

輪軸衝撃実験による軌道の左右方向パラメータの推定

東海旅客鉄道 正会員 ○鬼頭 昭人
 東海旅客鉄道 正会員 三輪 昌弘
 日建設シビル 正会員 川満 逸雄

1. はじめに

軌道の力学特性に関する上下方向のパラメータ同定に関しては、これまでも多くの研究が行われているが、左右方向のそれに関する事例は少ないようである。そこで、軌道の左右方向のばねや減衰係数などの軌道パラメータを求めるため、車輪をレールに衝突させる輪軸衝撃実験を実施した。さらに、簡単なばね-質点モデルを用いて、実験で得られた車輪および軌道の挙動を再現することにより軌道のパラメータを推定したので結果を報告する。

2. 輪軸衝撃実験の概要

輪軸衝撃実験の概要を図1に示す。ワイヤーで車輪をレールから持ち上げ、水平方向に一定距離 x 離れた点から振り子運動によりレールに衝突をさせる実験である。車輪を放す位置を変更することによりレールへの衝突速度や衝撃力を変更することが可能である。実験では、車輪、レール、まくらぎの左右変位や車輪の横圧等を測定した。

実験結果として、まくらぎ左右変位が拘束された条件で車輪がレールに衝突した後の車輪の変位を図2、3に示す。衝突から0.04秒程度で元の衝突位置に押し戻されていることがわかる。また、車輪を放す位置にかかわらずほぼ一定の周期であることがわかる。

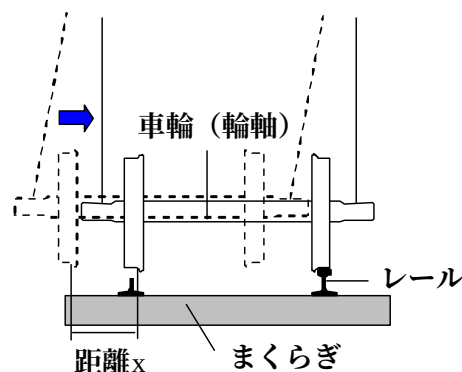


図1 輪軸衝撃試験の概要

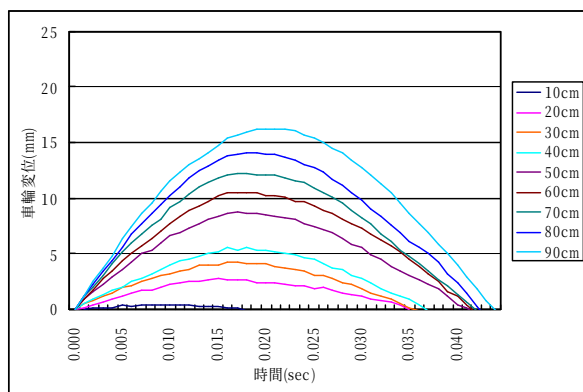


図2 衝突後の車輪の変位（まくらぎ直上载荷）

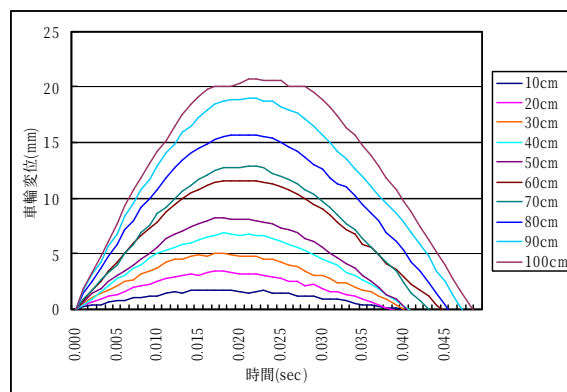


図3 衝突後の車輪の変位（レール締結中間载荷）

3. 解析の概要

今回の解析モデルは、車輪の質量を表す質点とレールとまくらぎの質量を一つにまとめた質点の2質点モデルとした（図4）。解析は、初速度をもつ車輪がレールに接触した瞬間から離れるまでを解析した。車輪が接触した時刻を $t=0$ とする。接触後の動きは以下になる。外力が作用していないので運動方程式は式(1)のようになる。

