

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

大場 誠道¹・緒方 辰男²・前原 康夫³

¹正会員 工修（株）大林組 土木技術本部 設計第一部（〒113 東京都文京区本郷 2-2-9）

²正会員 工修 日本道路公団 技術部 構造技術課（〒100 東京都千代田区霞ヶ関 3-3-2）

³正会員 八千代エンジニアリング（株） 技術開発本部 耐震保全部（〒153 東京都目黒区中目黒 1-10-21）

1. まえがき

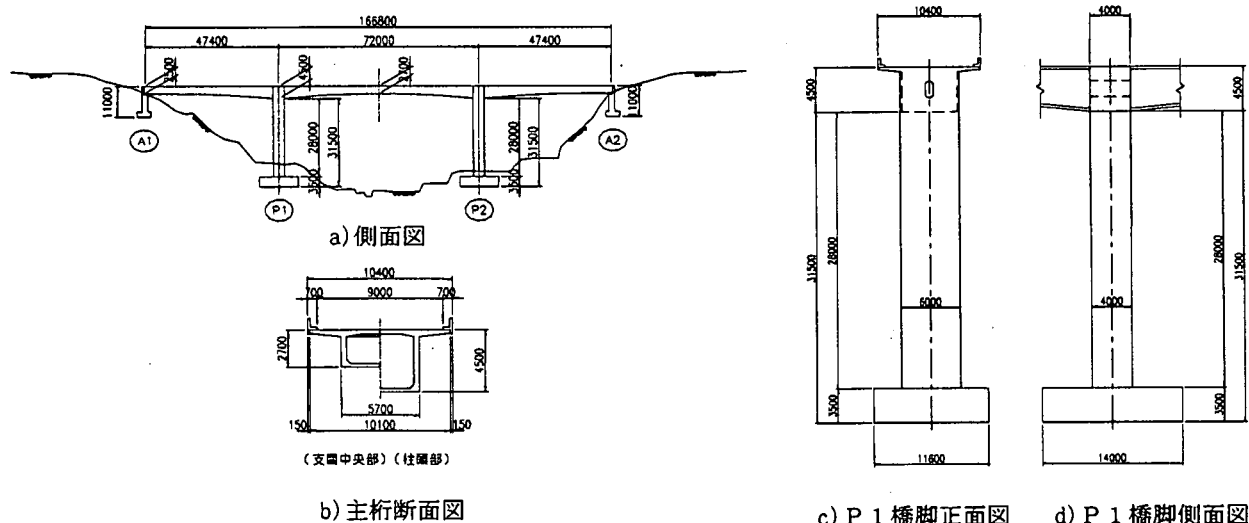
大規模な地震動に対して動的解析を行う場合、PCラーメン橋のように下部構造と上部構造が一体である構造では、下部構造および上部構造それぞれのモデル化によって橋梁全体の応答が異なることが予想される。上部構造のモデル化が橋梁全体の応答に及ぼす影響に関する知見は少ないが、橋梁の耐震性を照査する場合、要求される耐震性能に応じてモデル化することが合理的であると考えられる。

本研究は、中規模PCラーメン橋の上部構造の耐震性能を設定した上で、上部構造のモデル化の違いが橋梁全体の応答に及ぼす影響を検討した結果を示すものである。

2. 解析対象橋梁

解析対象橋梁を図-1に示す。設計条件は次のとおりである。

形 式：PC 3径間連続ラーメン橋
支 間 割：47.400m+72.000m+47.400m
幅 員：全幅員 10.400m
活 荷 重：B活荷重
橋 脚：柱式橋脚
橋 台：逆T式橋台
基 礎：直接基礎
支 承：可動型ゴム支承



使用材料

部 材	コンクリート f_{ck}	鉄筋	PC鋼材
上部構造	40N/mm ²	SD345	SBPR930/1180 φ 32mm
下部構造	24N/mm ²	SD345	—

