

神戸大学工学部 フェロー 高田 至郎  
高田機工 正会員 宝角 正明  
神戸大学大学院 学生員 ○真井 哲生

## 1. はじめに

高レベル地震力をアーチ橋が受けた場合の挙動については未だ不明確な点が多い。地震による挙動の解明や地震に有利な構造と大地震に対する塑性域設計の模索・研究が急務であると思われる<sup>1)</sup>。併せて合理的設計（経済性・構造的・景観・施工性等）も重要である。本研究は、鋼上路式ローゼ橋のモデルに種々の条件を与え地震応答解析を行い、その断面力、応力等の相違差を比較し、地震に有利な構造系を模索することを目的とする。

## 2. 解析対象橋梁および解析モデル

解析対象橋梁は、有効幅員 9.5m、橋長 190m、アーチ支間長 130m、アーチライズ 25m の鋼上路式ローゼ橋とし、地盤は I 種地盤とする。図-1 にその側面図を示す。

この橋梁を合計 167 個のはり要素で床版を含む補剛桁、アーチリブ、吊材、端柱を表現し、モデル化した。その形状を図-2 に示す。床版を含む補剛桁は、ねじり剛性をもつひとつのはり要素とし、質量は補剛桁のみにあるものとした。減衰定数は 0.02 とした。構造諸元を表-1 に示す。なお、ねじり剛性は補剛桁に取り付けられている横構を薄肉の板に換算し、床版と補剛桁と横構を等価な擬似箱桁に変換し推定した。これに表-2 に示す条件を与え解析を行った。解析には汎用有限要素解析プログラムの ABAQUS Version5.8 を用いた。

## 3. 解析結果

固有値解析：表-3 にモデル①～④の固有値解析の結果を示す。これより鋼上路式ローゼ橋の固有振動モード毎の有効質量分布は、どのモデルでも低次振動に集中しているのではなく、高次モードにも分布していることがわかる。したがって鋼上路式ローゼ橋の振動特性は、高次振動も重要であるといえる。

応答スペクトル解析：モデル①～③を応答スペクトル解析し、部材の最大断面力を算出した。なお、応答スペクトルは道路橋示方書耐震設計編<sup>2)</sup>で規定されている地震時保有水平耐力法の照査に用いるタイプ I およびタイプ II の加速度応答スペクトルを使用し、橋軸方向に作用させた。各モデルの最大断面力を図-4 に示す。これよりモデル①、③の最大断面力はほぼ同じであることがわかり、一般的な反力分散支承ではバネ定数が小さいため地震動に対する効果は少ないといえる。また、補剛桁の境界条件が両端可動、一

