高速鉄道高架橋地震応答における列車載荷の影響

神戸大学大学院	フェロー	川谷	充郎	神戸大学大学院	学生員	何	興文
神戸大学大学院	学生員	山口	将	神戸大学大学院	学生員	品川	恒平
(株)日建設計シビル	正会員	西山	誠治	東海旅客鉄道(株)	正会員	吉田	幸司

1.まえがき 険神大震災や新潟県中越地震において, 鉄道高架橋等の構造物が広範で深刻な被害を被った. 鉄道高架橋の耐震設計において,慣性力の算定に用い る列車荷重は,従たる変動荷重として定義し,橋梁構 造物の付加質量として扱っている.しかし,実際に列 車は非常に複雑な振動系であり,橋梁の地震応答に対 する動的影響はさらに検討する必要がある.性能照査 に基づく設計体系においては,列車荷重の適切な動的 影響を考慮できれば,より安全かつ経済的な構造物の 設計が期待できる.本研究では,橋梁-列車-地震連 成解析手法^{1),2)}を用い,高速鉄道高架橋の地震応答にお ける列車の動的影響を評価する.

<u>2.橋梁 - 列車連成系の地震応答解析</u> <u>2.1 解析手法</u>

高架橋を三次元有限要素でモデル化し,振動系であ る車両との連成振動の微分方程式をモード法により定 式化する.地震作用について,地震波の位相差を無視 し,橋脚基礎における地震加速度による慣性力を橋梁 および車両モデルの各質点に同時に作用するものとす る.動的応答は Newmark- 法を用いる逐次積分により 求める¹⁾.

2.2 橋梁モデル 対象橋梁は鉄筋コンクリートの ラーメン高架橋(一連 24m)の三連(72m)とし, レール構 造と共に Fig.1 に示すように,すべて一節点6自由度を 有する三次元はり要素でモデル化する.質量は節点集 中質量とする.なお,レールと橋梁構造の間および橋 脚下端部において、それぞれ枕木・バラストと地盤の 影響を考慮するために二重節点を定義し,それらの間 にばねを設ける.Fig.1 で示す三連モデルの中央ブロッ クにおける Central point (ブロック中央節点) について 橋梁の加速度応答を評価する.なお,橋梁の一次固有 振動モード(橋軸直角水平モード)の周期は 0.455 秒 で,列車質量を付加する場合は 0.472 秒となる.橋梁 モデルの減衰については,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0.03とする. 2.3 列車モデル 車両一両について,車体および台 車の上下,左右および各軸回りの回転運動を考慮し, Fig.2 に示す 15 自由度振動系にモデル化する.ここで 車輪とレールは変位を同一と仮定する.













キーワード:地震応答解析,耐震設計,高速鉄道,連成振動解析

連絡先:〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻 Phone:078-803-6383, Fax: -6069



Fig. 4 Acceleration responses of the bridge (Horizontal)

2.4 地震波 本解析に用いる地震波は,橋梁の地盤条件に応じた K-net による観測地震波から,加速度応答スペクト ル特性が異なる三波を選ぶ.Fig.3 は 2003 年 9 月 26 日に北海道勇払郡穂別町(Ground motion 1), 2005 年 3 月 20 日に 佐賀県佐賀市栄町(Ground motion 2),および 2000 年 10 月 6 日に岡山県岡山市新屋敷町で記録された地震波の水平(EW or NS)および鉛直(UD)成分をそれぞれ示す.水平成分の応答スペクトルを求める際の減衰定数も 0.03 とする.解析 に当たって,実際の状況を想定して水平および鉛直両方向について地震荷重を作用させる.解析時間は 30 秒とする. 2.5 解析ケース 列車の動的効果を評価するために以下の四ケースを設定し解析を行う.Case-1:列車荷重を考慮し ない橋梁のみの地震応答解析;Case-2:列車荷重を橋梁の付加質量とする.三連高架橋に対し,列車三両を橋梁中央に 静止している状況を想定し,それぞれの車輪位置に軸重の半分に相当する質量を橋梁に付加する;Case-3:列車荷重を 橋梁上に静止する動的システムとする.ここで,Case-2 と同じく三連高架橋の上に列車三両を橋梁中央に静止している とする;Case-4:列車が高架橋上を走行する状態を想定する.列車の走行速度は営業速度の 270 km/h(75m/s)とする. ここで,通常の 16 両編成の列車は非常に速い時間で 72m の橋梁を通過するため,橋梁 - 車両連成系の地震応答を十分 に評価できない.そこで本解析では,地震動を受ける間に列車が絶えず橋梁上を走行しているとする.

3. 解析結果 橋梁の応答は,橋軸直角水平方向について Central point における加速度応答を Fig.4 にその最大値および RMS 値さらにフーリエスペクトルと共にそれぞれ示す.全体的に車両が振動系とする場合に橋梁のみの場合の地震応答より小さく,車両がダンパーとして働く現象を確認できる.列車荷重を付加質量とする場合に,Ground motion 1 において橋梁のみの場合より大きい応答を示しているが,Ground motion 2 と 3 において小さい応答となっており,特に Ground motion 3 において列車を振動系とする場合よりも小さい応答を示している.これらの傾向は,車両の影響や地震波のスペクトル特性が影響している.これは列車を単なる付加質量とする場合に橋梁の地震応答を過大評価だけでなく,過小評価する可能性もあることを示唆している.これらの解析結果から,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が伺える.

4. まとめ 本研究では,橋梁 - 列車 - 地震連成解析により,鉄道高架橋地震応答における列車の動的影響を評価した。橋梁の地震応答を正確に評価するために,列車は単純に付加質量ではなく振動系として考慮する必要性を示した。

謝辞:本研究は,(独)日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(B)No. 17360213 および平成17年度(財)ひょうご科学技術協会一般学術研究助成金の補助を受けたまた、防災科学技術研究所が運営しているK-netの地震波データを利用させて頂いた. ここに感謝の意を表す.

参考文献:

¹⁾ X. He, M. Kawatani, R.Sobukawa and S. 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, Kuala Lumpur, Malaysia, 10-11 October 2005.

²⁾ 川谷充郎・何 興文・西山誠治・吉田幸司・山口 将:高速鉄道高架橋-走行列車連成系の地震応答解析,土木学会 61 回年次学 術講演会講演概要集,I-502,2006.9.