図-1 解析対象橋梁

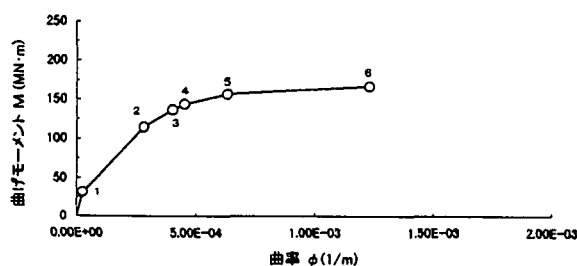
3. 上部構造のモデル化

(1) 初降伏状態の設定

本研究では、橋の供用期間中に発生する確率は低い大きな強度をもつ地震動が作用した場合に、橋脚に塑性ヒンジを発生させることによりエネルギーの吸収を図るものとし、上部構造に対しては初降伏状態以下であることとした。そこで、耐震性の照査を行うにあたり、上部構造部材の初降伏状態を設定する必要がある。したがって、本研究ではまず断面の曲げモーメントー曲率 ($M-\phi$) 関係を数値解析により求め、これを初降伏状態設定の判断材料とした。

図-2に中央径間中央断面における上部構造の鉛直軸まわりの $M-\phi$ 関係 (橋軸直角方向の解析) を示す。算出に用いた鉄筋、P C鋼材、およびコンクリートの応力-ひずみ曲線には道路橋示方書 (平成8年12月) IIIコンクリート橋編に示されている関係を用いた。図中の点1～点6の状態は別表にまとめて示す。なお、ひびわれ時とは上フランジの片持ち床版最外縁部のコンクリートにひびわれが発生する時であり、鉄筋降伏とは上フランジの片持ち床版最外縁部に配置される軸方向鉄筋およびウェブ位置の外側に配置される軸方向鉄筋がそれぞれ降伏に達した時である。

ウェブ位置の鉄筋が降伏する点3の状態においては、片持ち床版部の引張縁側の軸方向鉄筋は降伏点を超えているが、この時の片持ち床版部最外縁の軸方向鉄筋の伸びひずみは 0.24% であり、鉄筋が有する伸び性能 (伸びひずみ 18% 以上) と比較する



	状 態	M (MN·m)	φ (1/m)
1	ひびわれ	31.1	2.50E-05
2	鉄筋降伏 (上フランジ)	114.6	2.80E-04
3	鉄筋降伏 (ウェブ)	136.7	4.00E-04
4	P C鋼材降伏	144.1	4.50E-04
5	$\epsilon_c = 0.002$	156.8	6.30E-04
6	$\epsilon_c = \epsilon_{cu}$	166.8	1.23E-03

図-2 鉛直軸まわりの曲げモーメントー曲率の関係 (中央径間中央断面)

と破断までには余裕があり、また、剛性の低下も小さい。これより、点3の状態以下であれば、部材として初降伏に至っていないと考えられる。

なお、P C鋼材が片持ち床版部に配置されている断面などでは、最外縁のP C鋼材がウェブ外側位置に配置される軸方向鉄筋よりも先に降伏した。その場合には、最外縁のP C鋼材が降伏に達する時を部材の初降伏とすることが適当と思われる。

図-3に中央径間1/4断面における上部構造の橋軸直角方向軸まわりの $M-\phi$ 関係 (橋軸方向の解析) を示す。図中の点1～点3の状態は別表に示す。

剛性の低下は点3あるいは3'のP C鋼材の降伏以降に見られることから、点3 (3') を部材の初降伏とする考え方がある。しかしながら、ここでのP C鋼材は橋軸方向の設計における主要構成部材であり、また、この時は複数本のP C鋼材が同時に降伏する状態である。よって、点2あるいは2'のフランジに配置される軸方向鉄筋が降伏する時を初降伏とするのが妥当であると考えられる。

