

## 柱のねじりに着目したRCラーメン高架橋の3次元地震応答解析

パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 ○松橋 宏治

正会員 松枝 修平

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 田所 敏弥

## 1. はじめに

不整形な形状のRCラーメン高架橋(以下、高架橋と略称)では、構造物全体にねじり挙動が生じることが指摘されており<sup>1)</sup>、実際にねじりの影響と考えられるRC柱の損傷事例も報告されている<sup>2)</sup>。高架橋柱がねじりを受ける場合、ねじりモーメントによる損傷が懸念されるだけでなく、曲げとねじりを同時に受ける場合には、曲げのみの場合よりも変形性能が低下することが近年の実験的研究<sup>2)3)</sup>により明らかにされている。したがって、ねじり挙動が懸念される高架橋に対しては、応答を適切に評価しこれを設計に反映することが重要であるが、この種の問題に対しこれまで十分に検討されてきたとは言いがたい。そこで本稿では、前述のねじりの影響による損傷が指摘された高架橋に対し、3次元地震応答解析によりねじり挙動について検討を行った。

## 2. 構造解析モデル

図1に対象とした高架橋の一般形状を示す。本高架橋は、線路線形により線路直角方向の構造物幅が変化している。また、本高架橋は起終端で単純桁を支持するゲルバー桁形式で、終点方の桁の重量は起点方の桁の1.7倍程度と前後で荷重が非対称な構造物である。

図2に本検討で用いた骨組みモデルを示す。杭以外の部材には図3に示す非線形特性<sup>4)</sup>を考慮し、各部材に全断面有効のねじり剛性を考慮した。また、軌道スラブ

を有する上層部は、剛な筋交いにより面内変形を拘束した。杭部材は解析の簡素化のため全断面剛性の弾性部材とし、杭周辺地盤はばねでモデル化した。

荷重には死荷重を考慮し、各部材に働く死荷重の1/2相当の質量を隣接する梁柱接合部節点に配置した。

## 3. 入力地震動

本検討では、図4に示す特性の異なる2種類の地表面設計地震動(L2地震動スペクトルIおよびスペクトルII)<sup>5)</sup>を考慮した。なお、スペクトルIIについては最大応答変位がスペクトルIと同等となるよう、図4に示す波形の振幅を一律80%に低減した。

## 4. 解析条件

本解析は直接積分法(Newmark- $\beta$ 法、 $\beta=1/4$ )を用い、積分時間間隔は $\Delta t=1/1000$ 秒とした。減衰は部材別剛性比例型とし、各要素の減衰定数をRC部材は2%、地盤ばねは10%とした。

## 5. 解析結果

## (1) 応答変位

表1に高架橋上層の起終端における最大応答変位と、高架橋全体のねじり変形を表す起終端相対変位の最大値を示す。表1より、何れの地震動も最大応答変位は起終端でほぼ同時刻に生じており、構造物幅が狭く支持する桁重量の重い終点方の変位が大きくなっている。また、この時点における柱の応答部材角は、図3に示す最大耐力点(M点)を若干超える程度であった。

