

(42) 曲線連続ラーメン橋の耐震検討

(株) 錢高組 土木本部 ○ 梅枝 寿臣  
 日本道路公団 名古屋建設局 水口 和之  
 日本道路公団 名古屋建設局 橋本 昌朗  
 (株) 錢高組 土木本部 正会員 山花 豊

1. はじめに

高速道路橋では、耐震性や経済性の面からPC連続ラーメン橋が採用される場合が多い。PC連続ラーメン形式を平面線形に小さな半径を有するジャンクションのランプ橋に採用する場合には、直線橋の場合とは異なる曲線橋特有の地震挙動が予想される。

本稿では、東海北陸自動車道 清見JCT・Dランプ橋詳細設計において実施した非線形時刻歴応答解析の結果より、PC連続ラーメン曲線橋の大規模地震(レベルⅡ)時における応答特性と解析方法に関する考察について報告する。

2. 橋梁概要

図-1に示す清見JCT・Dランプ橋は、最小半径 $R=120\text{m}$ の平面線形を有するPC4径間連続ラーメン1室箱桁橋である。P1-P2支間での交角は、道路橋示方書において構造解析上の曲線げた橋に該当する $\phi=36.8^\circ$ となっている。

また、支間の割に橋脚高さが低い(最小橋脚高さ:  $1/2$ 固定支間 $\approx 1:6$ )本橋では、端部橋脚には死荷重時にも比較的大きな橋軸方向曲げモーメントが作用しており、地震力の分担率も大きくなっている。

橋脚は長方形充実断面であり、基礎形式は大口径深礎杭( $\phi=8\text{m}$ )、端点にはゴム支承(タイプB)を採用している。

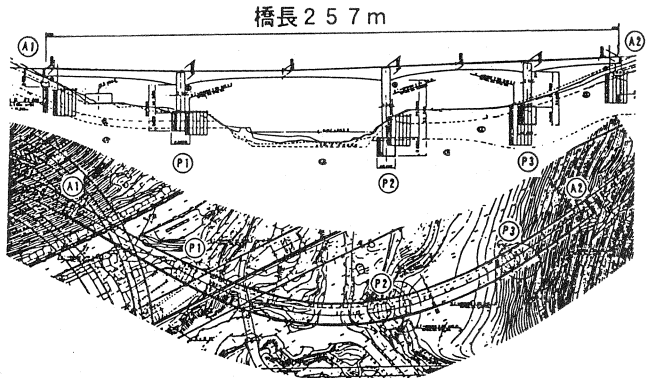


図-1 全体一般図

3. 解析モデル及び解析方法

(1) 解析モデル

図-2に解析モデル、表-1に支点条件及び部材の減衰定数を示す。

端支点及び橋脚下端の支持条件としては、端支点にはゴム支承のせん断及び鉛直方向バネを与え、橋脚下端にはPS検層に基づく地震時の地盤定数を用いて算出した深礎杭の換算基礎バネを設けた。

(2) 部材剛性

まず、主桁は線形部材、橋脚は非線形部材とした場合について解析を行ってみた。この時、非線形部材の復元力特性にはひびわれ発生時及び引張鉄筋降伏時を変曲点と

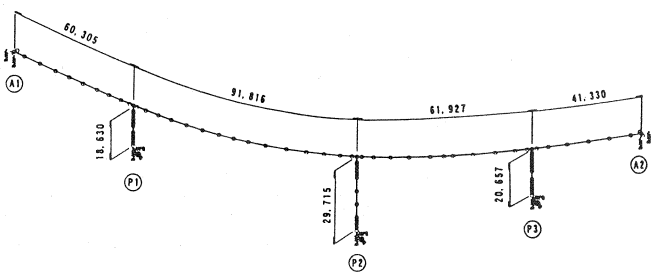


図-2 解析モデル図

するディグレーディングトリリニア型(武田モデル)を採用した。

その結果、主桁部材にも降伏曲げ耐力を上回る応答断面力がみられたため、主桁の非線形挙動によるエネルギー吸収性能を評価する方法として、主桁に降伏剛性をを用い減衰定数との取り合わせを変化させた場合や非線形部材とした場合などについても解析を行ってみた。

