

ゴム支承およびラーメン曲線橋 の最適な動的解析

宋 波

正会員 工博 新日本技研株式会社技術本部 (〒105-0014 東京都港区芝 2-1-23)

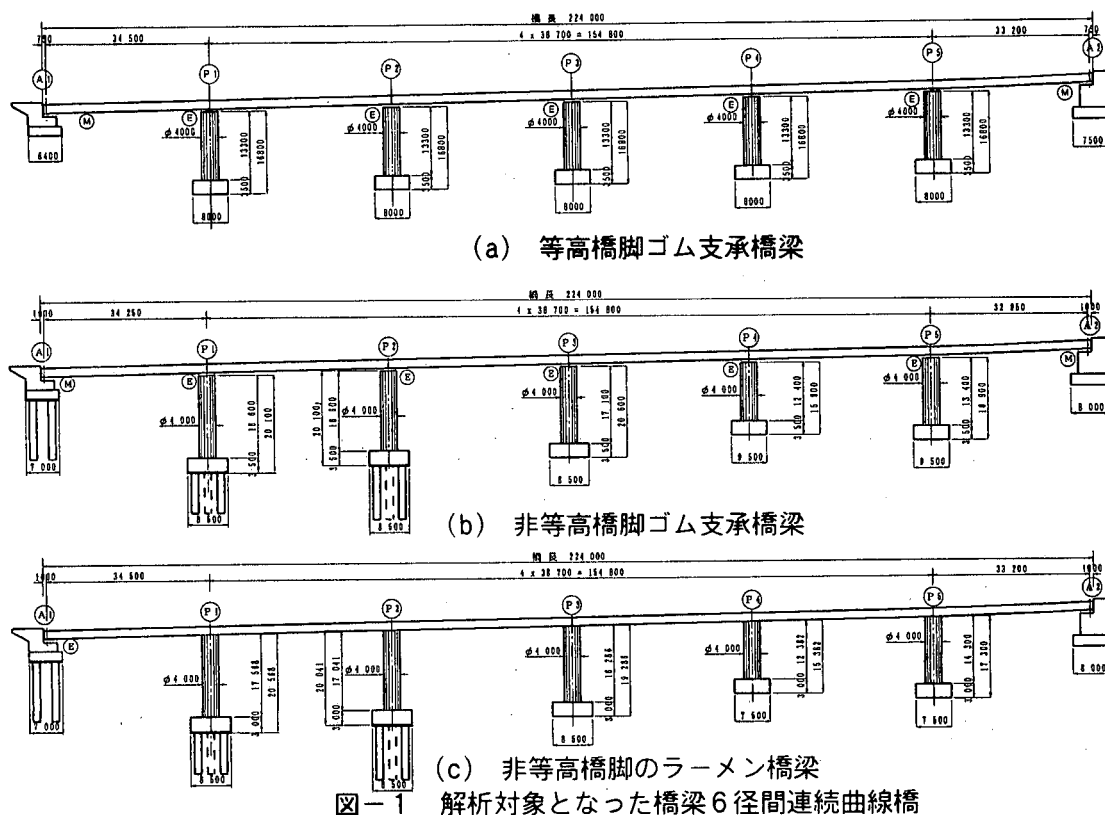
現在、曲線橋の耐震設計において、ほとんどの場合、入力地震動方向を変えながら、非線形動的解析を行ない、各橋脚における最大応答値によって耐震照査するために、煩雑な作業を必要とし、時間およびコストがかかる。しかもその多くの場合、二軸相関が考慮されていない。本研究では、円形断面の RC 橋脚を有する、ゴム支承の曲線橋とラーメン曲線橋について、二軸相関および材料非線形を考慮して、多くの静的および動的な解析を行なった結果、各橋脚の最大応答となる荷重方向は、両者でよく一致することを明らかにした。そこで、まず、非線形静的解析によって、各橋脚に最大応答を生じさせる地震入力方向を決定し、その方向に対して非線形動的解析を行なって耐震設計の照査を行なう方法を提案する。その結果、照査の信頼性の向上と時間の節約が可能となる。

