

耐震補強された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

株式会社 長大 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) 正会員 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

これまでの研究¹⁾では、既設鋼製橋脚について、道路橋示方書²⁾で提示されている梁モデル(M-φモデル)、日本鋼構造協会³⁾、土木学会⁴⁾からはファイバーモデル、解析コード SeanFEM⁵⁾を用いた幾何学的非線形を考慮した有限変位解析を行った場合で、応答の違い等について考察した。

これまでの研究¹⁾で対象とした既設単柱鋼製橋脚は、道路橋示方書における座屈パラメーター等を満足していない場合で解析を行っていた。現在の状況としては、耐震補強として座屈パラメーター等を満足させるためのリブ補強等が行われている。本研究では、耐震補強された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、補強前後での各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TDAPIII、Fiber2ではSeanFEMを用いた。

2. 対象鋼製橋脚

対象となる鋼製橋脚(図-1)は、昭和54年に竣工された首都高速道路の既設鋼製橋脚で、兵庫県南部地震直後にリブ補強した断面とした(表-1、図-2)。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際に、塑性化する位置が柱基部になるように板厚、材質を調整した。

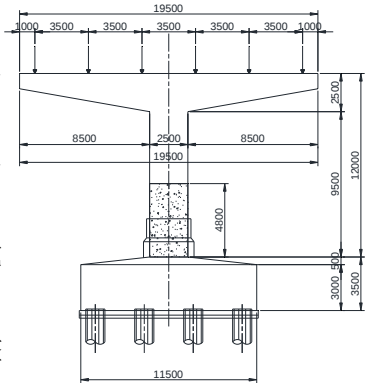


図-1 解析対象橋脚

表-1 対象橋脚諸元

	充填CON無		充填CON有	
	Flg	Web	Flg	Web
材質	SM490	SM490	SM490	SM490
補剛板	2000×28	2500×28	2000×28	2500×28
Rib	3-180×16	4-180×16	3-150×14	4-150×14
補強リブ	3-120×14	4-120×14	3-120×14	4-120×14
全体座屈 幅厚比パラメータ $0.3 \leq R_f \leq 0.5$	0.334 (OK)	0.336 (OK)	0.463 (OK)	0.468 (OK)
局部座屈 幅厚比パラメータ $0.3 \leq R_r \leq 0.5$	0.373 (OK)	0.373 (OK)	0.373 (OK)	0.373 (OK)
補剛材剛比 $y_l/y_{req} \geq 1.0$	1.253 (OK)	1.236 (OK)	1.253 (OK)	1.236 (OK)

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。モデル化手法の詳細は、参考文献¹⁾を参照のこと。検証項目としては、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。

4. 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、補強前後の結果としてコンクリート充填なしの場合の比較図を図-3に示す。M-φモデルは、Fiber1、Fiber2の場合よりも早く降伏する結果となった。この原因としては、道路橋示方書のM-φモデルがバイリニアモデルとなっていたことが考えられる。道路橋示方書上の安全側の設定として、降伏点は圧縮側、引張側のどちらか先行して降伏した場合を降伏点としてバイリニアモデルとすることになっていたため、3次元でモデル化されているファイバーモデルと差異が発生したと考えられる。また、補強前後で比較すると、このモデル化の影響で、補強前のファイバーモデルの降伏点と補強後のM-φモデルの降伏点がほぼ同じになる現象が生じていることが確認できた。

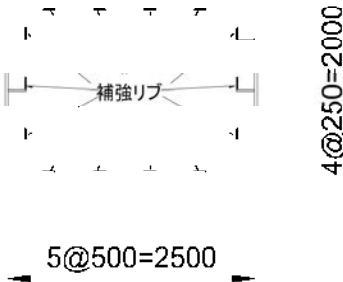


図-2 補強断面

キーワード 鋼製橋脚, 耐震補強, ファイバーモデル, 材料非線形, 幾何学的非線形

連絡先 〒550-0013 大阪府大阪市西区新町二丁目20番6号 株式会社 長大 TEL 06-7708-5519

M-φモデルとファイバーモデルでは二次勾配が異なることから、地震波によっては応答変位の大小関係が異なる結果となる。本研究で作用させた地震波における応答変位は035m程度である。この時、既設橋脚の場合はM-φモデルの水平荷重がファイバーモデルより大きくなるが、補強後はM-φモデルの方が若干小さくなる。以上から、地震規模によって解析モデルによる応答の大小関係が異なることが確認できた。

上記の考察から、更なる検討として、M-φモデルをトリリニアモデルにした場合の検討を実施した。トリリニアモデルとしては、引張側、圧縮側の降伏点を考慮したモデルである。その結果を図-4に示すが、トリリニアモデルの場合のM-φモデルの降伏点は、ファイバーモデルの降伏点と近づく結果が得られた。

