

偏載荷重を受ける鉄道駅部RCラーメン高架橋の耐震設計（その2）

阪急設計コンサルタント(株) 正会員 ○山口 武志 正会員 五貫 慎
パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 松橋 宏治

1. はじめに

大都市部における鉄道連続立体交差事業において、構造計画に際し立地条件や用途の影響を多分に受けたために、構造物に載荷される荷重が構造物の剛芯に対して大きく偏芯した（以下、偏載荷重と言う）駅部 RC ラーメン高架橋の耐震設計事例を報告する。本稿はこの内、3 次元非線形動的骨組み解析による耐震性能照査について述べる。

2. 検討の背景

本構造物の一般形状寸法を図-1に示す。標準的な形状を有するラーメン高架橋の耐震設計では、一般に立体骨組み構造である高架橋を骨組み成分毎に二次元骨組みに置換して応答値を算定する。この時、各骨組み成分に働く慣性力は理論解¹⁾により算定するが、これは床スラブと一体で作られた高架橋上層部が面内変形

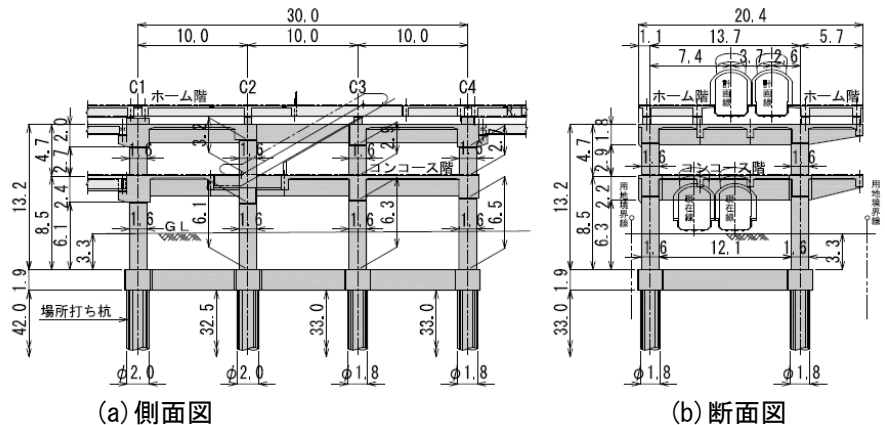


図-1 一般構造寸法 (単位: m)

に対して剛であると仮定したものであるため、床スラブに開口がある場合や、柱の長さが著しく異なる場合などへの適用は困難となる。また、本構造物は著しい偏載荷重を受けており、このような高架橋では地震時に平面的なねじり等の三次元的な挙動が無視できなくなることが指摘されている。また、高架橋に3次元の挙動が生じ、柱に大きなねじりモーメントが発生すると柱の変形性能が低下するため、設計に際して留意が必要となることが報告されている³⁾。これらのことから、本構造物の耐震性能照査は3次元非線形動的骨組み解析により行うこととした。

3. 解析モデル

解析モデルは、部材を線材およびシェルに、基礎杭周辺地盤の抵抗を地盤ばねにモデル化する。図-2 に解析モデル図を示す。線材には鉄道 RC 標準¹⁾に従った非線形特性を部材軸に直行する 2 方向に対して考慮した。ただし、床スラブと一体の梁部材の水平方向は全断面有効の線形部材としている。また、柱および杭には軸力に対する曲げ耐力相関を考慮したが、二軸曲げ相関は考慮していない。地盤ばねは、杭部材軸方向および部材軸に直行する 2 方向（橋軸方向および橋軸直角方向）に対し、鉄道耐震標準²⁾に示されるバイリニア型のばねとした。荷重は死荷重および列車荷重（単線）を考慮し、これらに相当する集中質量を図-2 の解析モデル各節点に配置し、構造物前後の桁については支点反力に相当する質量によりモデル化した。また、要素の減衰定数は RC 部材および地盤ばねともに 5%とした。

