

単柱鋼製橋脚のモデル化方法の違いによる地震応答解析の検証

パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 ○富健一 オリエンタルコンサルタンツ(株) 正会員 梅林福太郎
 JIPテクノサイエンス(株) 非会員 藤田雅義 パシフィックコンサルタンツ(株) 非会員 横田貴大
 (株)IHIインフラシステム 正会員 田嶋仁志 首都高速道路(株) 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¹⁾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²⁾、土木学会³⁾からはファイバーモデルによる照査方法も提案されている。ファイバーモデルとは、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を基に計算することを基本とし、軸力変動や2軸曲げの影響を考慮できる。ただし、ファイバーモデルは、梁モデルと同様に、平面保持の仮定と断面不変の仮定が前提となっており、非常に大きな地震動が発生した際、鋼製橋脚に発生すると思われる局部座屈のような幾何学的非線形の影響は考慮できない。局部座屈の影響を精度良く解析するためには、シェル要素を用いた有限要素法(FEM)による解析が必要となるが、解析コードSeanFEM⁴⁾を用いた場合、幾何学的非線形を考慮した有限変位解析を行うことができる。

本研究では、都市高速道路で標準的に用いられている単柱鋼製橋脚に対して、M-φモデル(部材非線形)、ファイバーモデル1(材料非線形)、ファイバーモデル2(材料非線形+幾何学的非線形)の3モデルで解析を実施し、解析モデルによる地震応答の検証を実施した。解析コードとしては、M-φモデル、Fiber1はTDAP III、Fiber2ではSeanFEMを用いた。

2. 対象鋼製橋脚

対象となる鋼製橋脚は、昭和54年に竣工された首都高速道路の既設鋼製橋脚とした(図-1)。既設橋脚は柱基部にコンクリート充填が行われている。本検討では、無充填の場合の検討を実施するために、塑性化する位置が充填コンクリート直上から柱基部になるように板厚、材質を調整した場合についても検討を実施した。なお、鋼製橋脚の材質はSM490材である。

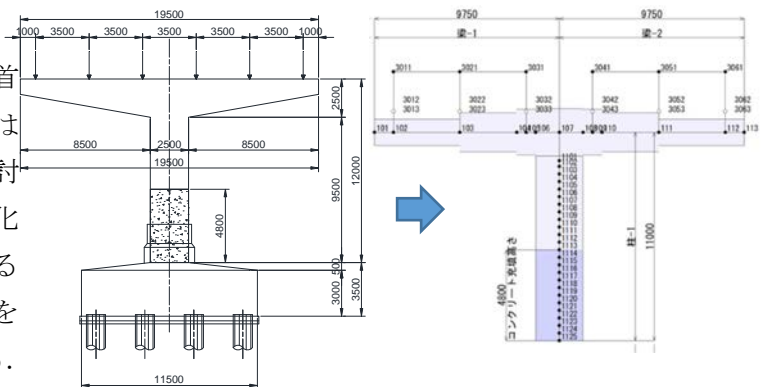


図-1 解析対象橋脚のモデル化

3. 解析条件

対象橋脚の橋軸方向の支承条件は固定支承、橋脚下端の条件は検証項目が柱の応答値であることから、基礎バネを考慮せずに固定とした。コンクリート充填がある場合とない場合での解析を実施した。検証波形は、L2地震のⅢ種地盤-タイプⅡ-第1波とした。

モデル化手法として、塑性ヒンジ範囲は4分割、500mm程度とした。ファイバー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。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。検証項目としては、固有値解析結果、プッシュオーバー解析による橋脚天端のP-δ、代表波における動的解析による最大値とした。

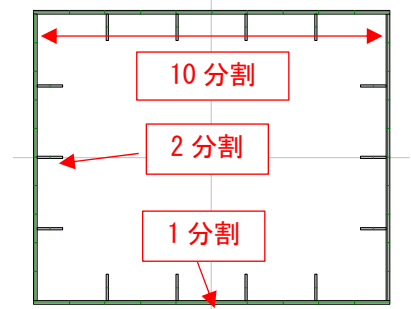


図-2 解析断面のファイバーモデル

4. 固有値解析結果の比較

各モデルでの固有値解析を実施した結果を表-1に示す。コンクリート充填なしの場合は、M-φモデル、

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, 幾何学的非線形,

連絡先 〒101-8462 東京都千代田区神田錦町3-22 パシフィックコンサルタンツ(株) TEL03-6777-4790

Fiber1, Fiber2 で解析結果に差異はなかったが、コンクリート充填有では、M- ϕ モデルに比べて Fiber モデルでは固有周期が短くなった。これは、充填コンクリートの剛性評価について、Fiber モデルでは引張側も評価されるので、振動特性に寄与していると考えられる。Fiber2 の固有周期が Fiber1 より長くなる理由としては、Fiber2 は幾何学的非線形性を考慮しているので、鉛直荷重に対して、大変位マトリクスと幾何剛性マトリクスが加わり、剛性が低下する傾向になるためと思われる。ただし、本橋脚の橋脚高さはそれほど高くないので、その影響は非常に小さい。

