

上部工の非線形性を考慮したPC連続ラーメン橋の耐震性照査

九州大学 学生員 ○根井 秀樹 九州大学 フェロー 大塚 久哲  
九州大学 正会員 矢葺 亘 富士ビー・エス 正会員 堤 忠彦

1. はじめに

従来、動的解析において上部構造は線形部材として扱われてきたが、支間長が比較的長く、幅員の狭い橋梁など面外剛性が小さい場合には、地震時の挙動が複雑で、応答も増大する。さらに、想定する地震力が大幅に引き上げられたことから、上部構造についても非線形性を考慮する必要がある。

本研究では、震度法により設計された実橋梁を対象に、PC上部構造部材の非線形性を考慮した橋軸直角方向の動的解析を行い、大規模地震時の耐震安全性の検討を行った。このとき上部構造の非線形履歴特性を複数用い、上部構造線形の場合の解析とも比較して、これらの相違が橋梁の耐震性へ与える影響についての検討も行った。

2. 橋梁概要及び解析モデル

今回、解析の対象とした橋梁は、昭和55年道路橋示方書に準拠して設計された高さの異なる橋脚を有する3径間の連続コンクリートラーメン橋である。表-1、表-2に、橋梁諸元及び使用材料、図-1に解析モデルを示す。要素分割は、上部構造は設計断面に準じて、橋脚は上下端に向かって多くなるように分割した。

3. 固有値解析

表-3に、固有値解析結果を示す。これより、橋軸直角方向では1次モードの有効質量は60%より小さく高次のモードの寄与も無視できないものと思われる。

4. 非線形動的解析

4.1 非線形履歴特性の選定

PC部材の非線形履歴モデルはいくつか提案されているが、岡本型履歴モデルはPC鋼材量と鉄筋量に応じて補正係数を適切に選べば、PC断面の履歴性状を精度よく表せるので、本解析ではこの履歴モデルを用いることとした。また、従来PC部材に用いられてきた原点指向型履歴モデルも比較検討のため用いた。

岡本型を用いる場合、除荷剛性に関する補正係数 $\alpha'$ を決定する必要がある。今回、この値は上部構造の断面より求められるPC鋼材と鉄筋の降伏耐力の比を解析対象断面全てにおいて算出し、その平均値を上部構造全体の補正係数とした。その結果、 $\alpha' = 0.509$ と決定した。これはPRC部材に相当する。

部材のM- $\phi$ 曲線は、8年道示の $\sigma - \epsilon$ を用いた。これは、配力筋がかかるい密に配置されて、中間帯筋が挿入されているからである。

4.2 解析手法

非線形動的解析は、大規模地震動を橋軸直角方向に作用させ、直接積分法により行った。入力地震動を図-2に示す。数値積分はNewmarkの $\beta$ 法( $\beta = 1/4$ )を用い、時間間隔は0.001秒とした。減衰定数は上部構

表-1 橋梁諸元

|                   |                                |
|-------------------|--------------------------------|
| 橋長                | 230.00m                        |
| 支間割               | 67.40m+94.00m+67.40m           |
| 橋脚高               | P1: 68.0m P2: 45.0m            |
| 橋脚断面              | 矩形RC中空断面6.0m×4.0m (橋脚基部)       |
| 設計震度<br>(55年道示準拠) | 橋軸方向 kh=0.12<br>橋軸直角方向 kh=0.10 |
| 地域/地盤種別           | B地域/I種地盤                       |

表-2 使用材料

|        |                                       |
|--------|---------------------------------------|
| コンクリート | 上部工: $\sigma_{ck}=400\text{kgf/cm}^2$ |
|        | 下部工: $\sigma_{ck}=240\text{kgf/cm}^2$ |
| PC鋼材   | SBPR 930/1180                         |
| 鉄筋     | SD295                                 |

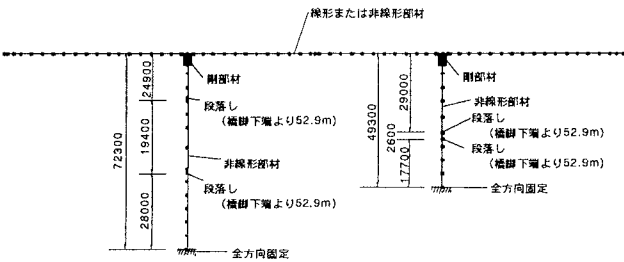


図-1 解析モデル (単位: mm)

表-3 固有値解析結果

| 次数 | 固有周期 (sec) | 刺激係数   | 有効質量比 (%) |
|----|------------|--------|-----------|
| 1  | 2.055      | 2.065  | 59        |
| 2  | 1.193      | 0.712  | 7         |
| 3  | 0.641      | -0.616 | 5         |
| 4  | 0.390      | 0.217  | 0         |
| 5  | 0.339      | 0.591  | 5         |
| 6  | 0.254      | -0.323 | 2         |
| 7  | 0.178      | 0.425  | 2         |
| 8  | 0.157      | -0.524 | 4         |
| 9  | 0.125      | 0.095  | 0         |
| 10 | 0.117      | 0.430  | 3         |

造で3%, 下部構造で2%とした。履歴モデルについては、上部構造は前述の岡本型、原点指向型、下部構造については武田型履歴モデルを用いた。

4.3 解析結果

表-4、表-5に、上部構造の最大応答変位・加速度を示す。表-4において、長橋脚側では、非線形部材を用いた場合の方が線形部材の場合より最大変位に15～30%の増加がみられる。最大加速度については、中央径間中央部分での加速度において、非線形部材の値が線形部材の値を大きく上回る結果となった。

