

鋼アーチ橋の非線形部材分割の影響

林 博明¹・為広 尚起²

¹正会員 ㈱日本構造橋梁研究所（〒107-0062 東京都港区南青山5-12-4）

²正会員 ㈱構造計画研究所（〒164-0012 東京都中野区本町4-38-13）

1. はじめに

阪神大震災以後橋梁構造物の非線形解析が活発に行われている。橋梁の非線形解析手法は種々の検討が行われ、単柱橋脚の解析手法はしだいに明らかになってきている。しかしながら、橋梁全体系を対象とする解析手法の検討は、まだ十分とは言えず今後の課題とされるところが多い。

橋梁全体系のモデル化の問題点として、部材の分割がある。非線形解析の場合塑性化により部材剛性が変化するため、部材の分割により応答が異なることがあり、線形解析のモデルの部材長を非線形のモデルに適用する場合判断が必要となる。

本文は、部材分割の異なる2つのモデルについて非線形動的解析を行い、非線形部材の分割が非線形応答に与える影響を調べるものである。

2. 解析条件

（1）対象構造物

解析対象は、橋長166m、アーチスパン126m、ライズ21mの鋼上路式アーチ橋である。

（2）解析モデル

解析モデルは、図-1に示す立体モデルで標準モデルと称する。また、標準モデルで塑性化した部材を2分割したものを分割モデルと称する。新設節点の質量はゼロで、質量条件は標準モデルと同じとした。

（3）入力地震動

入力地震動は、地盤種別をⅠ種地盤として次の道路橋示方書の標準波形とした。地震動の入力方向は、橋軸方向と橋軸直角方向である。

入力地震動 タイプⅠ-Ⅰ-2
タイプⅡ-Ⅰ-1

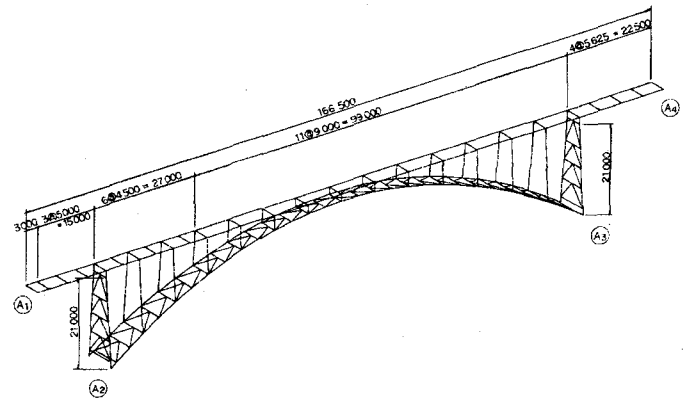


図-1 解析モデル

（4）部材の非線形性

部材の非線形性は、曲げモーメント M -曲率 ϕ 関係により考慮する。アーチリブや柱などの鋼部材の非線形性は、バイリニア型モデルとした。 M - ϕ は、平面保持の仮定に従い応力-ひずみ関係より求めた。初降伏モーメント M_{yo} と初降伏曲率 ϕ_{yo} は、縁ひずみが降伏ひずみに達するときとし、降伏モーメント M_y は M - ϕ 曲線で囲まれる面積が等価となるように完全弾塑性型として求めた。

補剛桁の M - ϕ 関係は、鋼材部と床版部の M - ϕ を別個に求めて累加したトリリニア型モデルとした。

（5）塑性化の判定方法

非線形部材の分割の影響は、部材の塑性化の判定方法により異なることが考えられるため、塑性化の判定方法は次の2種類とした。1つは、部材の中央部で非線形性を制御する方法で、中央部の曲げモーメントは M - ϕ 曲線で与えられる非線形特性に従う。もう1つは、部材の両端部と中央部の3点で非線形性を制御する方法で、3点の曲げモーメントは M - ϕ 曲線で与えられる非線形特性に従う。以後前者を部材中央制御、後者を部材3点制御と称する。