Key Words: curve bridge, direction of input seismic wave, nonlinear dynamic analysis method

1. はじめに

地震時挙動が複雑な曲線橋の動的解析においては、各橋脚に対し、最もクリティカルな入力地震動方向を確定するため、従来の動的解析による入力地震動の推定をするのは苦勞が多い。現在行なわれている曲線橋における動的解析の多く場合では、断面 2 主軸周りの非線形を独立に用いている。本研究は、円

形 RC 断面の橋脚を有する橋梁を対象し、My-Mz 二軸相関を考慮した、静的非線形によるクリティカルな入力地震動方向を提案した。解析対象は図-1に示す 6 径間連続曲線橋であり、(a)と(b)はそれぞれ等高及び非等高橋脚ゴム支承橋梁、(c)はラーメン非等高橋脚の橋梁である、P2~P5 区間が主たる曲線部と



なっている。橋脚はすべて円形断面となっている。
 なお、ゴム支承の可動方向は桁部材軸に対して接線方向および法線方向である。
 橋梁の構造諸元の一覧表は表－1に示す。

表－1 解析対象の橋梁の構造諸元

構造形式	6 径間箱桁免震支承橋(a, b)/ラーメン曲線橋(c)
橋長	224.00m
支間割	34.5+4@38.70+33.20m
橋台形式	逆T式橋台
橋脚形式	柱式橋脚
基礎構造	直接基礎/杭基礎
地域区分	A地域
地盤種別	I種

2. 静的非線形解析によるクリティカル入力方向の推定

二軸曲げが発生する構造物の場合、中立軸の位置および傾きが未知数となるため、最大曲率は梁要素のベクトルの設定によって変わるので、ここでは二軸曲げを考慮することによって、非線形静的解析を行なう、各橋脚に対する危険入力地震動方向の推定を試みた。

(1) 解析モデル

解析モデルの一例として、等橋脚ゴム支承橋梁の解析モデルを図-2に示す。

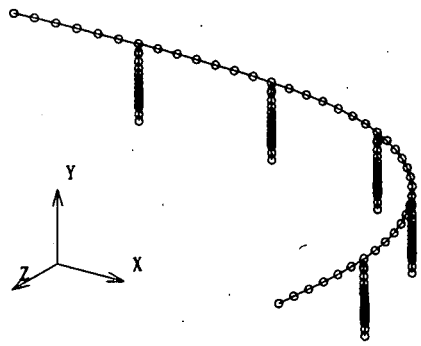


図-2 解析モデル

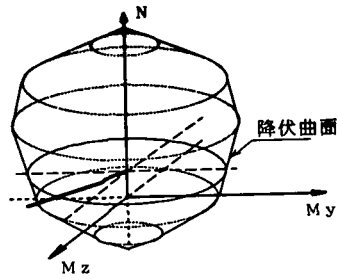


図-3 二軸曲げにおける柱部降伏曲面の定義

橋脚は非線形はり要素を用い、要素履歴特性モデルとしては、コンクリートのひびわれ、鉄筋の降伏を考慮した、非対称剛性低下型トリリニアモデル(修正武田型)を用いた。また、二軸相関を考慮するために、図-3 のように橋脚内の断面毎に発生モーメント (M_y, M_z) をプロットする 2 軸曲げ平面を想定し、一般的 RC 円形断面では良く用いた

$$(M_y/M_y)^2 + (M_z/M_z)^2 = 1.0$$

で定義した相関降伏曲面を使用する。ここに、 M_y および M_z は 2 方向の降伏耐力である。外力が入り始めると各断面の (M_y, M_z) が平面内を移動始めるが、この外力軌跡が曲面を超過した時点で塑性化の判定出し、二方向の曲げ剛性を主軸別に設定された剛性低下率に従って同じに低下させる。

