

神戸大学大学院 フェロー 川谷 充郎 北海道大学大学院 正会員 何 興文
 神戸大学大学院 学生員 山崎 基記 神戸大学大学院 学生員 ○糸尾誠一郎

1. 研究の目的 著者らはこれまでの一連の研究において、高速鉄道高架橋—列車連成系の線形地震応答解析手法を確立し、橋梁と列車連成系の地震応答は橋梁および列車の振動特性、さらに地震動の特性に応じて非常に複雑になることを示してきた^{1), 2)}。これまでの解析における列車モデルについて、影響が小さいことから車両間の連結を考慮していない。しかし、将来大地震時橋梁—列車連成系の相互作用を検討する際に、車両間の相対運動が大きくなる可能性があり、連結の影響も考慮する必要がある。そこで本論文では、車両間連結を考慮した橋梁—列車連成振動を定式化し、車両連結の有無、連結ばね定数の違いによる走行列車の動的応答への影響を検討する。

2. 車両間連結を考慮した橋梁—列車連成振動解析

2.1 解析手法 高架橋を三次元有限要素でモデル化し、列車は15自由度質点—ばね振動系モデルとする。橋梁の振動方程式にモード解析法を適用し、車両との連成振動を定式化¹⁾し、Newmark-β 逐次積分法により動的応答を求める。

2.2 橋梁モデル 対象橋梁はRC ラーメン高架橋の三連(72m)とし、レール構造と共に Fig.1 に示すように、全て一節点6自由度を有する三次元はり要素でモデル化する。地盤での境界条件について、実測に基づく地盤ばねを考慮する。橋梁の減衰はレイリー減衰を用い、1次と2次振動モードに対して減衰定数を0.05とする。

2.3 列車モデル 車両一両について、車体および前後台車の鉛直、水平、各軸回りの回転運動を考慮する15自由度振動系にモデル化する (Fig.2 参照)。車両間の連結を考慮するために、連結ばねを車両間の水平、鉛直方向に設定し、上下・左右および各軸回りの回転に関する車体の振動方程式を例示する。ここで、 j は車両番号、 l は車体振動に関し1:前車、2:後車、 k は前後台車に関し1:前軸、2:後軸を示す。 $v_{jxlm}(t)$, $v_{jylm}(t)$, $v_{jzlm}(t)$ は、 x, y, z 方向のばね変形によって発生する作用力であり、 $v_{jyc}(t)$, $v_{jzc}(t)$ は連結ばねの変形によって発生する作用力である。