(6) 減衰

減衰は Rayleigh 型減衰とし、部材の減衰定数は全て $h=0.02$ とした。

(7) 解析ケース

解析ケースを表-1 に示す。標準モデルの入力地震動はタイプⅠとタイプⅡ、地震動の入力方向は橋軸方向と橋軸直角方向とした。分割モデルの入力地震動は、標準モデルにおいて塑性化する部材がなかったタイプⅠを除外し、タイプⅡのみとした。分割モデルの部材中央制御の橋軸方向は、標準モデルの応答が弾性範囲だったため除外した。

表-1 解析ケース

ケース	モデル	判定方法	入力地震動	入力方向
1	標準	中央制御	タイプⅠ	橋軸方向
2	"	"	"	直角方向
3	"	"	タイプⅡ	橋軸方向
4	"	"	"	直角方向
5	"	3点制御	タイプⅠ	橋軸方向
6	"	"	"	直角方向
7	"	"	タイプⅡ	橋軸方向
8	"	"	"	直角方向
9	分割	中央制御	タイプⅡ	直角方向
10	"	3点制御	タイプⅡ	橋軸方向
11	"	"	"	直角方向

3. 解析結果

(1) 固有値

標準モデルの固有値解析結果を表-2、応答に寄与する主要なモードを図-2 に示す。

(2) 標準モデルの塑性化部材

標準モデルの塑性化する部材を表-3 に示す。タイプⅠを入力したケース1, 2, 5, 6は、全ての部材が弾性範囲内となった。

タイプⅡを入力したときの塑性化部材は、次のとおりである。部材中央制御によるケース3は、全部材が弾性範囲となり、ケース4は補剛桁が塑性化した。部材3点制御によるケース7は補剛桁、ケース8は補剛桁と上部横桁が塑性化した。

タイプⅡを入力したときの塑性化部材を図-3 に示す。図-3 の橋軸直角方向入力の場合4とケース8に着目すると、部材中央制御と部材3点制御で塑性化部材が異なることがわかる。これは、中央制御と3点制御の塑性化の判定方法が異なることによる。中央制御は、部材中央の曲げモーメントから塑性化を判定するため、部材端部が降伏に達しても部材中

表-2 固有値

モード 次数	周期T (sec)	刺激係数		
		橋軸方向	直角方向	鉛直方向
1	2.685	6.67	0.00	0.06
2	1.386	0.00	10.72	0.00
3	0.966	0.00	0.02	0.78
4	0.738	-0.01	0.07	0.00
5	0.621	-3.08	0.00	-0.26

次数	T(sec)	モード
1	2.685	
2	1.386	

図-2 主要モード

表-3 標準モデルの塑性化部材

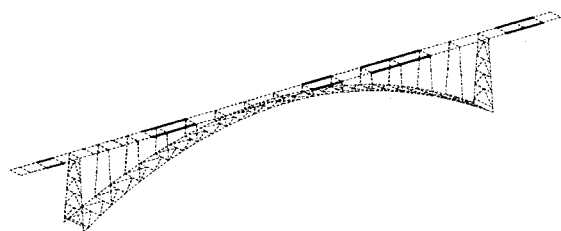
ケース	判定方法	地震動	入力方向	塑性化部材
1	中央制御	タイプⅠ	橋軸方向	無
2	"	"	直角方向	"
3	"	タイプⅡ	橋軸方向	"
4	"	"	直角方向	補剛桁
5	3点制御	タイプⅠ	橋軸方向	無
6	"	"	直角方向	"
7	"	タイプⅡ	橋軸方向	補剛桁
8	"	"	直角方向	補剛桁と上部横桁

央の曲げモーメントが降伏以下であればその部材は降伏に達したとは判定されない。3点制御は、部材の両端と中央の曲げモーメントから塑性化を判定するため、いずれかの曲げモーメントが降伏に達したときその部材が塑性化したと判定される。

(3) 標準モデルと分割モデル

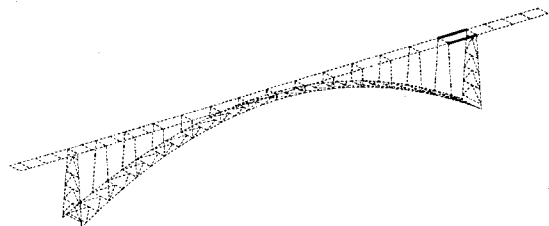
両モデルの最大応答値を表-4 に示す。部材中央制御の最大応答値は、分割数の違いによって 0.97～1.06 という比率が得られ、部材3点制御は 0.97～1.01 というわずかな違いが生じている。