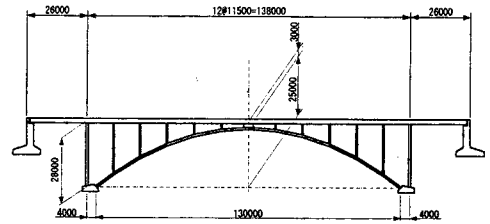


図-1 解析対象橋梁

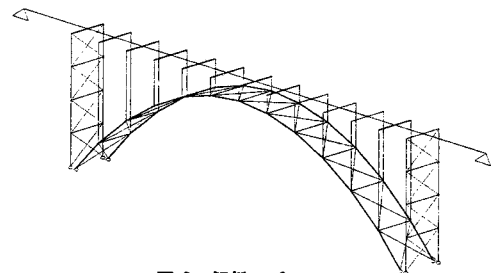


図-2 解析モデル

表-1 構造諸元

| 要素番号                         | 断面積<br>mm <sup>2</sup> | 断面2次モーメント<br>(1軸回り)mm <sup>4</sup> | 断面2次モーメント<br>(2軸回り)mm <sup>4</sup> | ねじり剛性<br>mm <sup>4</sup> |
|------------------------------|------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| (補剛桁)                        |                        |                                    |                                    |                          |
| 1~5, 18~22                   | 0.354                  | 0.315                              | 5                                  | 0.096                    |
| 6, 7, 16, 17                 | 0.352                  | 0.312                              | 4.99                               | 0.0749                   |
| 8~15                         | 0.265                  | 0.214                              | 0.034                              | 0.0738                   |
| 106~118, 205~218             | 0.8                    | 0.6                                | 10                                 | 0.2                      |
| (鋼柱)                         |                        |                                    |                                    |                          |
| 301~308, 401~408             | 0.0486                 | 0                                  | 0                                  | 0                        |
| 309~319, 409~419             | 0.01                   | 0                                  | 0                                  | 0                        |
| (吊材)                         |                        |                                    |                                    |                          |
| 501, 511, 512, 522           | 0.023                  | 0                                  | 0                                  | 0                        |
| 502, 503, 509, 510           | 0.02                   | 0                                  | 0                                  | 0                        |
| 504, 505, 507, 508           | 0.019                  | 0                                  | 0                                  | 0                        |
| 513, 514, 520, 521           | 0.2                    | 0                                  | 0                                  | 0                        |
| 515, 516, 518, 519           | 0.019                  | 0                                  | 0                                  | 0                        |
| (アーチクラウン部)                   |                        |                                    |                                    |                          |
| 506, 517                     | 0.2                    | 100000                             | 100000                             | 100000                   |
| (アーチリブ)                      |                        |                                    |                                    |                          |
| 601, 602, 611~614, 623, 624  | 0.0718                 | 0.0208                             | 0.00928                            | 0.0187                   |
| 603~605, 608~610             | 0.0728                 | 0.0204                             | 0.00965                            | 0.0189                   |
| 606, 607, 618, 619           | 0.07                   | 0.0199                             | 0.00916                            | 0.0182                   |
| 615~617, 620~622             | 0.0728                 | 0.0204                             | 0.00965                            | 0.0189                   |
| (横構)                         |                        |                                    |                                    |                          |
| 701~735                      | 0.01                   | 0                                  | 0                                  | 0                        |
| ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )   |                        |                                    |                                    | 2.0 × 10 <sup>5</sup>    |
| せん断弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> ) |                        |                                    |                                    | 8.0 × 10 <sup>4</sup>    |

注) 1軸は部材軸と垂直で水平な方向、2軸は部材軸と1軸と右手系をなす方向

端固定、反力分散支承の中で地震にもっとも有利な構造系は、慣性力に対して抵抗する箇所が多い一端固定の構造系であるといえる。次にモデル②、④に上記の加速度応答スペクトルを橋軸直角方向に作用させ、端柱の材料の違いがどのような影響を与えるかを図-5に示す。端柱の使用材料がコンクリートの場合、鋼の場合と比べると、剛性が大きくなるので固有周期が短くなる。よって長周期成分が強いタイプⅠによる影響が小さくなる。

時刻歴解析：モデル⑤-1の最大断面力を基準とし、各モデルの最大断面力との比をY軸に、モデル⑤-1の減衰係数を基準とし、各モデルの減衰係数との比をX軸にとり、ダンパーの影響を図-6に示す。これより、補剛桁が地震力を受けて橋軸方向に動くとき、ダンパーが抵抗するためその分アーチリブに力が伝わらない。つまり、ダンパーはアーチリブの軸力を減少させるのに有効であるといえる。

#### 4. まとめ

本研究では鋼上路式ローゼ橋に対してタイプⅠ、タイプⅡの地震動が作用した場合の耐震性を線形解析によって検討した。その結果、今回検討した中では補剛桁が一端固定で他端にダンパーを設置し、端柱がコンクリートの構造系が慣性力を分散させるためもっとも地震に有利な構造系だとわかった。

最後に、本研究に使用した構造モデルは、鋼上路式ローゼ橋の中では標準的なものと考えられるが、解析対象橋梁がこの1橋だけであり、また非線形解析の結果が得られなかったという点について、今後さらなる検討の余地がある。また免震支承等の導入も考慮に入れるべきと思われる。これらの問題点は今後の検討課題としたい。

#### 【参考文献】

- 1) 次世代土木鋼構造研究特別委員会：橋梁システムの動的解析と耐震性，日本鋼構造協会，2000.3
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書(V耐震設計編)・同解説，1996.12

表-2 解析モデルに与える条件

| モデル    | 補剛桁の制振条件     |        | 端柱の材料    | 反力分散支承の分散数                                                                   | ダンパーの減衰係数                        | 部材の減衰係数 |
|--------|--------------|--------|----------|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------|
|        | 橋軸方向         | 橋軸直角方向 |          |                                                                              |                                  |         |
| モデル①   | 両端固定         | 固定     | 鋼構造      | -                                                                            | -                                | 0.02    |
| モデル②   | 一端固定         | 固定     | 鋼構造      | -                                                                            | -                                | 0.02    |
| モデル③   | 反力分散         | 反力分散   | 鋼構造      | 水平方向: $8.0 \times 10^4 \text{ kN/m}$<br>鉛直方向: $1.0 \times 10^4 \text{ kN/m}$ | -                                | 0.02    |
| モデル④   | 一端固定         | 固定     | コンクリート補土 | -                                                                            | -                                | 0.02    |
| モデル⑤-1 | 一端固定 他端にダンパー | 固定     | 鋼構造      | -                                                                            | $3.0 \times 10^4 \text{ kN/m/s}$ | 0.02    |
| モデル⑤-2 |              |        | 鋼構造      | -                                                                            | $1.0 \times 10^4 \text{ kN/m/s}$ | 0.02    |
| モデル⑤-3 |              |        | 鋼構造      | -                                                                            | $2.0 \times 10^4 \text{ kN/m/s}$ | 0.02    |
| モデル⑤-4 |              |        | 鋼構造      | -                                                                            | $4.0 \times 10^4 \text{ kN/m/s}$ | 0.02    |
| モデル⑤-5 |              |        | 鋼構造      | -                                                                            | $6.0 \times 10^4 \text{ kN/m/s}$ | 0.02    |