尚、曲線橋のため2軸曲げに対する非線形性能評価が必要であるが、解析プログラムの制約から、相直交する部材性能を独立して有する並列2部材として取り扱うこととした。

(3) 地震波入力時間及び解析時刻  
時刻歴応答解析における地震波入力時間は最大加速度作用時刻を含む20秒間とし、0.005秒間隔で解析を行った。

(4) 解析ケース

- 表一2に解析ケースを示す。解析比較した項目ごとに大別すると以下のとおりである。
- 1) 桁端直角方向支持条件の比較 (AグループとBグループ)
  - 2) 加震方向の比較 (Bグループ)
  - 3) 入力地震波の比較 (B-1及びCグループ)
  - 4) 主桁の部材剛性及び減衰定数の比較 (Dグループ)

表一1 支点条件及び減衰定数

支 点 条 件	端 支 点	FX	Fy	Fz	$\theta_x$	$\theta_y$	$\theta_z$	連成 $\lambda$
		端	○	x	○	○	○	○
大 口 径 深 礎 杭		○	○	○	○	○	x 及び ○	○
減 衰 定 数	上 部 工 脚 基 礎 支 点 $\lambda$	3%, (5%, 7%, 10%) 5% 20% 2%						

注) 支点条件 x:拘束 ○:自由 ●:バネ

表一2 解析ケース

ケースNo	加振方向	入力地震波	主桁の 曲げ剛性	主桁の ねじり剛性	構脚の ねじり剛性	主桁 部材減衰	桁端直角方向 拘束条件	構脚下端 ねじり拘束
A-1	P1橋脚軸方向	T2-I-1	線形	全断面	全断面	3%	自由	固定
A-2	P1軸直角方向	T2-I-1	線形	全断面	全断面	3%	自由	固定
A-3	P2橋脚軸方向	T2-I-1	線形	全断面	全断面	3%	自由	固定
A-4	P2軸直角方向	T2-I-1	線形	全断面	全断面	3%	自由	固定
A-5	P3橋脚軸方向	T2-I-1	線形	全断面	全断面	3%	自由	固定
A-6	P3軸直角方向	T2-I-1	線形	全断面	全断面	3%	自由	固定
B-1	P1橋脚軸方向	T2-I-1	線形	全断面	全断面	3%	固定	固定
B-2	P1軸直角方向	T2-I-1	線形	全断面	全断面	3%	固定	固定
B-3	P2橋脚軸方向	T2-I-1	線形	全断面	全断面	3%	固定	固定
B-4	P2軸直角方向	T2-I-1	線形	全断面	全断面	3%	固定	固定
B-5	P3橋脚軸方向	T2-I-1	線形	全断面	全断面	3%	固定	固定
B-6	P3軸直角方向	T2-I-1	線形	全断面	全断面	3%	固定	固定
C-1	P1橋脚軸方向	T2-I-2	線形	全断面	全断面	3%	固定	固定
C-2	P1橋脚軸方向	T2-I-3	線形	全断面	全断面	3%	固定	固定
C-3	P1橋脚軸方向	T1-I-1	線形	全断面	全断面	3%	固定	固定
D-1	P1橋脚軸方向	T2-I-1	線形	全断面	1/10	3%	固定	バネ
D-2	P1橋脚軸方向	T2-I-1	降伏剛性	1/10	全断面	3%	固定	バネ
D-3	P1橋脚軸方向	T2-I-1	降伏剛性	1/10	1/10	3%	固定	バネ
D-4	P1橋脚軸方向	T2-I-1	降伏剛性	1/10	1/10	5%	固定	バネ
D-5	P1橋脚軸方向	T2-I-1	降伏剛性	1/10	1/10	7%	固定	バネ
D-6	P1橋脚軸方向	T2-I-1	降伏剛性	1/10	1/10	10%	固定	バネ
D-7	P1橋脚軸方向	T2-I-1	直角曲げ非線形	全断面	全断面	3%	固定	バネ
D-8	P1橋脚軸方向	T2-I-1	軸、直角非線形	全断面	全断面	3%	固定	バネ

注) T2-I-1 : 神戸海洋気象台(N-S)修正波 最大加速度 -812gal  
 T2-I-2 : 神戸海洋気象台(E-W)修正波 最大加速度 766gal  
 T2-I-3 : 猪名川橋(N-S)修正波 最大加速度 780gal  
 T1-I-1 : 開北橋(LG)修正波 319gal

4. 解析結果および考察

(1) 固有値解析

表-3に固有周期及び有効質量比を、図-3に固有モード図を示す。当然のことながら、橋軸方向曲げ及び橋軸直角方向曲げなど各橋脚ごとに主要モードの発現が入り交じっており、曲線ラーメン橋の場合には静的解析だけでは十分な地震時挙動の推測ができないことがわかる。

