

ファイバーモデルを用いた地震応答解析による RC 橋脚の軸力変動の検討

大日本コンサルタント株式会社 正会員 ○ 高 文君

// 正会員 吉澤 努

// 正会員 徳橋 亮治

1. はじめに

RC 部材に曲げが生じると中立軸が図心から移動し軸方向の変位が生じるため、軸力変動が生じる。アーチ橋やラーメン橋脚等ではこの現象に対する注意が必要である。そこで、本検討では、単柱形式の RC 橋脚を対象としてファイバーモデルによる解析を実施し、部材の曲げに起因する軸力変動の影響について検討する。

2. 解析条件と解析ケース

検討対象橋脚を図-1 に示す。支承条件は固定とし、死荷重反力及び上部構造の分担重量は 6000kN とする。基礎は直接基礎である。配筋は静的照査法によりレベル 2 地震動に対し耐震性能 2 となるよう設定する。入力地震動は図-2 に示す道路橋示方書の標準波Ⅱ-I-1¹⁾とし、地震動の入力方向は橋軸方向とする。

解析モデルは非線形梁モデルとファイバーモデルの 2 通りとする。非線形梁モデルの $M-\phi$ 関係は降伏曲げモーメントに達して以降勾配が水平となるバイリニアモデルとし、履歴モデルは武田型とする。ファイバーモデルは断面高さを 50 程度に分割した 2 次元ファイバーモデルとする。橋脚高さ方向の節点分割は断面高さの 1/4 とする。

ファイバーモデルにおけるコンクリートの応力-ひずみ関係 ($\sigma-\epsilon$ 関係) は、通常の RC 断面計算で想定されるように引張応力を無視したモデル (引張履歴無視モデル) と、引張応力が異形鉄筋を介してコンクリート間で伝達されることを考慮したモデル²⁾の 2 通りとする (引張履歴考慮モデル)。

3. プッシュオーバー解析

まず、ファイバーモデルに対するプッシュオーバー解析を行う。引張履歴無視モデルの解析結果を図-3 に示す。ファイバーモデルの解析結果は地震時保有水平耐力法による水平荷重-水平変位 ($P-\delta$) 関係とよく一致している。ファイバーモデルの耐力がやや大きいのはかぶりコンクリートの圧縮応力を考慮しているためである。

橋脚天端における水平方向と鉛直方向の変位の関係を図-4 に示す。橋脚の水平方向の変位に伴い鉛直上方向の変位が生じ、耐震性能 2 の限界となる時の鉛直変位は 15.3mm である。

4. 動的解析

動的解析の結果より、橋脚基部の曲げモーメント-曲率 ($M-\phi$) 履歴を図-5 に示す。ファイバーモデルは引張履歴無視モデルであ

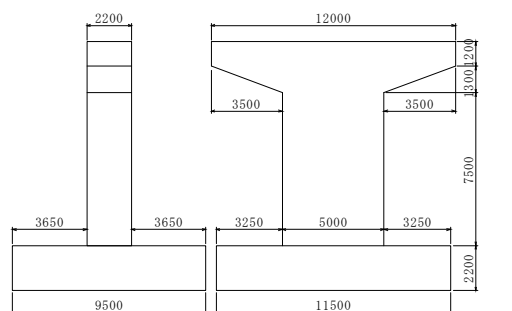


図-1 検討対象橋脚

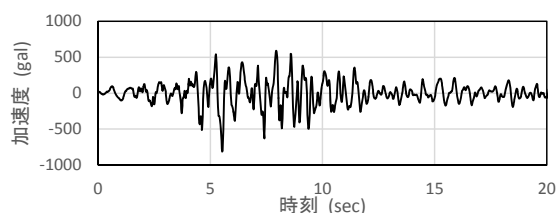


図-2 入力地震動

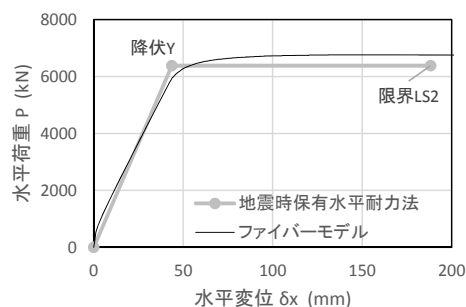


図-3 橋脚の水平荷重-水平変位関係

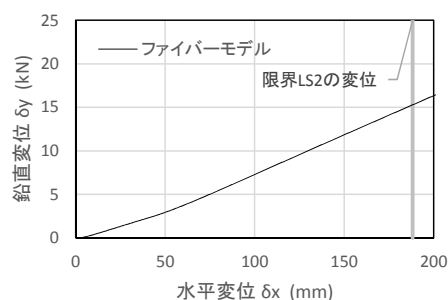


図-4 橋脚の水平変位と鉛直変位

キーワード RC 構造物, 耐震設計, 動的解析, ファイバーモデル, 曲げ-軸力相関

連絡先 〒170-0003 東京都豊島区駒込三丁目 23 番 1 号 TEL 03-5394-7604

る。ファイバーモデルでは降伏後に曲げモーメントの増加が見られる。また、曲率の最大値は非線形梁モデルの 1/2 以下である。解析モデルによる履歴ループの違いは文献³⁾の検討と同様の要因によるものと考えられる。ファイバーモデルにおける降伏後の耐力の増加はプッシュオーバー解析でも見られるが、増加の度合いは動的解析の方が顕著である。橋脚基部の軸力の時刻歴を図-6 に、橋脚天端の鉛直変位の時刻歴を図-7 に示す。ファイバーモデルでは橋脚に軸力変動と鉛直変位が生じている。橋脚の軸力変動は柱の鉛直振動による慣性力に起因すると考えられる。

