

## 鋼製門型ラーメン橋脚のモデル化の違いによる地震応答解析の検証

オリエンタルコンサルタンツ 正会員 ○梅林福太郎 パシフィックコンサルタンツ 正会員 富健一  
 JIP テクノサイエンス 非会員 藤田雅義 パシフィックコンサルタンツ 非会員 横田貴大  
 IHI インフラシステム 正会員 田嶋仁志 首都高速道路 正会員 松原拓朗  
 筑波大学 正会員 庄司学

### 1. 目的

鋼製橋脚における耐震性能照査を実施する際の解析モデルは、道路橋示方書<sup>1)</sup>で提示されている梁モデル(M-φモデル)が基本となっているが、日本鋼構造協会<sup>2)</sup>、土木学会<sup>3)</sup>からはファイバーモデル(以降、FBモデルと略す)による照査方法も提案されている。FBモデルでは、部材断面を微小要素に分割し、その垂直応力と垂直ひずみの関係(σ-ε関係)を定義し、これを基に計算することで、軸力変動や2軸曲げの影響が考慮可能となる。本研究では、都市高速道路で標準的に用いられている門型ラーメン鋼製橋脚に対して、M-φモデル(部材非線形)、FBモデル(材料非線形)の2モデルで解析を実施し、解析モデルによる地震応答解析の検証を実施した。解析コードはTDAPIII(ARK情報システム)を用いた。

### 2. 対象鋼製橋脚

対象とした鋼製橋脚は、首都高速道路の既設鋼製橋脚とした(図-1)。ここで、既設橋脚は左右非対称の門型ラーメン鋼製橋脚であるが、検討ではモデルの単純化を目的とし、片側の柱の諸元を左右の柱に適用した(梁についても同様である)。また、解析においては基部の充填コンクリートは考慮していない。なお、鋼製橋脚の材質はSM490Y材である。

### 3. 解析条件

解析モデルにおいて、柱下端は基礎バネを考慮せずに固定とした。解析は固有値解析、プッシュオーバー解析、動的解析の3種類のケースを検討した。動的解析における検証波形は、L2地震のIII種地盤-タイプII-第1波とした。要素分割は、塑性ヒンジが発生すると考えられる範囲は4分割、400mm程度とした。FBモデルにおける断面の分割数は、板厚方向は1分割、断面方向は10分割、縦リブは2分割とした(図-2)。上部構造は重量のみを考慮し、慣性力作用位置に質点として考慮した。なお、梁と柱の交差点については剛性の高い梁要素でモデル化した。鋼材の非線形性は、2次勾配を初期勾配の1/100としたバイリニア型の骨格曲線で評価し、材料の構成則は移動硬化則を用いた。解析の対象は橋軸直角方向とした。検証項目としては、固有値解析では1次モードの振動数、プッシュオーバー解析による橋脚天端のP-δ(降伏位置と順序)、動的解析による応答変位時刻歴、柱基部の曲げモーメントと曲率の履歴関係とした。

### 4. 固有値解析結果の比較

固有値解析の結果(直角方向の1次モード)を表-1に示す。なお、FBモデルにおいては、ウェブとフラン

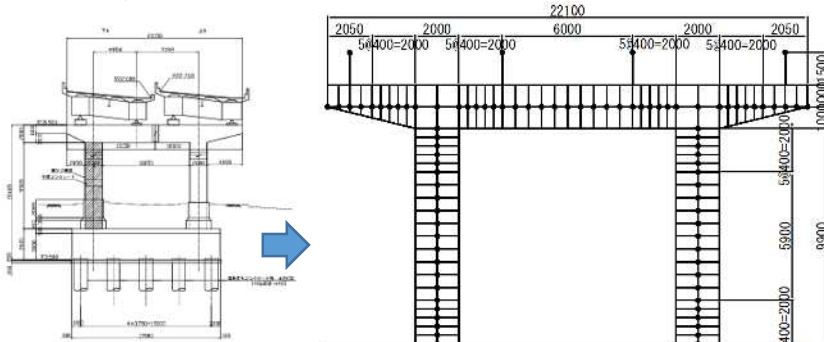


図-1 解析対象橋脚のモデル化

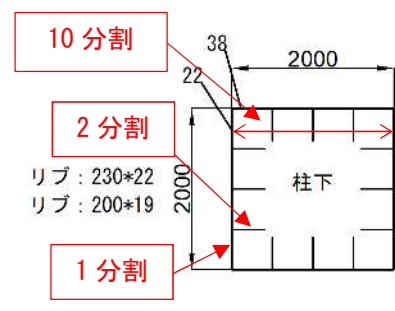


図-2 解析断面(柱基部)

キーワード 鋼製橋脚, 耐震性能照査, ファイバーモデル, 材料非線形, 動的解析

連絡先 〒151-0071 東京都渋谷区本町3-12-1 (株)オリエンタルコンサルタンツ TEL03-6311-7868

ジのFB分割数を20としたケースについても実施した.M-ΦモデルとFBモデルではほぼ一致することを確認した. また, FBモデルの分割数の違いによる固有周期の差はほぼなく, 10分割以上は同等のモデルになると考えられる.