キーワード 車輪、レール、衝撃、質点モデル、解析

連絡先 〒485-0801 愛知県小牧市大山 1545 番 33 東海旅客鉄道（株） 技術開発部 TEL 0568-47-5380

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 + c_1 \dot{x}_1 - c_2 (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + k_1 x_1 - k_2 (x_2 - x_1) &= 0 \\ m_2 \ddot{x}_2 + c_2 (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + k_2 (x_2 - x_1) &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

ここに、
 m_1 : 軌道の有効質量
 m_2 : 車輪の質量
 k_1 : 軌道のばね係数
 k_2 : レール車輪接触ばね係数
 c_1 : 軌道減衰係数
 c_2 : レール車輪接触減衰係数
 x_1 : 軌道側接触面の変位
 x_2 : 車輪の変位

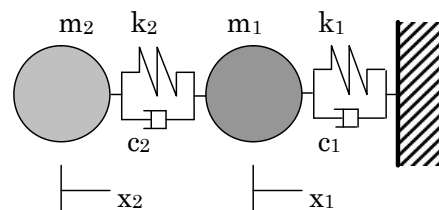


図4 解析モデル

初期条件は、 $t=0$ で $\ddot{x}_2=0, \dot{x}_2=v_0, x_2=0, \ddot{x}_1=0, \dot{x}_1=0, x_1=0$.

マトリックス表示すると時刻 t での釣合いは次式となる.

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{C}\dot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{K}\mathbf{x}(t) = \mathbf{0} \quad (2)$$

線形加速度法の一般的な解析法として、ニューマーク(Newmark)の β 法を用いた. なお、ニューマーク β 法の β 値として $1/6$ を用いた.

上記関係を用いて、車輪および軌道の変位時刻歴を計算する.

4. 解析結果

軌道部の質量、ばね係数、減衰係数のパラメータを変化させることにより、解析から得られた車輪および軌道の変位が実験結果に合うように求めたパラメータを表1に示す. 表1のパラメータを用いて計算した時刻と車輪の左右変位の関係の解析結果と実験結果を比較した図を図5、図6に示す. ただし、今回の実験および解析条件は、まくらぎの左右変位（バラストのばね）は拘束しており、車輪の衝突速度は 1300mm/s 強である.

表1 設定パラメータ

解析 No.	1	2
衝撃位置	まくらぎ直上	レール締結中間
軌道の有効質量(kg) m_1	300	300
車輪質量(kg) m_2	1800	1800
軌道ばね係数(N/m) k_1	1.20×10^7	1.00×10^7
レール車輪接触ばね係数(N/m) k_2	2.00×10^{11}	2.00×10^{11}
軌道減衰係数(N・s/m) c_1	1.00×10^4	1.00×10^4
レール車輪接触減衰係数(N・s/m) c_2	1.00×10^8	1.00×10^8

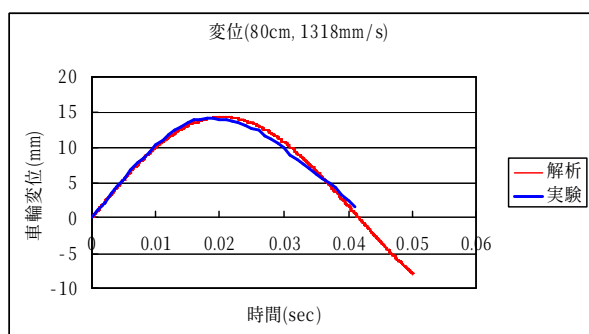


図5 実験と解析の結果比較 (No.1)

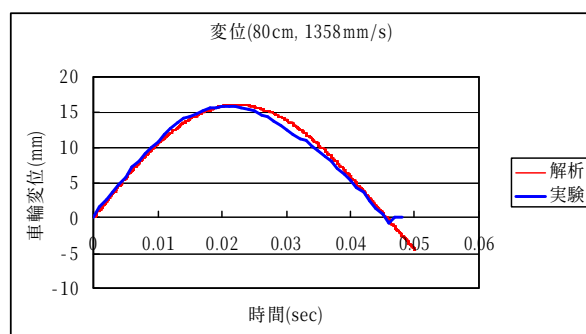


図6 実験と解析の結果比較 (No.2)

5. おわりに

今回、軌道の左右方向のパラメータを推定するため、簡単な質点モデルで軌道をモデル化することを試みた. 今後も引き続き解析手法の深度化を図っていきたい.

参考文献 土木学会構造工学委員会；衝撃実験・解析の基礎と応用，2004.3，土木学会