

ファイバー要素を用いた地震応答解析における 上下方向応答に関する検討

堺淳一¹・川島一彦²

¹学生会員 修（工） 東京工業大学大学院博士後期課程 理工学研究科土木工学専攻
（〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1）

²フェロー会員 工博 東京工業大学教授 工学部土木工学科 （同上）

1. まえがき

平成8年に改訂された道路橋示方書¹⁾では、地震時保有水平耐力法により部材の変形性能を考慮して設計することが規定された。これをうけて、橋脚の塑性ヒンジ部における非線形性をどのように評価するかに関心が集まっている。

鉄筋コンクリート橋脚（以下、RC橋脚と呼ぶ）の曲げ塑性変形に伴う履歴を、その構成材料である横拘束されたコンクリートや軸方向鉄筋の応力度～ひずみ関係を考慮して解析する手法としては、ファイバー要素が提案され、広く用いられている。しかし、実際にファイバー要素を用いて橋の地震応答解析を行うと、上下方向に非常識に大きな加速度応答や軸力応答が生じることが指摘されている。

そこで、本研究では単柱式RC橋脚で支持された桁橋を解析対象として、上下方向加速度がどのようなメカニズムによって生じるかに関する検討をおこなったので、この結果を報告する。

2. 解析対象橋脚

図-1に示すように高さ9.7m、4.0m（橋軸方向）×3.5m（橋軸直角方向）の矩形断面を有するRC橋脚で支持された桁橋で橋軸方向の応答を解析対象とする。この橋脚が支持する上部構造の慣性重量は橋軸方向には23.6MN、上部構造死荷重は17.2MNである。コンクリートの設計基準強度 σ_{co} は29.4MPaであり、軸方向鉄筋、帯鉄筋にはSD345が用いられている。

橋脚の断面を図-2に示す。軸方向鉄筋としては、橋軸方向にはD38が、橋軸直角方向にはD32がそれぞれ配置されており、軸方向鉄筋比は1.36%であ

る。また、道路橋示方書の規定に従って帯鉄筋比 ρ_s を求めると1.15%となる。

この橋脚を図-1に示すようにモデル化した。道路橋示方書に基づき橋脚基部から1.59mまでを塑性ヒンジとして、その区間はファイバー要素により、また、その他の区間は線形はり要素により、それぞれモデル化した。

ファイバー要素に用いたかぶりコンクリートおよびコアコンクリートの応力度～ひずみ関係を図-3（a）に示す。ここで、かぶりコンクリートは帯鉄筋による横拘束を受けていないために、最大圧縮応力度 σ_{cc} は σ_{co} 、最大圧縮応力度が生じる時のひずみは 2000μ とした。また、ひずみが 7000μ に達すると応力度は0になると仮定した。一方、コアコンクリートの最大圧縮応力度 σ_{cc} およびその時のひずみ ε_{cc} 、下降勾配 E_{des} はHoshikumaらの提案式²⁾から求めた。ただし、応力の下降域では σ_{cc} の20%の値にまで達すると、それ以上はひずみが増加しても応力度は σ_{cc} の20%の値のままであるとした。なお、除荷、再載荷時の弾性係数はいずれも初期弾性係数と

