

曲線PC免震橋のモデル化と地震時特性

東日本旅客鉄道
東京都立大学
パシフィックコンサルタンツ

正会員 岡田 尚千
正会員 中村 一史・フェロー 前田 研一
正会員 林 亜紀夫・山本 一敏・渡邊 誠晶

1. はじめに

現在、RC橋脚の耐震設計ではM- ϕ モデルが多用されている。このモデルは、軸力一定のもとでM- ϕ 関係をあらかじめ求め、曲げ変形のみを考慮して骨組構造の耐震解析を行う方法で、道路橋示方書^{1),2)}(以下、道示)で採用されているモデルである。この手法は、軸力変動を伴う場合などの複雑な負荷条件に対しては適用が複雑になる。一方、ファイバーモデル³⁾は骨組構造である部材断面を微小要素(以下、ファイバー要素)に細分割し、各ファイバー要素の応力-ひずみ関係を積分することによって塑性化による剛性変化を評価するものである。しかし、このモデルは適用実績が少なく設計手法として十分に確立されていない。そこで、本研究では、モデル化の相違が耐震性能へ及ぼす影響を明らかにすることを目的として、まず、単柱RC橋脚を対象としたPushover解析を実施してその影響を把握した後、より複雑な実構造物の耐震設計を想定した曲線PC免震橋を対象に、弾塑性時刻歴応答解析を実施して、両モデルの地震時挙動の差異を明らかにし、実務設計で適用する上での基礎的な資料を得ることを試みたものである。

2. 解析モデルと解析条件

単柱RC橋脚モデル(図-1 a))は、下端固定の脚高20m、正八角形RC断面とした。モデル化の相違による影響を検討するために、M- ϕ モデルではトリリニア(武田)型の非線形梁要素とし、ファイバーモデルでは図-2に示すようにRC断面をファイバー要素でモデル化し、各ファイバー要素に対して図-3に示す構成則を与えた。この2種類の単柱RC橋脚モデルを用いて、天端に水平荷重を作用させたPushover解析を行った。

一方、曲線PC免震橋モデル(図-1 b))は橋長160m、曲率半径100m、同一諸元のRC橋脚(P1~P6)およびPC床版を有する等支間7径間連続とした。橋台、PC床版およびワーキングは、ここでは弾性部材とした。各部の構造諸元を表-1に示す。支承は、上部工の曲率に対して接線方向と法線方向の2方向免震とし、その履歴特性をバイリニア型でそれぞれモデル化した。また、構造減衰定数は、上・下部構造で0.02、基礎で0.10とし、Reyleigh減衰によって評価するものとした。地盤の支持条件は固定としている。入力地震動には、兵庫県南部地震に基づくTypeII-I-1地震動波形を用いて、Newmarkの β 法($\beta = 1/4$)により弾塑性時刻歴応答解析を行った。ここで、本研究における座標の定義を図-4に示す。加振方向は図-1、図-4に示したように全体系基準軸に直交する方向とした。なお、ここでは地震時挙動に支配的な橋脚基部と免震支承部に着目した。