タイプⅡの地震動を橋軸直角方向に入力したときの応答波形と応答履歴曲線を図-4 に示す。応答波形は、桁中央の直角方向の変位と加速度および中央付近の桁部材とアーチリブ基部の曲げモーメントである。応答履歴曲線は、部材中央制御が桁 1/4 点の部材、部材3点制御が中央付近の桁部材である。



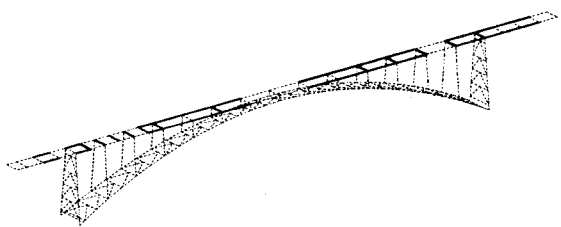
———：塑性化する部材

(a) ケース4 中央制御 タイプⅡ直角方向



———：塑性化する部材

(b) ケース7 3点制御 タイプⅡ橋軸方向



———：塑性化する部材

(c) ケース8 3点制御 タイプⅡ直角方向

図-3 塑性化する部材の位置（標準モデル）

図-4 の部材中央制御の標準モデルと分割モデルは、桁中央の変位と加速度、アーチリブ基部の曲げモーメントの応答波形で一致している。桁部材の曲げモーメントは、ピーク値にわずかなずれがあるが

周期特性は一致する。部材中央制御の応答履歴曲線より、標準モデルと分割モデルの曲率に差があることがわかる。これは、中央制御は部材の塑性化を中央部の曲げモーメントで判定するため、標準モデルの判定位置と塑性化部材を2分割したモデルの判定位置が異なることによる。

部材3点制御の応答波形の標準モデルと分割モデルは、振幅形状、位相ともよく一致していることが図-4 よりわかる。応答履歴曲線は、標準モデルと分割モデルの曲率に差が認められる。これは、分割モデルの部材長が標準モデルより短いため分割モデルの部材の平均的な応答が大きくなり、損傷の集中度合いが標準モデルより大きくなるからである。

なお、中央制御と3点制御の相違は細部解析条件の不一致の可能性よりここでは論じないものとする。

4. まとめ

塑性化部材の分割の影響を検討した結果をまとめると次のとおりとなる。

- ① 部材中央制御による標準モデルと分割モデルの応答は、最大応答値の比で 0.97～1.06 と差があるが、応答波形は両モデルで一致する。
- ② 部材3点制御の応答は、最大応答値の比で 0.97～1.01 だが、応答波形は一致する。

今回のモデルによる検討では部材分割が非線形応答に与える影響は少ないということがわかった。

ここで報告した内容は、(財)土木研究センターに設置された耐震ソフトウェアに関する研究委員会（座長：川島一彦東京工業大学教授）で検討されたものの一部である。

表-4 最大応答値（タイプⅡ入力）

解析方向	種別	位置	方向	単位	部材中央制御			部材3点制御		
					標準モデル	分割モデル	比率	標準モデル	分割モデル	比率
直角	変位	桁中央	直角	cm	52.2	51.1	1.02	50.7	50.8	1.00
		桁1/4点	直角	cm	41.1	41.0	1.00	42.2	41.8	1.01
	加速度	桁中央	直角	gal	1336.4	1310.0	1.02	1241.6	1239.0	1.00
		桁1/4点	直角	gal	1699.9	1603.4	1.06	1454.3	1435.3	1.01
	断面力	桁中央	N	tf	256.9	252.4	1.02	243.8	244.3	1.00
			S	〃	38.9	38.8	1.00	49.8	50.9	0.98
			M	tfm	561.6	553.1	1.02	652.8	653.8	1.00
		アーチ基部	N	tf	2237.7	2230.0	1.00	2170.9	2170.1	1.00
			S	〃	73.1	75.4	0.97	82.8	82.4	1.00
			M	tfm	125.1	127.1	0.98	147.3	146.6	1.00
		アーチ中央	N	tf	1005.0	986.9	1.02	908.8	913.3	1.00
			S	〃	14.1	14.4	0.98	17.6	18.1	0.97
			M	tfm	109.3	105.6	1.04	142.2	142.9	1.00