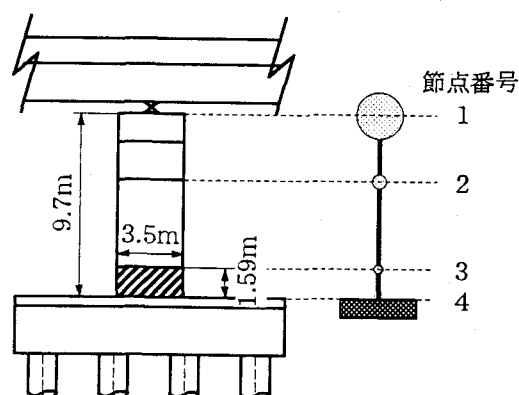


図-1 解析対象橋脚とそのモデル化

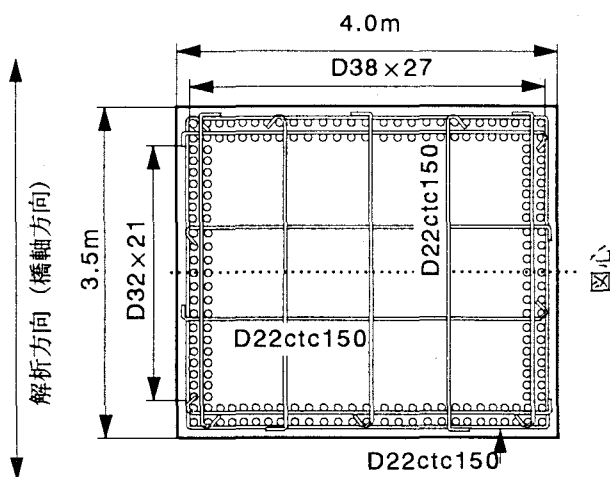


図-2 解析対象とした橋脚の断面

同じとし、その履歴は直線で表すものとした。曲げ引張強度 σ_{bt} は0と仮定した。

軸方向鉄筋の応力度～ひずみ関係を図-3 (b)に示す。降伏応力度 σ_{sy} およびその時のひずみ ϵ_{sy} はそれぞれ343MPa, 1670 μ とした。完全弾塑性であると仮定し、降伏後の2次弾性係数は0とした。降伏した後の除荷弾性係数および再載荷弾性係数は初期弾性係数と同じとした。

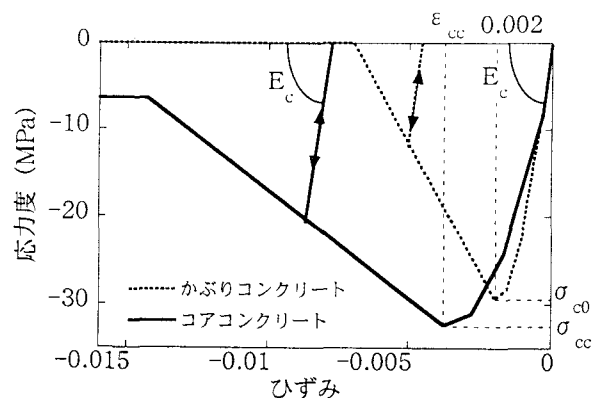
ファイバー要素には、上部構造および橋脚躯体の自重を見込んで22.4MNの初期軸力を与えた。

3. ファイバー要素を用いた場合の基本的な曲げモーメント～曲率関係の検討

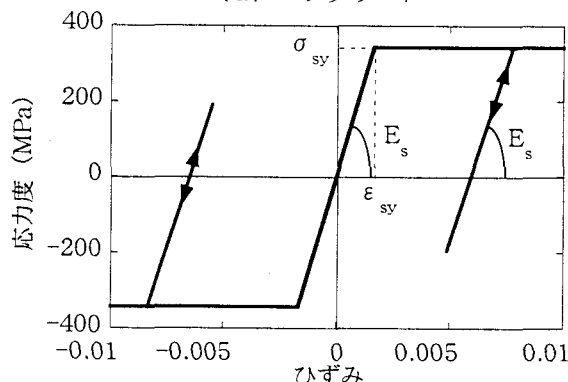
地震力を作用させた場合のファイバー要素の特性を検討するために、図-4 (a)に示す固有周期1.0秒、振幅0.64gの1波だけの正弦波状の加速度を作用させた。

正弦波を作用させた場合の橋脚天端における時刻歴応答とファイバー要素に生じる部材力の時刻歴応答、 $M \sim \phi$ の履歴を図-4に示す。橋脚天端では0.92gの最大加速度応答が水平方向に生じ、最大応答変位は0.22mとなっている。また、上下方向に1.55gもの大きな応答加速度が生じている。この非常に大きな上下方向加速度がどのような力の分担で生じたかを見るために、コアコンクリート、かぶりコンクリート、軸方向鉄筋に分けて、それぞれ正側、負側の最外縁における応力度～ひずみ関係を示した結果が図-5である。ここで、正の曲率が生じた場合に引張側になる断面を正側、圧縮側になる断面を負側とそれぞれ呼ぶこととする。

図-4の点1 (0.59秒) おいて入力加速度の向きが反転したあと、0.71秒に正側の最外縁の軸方向鉄筋が圧縮側で降伏するようになる (点2、図-5



(a) コンクリート



(b) 軸方向鉄筋

図-3 ファイバー要素に用いた応力度～ひずみの履歴

(c) 参照)。これ以降、徐々に側方筋が降伏するために曲げ剛性が低下していくが、0.81秒には曲率が正から負へと転じ (点3)、ほぼ0にまで低下していた接線曲げ剛性が急に初期曲げ剛性とほぼ同じ曲げ剛性にまで増大する (点4)。これは、図-5 (a), (b)に示すように、今まで引張側にあって応力度を分担していなかった正側のコアコンクリートおよびかぶりコンクリートが圧縮力を負担するようになるためである。この圧縮力の分担は衝突のような効果をもたらし、これによって橋脚天端には上下方向に1.55gもの大きな加速度が生じる。

