

上部構造の非線形性を考慮した動的解析による PC 連続ラーメン橋の終局限界状態に関する考察

矢葺 亘¹・大塚久哲²・根井秀樹³・堤 忠彦⁴・岡田稔規⁵

- ¹正会員 修(工) 九州大学大学院助手 工学研究科建設システム工学専攻 (〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)
- ²フェロー 工博 九州大学大学院教授 工学研究科建設システム工学専攻 (〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)
- ³学生員 九州大学大学院工学研究科建設システム工学専攻 修士課程(〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)
- ⁴正会員 (株)富士ピー・エス 福岡支店技術部設計課 (〒812-0001 福岡市中央区天神2-14-2)
- ⁵正会員 八千代エンジニアリング(株) 関東事業部 橋梁・構造部 (〒330-8538 埼玉県大宮市土手町1-15-2)
(九州大学大学院工学研究科建設システム工学専攻 博士課程)

本研究は、橋脚高さの異なるPC連続ラーメン橋が大地震を受ける場合、橋脚の非線形性の他に、上部構造の損傷に伴う剛性の変化及び履歴エネルギー吸収を考慮した評価を行うために、PC 上部構造の非線形性を考慮した動的解析を行ったものである。

地震波を増加させることにより橋梁各部の応答塑性率の推移を検討した結果、上部工非線形性の考慮の影響は長橋脚基部の応答塑性率の急激な増大として現れるのに対し、上部構造の応答塑性率の増加はわずかであることが知られた。

Key Words :PC rigid frame, nonlinear analysis, hysteresis model of PC girder

1. はじめに

PC連続ラーメン橋において、上部構造の非線形性を考慮した耐震性の検討に関する研究が行われるようになってきた^{1), 2), 3)}。著者らも、震度法により設計された実橋梁の橋軸直角方向に対し、PC上部構造の非線形性を考慮した動的解析を行って、大規模地震時の耐震性を照査し、上部構造の非線形履歴特性の相違が、橋梁全体の応答へ与える影響について検討した⁴⁾。

今後、橋梁全体としての耐震性向上を図るに際し、複数塑性ヒンジを考慮した場合の破壊メカニズムを確かめておくことは、当該橋梁の合理的耐震設計、耐震補強を行う上で重要である。

本研究では、地震時の上部構造の損傷に伴う剛性の変化および履歴エネルギー吸収の影響を考慮した評価を行うために、PC上部構造の非線形性を考慮した動的解析により、地震荷重の増大に伴い進行する複数塑性ヒンジ(橋脚基部および上部構造)がもたらす構造全体の応答性状を検討した。

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

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	橋軸方向 kh=0.12
(55年道示準拠)	橋軸直角方向 kh=0.10
地域/地盤種別	B地域/Ⅰ種地盤

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。

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ことがわかった。

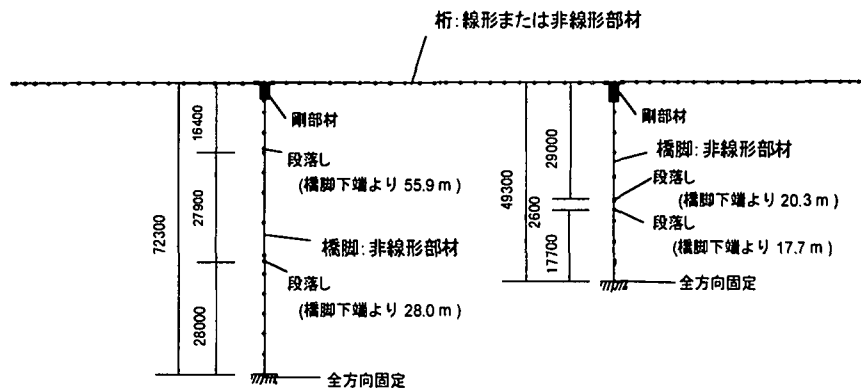


図-1 解析モデル

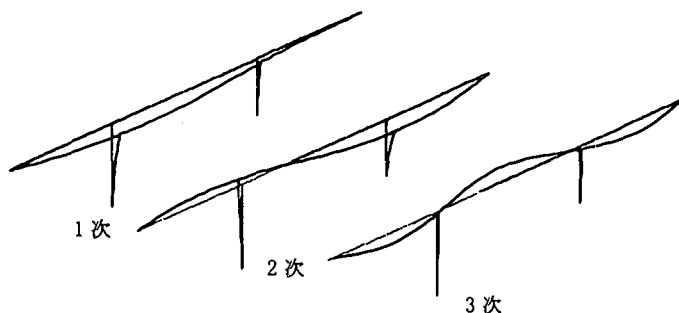


図-2 モード図

4. 非線形動的解析

(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には、岡本型履歴モデル^{5),6)}(図-3)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 α 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。 α の値は式(1)によりPC鋼材と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。