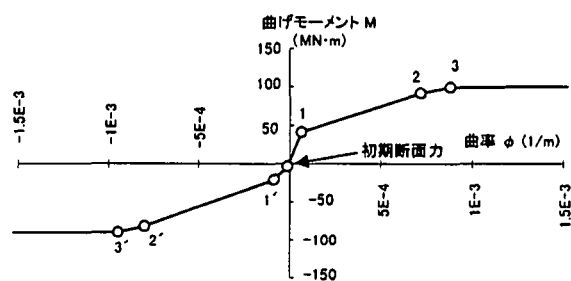
以上より、本研究で解析対象とした橋梁においては、上部構造部材の初降伏を次のように設定した。

i) 橋軸直角方向の解析 (上部構造における鉛直軸まわりの曲げモーメント)

ウェブ外側に配置される軸方向鉄筋、あるいはP C鋼材のどちらかが先に降伏する時

ii) 橋軸方向の解析 (上部構造における橋軸直角方向軸まわりの曲げモーメント)

正の曲げモーメントに対しては下フランジ下側の軸方向鉄筋、負の曲げモーメントに対しては上フランジ上側の軸方向鉄筋が降伏する時



	状 態	M (MN·m)	φ (1/m)
1'	ひびわれ	-21.0	-8.64E-05
2'	鉄筋降伏	-81.6	-7.98E-04
3'	P C鋼材降伏	-89.2	-9.47E-04
1	ひびわれ	40.9	6.50E-05
2	鉄筋降伏	91.9	7.18E-04
3	P C鋼材降伏	99.4	8.81E-04

図-3 橋軸直角方向軸まわりの曲げモーメントー曲率の関係 (中央径間1/4断面)

(2) 上部構造のモデル化

本解析では上部構造の断面力が初降伏以下であることを照査することが主目的であり、PC部材の復元力モデルに関する研究^{1), 2)}を参考に、以下に示すようなモデル化をとりあげた。

- ① 上部構造全部材にコンクリート全断面を有効とみなした剛性
- ② 上部構造全部材に降伏剛性
- ③ 上記①の方法を行い、初降伏を超えた断面を降伏剛性とする
- ④ コンクリートのひびわれ、初降伏点を通るバイリニア
- ⑤ 上記④をスケルトンカーブとした原点指向型の復元力モデル

4. 動的解析

解析モデルとしては全体系の骨組み構造モデルとし、解析法としては時刻歴応答解析法を用いた。下部構造は塑性ヒンジの形成が想定される箇所を非線形回転バネ要素とし、その他を非線形はり要素としてモデル化した。これら要素の復元力モデルは剛性低下型トリリニアモデル（武田型）とした。なお、以下に示す解析結果は内陸直下型地震を想定した地震動を用いたものである。

橋軸直角方向の解析結果として、図-4に前述した各上部構造モデルを用いて上部構造に発生する曲

げモーメントの最大値と各上部構造断面のひびわれ時および初降伏時曲げモーメントを示す。図より、②、③、④、および⑤のモデルを用いた場合の最大曲げモーメントはほぼ同様な傾向を示していることが分かる。これらは、①のモデルを用いた場合の最大曲げモーメントに対して中央径間中央断面において約60%減である。そして、これら②、③、④、および⑤のモデルを用いた場合、大部分の断面においてひびわれ時を超えてはいるが、全断面（④のモデルによる1部を除く）において初降伏以下である。

図-5に橋脚下端の塑性ヒンジ部の応答履歴曲線を①および③のモデルを用いた場合を示す。③のモデルを用いた場合の回転角の最大応答値は①のモデルを用いた場合の応答値の20%減となっている。なお、②、④、および⑤の場合の最大回転角は③の最大回転角とほぼ同じ値であった。

図-6に橋軸方向の解析に対して各上部構造モデルを用いた場合の上部構造の最大曲げモーメントを示す。図より橋軸方向の解析においても、②、③、④、および⑤のモデルを用いた場合の最大曲げモーメントはほぼ同様な傾向を示していることが分かる。①のモデルを用いた場合、橋軸直角方向の解析と同様に初降伏を超える断面があるが、他の上部構造モデルを用いた場合には初降伏以下である。橋脚の塑性ヒンジ部の応答に関しても橋軸直角方向の解析と同様な結果であった。

