

## I - B178

## 上部構造の非線形性を考慮したPC連続ラーメン橋の耐震性照査

九州大学大学院

学生員

根井 秀樹

九州大学大学院

フェロー 大塚 久哲

九州大学大学院

正会員

矢葺 亘

富士ビー・エス

正会員 堤 忠彦

八千代エンジニアリング 正会員 岡田 俊規

## 1. はじめに

従来、PC連続ラーメン橋の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。しかしながら、上部構造の面外剛性が小さい場合には、地震時の挙動が複雑になり、応答も増大する。さらに、示方書の改訂により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した解析を行う必要があろう。

本研究では、震度法により設計された実橋梁を対象に動的解析を行い、PC上部構造部材の非線形性を考慮した場合の、大規模地震時における橋梁の耐震安全性を橋軸直角方向に対して検討した。この時、上部構造部材の非線形履歴特性を複数ケース用い、さらに線形の場合の解析とも比較して、これらの相違が橋梁全体の耐震性へ与える影響についての検討も行った。

## 2. 解析モデル

本解析の対象橋梁は、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径間連続PCラーメン橋である。表-1に橋梁諸元、図-1に解析モデルを示す。要素分割は、上部構造においては設計断面ごと、橋脚は上下端に向かって多くなるように分割した。また、両橋脚とも段落しがなされているため、別途分割を加えた。

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             |
| 地域/地盤種別           | B地域/I種地盤                 |

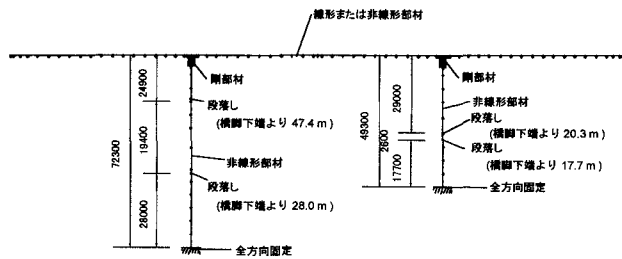


図-1 解析モデル

## 3. 固有値解析

表-2に固有値解析結果を示す。表より、1次モードの橋軸直角方向の有効質量比が全体の60%よりも少ない結果となり、橋軸直角方向においては高次のモードの影響を無視できないものと思われる。

表-2 固有値解析結果

| 次数 | 固有周期 (sec) | 制振係数   | 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         |

## 4. 非線形動的解析

## 4.1 非線形履歴特性の選定

PC上部構造部材の非線形履歴モデルは、岡本型と原点指向型を用いた。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 $\alpha$ を選ぶことでPC断面の履歴性状を精度よく表現できるモデルとして提案されている。 $\alpha$ の値は式(1)によりPC鋼材の降伏耐力、鉄筋の降伏耐力を用いて算出され、除荷時の剛性を決定することが可能となる。本橋では、 $\alpha=0.500 \sim 0.527$ となった。原点指向型モデルは、復元性の強い部材を表現するモデルとして従来より用いられている。さらに比較のため線形部材とした場合も検討した。

$$\alpha = \frac{M_{Py}}{M_{Py} + M_{Ry}} \quad (1)$$

部材の骨格曲線の算出は、平成8年道示のコンクリート $\sigma - \epsilon$ 関係を用いた。これは、旧道示準拠の一般的な橋梁より比較的密に中間帯鉄筋が配置されているからである。

## 4.2 解析手法

本解析は、道路橋示方書におけるタイプI、タイプIIの大規模地震動を橋軸直角方向に作用させた。各部材の減衰定数は、上部構造部材で0.03、下部構造部材で0.02とした。上部構造の履歴特性は上述のように岡本型と原点指向型及び線形を用い、下部構造では武田型履歴モデルを用いた。

キーワード：PC連続ラーメン橋、非線形動的解析、PC桁履歴モデル

連絡先：〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1 TEL:092-641-3131(内線)8653

## 4.3 解析結果

表-3に上部工の5つの検討箇所の最大応答変位を示す。最大値は、各々正負の絶対値での最大応答を表している。上部構造に非線形部材を用いた場合、線形部材を用いた場合のいずれにおいても、橋梁の構造形状から最大変位は長橋脚側に発生した。全体的に、タイプⅠ地震動の方がタイプⅡ地震動よりも40～50%程大きな応答が現れた。タイプⅠに関していえば、上部構造に非線形部材を用いた場合の方が、線形部材を用いた場合に比べて15～30%の変位の増加が見られた。

表-3 上部工最大応答変位(単位: cm)

| 検討箇所       | タイプⅠ |       |      | タイプⅡ |       |      |
|------------|------|-------|------|------|-------|------|
|            | 岡本型  | 原点指向型 | 線形部材 | 岡本型  | 原点指向型 | 線形部材 |
| 側径間中央(長橋脚) | 57.3 | 64.8  | 49.5 | 39.1 | 42.0  | 43.2 |
| 脚頭部(長橋脚)   | 76.7 | 88.0  | 75.6 | 55.4 | 60.0  | 57.6 |
| 中央径間中央     | 69.0 | 79.7  | 75.7 | 52.5 | 55.9  | 48.1 |
| 脚頭部(短橋脚)   | 40.6 | 15.1  | 43.4 | 25.2 | 26.5  | 27.2 |
| 側径間中央(短橋脚) | 22.4 | 24.9  | 25.3 | 17.6 | 17.7  | 17.7 |