2.4 解析ケース 列車(16両編成, 270km/h)が75mの助走を経て対象橋を通過する際の連成振動解析を行い、最後尾車両の車体加速度応答と15・16両

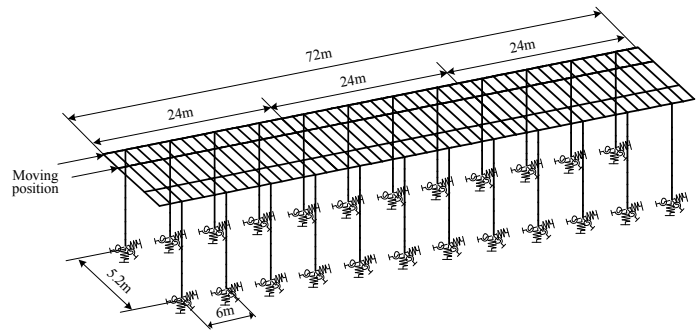


Fig.1 Bridge model

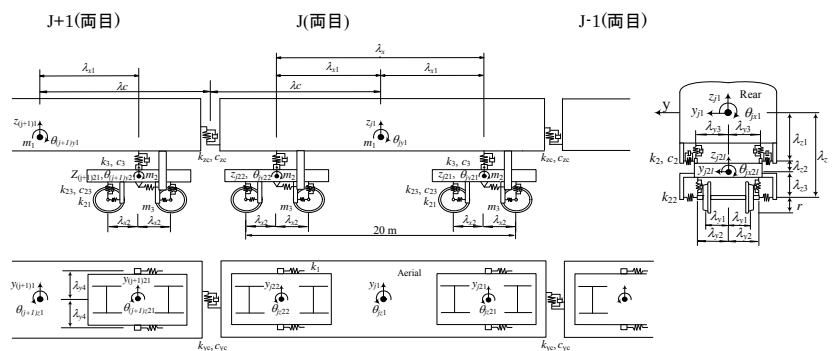


Fig. 2 15 DOF train model with connection

<車体の振動方程式>

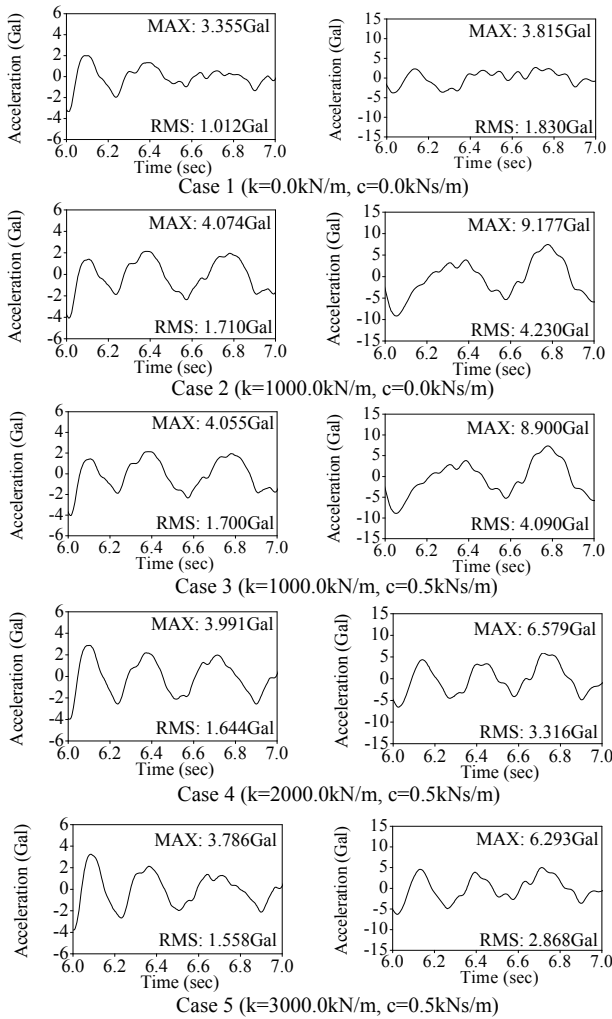
$$m_1 \ddot{y}_{j1} - \sum_{l=1}^2 \sum_{m=1}^2 (-1)^m v_{jylm}(t) - \{v_{(j-1)yc}(t) - v_{jyc}(t)\} = 0$$

$$m_1 \ddot{z}_{j1} + \sum_{l=1}^2 \sum_{m=1}^2 v_{jzlm}(t) + \{v_{(j-1)zc}(t) - v_{jzc}(t)\} = 0$$

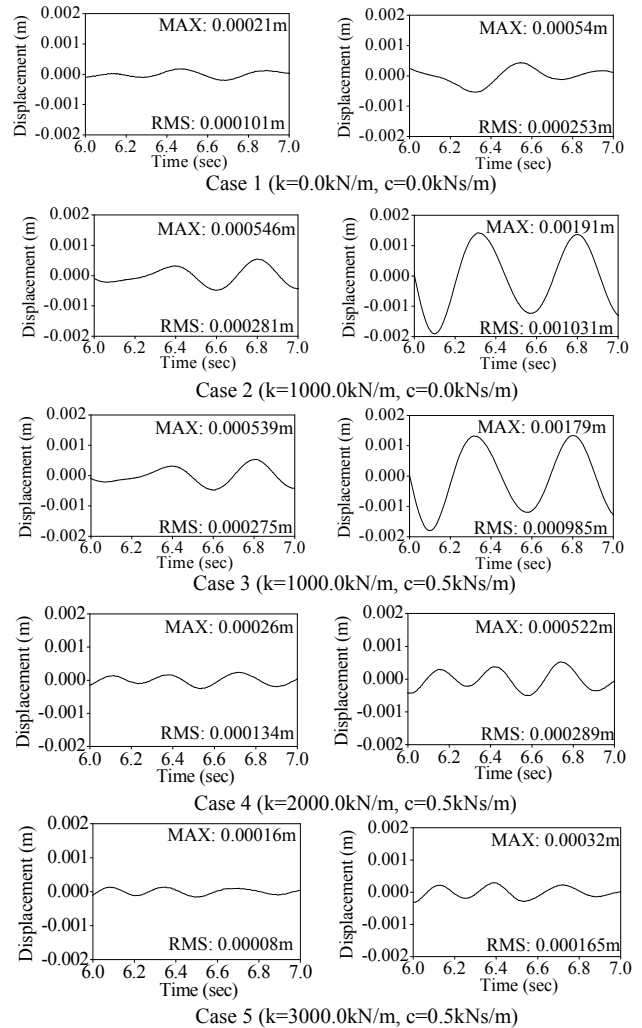
$$I_{x1} \ddot{\theta}_{jx1} - \sum_{l=1}^2 \sum_{m=1}^2 (-1)^m \lambda_{y3} v_{jzlm}(t) - \sum_{l=1}^2 \sum_{m=1}^2 (-1)^m \lambda_{z1} v_{jylm}(t) = 0$$