表-3 固有値解析結果

| モデル①: 両端固定         | X     |           |         | Y     |           |         | Z     |           |         |
|--------------------|-------|-----------|---------|-------|-----------|---------|-------|-----------|---------|
|                    | 固有モード | 固有周期(sec) | 有効質量比   | 固有モード | 固有周期(sec) | 有効質量比   | 固有モード | 固有周期(sec) | 有効質量比   |
| 最大有効質量比            | 7     | 0.5126    | 0.60904 | I     | 1.6606    | 0.76196 | 9     | 0.4288    | 0.51152 |
| 最大から6番目の有効質量比      | 3     | 1.3718    | 0.30637 | 11    | 0.3458    | 0.08514 | 3     | 0.6621    | 0.05423 |
| モデル②: 一端固定         | X     |           |         | Y     |           |         | Z     |           |         |
|                    | 固有モード | 固有周期(sec) | 有効質量比   | 固有モード | 固有周期(sec) | 有効質量比   | 固有モード | 固有周期(sec) | 有効質量比   |
| 最大有効質量比            | 14    | 0.2894    | 0.49150 | I     | 1.6606    | 0.76196 | 8     | 0.4288    | 0.51152 |
| 最大から6番目の有効質量比      | 10    | 0.3513    | 0.23266 | 11    | 0.3458    | 0.08513 | 3     | 0.6621    | 0.05423 |
| モデル③: 反力分散         | X     |           |         | Y     |           |         | Z     |           |         |
|                    | 固有モード | 固有周期(sec) | 有効質量比   | 固有モード | 固有周期(sec) | 有効質量比   | 固有モード | 固有周期(sec) | 有効質量比   |
| 最大有効質量比            | 8     | 0.5059681 | 0.62037 | I     | 1.6670279 | 0.72436 | 10    | 0.4269308 | 0.50986 |
| 最大から6番目の有効質量比      | 2     | 1.3185306 | 0.28789 | 4     | 0.7719027 | 0.25832 | 5     | 0.6624271 | 0.05459 |
| モデル④: 一端固定補土コンクリート | X     |           |         | Y     |           |         | Z     |           |         |
|                    | 固有モード | 固有周期(sec) | 有効質量比   | 固有モード | 固有周期(sec) | 有効質量比   | 固有モード | 固有周期(sec) | 有効質量比   |
| 最大有効質量比            | 14    | 0.3039    | 0.38349 | I     | 0.8719    | 0.54580 | 7     | 0.4119    | 0.46874 |
| 最大から6番目の有効質量比      | 11    | 0.3019    | 0.31475 | 12    | 0.3220    | 0.02346 | 3     | 0.6192    | 0.10158 |

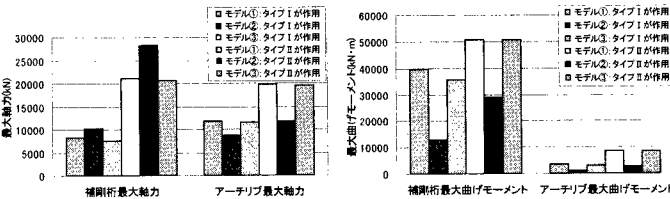


図-4 境界条件の影響

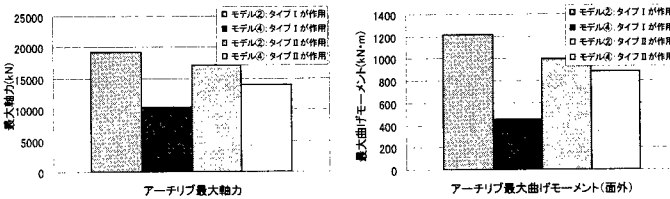


図-5 端柱の材料条件の影響

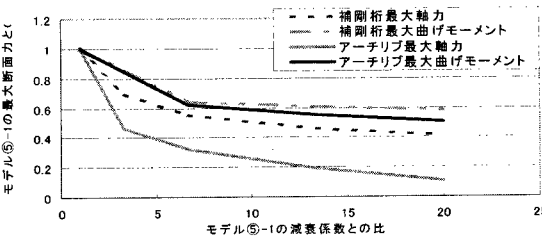


図-6 ダンパーの影響