表-6に、上部構造、下部構造のそれぞれの検討箇所での許容曲率塑性率・最大応答曲率塑性率を示す。下部構造の検討箇所は、各橋脚下部とした。安全係数は下部構造においては道路橋示方書によりタイプⅠ地震動に対する $\alpha=3.0$ とした。上部構造については規定がないため、下部構造に準じ $\alpha=3.0$ とした。

長橋脚、短橋脚に関して比較した結果、上部工に原点指向型を選定した場合に比べ、岡本型を選定した場合の方が、橋脚の損傷度が小さいことが確かめられる。これは、岡本型の方が非線形性が強いいため、上部構造でエネルギー吸収がなされ、下部構造へのエネルギー分担がおさえられたためと考えられる。また、上部工を線形部材とした場合は、長橋脚側では損傷度は小さいが、短橋脚側では塑性率の値が他の2つに比べて大きいように、下部構造において短橋脚側の負担が大きいたことがわかる。よって、橋梁全体の耐震性としては、大きな履歴減衰を期待できる鉄筋量の多い断面（ここでは岡本型）が望ましいと考えられる。

しかし、下部構造において応答曲率塑性率で1を大きく上回ったものの、上部構造、下部構造のどちらにおいても許容曲率塑性率を下回った。このことから、本対象橋梁は、大規模地震に対しても十分な耐震安全性を有していると考えられる。参考に、図-3に中央径間中央の曲げモーメント-曲率履歴曲線を示す。

5. まとめ

- 本研究より、以下の知見が得られた。
- ・上部構造の履歴吸収能力が橋梁全体の耐震性の向上に役立つと言える。
  - ・上部工の履歴特性の違いが応答に及ぼす影響は無視できない程度であることが判明した。

今後、PC桁の履歴特性の把握が必要と思われる。なお、本研究の詳細については文献3)を参照されたい。

参考文献

1) 日本道路境界：道路橋示方書Ⅴ耐震設計編，1996年12月  
2) 岡本，加藤：PC造建物の地震応答性状，プレストレストコンクリート，Vol33，No4，1991.7  
3) 大塚，根井，矢葺，堤，岡田：上部構造の非線形性を考慮したPCラーメン橋の耐震性照査，構造工学論文集，Vol45A，1999.3（掲載予定）

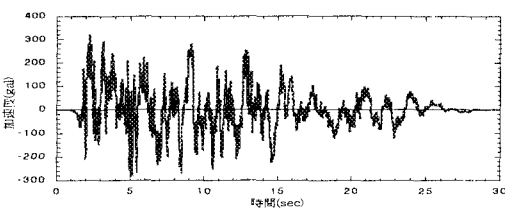


図-2 入力地震動

表-4 上部工最大応答変位

| 検討箇所       | 最大応答変位(cm) |       |      |
|------------|------------|-------|------|
|            | 岡本型        | 原点指向型 | 線形部材 |
| 側径間中央（長橋脚） | 56.9       | 62.6  | 46.3 |
| 脚頭部（長橋脚）   | 77.8       | 87.6  | 68.0 |
| 中央径間中央     | 64.4       | 74.6  | 64.5 |
| 脚頭部（短橋脚）   | 28.5       | 31.8  | 36.3 |
| 側径間中央（短橋脚） | 16.0       | 16.0  | 19.1 |

表-5 上部工最大応答加速度

| 検討箇所       | 最大応答加速度(gal) |       |       |
|------------|--------------|-------|-------|
|            | 岡本型          | 原点指向型 | 線形部材  |
| 側径間中央（長橋脚） | 419.8        | 454.1 | 462.8 |
| 脚頭部（長橋脚）   | 339.8        | 379.0 | 392.0 |
| 中央径間中央     | 929.0        | 829.6 | 613.2 |
| 脚頭部（短橋脚）   | 427.2        | 413.0 | 456.3 |
| 側径間中央（短橋脚） | 411.1        | 382.2 | 430.6 |

表-6 塑性率

a) 上部構造

|            | 許容曲率塑性率 | 最大応答曲率塑性率 |       |
|------------|---------|-----------|-------|
|            |         | 岡本型       | 原点指向型 |
| 側径間中央（長橋脚） | 1.63    | 0.54      | 0.59  |
| 脚頭部（長橋脚）   | 1.41    | 0.21      | 0.28  |
| 中央径間中央     | 1.70    | 0.68      | 0.72  |
| 脚頭部（短橋脚）   | 1.41    | 0.05      | 0.06  |
| 側径間中央（短橋脚） | 1.63    | 0.15      | 0.16  |

b) 下部構造

|       | 許容曲率塑性率 | 最大応答曲率塑性率 |       |      |
|-------|---------|-----------|-------|------|
|       |         | 岡本型       | 原点指向型 | 線形   |
| 長橋脚下部 | 7.33    | 1.74      | 4.57  | 1.56 |
| 短橋脚下部 | 7.85    | 1.42      | 2.48  | 2.79 |

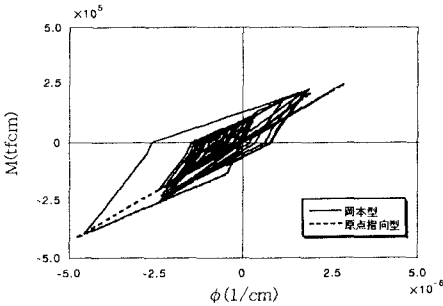


図-3 曲げモーメント-曲率履歴曲線