$$I_{y1} \ddot{\theta}_{jy1} + \sum_{l=1}^2 \sum_{m=1}^2 (-1)^l \lambda_{x1} v_{jzlm}(t) - \lambda_c \{v_{(j-1)zc}(t) + v_{jzc}(t)\} = 0$$

$$I_{z1} \ddot{\theta}_{jz1} + \sum_{l=1}^2 \sum_{m=1}^2 (-1)^{l+m} \lambda_{x1} v_{jylm}(t) + \sum_{l=1}^2 \sum_{m=1}^2 (-1)^m \lambda_{y4} v_{jxlm}(t) - \lambda_c \{v_{(j-1)yc}(t) + v_{jyc}(t)\} = 0$$



Horizontal Vertical
Fig.3 Acceleration of the centroid of 16th car body



Horizontal Vertical
Fig.4 Relative displacement of car bodies

間の車体連結端部の相対変位に着目する。解析時間は全車両通過が必要な7秒とするが、結果については最後尾車両が高架橋を通過する1秒間に着目する。連結ばねの定数については、参考文献³⁾による数値を基準にばね定数を変化させた5ケースを設定し解析を行う。

3. 解析結果 各解析ケースにおける最後尾車両の車体加速度応答を Fig. 3 に示す。車両連結を考慮することによって、最後尾車両の車体加速度は水平・鉛直方向ともに増加することが分かる。これは連結による車両間の拘束による現象であると考えられる。また、解析ケースごとの比較より、連結ばね定数を上げると拘束力の増加に伴い、車体加速度は MAX 値 RMS 値ともに小さくなる傾向にあることが確認できる。次に 15 両目と 16 両目の車体連結端部相対変位について Fig. 4 に示す。連結を考慮することで変化することは確認できるが、その大小関係は連結ばね定数によって複雑であり、特に鉛直方向での変化量が大きいことが分かる。これは軌道狂いの鉛直成分が大きく影響していると考えられる。さらに解析ケースによっても差があり、連結ばね定数を増加させると MAX 値 RMS 値ともに減少する傾向にあり、車体加速度応答の傾向と一致する。

参考文献

- 1) Xingwen HE, Mitsuo KAWATANI, Ryo SOBUKAWA and Seiji NISHIYAMA: Dynamic Response Analysis of Shinkansen Train-Bridge Interaction System Subjected to Seismic Load, Proc. of 4th International Conference on Current and Future Trends in Bridge Design, Construction and Maintenance, pp.1-12 (CD-ROM), Kuala Lumpur, Malaysia, October, 2005.
- 2) 川谷充郎・何興文・山崎基記：鉄道高架橋地震応答における列車荷重の動的影響評価，鋼構造年次論文報告集 第17巻，pp. 451-458， 2009. 11.
- 3) 松本信之・田辺誠・涌井一・曾我部正道：非線形応答を考慮した鉄道車両と構造物との連成応答解析法に関する研究，土木学会論文集 A Vol. 63, No. 3, pp.533-551, 2007. 7.