図-4 に示したのは解析対象(a)の P2 橋脚における断面主軸別に設定された曲げモーメントと曲率の関係である。

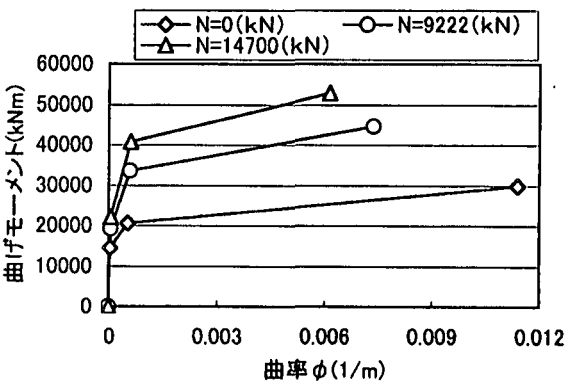


図-4 P2 橋脚下端の曲げモーメントと曲率の関係

静的荷重の入力方向を図-5に示す。

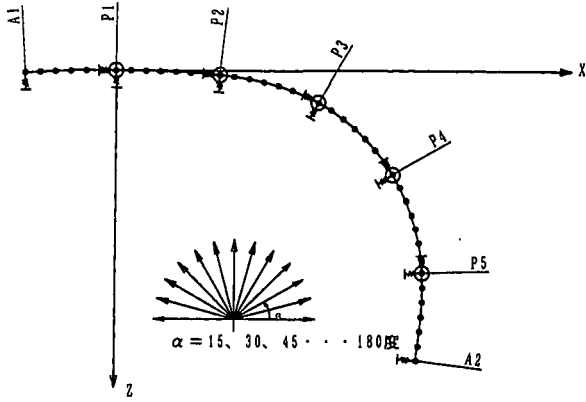


図-5 入力荷重の方向

静的荷重を 100 段階を分けて、質量に比例した水平方向の分布荷重を増加させて、非線形解析が行なわれた。

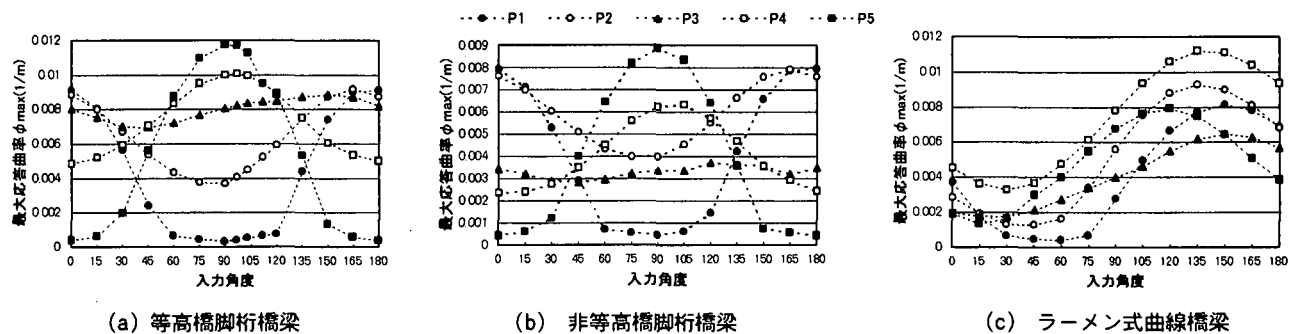


図-6 静的非線形解析による各橋脚におけるクリティカルとなる地震動の入力方向

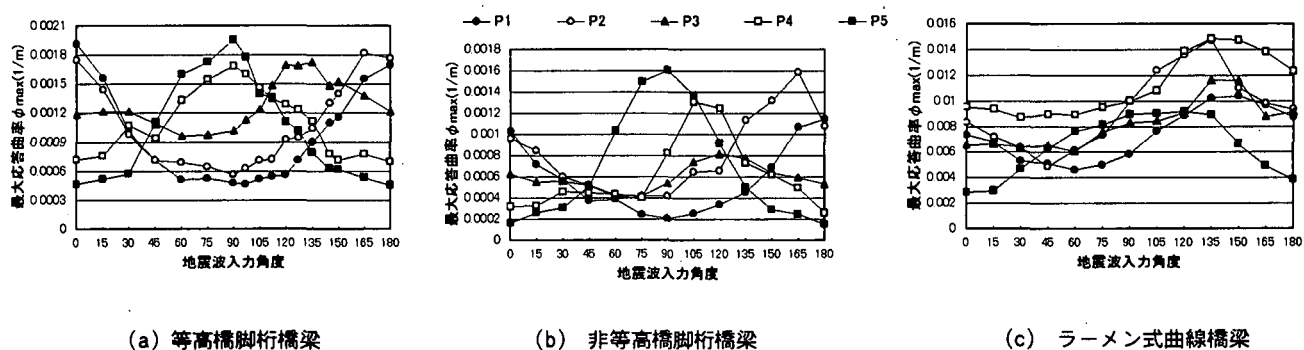


図-7 動的解析による各橋脚におけるクリティカルとなる地震動の入力方向

表-2 静的解析および動的解析によるクリティカル入力地震動方向の比較

橋脚	等高桁橋			非等高桁橋			ラーメン橋		
	静的解析法	動的解析法	誤差	静的解析法	動的解析法	誤差	静的解析法	動的解析法	誤差
P1橋脚	0	0	0	0	0	0	150	150	0
P2橋脚	165	165	0	165	165	0	135	135	0
