

曲線桁高架道路橋・車両連成系の線形・非線形解析による耐震性能評価

神戸大学大学院 フェロー 川谷 充郎 京都大学大学院 正会員 金 哲佑
神戸大学大学院 学生員 ○横山 晋矢

1. 序論 現行の道路橋耐震規定では自動車荷重との組合せは考慮されていない。しかし、近年都市部高速道路では慢性的な交通渋滞が発生しており、その実態を考慮すると地震時に車両が載荷されている場合の検討も必要と考える¹⁾。本研究では車両が載荷されている状況を考慮し、レベル1,2地震作用下における耐震性能1,2に対する耐震性能評価を行う。対象橋梁は都市部高速道路で用いられ、湾曲する構造や支承の配置方向などの影響により動的応答が複雑となる曲線桁高架橋とする。耐震性能1は「地震によって橋としての健全性を損なわない性能」、耐震性能2は「地震による損傷が限定的なものに留まり、橋としての機能の回復が速やかにい行得る性能」と定義する³⁾。

2. 解析モデル **2.1 橋梁モデル** 橋梁モデルは林川らの論文²⁾より、2径間連続曲線桁高架橋とする(**Fig.1**)。上部構造は橋長80m、主桁曲率半径100m、10,000m、総重量6,815kNの鋼I型断面3主桁とする。橋梁左右端を結ぶ方向をX方向、その方向に水平直角方向をY方向、鉛直方向をZ方向とし、可動支承の可動方向はX方向とする。橋脚は高さ20mの正方形箱型断面を有する鋼製橋脚とし、橋脚の基礎は十分に剛で、固定とする。隣接径間の影響を考慮するために、左端と右端の橋脚天端に隣接径間の上部工質量の半分を付加する。線形解析はモード法を用い、モード次数は車両載荷ケースにより異なるがX, Y, Z方向の有効質量比のそれぞれの合計が90%以上となるモード次数まで考慮する。非線形解析は直接積分法を用い、降伏モーメントを $0.85 \times 10^5 (\text{kN} \cdot \text{m})$ 、剛性低下率を0.01とするバイリニア型のM- ϕ 関係を橋脚に与える。減衰はレイリー減衰、1次と2次のモードに対する減衰定数は0.05とし、線形・非線形解析ともに積分時間間隔は0.001secとする。

2.2 車両モデル 大型ダンプトラック(20t)を有限要素により振動系車両としてモデル化する(**Fig.2**)。車両の載荷状態はCase-1: 車両無載荷, Case-2: 付加質量系車両(橋梁に10台分の質量を付加), Case-3: 振動系車両停車(10台停車)とする。車両を載荷させる場合、渋滞を想定し、車両満載状態となる10台分載荷させる。車頭間隔8m、載荷位置は幅員中央(**Fig.3**)とする。

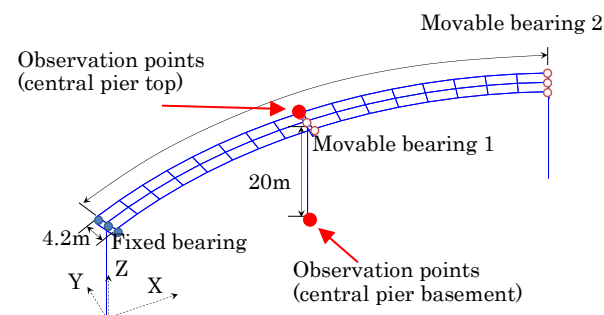


Fig. 1 2-span curved highway viaduct

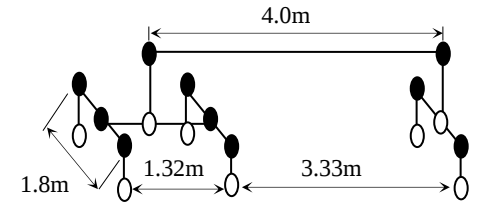


Fig. 2 Vehicle model

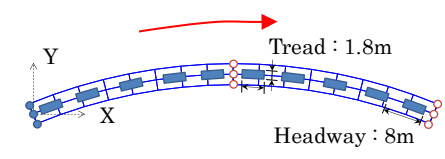


Fig. 3 Traffic loads on viaduct

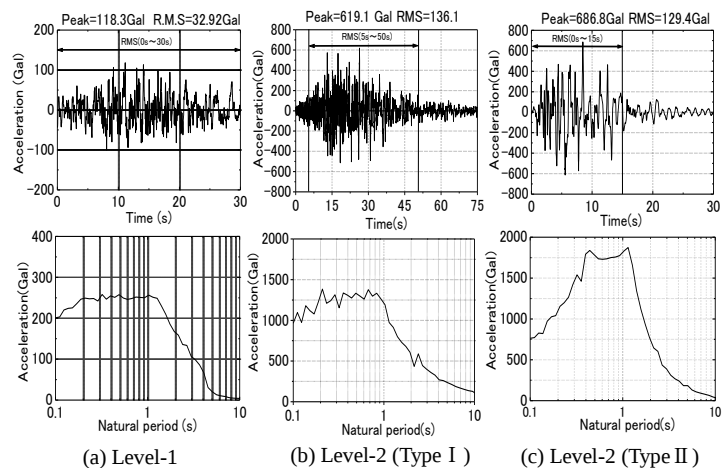


Fig. 4 Ground motions in JRA code (Level-1,2) and seismic response spectra of acceleration : moderate soil site (Group-II)

