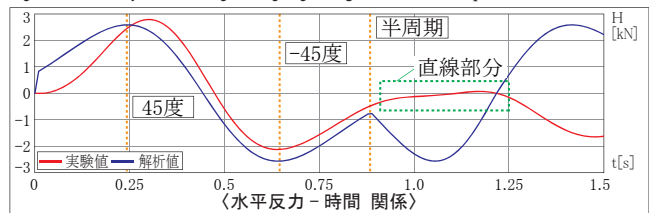


Fig.8 Result of Analysis Considering Moving and Free Falling Bogie
 値解析的検討を通して、解析モデルの妥当性の検証及び振動特性の把握を試みた。また、台車の移動を模擬した解析手法の提案を行い、実験値と比較した。しかし、時間成分等を十分模擬できていないことから、数値解析モデル及び台車の移動解析手法の更なる検討を進める予定である。

【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] 才塚, 伊藤, 木曾, 宇佐美：「相似則を考慮したハイブリッド地震応答実験手法に関する考察」, 土木学会論文集 I-30, No. 507, pp. 179-190, 1995. [3] 大崎：「新・地震動のスペクトル解析入門」, 鹿島出版会, 1994