表-1 固有値解析結果比較表

充填 CON	モデル化方法	振動数 (Hz)	固有周期 (sec)
無	M- ϕ	1.126	0.888
	FIBER 1	1.125	0.889
	FIBER 2	1.118	0.894
有	M- ϕ	1.186	0.843
	FIBER 1	1.398	0.715
	FIBER 2	1.320	0.757

5. プッシュオーバー解析結果の比較

各モデルのプッシュオーバー解析の結果で、コンクリート充填なしの場合の比較図を図-3 に示す。初期勾配は同じであるが、M- ϕ モデル、Fiber1、Fiber2 の順で降伏した。Fiber モデルでは、幾何学的非線形の考慮の有無に関わらず、降伏点はほぼ同じになるはずであるが、Fiber2 の降伏点が大きくなった。降伏点が大きくなった理由としては、比較的橋脚高さが低いこと、解析コードの違い等が考えられるが、今後検証していく予定である。大変位の領域になると、幾何学的非線形の影響を考慮した Fiber2 の降伏後の勾配が小さくなり、Fiber1 に近づく傾向となる。この傾向はコンクリート充填有でも同様である。

6. 動的解析結果の比較

各ケースの最大応答値を表-2 に示す。コンクリート充填がない場合、M- ϕ モデルは Fiber1 モデルに比べて応答せん断力、応答変位が大きくなったが、コンクリート充填有の場合は差異がなかった。これは、図-3 で示されている通り、モデル化の違いにより降伏後の挙動が異なる影響と思われる。Fiber モデルでは、コンクリート充填なしの場合は各ケースで大きな差異はなかったが、軸力が大きくなるコンクリート充填有の場合は、Fiber2 での応答ひずみが大きくなった。これは、幾何学的非線形性による剛性低下の影響と思われる。

7. まとめ

本研究では、解析モデルの違い、解析コードの違い、幾何学非線形の考慮の有無で、一般的な鋼製橋脚の解析結果の差異を考察した。本研究の解析対象橋脚は、橋脚高さも低い一般的な構造であるため、アーチ橋のようなレベル 2 地震動作用時に大きな変形が発生する構造ではないので、幾何学的非線形の際による影響は軽微であった。今後は、各モデルでの補強を実施した場合や、幾何学的非線形の影響があると思われる細長比が大きい場合等について検証解析を進めていく予定である。

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，平成 24 年 12 月
- 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
- 4) 野中哲也・吉野廣一：パソコンで解くファイバーモデルによる弾塑性有限変位解析，2010

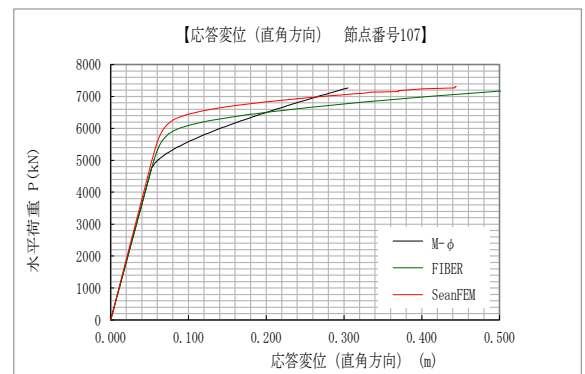
図-3 P- δ 関係（未充填の場合）

表-2 解析結果比較表

充填 CON	モデル化方法	橋脚天端位置		橋脚下端要素			ひずみ ϵ
		直角変位 (m)	鉛直変位 (m)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)	曲げM (kN·m)	
		無	M- ϕ	0.168	-0.032	-7267	
	FIBER 1	0.155	-0.031	-7456	6253	85247	0.013357
	FIBER 2	0.140	-0.005	-8081	6362	85192	0.013141
有	M- ϕ	0.160	-0.031	-7792	7667	90059	-
	FIBER 1	0.156	-0.027	-12507	7672	99991	0.012538
	FIBER 2	0.142	-0.004	-11654	7573	100088	0.013192