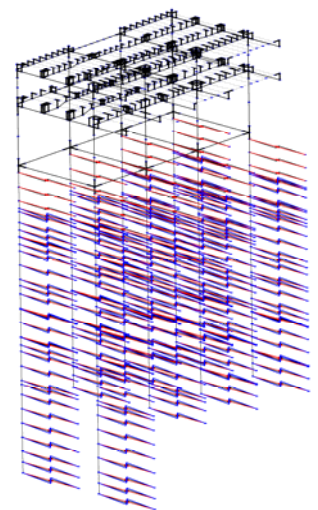


図-2 解析モデル図

4. 固有值解析

固有値解析による 1 次および 2 次のモードを図-3 に示す。図-3(a)より 1 次モード (T=0.584 秒)は橋軸直角方向への振動モードで、各ラーメン列ではほぼ均等に振動するモードとなっている。図-3(b)より、2 次モード(T=0.460 秒)は橋軸方向への振動モードであるが、構造物全体が平面的にねじれるモードを示している。

キーワード RC ラーメン高架橋 偏載荷重 耐震設計 3次元動的解析 ねじりモーメント

連絡先 〒530-0012 大阪府大阪市北区芝田1丁目4番8号北阪急ビル 阪急設計コンサルタント(株) TEL06-6359-2755

5. 動的応答解析

入力地震動には、鉄道構造物の設計地震動を用いた。まず、鉄道耐震標準³⁾に示される耐震設計上の基盤面における加速度波形を用い、構造物立地地点の表層地盤に対する一次元的動的応答解析により図-4に示す地表面波を算定し、これを図-2に示すモデルに単一入力した。

次に、L2地震動に対する動的解析結果を示す。図-5は、構造物天端の応答変位波形を、構造物の左右および前後の応答差に着目して示している。図-5(a)は、橋軸方向加振での橋軸方向応答変位で、構造物の左右で最大応答値に10mm以上の差が生じており、平面的なねじり挙動が生じていることを示す。一方、図-5(b)は橋軸直角方向加振での橋軸直角方向応答変位で、構造物前後の応答差は2mm程度で、橋軸方向加振に比べねじり挙動は小さかった。次に、図-6には各柱の最大ねじりモーメントを示した。図-6より、橋軸方向加振の下層柱で特に大きなねじりモーメントが発生している。また、純ねじり耐力 M_{tcd} は1500kN・m程度で、ほぼ全ての柱で照査が省略できる $0.2 \cdot M_{tcd}$ ¹⁾(=300kN・m)を超える結果であった。

6. 耐震性能の照査結果

本設計ではまず、2次元静的非線形解析に基づく一般的な耐震設計法により仮定した部材断面に対し、3次元非線形動的解析による照査を実施した。その結果、橋軸直角方向加振においてC1、C4列の下層柱、およびC3列の上層柱でねじりモーメントに対する照査を満足しなかった。ここで、C1、C4列の下層柱で照査を満足しなかったのは、曲げモーメントを同時に受ける場合のねじり耐力 M_{tud} に対してである。これは、応答変位が大きな橋軸直角方向加振では、下層柱の応答曲げモーメントが曲げ耐力 M_u に近くなり、このような場合にねじり耐力 M_{tud} が小さくなる設計式¹⁾であるため、補強は曲げ耐力 M_u を増加させる軸方向鉄筋の追加で対処した。また、C3列の上層柱では、せん断力を同時に受ける場合のねじり耐力 M_{tud} に対して照査を満足せず、現実的に可能な範囲の補強で照査を満足させることはできなかった。上層柱は $a/d=1$ 程度の極短い柱で、せん断力に対する照査結果に余裕がなく、設計式¹⁾で算定されるねじり耐力 M_{tud} も極小さい。照査を満足させるための断面増加等が困難であったため、上層柱のねじりへの対応が課題として残った。