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

部材の骨格曲線の算出は、平成8年道示⁷⁾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。

(2) 地震力の増大に伴う対象橋梁の応答性状に関する検討

本解析では、地震荷重増大時の応答性状の検討にあたり、入力地震動として、道路橋示方書における大規模地震動タイプⅠ地震動(Ⅰ-1-1、最大加速度319gal)を振幅調整したものを、橋軸直角方向に作用させた。振幅調整の倍率は、地域別補正係数を考慮した0.85倍から、長橋脚の応答が許容塑性率(2.93)を越えるまで(1.5倍)とし、計7ケースの解析を行っ

表-2 固有値解析結果

次数	固有周期 (sec)	振動係数	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

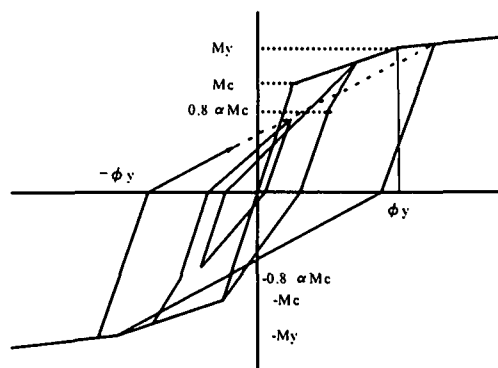


図-3 岡本型履歴モデル

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。上部構造の非線形履歴特性は、前述の岡本型履歴曲線を用い、上部構造線形の場合と比較した。下部構造には武田型履歴モデルを用いた。

(3) 解析結果

上部構造に線形、非線形(岡本型)を用いた場合の、橋脚の応答の比較として、図-4に短橋脚基部応答塑性率の比較、図-5に長橋脚基部応答塑性率の比較を示す。横軸は、入力加速度に対する倍率である。

図-6に岡本型履歴モデルを用いた場合の上部構造の応答塑性率を示す。上部構造は、図中に示す5箇所において検討した。

図から判るように、地震荷重の増大に伴い、おのこの箇所では損傷が進んでいくが、その進行の度合いは、両橋脚基部において顕著であり、上部構造では長橋脚が許容塑性率を越える加速度倍率1.5でかつ、上部構造の応答が検討箇所中最大となった中央径間中央においても、塑性率は1を下回る結果となった。

橋脚基部では、上部工非線形を考慮すると、加速度倍率の増加に伴い長橋脚の応答塑性率が短橋脚の応答塑性率を大きく上回る結果となった。入力加速度1.5倍時の短橋脚基部と長橋脚基部におけるM-phi履歴曲線の比較を図-7、8に示す。図-8から、上部構造の非線形性を考慮したことで、長橋脚基部での、応答が大きくなっていることがわかる。図-9に上部構