P3橋脚	150	135	15	120	120	0	150	135~150	0~15
P4橋脚	100	90	10	105	105	0	135	135	0
P5橋脚	90	90	0	90	90	0	120	120	0

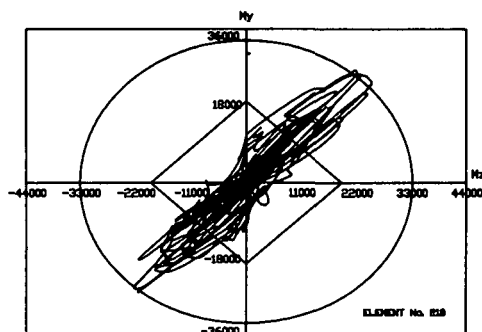
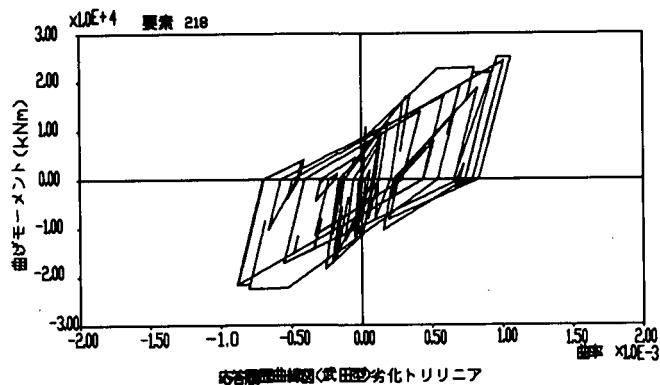


図-8 二軸相関による動的解析の出力図

(2) 解析結果

静的非線形解析によって求めた各橋脚に対するクリティカル入力地震動の角度は、図-6を示す。図-6により、各橋脚に対して、クリティカル入力地震動の角度は、表-2に示す。

3. 動的解析によるクリティカル入力地震動方向の推定および静的よるものとの比較

非線形静的解析によって決められた入力地震動方向を検証ために、縦来の橋脚の非線形性を直接非線形履歴モデルに取り込んだ時刻歴応答解析法を用いて、二軸曲げを考慮した動的解析を行った。積分法は Newmark- β 法 ($\beta=1/4$) とし、非線形解析であることから収束性を考慮して積分時間間隔を細かくとることとし、0.002 秒とした。なお、地震動が作用する前の初期断面力として自重のみ考慮した。解析モデルは静的解析モデルと同じ、その一例を図-2に示す。