高架橋全体のねじり変形を表す起終端の相対変位は、

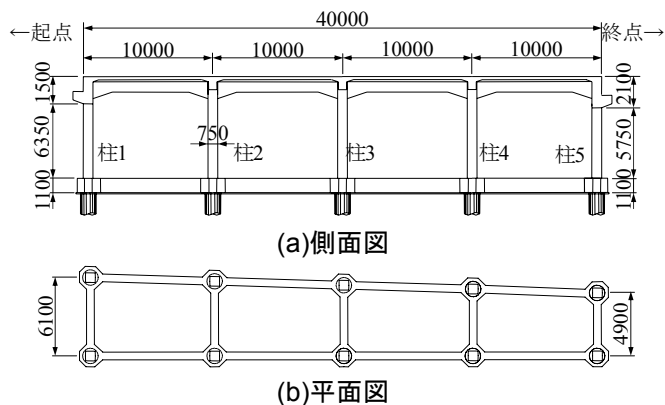


図1 対象構造物の一般形状

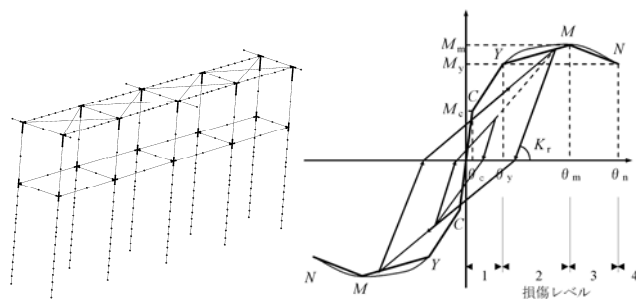


図2 解析モデル

図3 部材の非線形特性<sup>4)</sup>

キーワード RC ラーメン高架橋, 地震応答解析, 立体骨組み, ねじりモーメント

連絡先 〒541-0052 大阪府大阪市中央区安土町 2-3-13 大阪国際ビルディング パシフィックコンサルタンツ(株) TEL:06-4964-2318

最大応答時はスペクトルⅠで 34.7mm, スペクトルⅡでは 45.9mm であった. 相対変位の最大値はスペクトルⅠで 57.6mm, スペクトルⅡでは 80.7mm で, 何れも最大応答と異なる時刻で生じている. 図 5 に, スペクトルⅡの相対変位最大時における変位モード図を示す.

## (2) 柱のねじりモーメント

表 2 に, 柱のねじりモーメント  $M_t$  の最大応答値と, 高架橋上層の応答変位が最大となる時点の応答値, および純ねじり耐力  $M_{tc}$ <sup>6)</sup>に対する比の最大値を示す. ここで表中の柱位置は, 図 1(a)に対応している. 表 2 より, 柱の最大ねじりモーメント  $M_t$  はスペクトルⅠでは 85.2kN・m, スペクトルⅡでは 127.7kN・m で,  $M_{tc}$  との比の最大値はスペクトルⅠでは 0.438, スペクトルⅡでは 0.673 であった. 最大ねじりモーメント  $M_t$  は, 何れの地震動でも起終端の相対変位が最大となる時刻で生じ, 応答変位最大時に対しスペクトルⅠでは 1.3 倍, スペクトルⅡでは 1.9 倍であった. このことは, 柱の最大曲げ応答とねじり応答が一致しないことを意味する.

また, 何れの地震動も最大応答変位は 180mm 程度で同等であるが, スペクトルⅡの最大ねじりモーメント  $M_t$  は, スペクトルⅠの 1.5 倍であることから, ねじり応答には地震波の特性も大きく影響すると考えられる.

## 6. まとめ

ねじりの影響で柱が損傷したと考えられる RC ラーメン高架橋に対する 3 次元地震応答解析により, 高架橋のねじり応答について検討した. 今後は, 構造性能に着目した検討を行い, 同種構造物の設計法等について検討していきたい. 以下に本検討のまとめを示す.

- 1) 高架橋全体のねじり変形を表す起終端の最大相対変位は, スペクトルⅠは 57.6mm, スペクトルⅡ (振幅 80% 低減) は 80.7mm で, 最大応答とは異なる時刻で生じた.
- 2) 柱のねじりモーメント  $M_t$  は, 純ねじり耐力  $M_{tc}$  との比で, スペクトルⅠで 0.348, スペクトルⅡで 0.673 に相当する応答が確認された. また最大ねじりモーメントは, 高架橋全体のねじり変形が最大となる時刻で生じ, 柱の最大曲げ応答と最大ねじり応答は一致しない.
- 3) 最大応答変位は同程度だが, スペクトルⅡによる最大ねじりモーメントはスペクトルⅠの 1.5 倍で, ねじり応答には地震波の特性も大きく影響すると考えられる.

