

I - B110 曲線ラーメン橋梁の耐震設計手法に関するアプローチ

中央復建コンサルタンツ 正会員○坂本 眞徳* 中央復建コンサルタンツ 正会員 廣瀬 彰則*
 日本道路公団 正会員 中尾 信裕** 同 上 正会員 藤田 悟司*
 立命館大学理工学部 正会員 伊津野 和行***

1. まえがき

曲線中の連続ラーメン橋梁は一般に地震時挙動が複雑であり、その耐震性照査に際しては新・道路橋示方書¹⁾においても、部材および基礎の非線形性を考慮した3次元動的解析によるのが望ましいものとなる。しかしながら、この手法についてはまだまだ解析上に多くの技巧を必要とするほか、設計実務に対する適用性・汎用性にも多くの問題を抱えており、実用的な設計手法の開発が求められている。ここではその一例として、一つのモデル橋梁を対象とした「保有水平耐力法と等価線形化法を用いた線形動的解析」による手法と、「線形固有値解析で得られた振幅比率を用いた荷重漸増法」による設計手法を適用したケーススタディについて報告する。また別途関連発表論文「曲線ラーメン橋梁の2次元地震応答解析」では、この問題に対する3次元非線形動的解析を行い、その挙動について検討するとともに2次元簡易モデルでの解析を行って、その差異について考察している。

2. 保有水平耐力法と線形動的解析による設計手法

対象とした橋梁は交角約90°と非常に小さな曲線を有する6径間連続曲線ラーメン橋であり、縦断勾配の影響により橋脚高さは13~23mの範囲で変化する特徴を有する（図-1）。基礎形式は場所打ち杭φ1.2mであり、動的解析にあたっては動的連成バネ（弾性）を考慮した。検討ケースは、基礎のバネおよび減衰定数を変化させた4ケースと、橋脚高および曲率に着目した2ケースの計6ケースにつき検証を行った。検証方法は、動的解析が線形解であるため保有水平耐力 P_a からエネルギー一定則による等価線形化法を用いて弾性応答作用力 P_E を求め、これから算定される柱基部曲げモーメントと動的解析結果との比較によった。

表-1に、柱基部に着目した動的解析による応答曲げモーメントと保有水平耐力から推定される作用曲げモーメントの比較結果を示す。動的解析値はいずれも保有水平耐力法による弾性応答解を満足するが、保有水平耐力法で決定した断面は過大とも思える結果を示した。また、応答変位については保有水平耐力法が一自由度系の仮定に基づいていることから、変位量の検証方法に本手法は問題があると判断された。

3. 荷重漸増法による3次元非線形静的解析

つぎに、直線ラーメン橋梁の耐震設計手法として最近実績の多く見られる、動的特性を考慮した荷重漸増法による非線形静的解析による設計方法について検討を行った。本手法は、①3次元モード解析を実施して各モード次における振幅比率を求め、②刺激係数が卓越するモード次を対象として振幅比率に応じた強制変形を各橋脚天端に載荷することにより3次元非線形静的解析を実施し、③荷重→ステップ数（変位）関係のグラフを作成し、④終局状態になった橋脚に対する P_a 、 $\mu \cdot \delta_y$ を算出する。⑤対象とする振動モードにつき、各橋脚の終局状態になった橋脚に対する振幅比を求め、終局状態となった橋脚が $\mu \cdot \delta_y$ となる場合の変形量を振幅比率から算出し、変形量に対する安全性の照査を行う、というものである。

図-2に、本手法により得られた1次モードにおける橋軸直角方向の「荷重→ステップ数関係」（100変

キーワード：耐震設計，曲線橋，ラーメン橋，動的解析，荷重漸増解析

* 〒532 大阪市淀川区西宮原1-8-29 TEL.06-393-1133 FAX.06-393-1143

** 〒550 大阪市西区靱本町1-11-7 TEL.06-448-4428 FAX.06-446-1189

*** 〒525-77 滋賀県草津市野路東1-1-1 TEL.0775-61-2728 FAX.0775-61-2728

位ステップまで計算）のグラフを示す。これにより各モード次におけるラーメン構造全体系の終局のメカニズム（推移）は概ね理解できると考える。また、図-2ではP1,P2橋脚は早い段階で柱基部が終局するという結果になっているが、同様に卓越するモード次に対して解析を行ったのち変位ステップを変位量に置き換えることにより各橋脚の「荷重～変位量」関係図を作成することができ、保有水平耐力 P_a と変位量の確認は可能であるとする。しかしながら、外力として強制変位を用いたため各橋脚に載荷される荷重値にはバラツキがあり、直線橋のように全体系に着目した「荷重～変位量」関係を特定することはできない。