キーワード 曲線桁高架橋, 車両載荷, 非線形解析, 曲率半径, 耐震性能評価

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 078-803-6278

2.3 地震波 地震波は道路橋示方書³⁾に規定されているレベル 1, 2 地震動のⅡ種地盤の振幅調整波とし、加速度応答スペクトルと共に **Fig. 4** に示す。また、レベル 2 地震においてはタイプⅠ(プレート境界型)およびタイプⅡ(内陸直下型)の 2 ケース用いる。地震波入力方向は Y 方向および Z 方向(水平成分の半分)とする。

3. 耐震性能評価 3.1 評価方法 耐震性能 1 に対する評価方法は鋼材の降伏応力($=235.4(\text{N}/\text{mm}^2)$)と部材の断面力により生じる応力を比較することにより照査を行う。また、耐震性能 2 に対しては中央橋脚 P2 天端における時刻歴応答変位および地震後に生じる残留変位に着目し、さらに最大応答値が許容値以下となるよう照査を行う。

3.2 耐震性能 1(照査結果) 着目点は最も被害が生じやすい中央橋脚 P2 基部とする。**Fig.5** に曲率半径 $R=100\text{m}$ 、レベル 1 地震のときの照査結果を示す。3 つのケースにおいて降伏値を下回る結果となり、耐震性能 1 の性能を有していると言える。これらの結果は曲率半径 $R=10,000\text{m}$ においても同様のものとなる。

3.3 耐震性能 2 (照査結果) 3.3.1 残留変位照査 着目点は中央橋脚 P2 天端とし、許容残留変位値は道路橋示方書より橋脚高さの $1/100(=20\text{cm})$ とする。曲率半径 $R=100\text{m}$ 、レベル 2 地震(TypeⅡ)のときの照査結果を **Fig.6(ii)** に示す。残留変位値は許容値を下回る結果となり、耐震性能 2 の性能を有していると言える。この結果は TypeⅠ地震波および曲率半径 $R=10,000\text{m}$ においても同様の結果となる。

3.3.2 時刻歴応答変位照査 道路橋示方書より限界変位値は水平力が最大となる時の変位を目安に設定する(**Fig.6(ii)**の Limit deflection)。 **Fig.6(ii)** に示すように時刻歴応答変位値は Limit deflection 値を上回る結果となり、TypeⅠ地震波および曲率半径 $R=10,000\text{m}$ においても同様の結果となる。

4. 結論 レベル 1 地震では曲率半径および車両載荷状態に関係なく耐震性能 1 の性能を有していると言える。レベル 2 地震では履歴ループおよび残留変位が発生し、橋脚に損傷が生じていることが確認できる。耐震性能 2 に対する照査では最大変位が限界値を超える場合がある。

【参考文献】

- 1) Wibowo, H., Sanford, D.M., Buckle, I.G., and Sanders, D.H.: Effects of Live Load on Seismic Response of Bridges: A Preliminary Study, Civil Engineering Dimension, Vol. 14, No.3, December 2012 (Special Edition), 166-172.
- 2) 林川俊郎, 大嶽敏郎, 中島章典, 佐野雅章: 3 成分大地震動を受ける連続曲線高架橋の非線形応答解析, 構造工学論文集, Vol.45A, pp.849-858, 1999.3.
- 3) 日本道路橋協会: 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 2012.3.