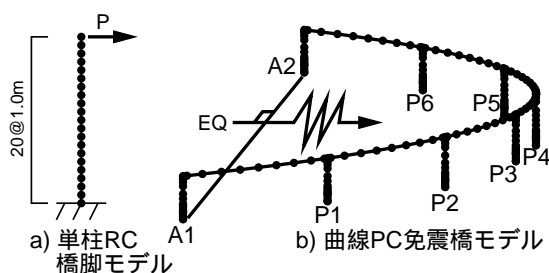


図-1 解析モデルと荷重の作用方向

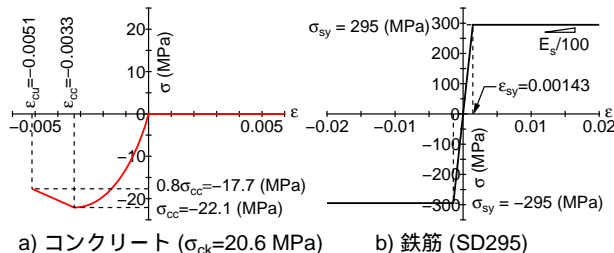


図-3 構成則

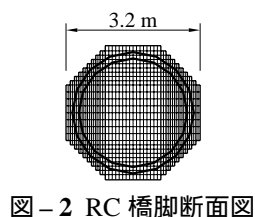


図-2 RC橋脚断面図

表-1 構造諸元

	橋台	橋脚
A(m ²)	24.14	8.48
I _m (m ⁴)	2.92	5.87
I _{out} (m ⁴)	8.05	5.87
E(GPa)	23	23
G(GPa)	10	10

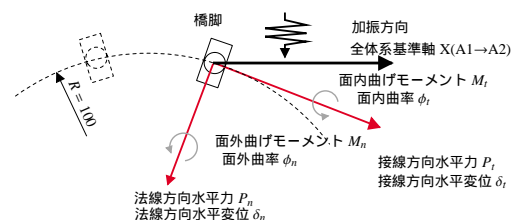


図-4 座標の定義

キーワード: 曲線PC免震橋, 弾塑性時刻歴応答解析, M- ϕ モデル, ファイバーモデル, 2軸曲げ
連絡先: 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL. (0426)77-1111 FAX. (0426)77-2772

3. 単柱 RC 橋脚の Pushover 解析結果

単柱 RC 橋脚を対象とした $M-\phi$ モデルとファイバーモデルの Pushover 解析結果を図-5 に示す．図-5 より，降伏点および終局点では両モデルにおいて良い一致を示している．しかし，降伏後の挙動においては，両モデルで挙動が異なる． $M-\phi$ モデルでは常に定義されたトリリニア型の $M-\phi$ 履歴に従って挙動するのにに対し，ファイバーモデルでは，ファイバー要素ごとの構成則で弾塑性挙動が評価されることから，降伏後の挙動がスムーズであり，実際の構造物の挙動を忠実に再現しているといえる．

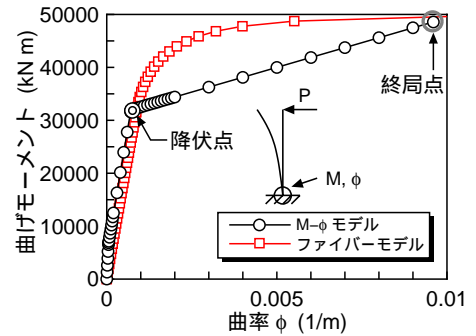


図-5 橋脚基部の $M-\phi$ 関係

4. 曲線 PC 免震橋の時刻歴応答解析結果

弾塑性時刻歴応答解析結果のうち，まず，最大応答を示す P4 橋脚基部の $M_t-\phi_t$ 履歴および面内曲げモーメント M_t の時刻歴応答を図-6 に示す．図-6 より，最大加速度発生時刻後から両モデルで位相差が生じることが解る．この傾向は図を略したが免震支承部でも同様であった．次に，図-8，図-9 に，免震支承部の最大・最小水平力および橋脚基部の最大・最小曲げモーメントを，橋脚別・方向別にそれぞれ示す．図-8 より， $M-\phi$ モデルの方がファイバーモデルより応答値が大きくなる傾向にあることが解る．また，この傾向は図-9 に示した基部の曲げモーメントにおいても同様であるが，橋台部に近い橋脚ほど $M-\phi$ モデルの方がファイバーモデルより面外曲げモーメントが連成してかなり大きくなること解る．2軸曲げの影響が顕著になるといえる．この2軸曲げの影響を考察するために，面内および面外曲げモーメントの履歴を P1 および P4 橋脚基部に着目して図-7 にそれぞれ示す．2軸曲げの影響が小さい P4 橋脚では，両モデルで面内曲げモーメントが卓越する挙動を示すが，P1 橋脚では， $M-\phi$ モデルの場合，曲げモーメントの挙動が不規則となり，2軸曲げの影響を過大に評価しているといえる．