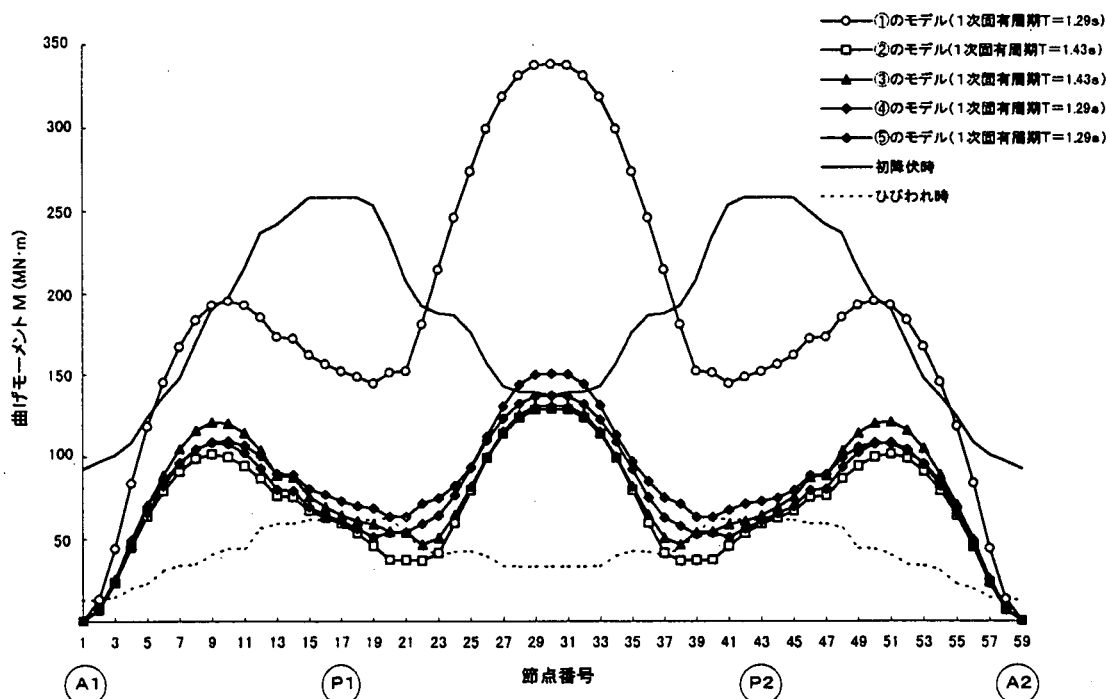


図-4 上部構造のモデルが最大曲げモーメントに与える影響
(橋軸直角方向の解析)

5. まとめ

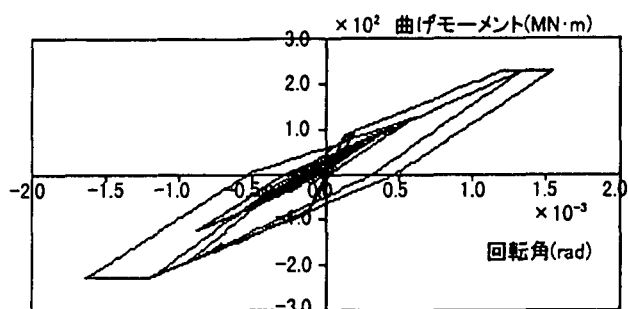
本研究の範囲から得られた結果を次に示す。

- 1) P C箱けた断面のM- ϕ 関係を数値解析により求め、断面の限界状態を推定することにより、上部構造断面の初降伏状態を提案した。
- 2) 動的解析により橋梁の耐震性を照査する場合、上部構造のモデル化により応答値が異なることから、所要の耐震性能や構造特性に応じてモデル化する必要がある。