表-3 固有周期

モード	周期 (sec)	剛性係数 / (有効質量比)		
		$T_x$	$T_y$	$T_z$
1	0.707	-0.316 (3%)	1.011 (27%)	0.214 (1%)
2	0.585	-0.755 (26%)	-0.729 (2%)	0.143 (1%)
3	0.529	0.878 (36%)	-0.385 (7%)	0.187 (2%)
4	0.464	0.406 (4%)	-0.144 (0%)	0.428 (4%)
5	0.403	0.386 (3%)	0.969 (21%)	0.058 (0%)
6	0.336	0.889 (5%)	-0.443 (2%)	-0.510 (3%)
7	0.318	-0.421 (7%)	0.257 (2%)	0.123 (1%)
8	0.295	-0.191 (1%)	-0.197 (1%)	1.362 (17%)
9	0.228	0.093 (0%)	-0.135 (0%)	-0.072 (0%)
10	0.213	0.522 (4%)	0.061 (0%)	0.259 (2%)

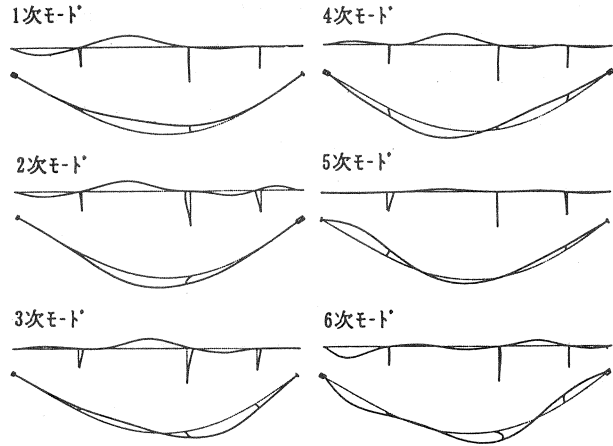


図-3 固有モード

(2) 時刻歴応答解析

神戸海洋気象台 (N-S) 修正波による解析結果 (解析ケース: B-1) より、図-4に応答時刻歴の一例を、図-5に応答 M-φ履歴曲線の一例を示す。このケースの場合、降伏に至った部材は橋脚下端で P1が3m、P2が2m、上端で P1が1m、P2が2m、P3で1m程の区間であり、最大の応答塑性率は P1 橋脚下端における  $\mu = 4$  であった。

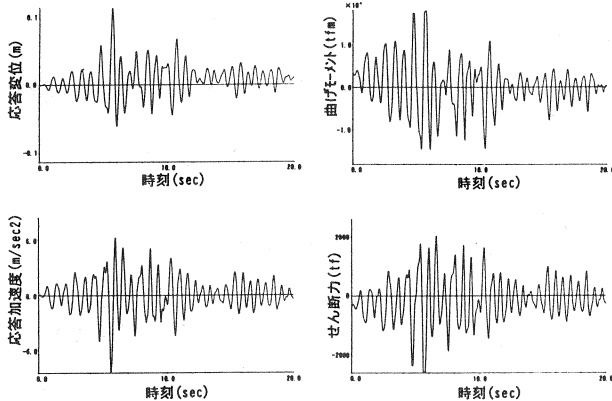


図-4 応答時刻歴

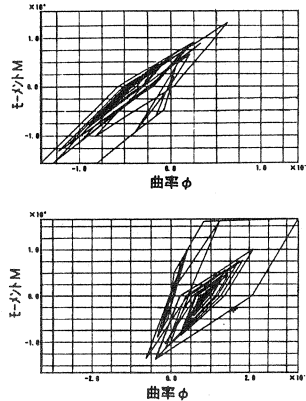


図-5 M-φ履歴

図-6に主桁橋軸曲げについて耐力と応答断面力を比較した結果を示す。

負の曲げでは降伏耐力を若干上回る程度、正の曲げでは終局耐力をも越える応答結果が得られた。連続ラーメン橋の構造特性を生かす為には、主桁の非線形挙動によるエネルギー吸収性能や断面力再分配の効果を解析的に評価することが必要である。

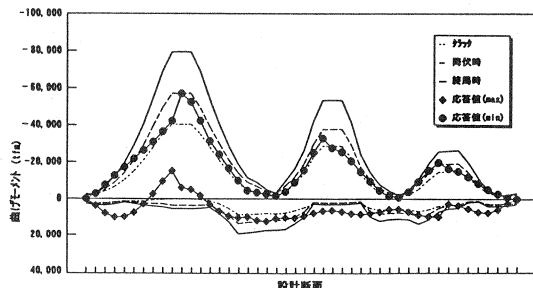


図-6 主桁橋軸応答曲げモーメント

(3) 時刻歴応答解析結果の比較

1) 加震方向の比較

図-7に神戸海洋気象台(N-S)波を使用し、地震波の入力方向を変えた場合の応答断面力比較を示す。

橋脚の応答断面力だけに着目すれば2~3方向は検討を省略でき得るとも考えられるが、主桁の非線形形状を考え合わせるとさらに複雑な応答が予想されるため、主要部材の主軸に合った全ての加震方向について検討するのが望ましいと考えられる。