表-1 固有周期の比較

検討ケース	解析コード	振動数 (Hz)	周期 (s)
M-Φモデル	TDAPⅢ	2.179	0.459
FBモデル(10分割)	TDAPⅢ	2.179	0.459
FBモデル(20分割)	TDAPⅢ	2.183	0.458

5. プッシュオーバー解析結果の比較

水平震度と橋脚天端の変位の関係を図-3に示す.M-ΦモデルとFBモデルで初期の勾配は合致しているが, M-Φモデルの方が水平変位の急増点がFBモデルに比べ小さい震度となっている. また, 降伏の順序を比較すると, 発生部位および発生順序が異なっている. これらは, M-Φモデルでは軸力変動が考慮できないのに対して, FBモデルでは軸力変動が考慮されているためである. ここで, M-Φモデルで最初に降伏に至る左側の柱に着目すると, 左から右方向に水平力が作用することにより, 圧縮軸力が徐々に抜けていく. このため, 降伏曲げモーメントは初期軸力により算定される値よりも大きくなる. 同様に, 右側の柱に着目すると, 逆に圧縮軸力が増加するため, 降伏曲げモーメントは初期軸力により算定される値よりも小さくなる. この結果, 初期軸力を基にM-Φ関係を求めるM-ΦモデルとFBモデルでは降伏順序の違いがでることが分かった.

6. 動的解析結果の比較

左柱天端の応答変位時刻歴波形と左柱基部及び左内側梁の曲げモーメントと曲率の履歴を図-4に示す. 変位については, M-ΦモデルとFBモデルは最大応答変位発生時刻までは, 概ね合致しているが, これ以降は合致しなくなり, M-Φモデルの方がFBモデルよりも残留変位が大きくなった. これは, 前述したプッシュオーバー解析におけるKh-δ関係において, M-Φモデルの方が, Khの折れ点が低いことにより確認できる. また, 橋脚基部のM-Φ関係はM-Φモデルの方が大きく塑性化している. これに対して, 左梁内側についてはその逆となっている. これについても軸力変動の影響によるものと考えられる.

7. まとめ

門型ラーメン鋼製橋脚を対象として, モデル化の違いに着目した解析を行った. この結果, 固有値解析については, モデル化の違いで差が無いこと, プッシュオーバー解析や動的解析では, 軸力変動の違いで部材の損傷位置や損傷順序が異なることを確認した. 今後は幾何学的非線形を考慮したFBモデルとの比較検討を実施する予定である. なお, 本研究は, 鋼橋技術研究会「耐震・免震・制振デバイス部会(部会長: 田嶋仁志)」の活動内容であり, 関係各位からご指導いただきましたことを感謝いたします.

<参考文献>

- 1) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説I~V, 2012.3. 2) 日本鋼構造協会: 鋼橋の耐震・制震ガイドライン, 2006.9. 3) 土木学会: 鋼・合成構造標準仕様書【耐震設計編】, 2008.

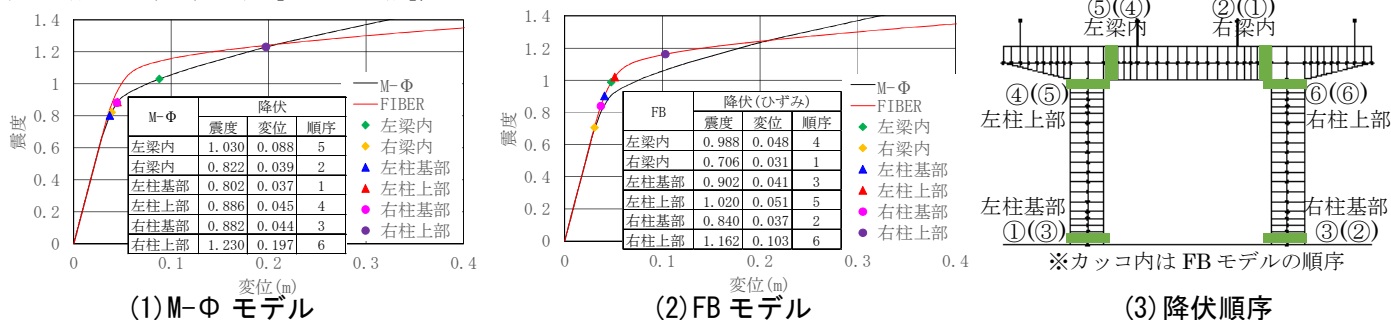


図-3 プッシュオーバー解析結果(Kh-δ関係)の比較

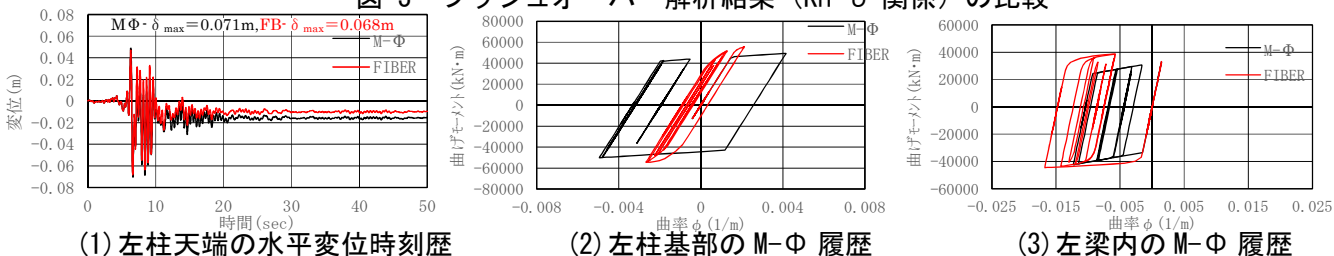


図-4 動的解析結果の比較