7. まとめ

大きな偏載荷重を受けるRCラーメン高架橋に対し、3次元非線形動的解析による耐震性能照査を実施した結果、柱に大きなねじりモーメントが生じ、一般的な2次元静的非線形解析による設計法で仮定した部材断面に対してねじりに対する補強が必要となった。

参考文献 1)鉄道総研：鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構

造物,2004.1 2)田所他：ねじりと曲げを受けるラーメン高架橋柱の変形性能と地震被害,土木学会論文集 E2,Vol.68,No.3,166-177.2012. 3)鉄道総研：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計,1999.10

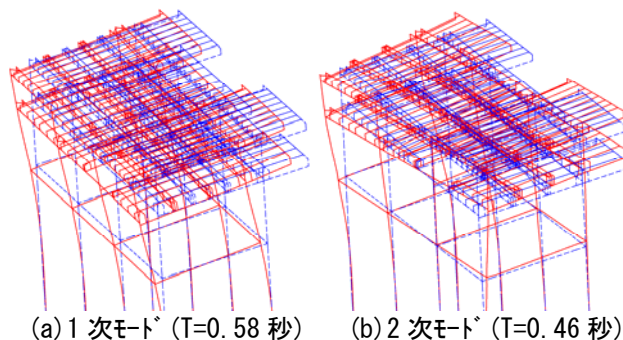


図-3 固有モード図

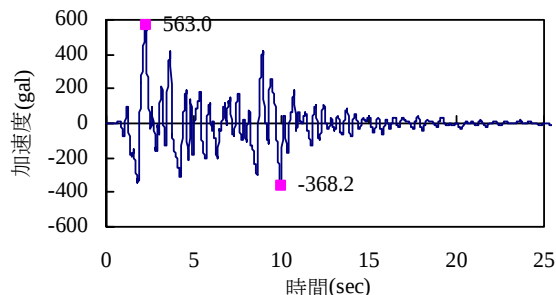
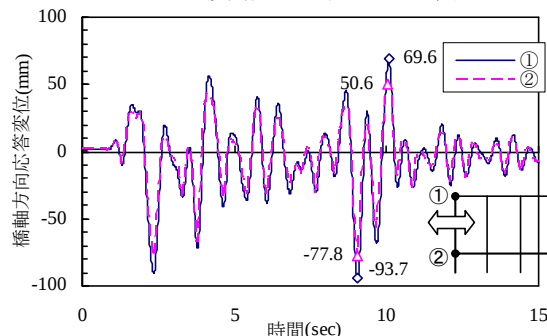
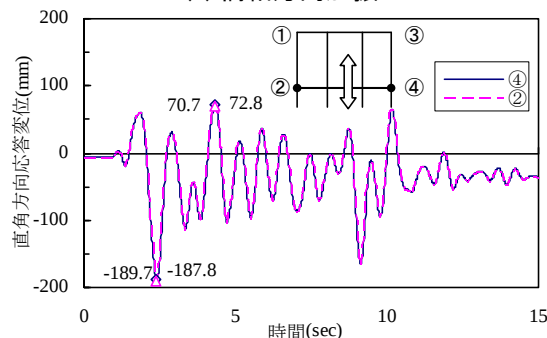


図-4 入力L2地震動（スペクトルⅡ地表面波）



(a) 橋軸方向加振



(b) 橋軸直角方向加振

図-5 高架橋天端の応答変位波形

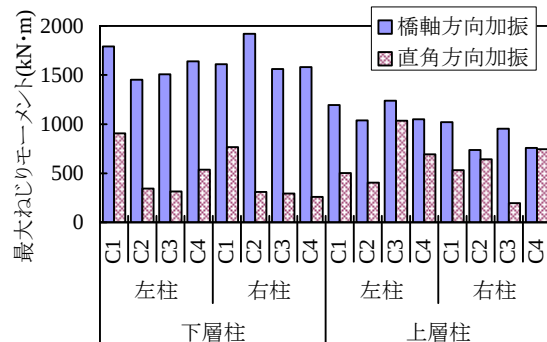


図-6 柱の最大ねじりモーメント