5. 動的解析結果の比較

各ケースの最大応答値を表-2、コンクリート充填有の場合の動的解析時の柱下端のP-δ曲線を図-5に示す。Fiberモデルでは、Fiber2で応答変位がFiber1より大きくなり、応答ひずみも大きくなった。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。各ケースのP-δ曲線を重ねた図-5を考察すると、各モデルで動的挙動はほぼ同じであることは確認できたが、表-2で示した通り、応答値としてはモデル化による違いがあることが確認できた。

6. まとめ

本研究では、解析モデル、解析コードの違い、幾何学非線形考慮の有無で、一般的な鋼製橋脚の解析結果の差異を考察した。補強前後で大きな差異は見当たらなかったが、解析モデルの違いにより降伏点や応答値が異なることや、応答の大小関係が変位レベルにより異なることが確認できた。今後、解析モデルの差異による応答値の更なる検証や、地震動レベルと解析モデルの関係等を考察していく予定である。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) 富健一他：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，土木学会第77回年次学術講演会論文集，令和4年9月，
2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅰ～Ⅴ，平成24年12月，
3) 日本鋼構造協会：鋼橋の耐震・制震ガイドライン，2006.9，
4) 土木学会：鋼・合成構造標準仕様書【耐震設計編】，2008，
5) 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

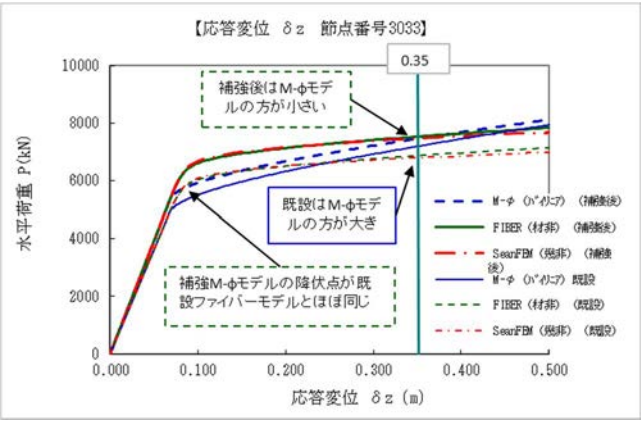


図-3 P-δ関係その1（未充填の場合）

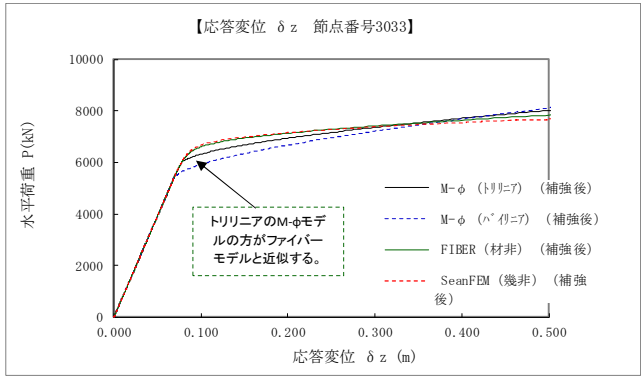


図-4 P-δ関係その2（未充填の場合）

表-2 解析結果比較表

充填 CON	モデル化 方法	橋脚下端要素					
		橋軸変位 (m)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)	曲げM (kN・m)	曲率 φ	ひずみ ε
無	M-φ (バイリニア)	0.359	-7267	7400	87095	0.015429	-
	M-φ (トリリニア)	0.335	-7267	7382	86954	0.017861	-
	FIBER 1	0.340	-7766	7458	87261	0.024524	0.026938
	FIBER 2	0.349	-7847	7326	86020	-	0.027748
有	M-φ (バイリニア)	0.303	-7792	7722	90742	0.014207	-
	M-φ (トリリニア)	0.307	-7792	8051	94324	0.016823	-
	FIBER 1	0.302	-10788	8474	96131	0.022345	0.029200
	FIBER 2	0.310	-11150	8253	94620	-	0.029455

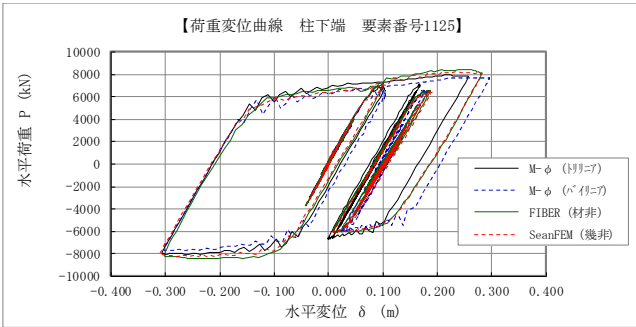


図-5 動的解析時 P-δ関係（充填有の場合）