4. ファイバー要素を用いた単柱式橋脚の地震応答解析

以上のような、ファイバー要素の基本的な $M \sim \phi$ 関係を念頭において、1995年兵庫県南部地震によるJR鷹取駅で記録されたNS成分記録を道路橋示方書のタイプII, II種地盤の加速度応答スペクトルに近くなるように振動数領域で振幅調整した波形に対する応答を求める結果が図-6である。

橋脚天端に生じる水平方向の応答に着目すると、最大加速度は0.8g、最大変位は0.1mであり、残留変位はほとんど生じていない。一方、上下方向には、水平方向を上回る最大で1.58gもの加速度が生じて

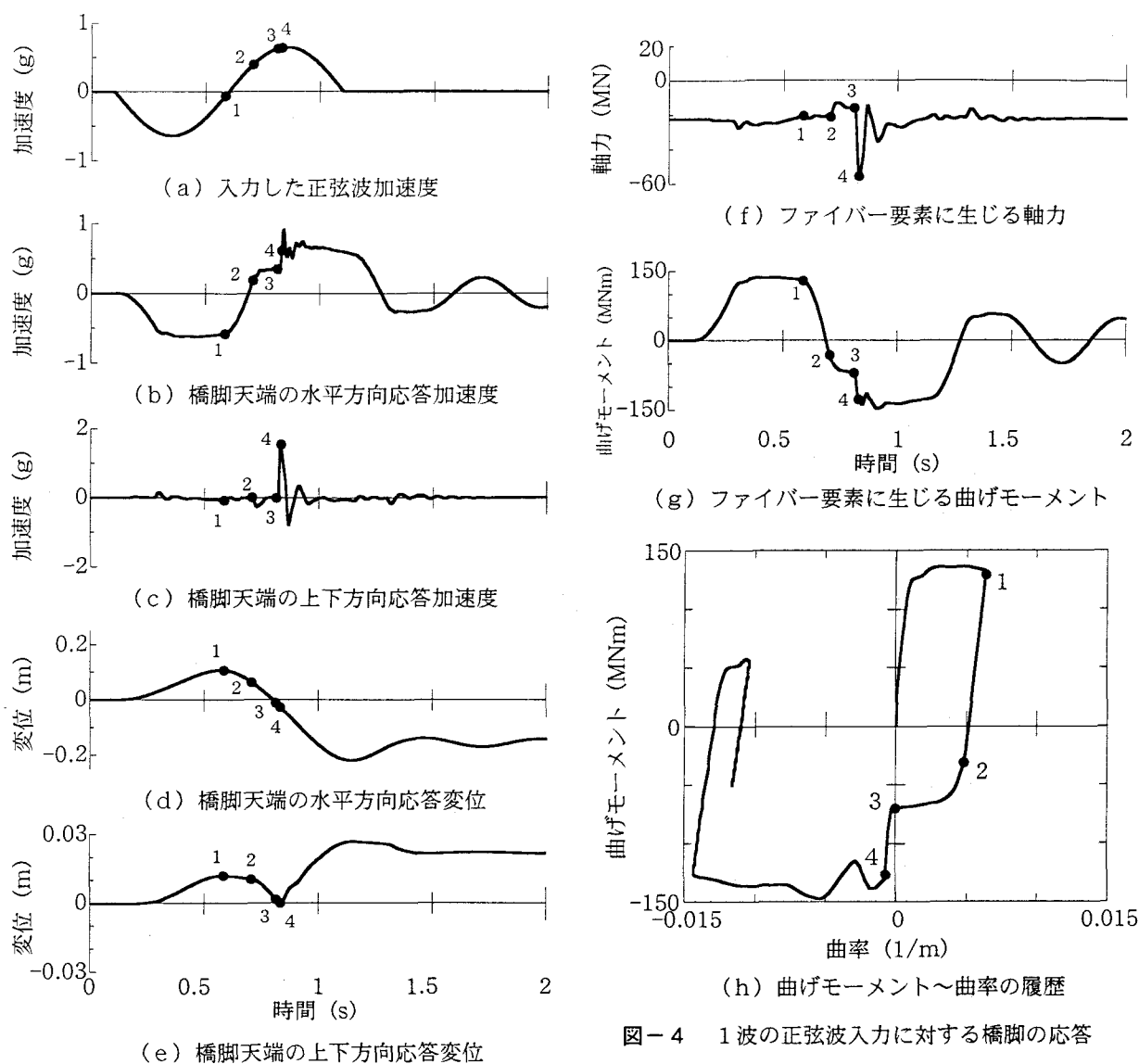


図-4 1波の正弦波入力に対する橋脚の応答

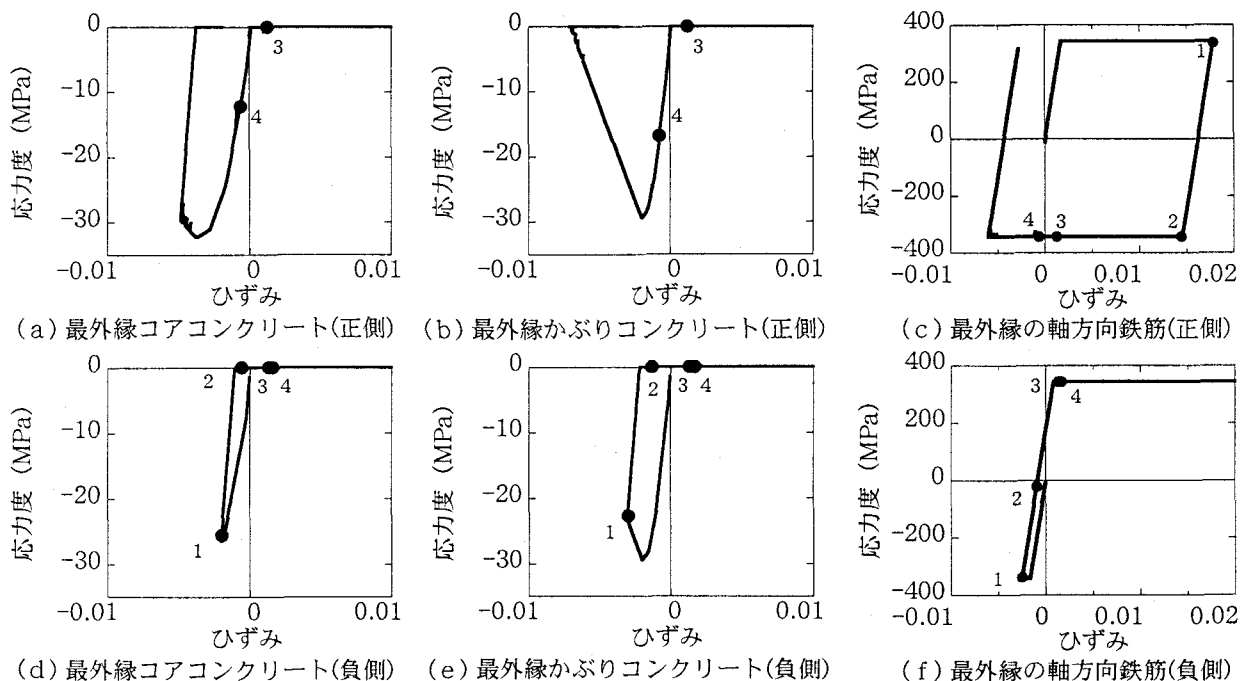


図-5 主要なファイバーにおける応力度～ひずみの履歴

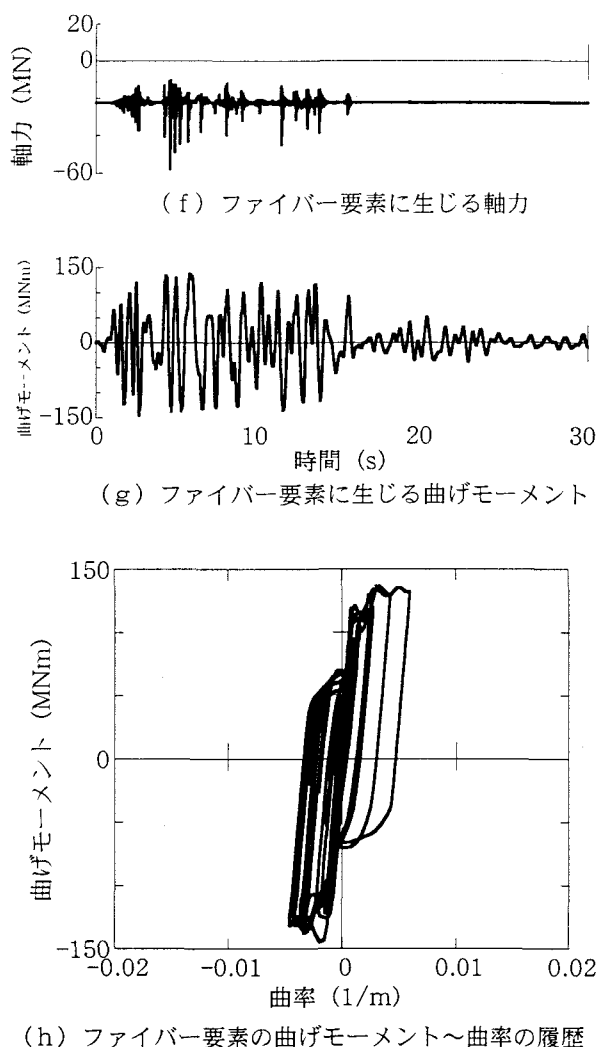