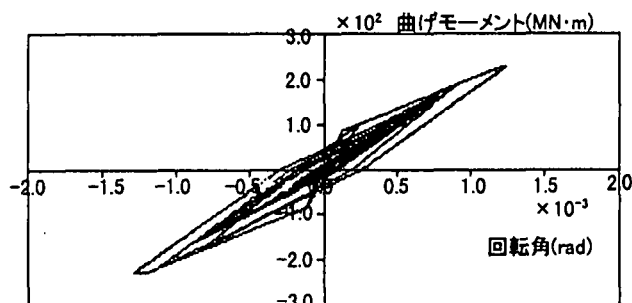
謝辞:本研究は(社)日本道路協会耐震設計例作成ワーキンググループにおける業務の一環として行われたものであり、同ワーキンググループ各位には貴重なご助言を頂きました。ここに、記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 保坂、睦好、稲田、ZATAR: プレストレストコンクリート高架橋におけるP C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、1997
- 2) 松本 公典: 材料特性を考慮したP C、R C構造の非線形動的解析、プレストレスト コンクリート、Vol. 25、No. 3、May 1995



(a) ①のモデル



(b) ③のモデル

図-5 橋脚下端塑性ヒンジ部応答履歴曲線
(橋軸直角方向の解析)

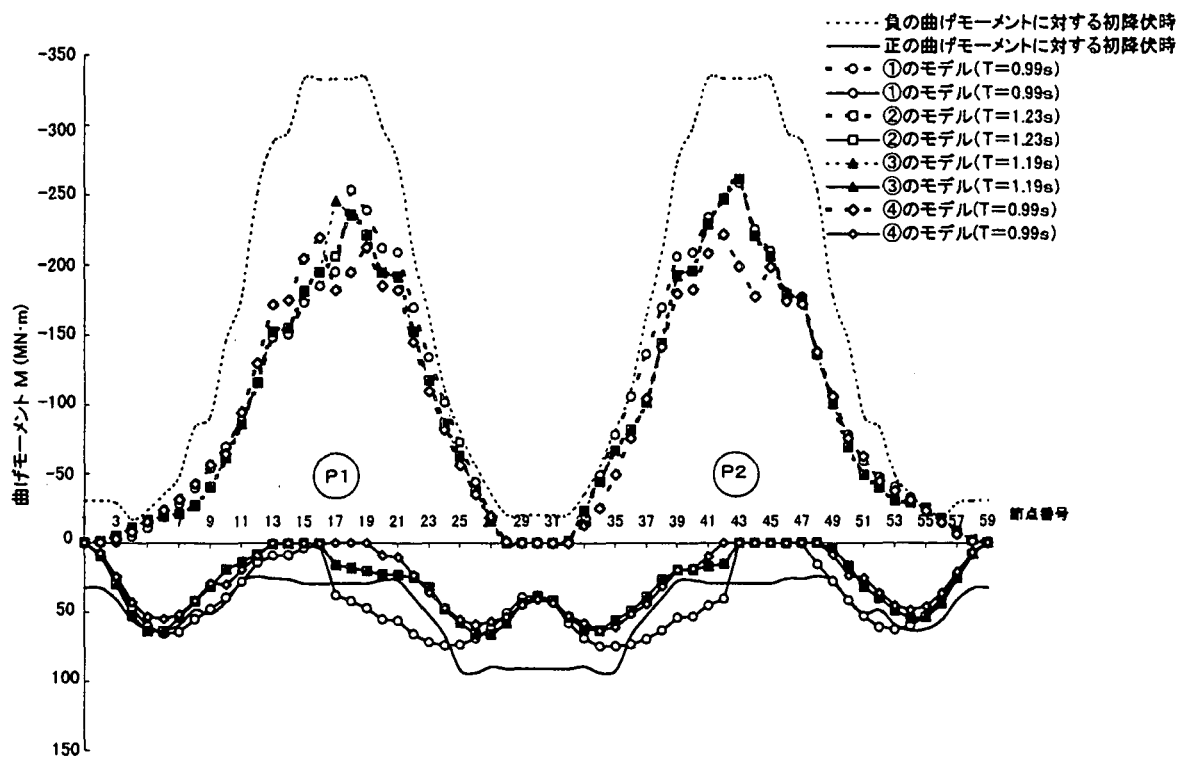


図-6 上部構造のモデルが最大曲げモーメントに与える影響
(橋軸方向の解析)