## 参考文献

- 1) 谷村他: 鉄道 RC ラーメン橋台の三次元非線形地震応答解析, 土木学会論文集 E, Vol.64, No.3 ,

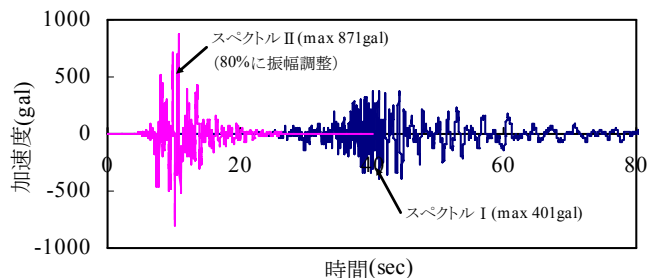


図 4 入力地震動 (L2 地震動<sup>5)</sup>)

表 1 線路直角方向の応答変位 (単位:mm)

|       | スペクトルⅠ   |             | スペクトルⅡ(70%) |             |
|-------|----------|-------------|-------------|-------------|
|       | 最大<br>応答 | 相対変位<br>最大時 | 最大<br>応答    | 相対変位<br>最大時 |
| 起点方   | 152.2    | -67.1       | 134.6       | 30.6        |
| 終点方   | 186.9    | -124.7      | 180.5       | 111.3       |
| 相対変位  | 34.7     | 57.6        | 45.9        | 80.7        |
| 時刻(s) | 44.69    | 45.25       | 10.95       | 18.89       |

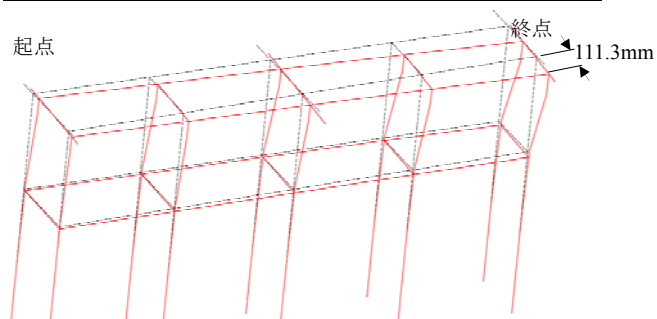


図 5 変位モード(スペクトルⅡ相対変位最大時)

表 2 柱のねじりモーメント  $M_t$  の解析結果

|       | スペクトルⅠ       |                 |                             | スペクトルⅡ(70%)  |                 |                             |
|-------|--------------|-----------------|-----------------------------|--------------|-----------------|-----------------------------|
|       | $M_t$ (kN・m) |                 | $\frac{M_t}{M_{tc}}$<br>最大値 | $M_t$ (kN・m) |                 | $\frac{M_t}{M_{tc}}$<br>最大値 |
|       | 最大<br>応答     | 応答<br>変位<br>最大時 |                             | 最大<br>応答     | 応答<br>変位<br>最大時 |                             |
| 応答値   | 85.2         | 65.3            | 0.438                       | 127.7        | 66.0            | 0.673                       |
| 柱位置   | 柱 3          | 柱 3             | 柱 3                         | 柱 3          | 柱 2             | 柱 4                         |
| 時刻(s) | 45.25        | 44.69           | 45.18                       | 18.89        | 10.95           | 18.82                       |

pp.400-415, (2008)

- 2) 田所他: 地震被害を受けたラーメン高架橋柱の破壊性状に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.3, pp.1315-1320, 2008
- 3) 松枝他: 曲げとねじりを同時に受ける鉄筋コンクリート柱の変形性能に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.3, pp.811-816, 2008
- 4) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物, pp.99-106, 2004.4
- 5) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計, pp.30-33, 1999.10
- 6) 土木学会: 2007 年制定コンクリート標準示方書【設計編】, pp.151-153, 2008