表-4に、上部構造及び下部構造のそれぞれの検討箇所での最大応答曲率塑性率を示す。下部構造の検討箇所は、上部構造でそれぞれの履歴モデルを用いた場合の両橋脚の下端部とし、表中では上部構造に用いた履歴モデルで示している。許容塑性率の安全係数については、道路橋示方書により、タイプⅠで $\alpha=3.0$ 、タイプⅡで $\alpha=1.5$ とした。上部構造については明確な規定がないため、下部構造に準じて $\alpha$ を規定した。

表より、上部構造については、どの断面においても応答がPC鋼材降伏点まで至っていないために応答塑性率は全て1より小さい結果となった。下部構造については、タイプⅡに関してはそれぞれのモデルで結果はあまり変わらないが、タイプⅠを各モデルで比較すると、原点指向型モデルが他の2つのケースと比べて、長橋脚下部で比較的大きな曲率が生じることが分かる。これは、上部構造・下部構造が非線形領域に達した時に橋全体の剛性が低下するが、上部構造の履歴吸収能力が期待できないために橋脚の負担が大きくなり、特に長橋脚下部では鉄筋が降伏する結果となったと考えられる。一方、岡本型モデルにおいては、履歴モデルの非線形性が強いために上部構造でエネルギー吸収がなされ、下部構造のエネルギー分担が抑えられたため橋脚の損傷度が小さいと考えられる。また、岡本型と線形部材を比較すると、下部構造においては応答の差が小さい結果となったが、上部構造においてひび割れ耐力を超えて損傷が生じていることから、非線形の動的解析をする際に上部構造の非線形性をも考慮することは重要なことだと考えられる。しかし、どの検討箇所においても本研究で決定した許容曲率塑性率を下回っており、解析対象橋梁においてタイプⅠ及びタイプⅡの地震動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、タイプⅠにおける中央径間中央の曲げモーメント-曲率履歴曲線を図-2に示す。

表-4 塑性率

## a) 上部構造

| 検討箇所       | タイプⅠ    |       |      | タイプⅡ    |       |      |
|------------|---------|-------|------|---------|-------|------|
|            | 許容曲率塑性率 |       |      | 許容曲率塑性率 |       |      |
|            | 岡本型     | 原点指向型 | 線形部材 | 岡本型     | 原点指向型 | 線形部材 |
| 側径間中央(長橋脚) | 1.63    | 0.58  | 0.66 | 2.26    | 0.41  | 0.56 |
| 脚頭部(長橋脚)   | 1.41    | 0.20  | 0.26 | 1.82    | 0.14  | 0.15 |
| 中央径間中央     | 1.70    | 0.69  | 0.72 | 2.40    | 0.61  | 0.59 |
| 脚頭部(短橋脚)   | 1.41    | 0.06  | 0.07 | 1.82    | 0.04  | 0.04 |
| 側径間中央(短橋脚) | 1.63    | 0.17  | 0.17 | 2.26    | 0.26  | 0.28 |

## b) 下部構造

| 検討箇所  | タイプⅠ    |       |       | タイプⅡ    |       |       |
|-------|---------|-------|-------|---------|-------|-------|
|       | 許容曲率塑性率 |       |       | 許容曲率塑性率 |       |       |
|       | 岡本型     | 原点指向型 | 線形部材  | 岡本型     | 原点指向型 | 線形部材  |
| 長橋脚下部 | 2.93    | 0.970 | 1.523 | 8.19    | 0.773 | 0.819 |
| 短橋脚下部 | 2.69    | 0.912 | 0.990 | 6.94    | 0.661 | 0.707 |

## 5. まとめ

本研究では、大規模地震時に対する実橋梁の耐震性の検討を、上部構造を非線形部材とみなして行った結果、以下の知見を得た。

## ・震度法により

設計された実橋梁は、タイプⅠ及びタイプⅡの地震動に対して、おおむね新道路橋

示方書に適合する耐震安全性を有していることが確認された。

・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いえる。

・上部構造の履歴特性の相違が応答に及ぼす影響は無視できないものと思われる。

今後は、別途行っているPC桁の実験の結果をもとに、PC上部構造の非線形性を認める場合において必要と考えられる、許容可能な損傷の程度、塑性ヒンジ発生箇所、非線形履歴モデルの選択などを検討し、橋全体の総合的な耐震安全性向上のための解析及び設計手法を提案していく予定である。

## 参考文献

- 1) 日本道路協会：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、矢野、堤、岡田：上部構造の非線形性を考慮したラーメン橋の耐震性調査、構造工学論文集、Vol45A、1999.3 PP. 967-974
- 4) 大塚、矢野他：交番載荷実験による箱桁の履歴復元力特性、土木学会第54回年次学術講演会概要集、1999.9

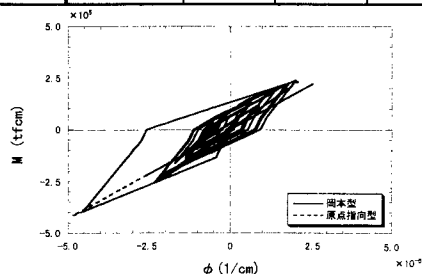


図-2 曲げモーメント曲率履歴曲線