4. 問題点の整理

曲線ラーメン橋梁の耐震設計手法に関するアプローチとして、i)保有水平耐力法と3次元線形動的解析との組み合わせによる方法、ii)振動解析による振幅比率を用いた荷重漸増静的非線形解析による方法の2つの手法を提示したが、実務設計における汎用手法として下記の問題点が挙げられる。

- ①保有水平耐力法を3次元線形動的解析で照査する手法は、保有水平耐力法が柱頭部塑性ヒンジの状態を想定しているため、ラーメン構造としての特異性が考慮されていない。
- ②同手法の場合、線形動的解析の結果から判断すると保有水平耐力法で設計した部材断面はラーメン構造の有利性が反映されないため、曲げ耐力は過大となる傾向を示すものと考えられる。
- ③同手法による場合、柱頭剛結部の評価ができないため、変位量の照査方法に問題がある。
- ④荷重漸増解析法は、刺激係数が卓越する各モード次全てを対象として解析を実施する必要があるため、3次元非線形動的解析と比べて決して簡易な手法であるとは考えられない。
- ⑤同手法では、各橋脚の「荷重～変位量」関係は、モード次および地震力の載荷方向等に応じて異なることから、曲線ラーメン橋全体系における終局のメカニズムが特定できない。

上記に着目し、別途発表論文「曲線ラーメン橋の2次元地震応答解析」において2次元非線形動的解析手法による耐震設計手法の報告を行う。

参考文献： 1) 道路橋示方書・同解説、V耐震設計編，日本道路協会，1996.12

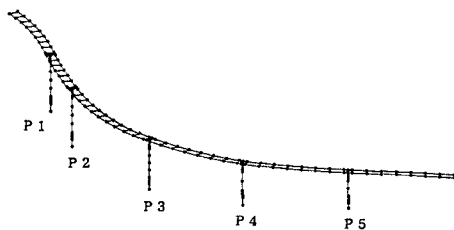


図-1 解析モデル（3次元）

表-1 線形動的解析と保有水平耐力法から推定される柱基部曲げモーメントの比較

			動的解析 $M_2(\text{tf}\cdot\text{m})$	比率	
				M_2/M_1	平均
ケース①	橋軸	P1	14444.979	0.608	0.615
		P3	16604.318	0.876	
		P5	7323.421	0.360	
	直角	P1	14739.436	0.471	0.566
		P3	15740.740	0.659	
		P5	9973.739	0.566	
ケース④	橋軸	P1	13185.424	0.555	0.606
		P3	16954.961	0.895	
		P5	7489.831	0.368	
	直角	P1	13536.563	0.433	0.525
		P3	15255.795	0.639	
		P5	8858.783	0.503	
ケース⑤	橋軸	P1	10904.813	0.459	0.626
		P3	17106.189	0.903	
		P5	10510.944	0.517	
	直角	P1	11413.123	0.365	0.544
		P3	15251.615	0.639	
		P5	11066.946	0.628	

【注釈】・ M_1 ：保有耐力から求まる柱基部曲げモーメント
 ・ケース①：脚高変化，動的パネ，基礎減衰20%
 ・ケース④：脚高変化，1/4動的パネ，基礎減衰30%
 ・ケース⑤：脚高一定，1/4動的パネ，基礎減衰30%

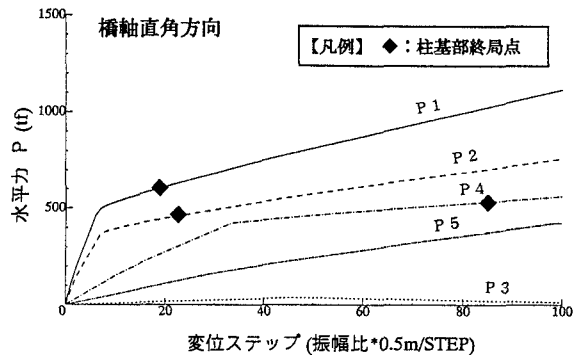


図-2 荷重～ステップ数関係（1次モード）