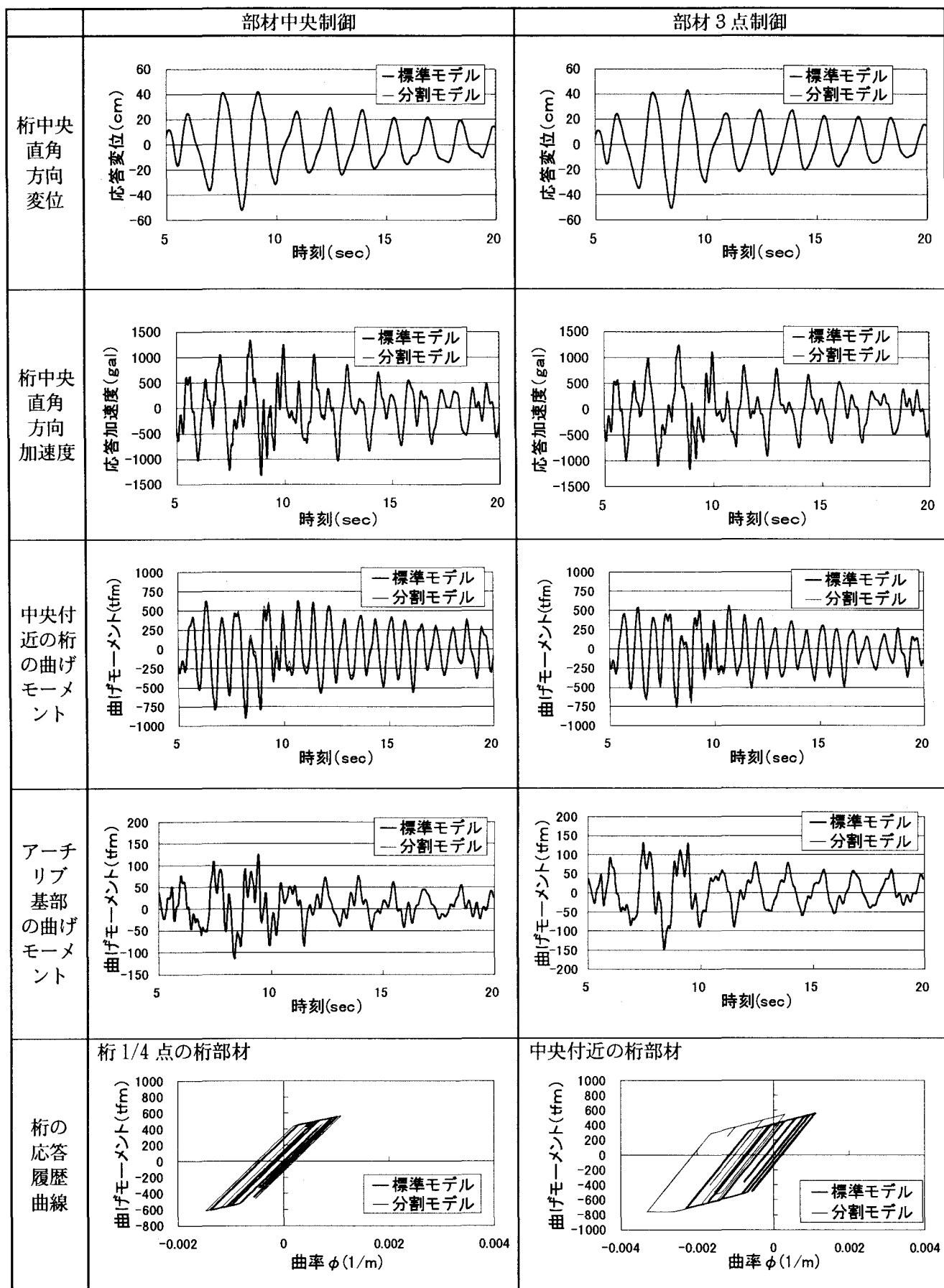


図-4 応答波形と応答履歴曲線 (タイプII 直角方向入力)