

構造物の非線形応答を考慮した地震時走行性に関する解析

鉄道総合技術研究所 正会員 ○松本 信之
 鉄道総合技術研究所 正会員 曾我部 正道

1. はじめに

車両と構造物との動的相互作用解析プログラムを用いて、地震動に対する構造物上の車両走行性について検討を行った。構造物の非線形応答を考慮した場合と考慮しない場合の違いについて比較を行った結果を示す。

2. 解析方法

解析には図1に示すような鉄道車両と構造物との動的相互作用解析プログラム（DIASTARS）を用いた。本プログラムでは車両を31自由度の振動系で、また、構造物は有限要素でモデル化するものであり、車両内の車体・台車間のストッパーの非線形性、車輪のレールからの浮上り、構造要素の履歴非線形性（標準トリリニア形）などを考慮している。

車両モデルは、軽量の新幹線車両の諸元を参考にして車体質量、結合ばね定数などを定めた。主な数値を表1に示す。車輪モデルの形状は、円錐踏面に鉛直フランジがついたものを用いている。また、車輪レール間の作用力としては、水平方向には転がり摩擦力（クリープ力）、鉛直方向にはヘルツの接触力を考慮している。走行速度は260km/hとした。

構造モデルは、図2に示すように上部構造を梁要素で、また、下部構造を結合ばね要素（標準トリリニアモデル）でモデル化し、目的とする固有周期を得るために結合ばねの剛性を変化させている。

構造物の非線形応答特性の違いによる走行性への影響をみるために、線形モデル（モデルA）のほか、降伏震度0.4の非線形モデル（モデルB）および降伏震度0.3の非線形モデル（モデルC）の3種類のモデルについて検討を行った。これらのモデルに用いた構造諸元は、表2に示すように定めた。

構造モデルの基礎部に入力する地震動としては、鉄道設計標準（耐震設計）に示されている構造物の機能維持に対する照査を行うために示されているL1地震動適合波（G3地盤用）の主要動40秒間の波形を用い、この振幅のみを伸張して構造モデル全体を同位相で加振した。

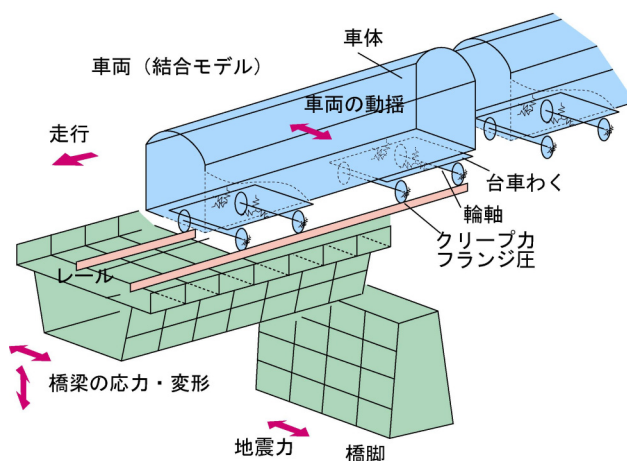


図1 車両と構造物との動的相互作用プログラムの概念図

表1 車両モデルの主な諸元

名 称	記号	単位	数値
半車体重量	W	t	16.0
台車枠重量	W_T	t	3.04
輪軸重量	W_w	t	1.78
左右枕ばね定数	K_2	kN/m	177
同減衰係数	C_2	kN·s/m	39.2

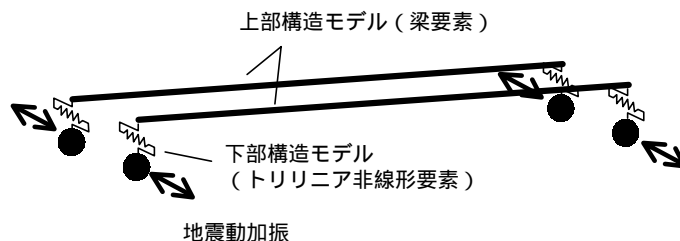


図2 構造モデル

キーワード 鉄道構造物，動的相互作用解析，地震，走行性

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 鉄道総合技術研究所 構造力学研究室 E-mail: nobel@rttri.or.jp

3. 解析結果

L1地震動適合波を図2に示した構造モデルの基礎部に入力し，その入力加速度を変化させた場合の車輪上昇量の推移を構造物の固有周期0.5, 1.0, 2.0秒を例として図3に示す。図3から，構造物の固有周期 T が0.5秒の場合は，非線形モデル（モデルB, C）の方が車輪上昇を開始する入力加速度が大きくなることが分かる。次に， T が1.0秒の場合は，線形モデル（モデルA）とモデルBでは，車輪上昇を開始する入力加速度はほぼ同じであるが，車輪上昇の度合いが異なること，モデルCでは車輪上昇開始加速度が大きくなるとともにその度合いが小さくなることが分かる。また， T が2.0秒の場合は，車輪上昇を開始する入力加速度はほぼ同じであるが，モデルCでは上昇度合いがかなり低減されていくことが分かる。