軸力が最大となる時刻 5.6 秒の前後の時間(時刻 5.48~5.8 秒)の橋脚基部の M- ϕ 履歴と、プッシュオーバー解析による M- ϕ 曲線を図-8 に示す。動的解析の M- ϕ 履歴のピークは、軸力を動的解析の最大値として算出した曲線に近く、曲げ耐力の増加は柱の鉛直振動による軸力変動の影響と考えられる。

ファイバーモデルにおいてコンクリート要素の引張履歴を無視する場合と考慮する場合の 2 通りとした、橋脚基部の M- ϕ 履歴を図-9 に示す。両者を比較すると、引張履歴考慮モデルの方が応答曲率が大きい。コンクリートの引張り応力を考慮すると、無視した場合に対し中立軸位置が変わるため、柱の鉛直振動に変化が生じる。このため M- ϕ 履歴にも変化が現れたと考えられる。

5. おわりに

ファイバーモデルを用いた動的解析により、単柱形式の RC 橋脚であっても水平振動により軸力変動が生じ、曲げ耐力に影響すること、コンクリートの引張応力履歴を無視することが必ずしも安全側の仮定ではないことが分かった。

本検討より、アーチ橋やラーメン橋脚等、曲げ-軸力相関の影響が大きい構造物においてファイバーモデルによる動的解析を行う場合の留意点として、以下が挙げられる。

①ファイバーモデルでは部材の曲げによる軸方向の変位が耐力に影響する効果を考慮できる。曲げ耐力が高くなる場合はせん断力も大きくなるため、部材のせん断耐力に注意が必要となる。

②通常無視されるコンクリートの引張履歴も解析結果に影響するため、ファイバーモデルでは要素のモデル化を適切に行い、実現象を精度よく再現できるように配慮する。

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 24 年 3 月。2) 岡村甫，前川宏一：鉄筋コンクリートの非線形解析と構成側，技報堂出版，1991。3) 堺淳一，川島一彦：ファイバー要素を用いた鉄筋コンクリート橋脚の地震応答解析，構造工学論文集，Vol.45A，pp.935-946，1999.3。

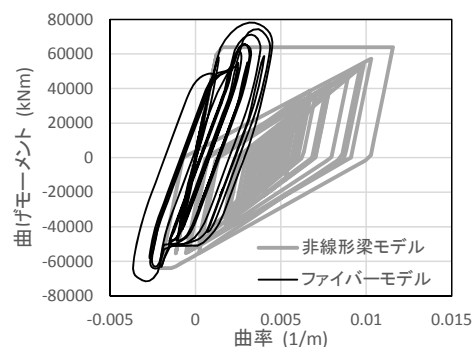


図-5 橋脚基部のM- ϕ 履歴図

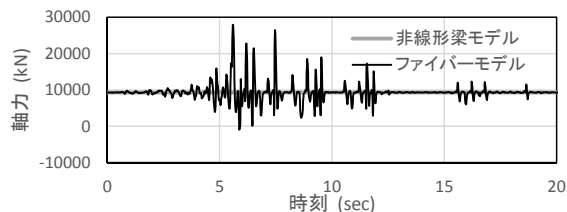


図-6 橋脚基部の軸力

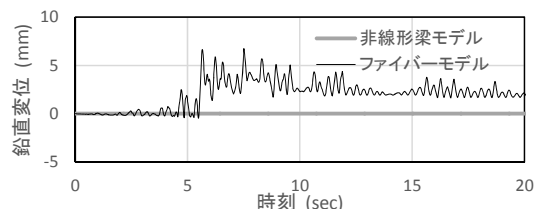


図-7 橋脚天端の鉛直変位

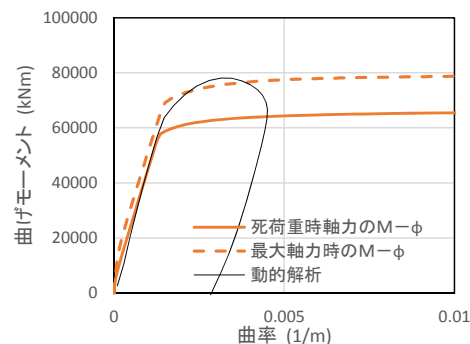


図-8 橋脚基部のM- ϕ 履歴

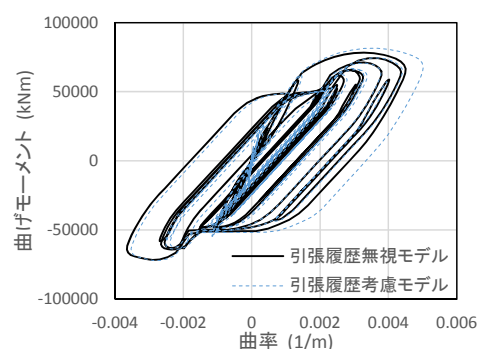


図-9 コンクリートのモデル化の比較