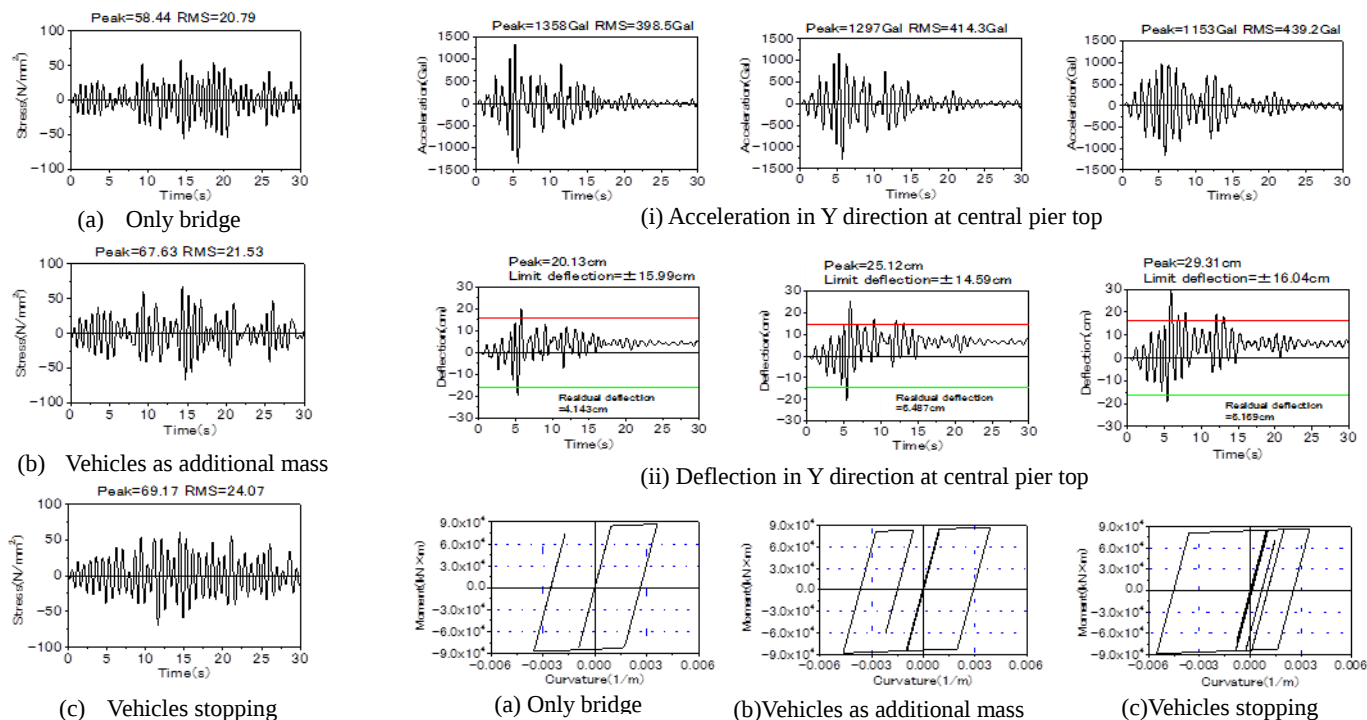


Fig.5 Stress at pier basement
(Level 1, Curvature radius: 100m)

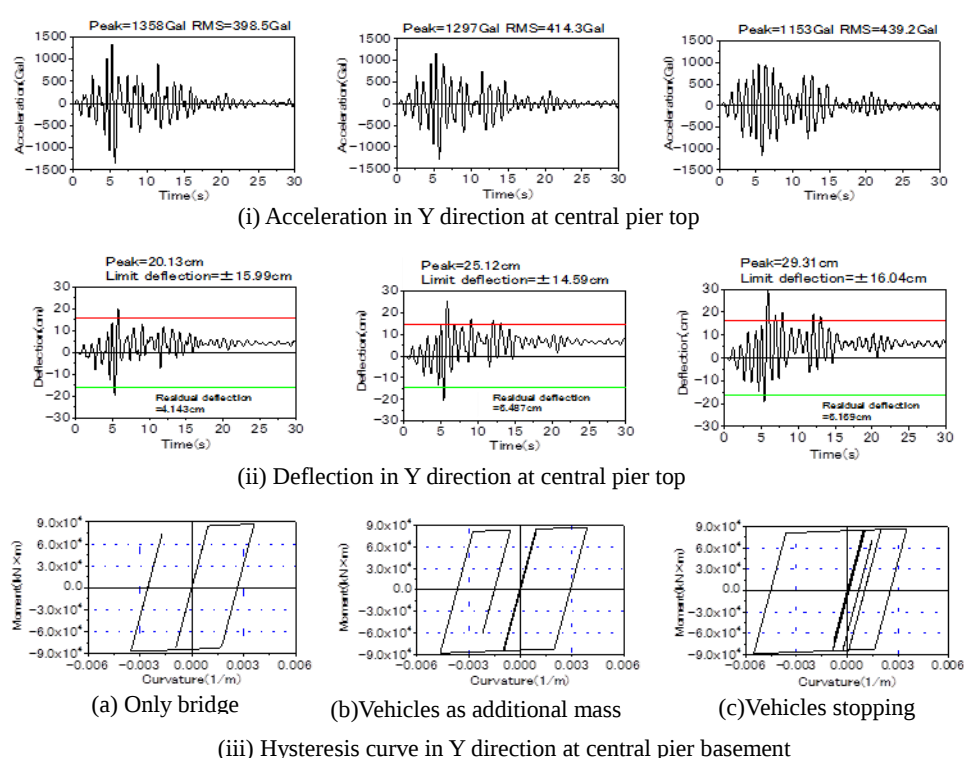


Fig.6 Analysis result (Level 2-TypeⅡ, Curvature radius: 100m)