図-1(a),(c)に示すモデルに対し、入力地震動としては、タイプ2-I-1の地震波(気象庁神戸海洋気象台地盤上で記録)を採用した。また、地震波の種類による影響を考察するため、図-1(b)に示すモデルに対し、入力地震動としては、タイプ1-I-1の地震波(1978年宮城県沖地震で記録)を採用している。なお、地震荷重の入力方向は、反時計まわりに測った角度で0~180度までの間、15度の刻みを増分した。

構造系の減衰における評価に関しては、各レリー減衰を用いて解析を行った。減衰定数は、上部構造では2%、橋台および橋脚では7.5%(線形要素)、2%(非線形要素)、フーチングでは7.5%、地盤と橋台の連結バネでは10%とした。免振ゴム支承は非線形復元力特性を見込んでモデル化しているため、減衰定数0とした。

(1) 動的非線形解析結果

動的非線形解析によって求めた、各橋脚に対するクリティカル入力地震動の角度は、図-7を示す。

(2) 静的非線形解析結果と動的解析結果の比較

静的解析による推定法が動的解析法と比較してどの程度の誤差が生じるのかを検討した。その結果を表-2に示す。表-2を見ると、従来法による最もクリティカル地震入力方向と静的解析による入力方向との誤差は最大15度であることがわかる。動的解析法が一般に15度毎に動的応答解析を行うことを考えると設計上十分な精度があると思われる。

得られたP2橋脚に対するクリティカル入力地震動を用い、動的解析を行った。図-8にP2橋脚の基部でのMy-Mz相関履歴と主軸方向および主軸直角

方向のM- ϕ 履歴図。

2軸曲げの考慮はその考え方の性質上、常に塑性化判定を早める方向に働く。断面主軸に沿わない方向の水平力が卓越する場合、通常の主軸別の判定をそのまま採用することが設計にとって危険である。

動的解析結果と静的非線形解析結果を比較すると、各橋脚において地震動の最悪入力方向は、両方向の解析結果がよく一致している。設計現場においては、地震動のクリティカル入力方向を推定するため、静的解析方法を用いて精度は十分だと考えられる。

4. おわりに

本研究では、円形断面のRC橋脚を有する、ゴム支承の曲線橋とラーメン曲線橋について、二軸相関および材料非線形を考慮して、多くの静的および動的な解析を行なった結果、各橋脚の最大応答となる荷重方向は、両者でよく一致することを明らかにした。そこで、まず、非線形静的解析によって、各橋脚に最大応答を生じさせる地震入力方向を決定し、その方向に対して非線形動的解析を行なって耐震設計の照査を行なう方法を提案する。その結果、照査の信頼性の向上と時間の節約が可能となる。

参考文献

- 1) 日本道路協会、道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編、平成8年12月
- 2) 日本道路協会道路橋の耐震設計に関する資料-P C ラーメン橋・RCアーチ橋・PC斜張橋等の耐震設計計算例、平成10年1月、日本道路協会
- 3) 松井、池内、盛川、上田、コヒーレンスに基づく最悪地震入力方向の推定法、土木学会第55次年次講演会講演概要集、2000年
- 4) 清水、小田、山口、久保、曲線橋の地震時変形に関する研究、土木学会第55次年次講演会講演概要集、2000年
- 5) 宋波、笠原真紀子、竹名興英、高尾孝二：橋梁の非線形動的解析におけるRayleigh減衰の妥当性について、土木学会第55次年次講演会講演概要集、2000年
- 6) 矢部正明、川島一彦：杭基礎の非線形地震応答特性とブッシュオーバーアナリシスによる解析法に関する研究、土木学会論文集 No.619/I-47,91-109,1999年