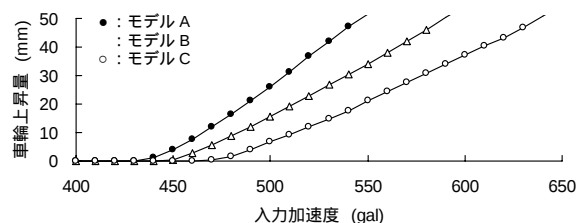
車輪上昇量25mmを目安として，3つのモデルによる走行限界曲線を構造物の固有周期と入力加速度（地表面の加速度）との関係を用いて図4に示す。同図には，モデルBおよびCが降伏する時の地表面加速度も参考に示している。図4から，モデルBでは，固有周期 T が1.1秒以上では弾性構造物上の走行限界に至るまで構造物の降伏が生じないので，限界値はモデルAと同じであるが， T が1.1秒以下では構造物が非線形化することにより限界値の上昇がみられる。また，モデルCでは，全周期領域で弾性構造物上の走行限界値にいたる以前に構造物の降伏が生じるため，走行限界曲線が総じて上昇することがみられる。このように同じ大きさの地震に対して，構造物が非線形化することにより走行性に対して有利になることがみてとれ，特に T が1.5秒以上では顕著であるが，このような長周期の構造物においては変位が大きくなるため，角折れ・目違いの観点からの検討が別途必要であると考えられる。

4. まとめ

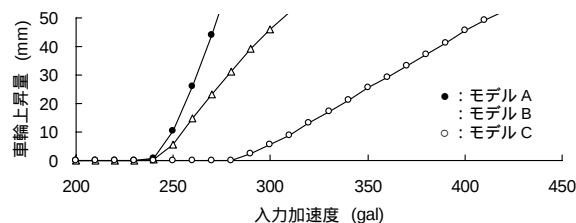
車両と構造物との動的相互作用解析プログラムを用いて地震動に対する構造物上の車両走行性の検討を行い，車輪上昇量を目安とする走行限界曲線を示した。これより，同位相の地震動を構造物基礎部に入力して解析を行った場合には，構造物が非線形化することにより走行限界曲線を与える入力加速度が上昇することが得られた。

表2 構造モデルの主な諸元

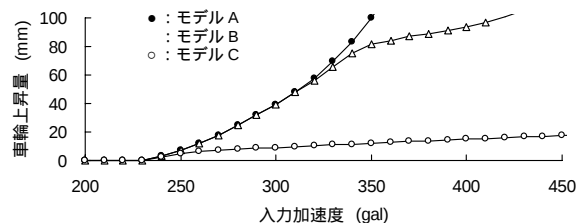
項 目	モデルA	モデルB	モデルC
降伏震度 K_h	-	0.4	0.3
第2降伏震度 K_{h2}	$1.2 K_h$		
初期剛性 K_1	$K_1 = 4\pi M / T^2$ M : 上部構造質量 T : 初期固有周期		
第2剛性 K_2	-	$0.2K_1$	
第3剛性 K_3	-	$0.05K_1$	
減衰定数 ζ	0.05		



(a) 構造物の固有周期 $T=0.5$ 秒の場合



(b) 構造物の固有周期 $T=1.0$ 秒の場合



(c) 構造物の固有周期 $T=2.0$ 秒の場合

図3 最大入力加速度と車輪上昇量との関係

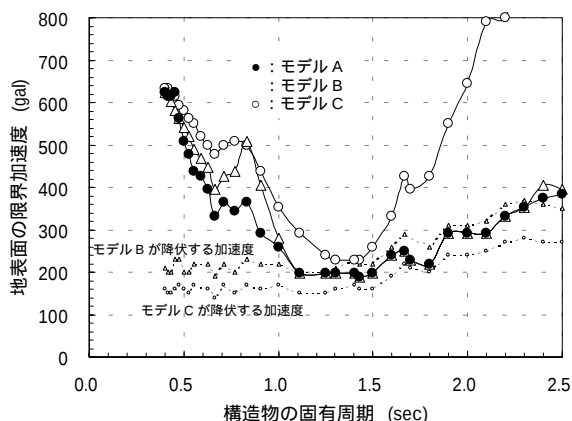


図4 地表面加速度でみた走行限界曲線に対する構造物の非線形性の影響