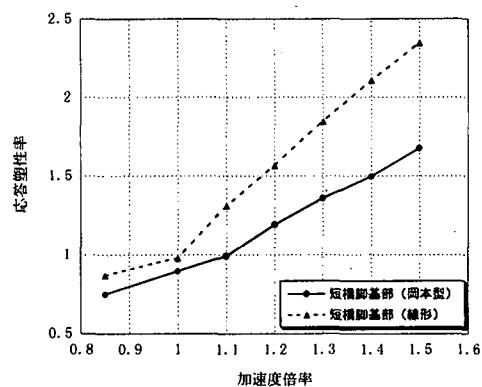


図-4 短橋脚基部の応答塑性率

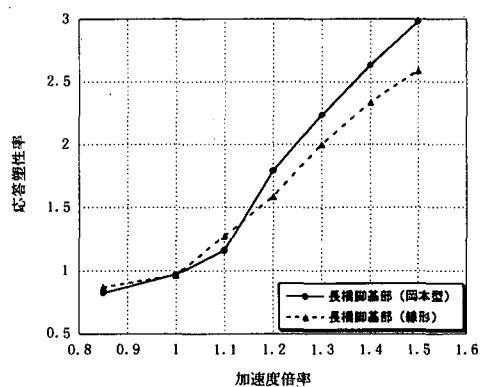


図-5 長橋脚基部の応答塑性率

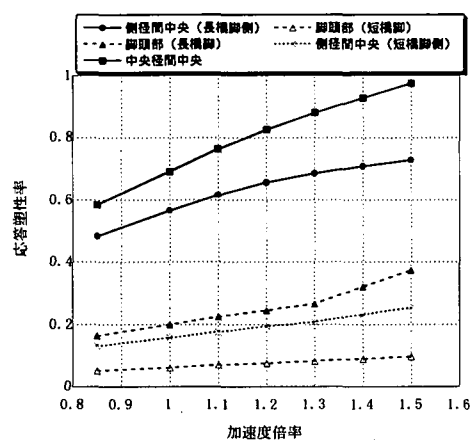


図-6 上部構造に岡本型を用いた場合の
検討箇所での応答塑性率

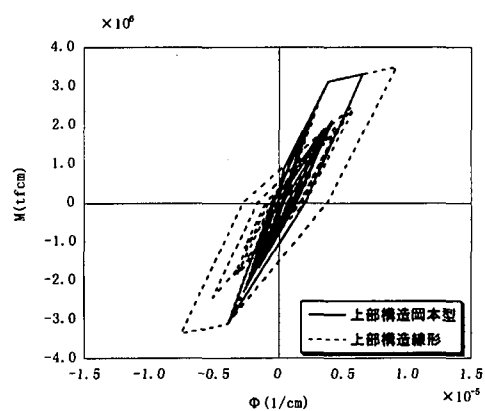


図-7 短橋脚基部におけるM-φ履歴曲線の比較
(入力波1.5倍時)

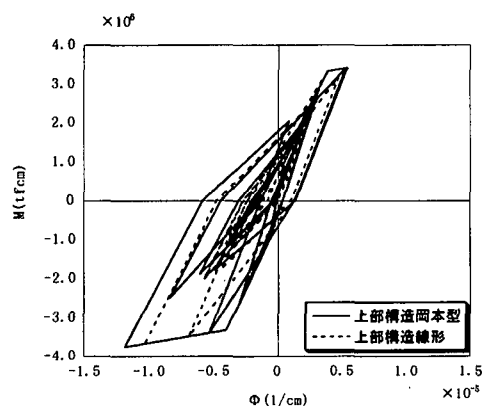


図-8 長橋脚基部におけるM-φ履歴曲線の比較
(入力波1.5倍時)

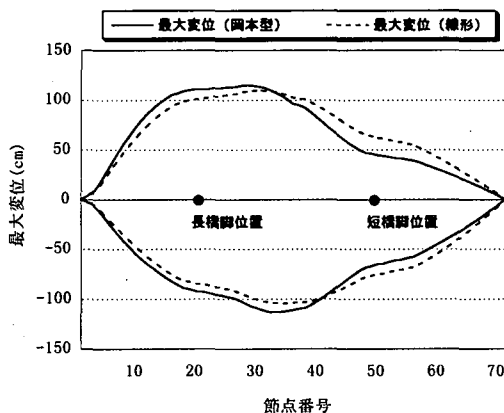


図-9 上部構造の最大水平変位分布
(入力波1.5倍時)

造の最大水平変位分布を示す。これらの図から、ひび割れ後の剛性低下により桁のたわみ性が増大した非線形解析において、長橋脚基部の降伏以降、桁の長橋脚付近の変位応答が、線形解析より増大し、長橋脚基部の応答塑性率が短橋脚基部の応答塑性率より大きくなることが理解される。

さらに入力加速度1.5倍時の結果として、図-10に短橋脚における最大曲率分布、図-11に、長橋脚における最大曲率分布を示す。

図-12、図-13に、上部構造の最大モーメント分布(0.85倍、1.5倍)を示す。上部構造の最大モーメント分布図には、最外縁鉄筋降伏モーメントおよびウェブ鉄筋降伏モーメントも示している。図-12より、通常の地震波入力による上部構造線形解析において、PC降伏モーメントに達する箇所(長橋脚側径間中央付近)が発生している。上部構造非線形解析においては、ひび割れモーメントを越える程度であった。

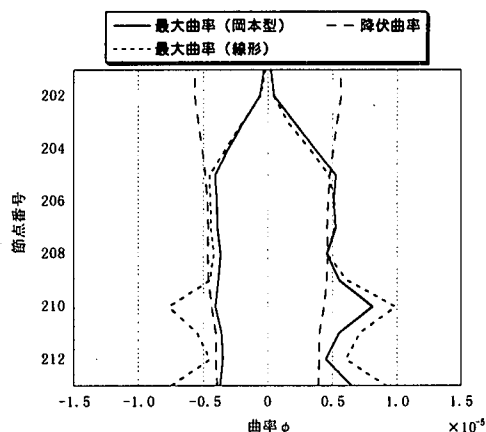


図-10 短橋脚における最大曲率分布
(入力波 1.5 倍時)