2) 入力地震波の比較

図-8に入力方向をP1橋軸方向とし、入力地震波を変えた場合の応答断面力比較を示す。

I種地盤修正波(タイプII)の場合、入力波の種類による違いは少なく、1波形のみの解析でも十分であると考えられる。

また、タイプIの地震波による応答値はタイプIIの場合の約半分(入力加速度の最大値は0.39倍)であり、本橋の場合では殆どの部材の応答が降伏耐力以下であった。

3) 主桁の剛性及び減衰定数の比較

図-9に主桁の部材剛性及び減衰定数を変化させた結果の比較を示す。

上部曲線桁の非線形解析は、2軸曲げやプレストレスの問題から厳密に取り扱える解析プログラムも少なく、また、煩雑でもある。このため、主桁の降伏以降の剛性低下やエネルギー吸収性能を主桁の剛性低下率と減衰定数をパラメータとして置き換えた解析を行ってみたが、10%程度の減衰定数では明確な差異は現れず、また、主桁の剛性低下率も一律のままでは剛結部の橋脚モーメントの低下をさせない結果となった。

5. まとめ

曲線ラーメン橋の非線形動解析について実施事例をもとに考察したが、RC、PC部材の立体的な非線形挙動を反映させることは、理論上不明なことが多く、また、解析プログラムの対応上の問題からも困難となっている。特に、2軸曲げやねじりに対する非線形挙動(降伏剛性、復元力特性等)の影響評価が解析結果に及ぼす影響は大きく、断面構成則に関する研究が待たれるとともに解析シミュレーション技術の改善が望まれる。曲線ラーメン橋の耐震設計では、部材耐力と解析条件との整合性に留意しつつ、全体構造の安全性確保の着目から主要部材の塑性変形をどのように制御していくかが重要である。

<参考文献>

- ・社)道路協会 道路橋示方書・同解説I、III、IV、V(平成8年12月)

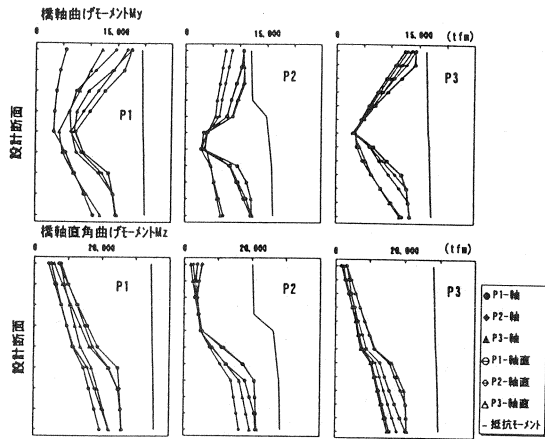


図-7 橋脚応答曲げモーメント(入力方向比較)

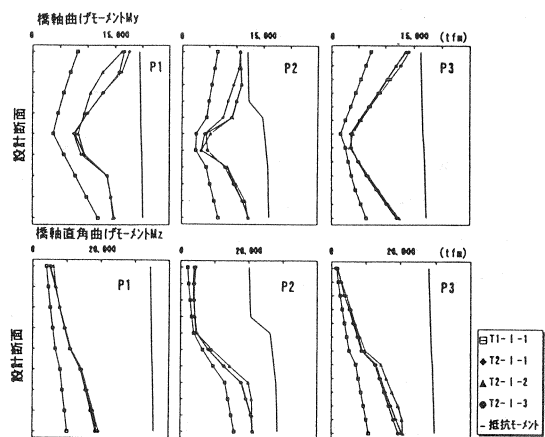


図-8 橋脚応答曲げモーメント(入力波比較)

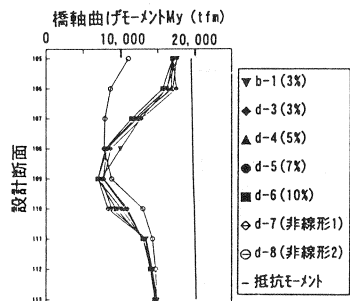


図-9 P1橋脚応答曲げモーメント比較(剛度、減衰別)