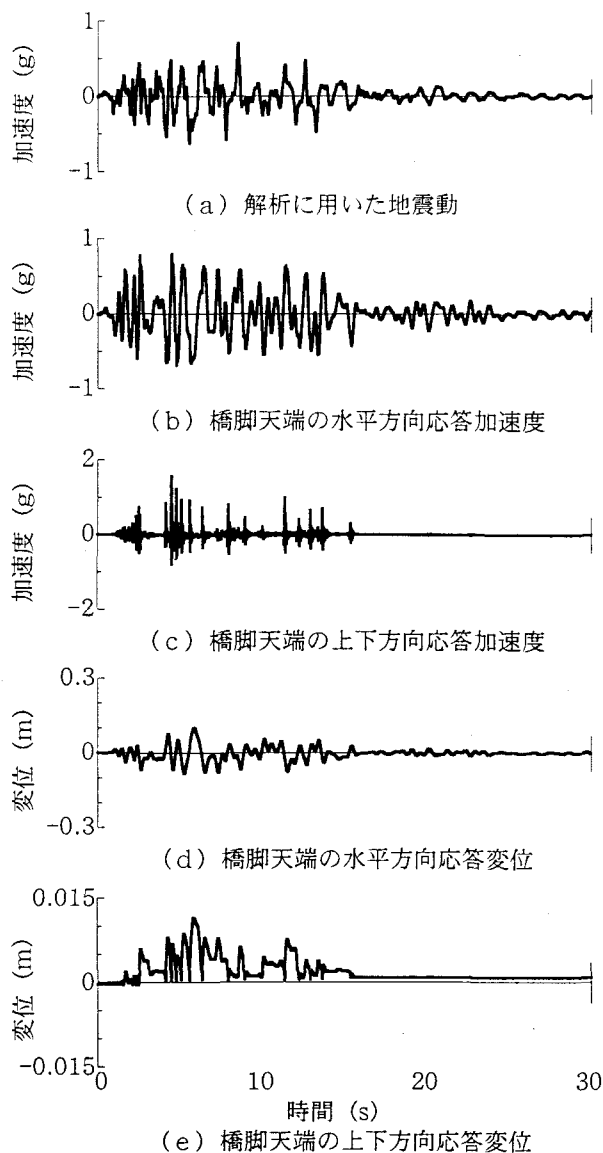


図-6 タイプII, II種地盤の標準波に対する応答

いる。これは前述した曲率が変化する位置において起こる一種の衝突によるものである。中立軸が移動するため、橋脚には上向きに最大で0.011mの応答が生じる。ファイバー要素に生じる最大曲げモーメントは、正側、負側でそれぞれ137MNm, 145MNmである。これは、静的自重によって生じる22.4MNを中心として圧縮側に35.3MN、引張側には11.8MNの範囲で軸力が変化するためである。

5. 結論

本解析で明らかになった事項をまとめると以下のようになる。

(1) 上下方向に地震入力がなくても、ファイバー要素には曲率が変化する際に上下方向に非常に大きな加速度応答が生じる。これは、曲率が変化した結果、今まで引張側にあって応力を分担していなかつ

たコンクリートが圧縮側に移ったとたんに応力を分担するようになり、一種の衝突現象が生じるためである。また、軸力と曲げモーメントが連成しているため中立軸の位置が変化し、このため橋脚には上向きの応答変位が生じる。

(2) 上下方向に地震入力がなくても、ファイバー要素に生じる最大曲げモーメントは、正側と負側とで異なることがある。これは、上記(1)よりファイバー要素に作用する軸力が変化するためである。

参考文献

- 1) 財団法人道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編，1996
- 2) Hoshikuma, J., Kawashima, K., Nagaya, K. and Taylor, A. W.: Stress-Strain Model for Confined Reinforced Concrete in Bridge Piers, J. Struct. Engineering, ASCE, Vol.123, No.5, pp.624-633, 1997