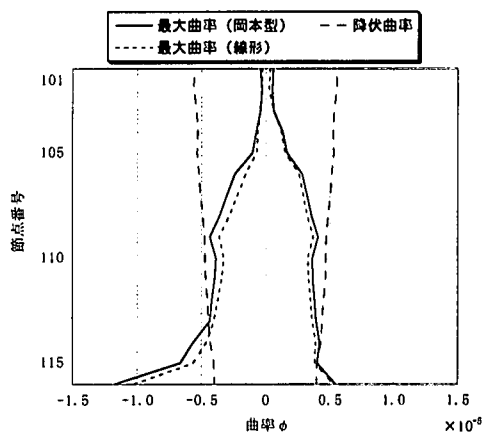


図-11 長橋脚における最大曲率分布
(入力波 1.5 倍時)

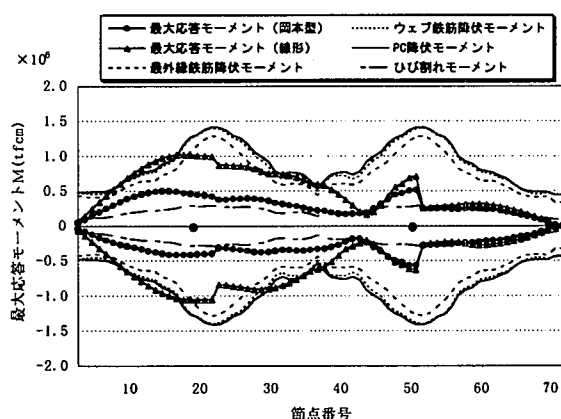


図-12 上部構造の最大モーメント分布
(入力波 0.85 倍時)

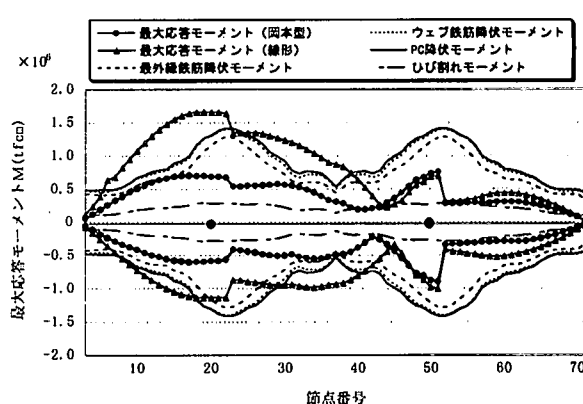


図-13 上部構造の最大モーメント分布
(入力波 1.5 倍時)

5. まとめ

- ・橋軸直角方向の解析においては、上部構造の非線形性を考慮しても、損傷は主として橋脚基部に集中する。
- ・上部構造の非線形性を考慮することで現れる桁の変形モードにより長橋脚基部の応答塑性率が急激に増大し、上部構造線形解析とは異なる結果となる。
- ・上部構造線形として解析を行った場合、非線形性を考慮した場合に比べ、その応答モーメントは大きく、PC降伏モーメントを越える結果となるが、非線形性を考慮すると入力波 1.5 倍時でも最外縁鉄筋降伏モーメント以内におさまっている。

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考慮した設計・照査手法において必要と考えられる、許容可能な損傷の程度、非線形履歴モデルの選択などを検討していく予定である。

参考文献

- 1) 大場, 前原他: PC ラーメン橋の動的解析における上部構造モデル化の影響, 第1回地震時保有耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp61-64, 1998. 1
- 2) 二階堂, 角本: PC 連続ラーメン橋の上部構造の耐震性に関する一検討, 第1回地震時保有耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp65-68, 1998. 1
- 3) 保坂, 睦好他: プレストレストコンクリート高架橋における PC 桁の地震応答性状: コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 19, No. 2, pp159-164, 1997
- 4) 大塚, 根井他: 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, 土木学会構造工学論文集, Vol. 45A, pp. 967-974, 1999 年 3 月
- 5) 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, Vol. 33, No. 4, pp52-63, 1991. 7
- 6) 林, 岡本, 小谷他: PC 部材の履歴特性と PC 造建物の地震応答性状, プレストレストコンクリート, Vol. 37, No. 4, pp57-67, 1995. 7
- 7) 日本道路協会: 道路橋示方書・V 耐震設計編, 1996 年 12 月