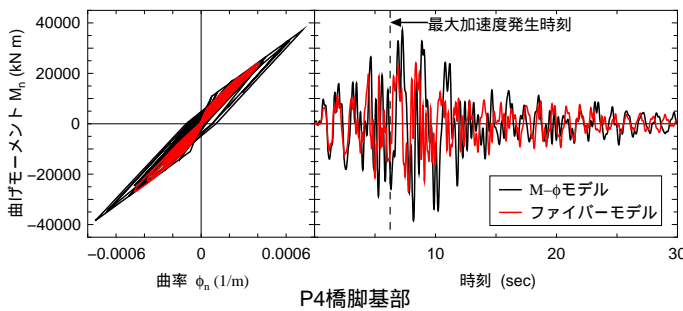


図-6 $M-\phi$ 履歴と面内曲げモーメントの時刻歴応答

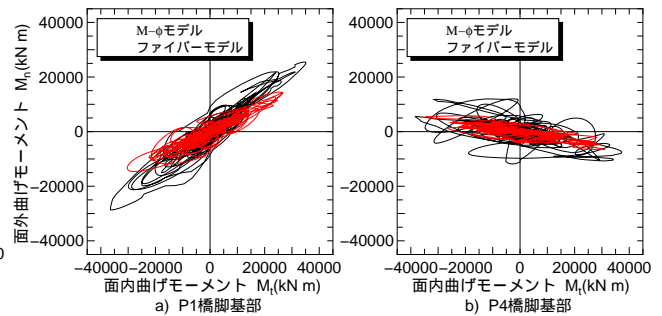


図-7 $M_t - M_n$ 履歴図

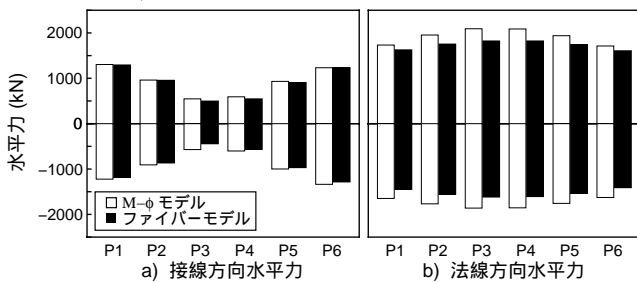


図-8 免震支承部における最大・最小水平力

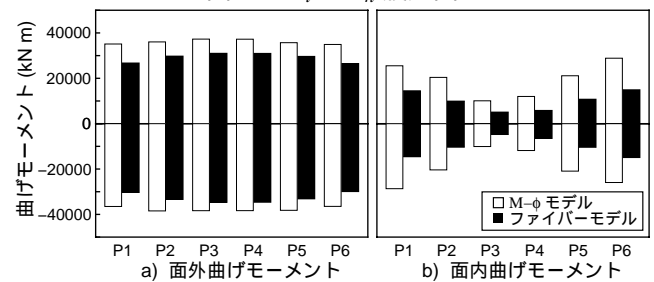


図-9 橋脚基部における最大・最小曲げモーメント

5. まとめ

以上のことから，Pushover 解析結果より，両モデルは終局点では良い一致を示すが，ファイバーモデルの方が実挙動に近いことが解った．また，弾塑性時刻歴応答解析結果からは， $M-\phi$ モデルの方がファイバーモデルよりも大きな応答を示す傾向にあり，安全側の設計という観点から，本研究の範囲においては $M-\phi$ モデルを適用した設計で十分であるといえるが，2軸曲げの影響を $M-\phi$ モデルでは過大に評価する傾向があることから，より精緻な挙動を検討する場合には，ファイバーモデルを併用すればよいといえた．

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，I 共通編，V 耐震設計編，1996.
- 2) 日本道路協会：道路橋の耐震設計に関する資料，1997.3.
- 3) ヤマト設計：Y-FIBER3D 3次元ファイバーモデルによる鋼構造物の耐震解析システム，1999.