

鋼製門型ラーメン橋脚のモデル化の違いに着目した地震応答解析の一考察

パシフィックコンサルタンツ ○正会員 横田貴大 オリエンタルコンサルタンツ 正会員 梅林福太郎
 長大 正会員 富健一 JIP テクノサイエンス 非会員 藤田雅義
 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

鋼製門型ラーメン橋脚の耐震性能照査に用いる解析モデルは、道示¹⁾で示されている梁モデル(M-φモデル)が基本となっている。また、道示¹⁾では、軸力変動する部材は、死荷重軸力により算定した M-φモデルで非線形動的解析を行い、その際に発生する最大、最小軸力を用いて M-φモデルを再設定し、それぞれ非線形動的解析を行うのがよいとの記載がある。一方で、軸力変動型 M-φモデルやファイバー要素によるモデル（以降、FBモデルと略す）もある。さらに、FBモデルでは、材料非線形のみでなく、幾何学的非線形が考慮できるものもある。本研究では、都市高速道路の標準的な鋼製門型ラーメン橋脚に対して、死荷重時 M-φモデル、最大軸力時 M-φモデル、最小軸力時 M-φモデル、軸力変動型 M-φモデル、FBモデル 1(材料非線形)、FBモデル 2(材料非線形、幾何学的非線形)の 6 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考察を行った。解析コードは M-φモデルと FBモデル 1 は TDAPIII²⁾、FBモデル 2 は SeanFEM³⁾を用いた。

2. 解析対象

解析対象は、首都高速道路の既設鋼製門型ラーメン橋脚とした。なお、同橋脚は左右非対称構造であるが、本検討ではモデルの単純化を図り、片側の柱及び梁の諸元を左右に適用し、左右対称とした(図-1)。また、基部の充填コンクリートについても無視した。なお、鋼材の材質は SM490Y である。

3. 解析条件

部材の要素分割は、柱及び梁の塑性ヒンジ区間は 5 分割、400 mmとした。FBモデル 1,2 の断面の分割数は、板厚方向：1 分割、板幅方向：10 分割、縦リブ：2 分割とした(図-2)。上部構造は慣性力作用位置に質点として考慮した。なお、梁と柱の隅角部及び梁と上部構造質点間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。M-φモデルは、橋脚基部に着目すると、死荷重時 8800kN(圧縮)、最大軸力時 20600kN(圧縮)、最小軸力時-3100kN(引張)であった。境界条件は、橋脚の柱下端を固定とした。解析は非線形動的解析とし、入力波形については、L2 地震のⅢ種地盤のタイプⅡ第 1 波とした。解析の加振方向は橋軸直角方向とした。

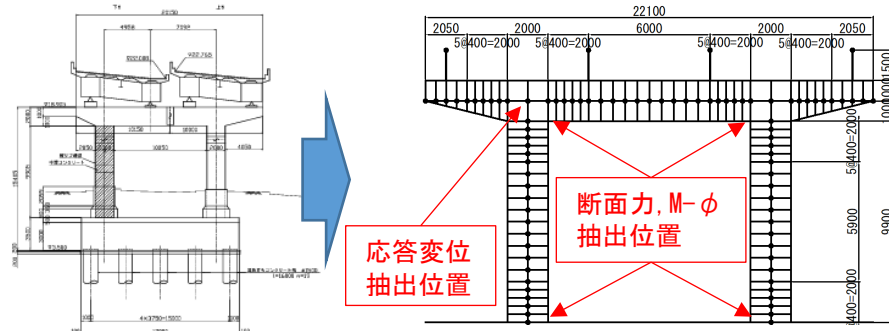


図-1 解析対象と要素分割

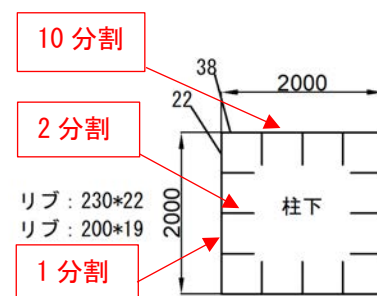


図-2 FBモデル 1,2 の断面分割

4. 非線形動的解析結果

表-1 に橋脚天端の最大最小変位(水平変位、鉛直変位)および橋脚上下端の最大最小断面力(曲げモーメント、せん断力、軸力)の値を示す。水平変位および鉛直変位は FBモデル 2 がやや大きいもののほぼ同等である。断

キーワード 鋼製門型ラーメン橋脚、非線形動的解析、ファイバーモデル、材料非線形、幾何学的非線形
 連絡先 〒530-0004 大阪市北区堂島浜一丁目 2 番 1 号 パシフィックコンサルタンツ TEL 06-4799-7343

面力に着目すると、各 M-φモデルに対して、FB モデル 1、FB モデル 2 はいずれも大きめに評価されている。図-3～図-7 に左柱基部の曲げモーメントと曲率の履歴を示す。同図は FB1 とその他のケースの比較を示している。同図より、FB モデル 1 に比べ、死荷重時 M-φ、最大軸力時 M-φ、軸力変動 M-φ は、曲げモーメントの最大最小の値が FB モデル 1 に比べて小さく、曲率の最大最小の値は逆に大きい。最小軸力時 M-φ は、曲げモーメントおよび曲率の最大最小の値はほぼ同等であり、FB モデル 2 は、曲げモーメントおよび曲率の最大最小の値はやや大きめとなっている。M-φ 要素では、断面端部の鋼材が降伏すると初期剛性の 1/100 の 2 次勾配に移行するが、ファイバー要素では端部が降伏した後にも端部以外の未降伏の要素が曲げを負担し、断面全体としての 2 次勾配への移行が遅くなる。このため、端部が降伏した後に中立軸方向に降伏領域が広がることになるが、その間にも曲げモーメントが大きくなっており、この違いが曲げモーメントの差として生じている。最小軸力時 M-φ モデルでは、M-φ 算出時の軸力が小さいため、降伏曲げモーメントの値が大きく、FB モデル 1 が完全に 2 次勾配へと移行する曲げモーメントと同等の降伏曲げモーメントとなっているため、同等の曲げモーメントの値が得られたものと考えられる。FB モデル 2 では、材料非線形に加え、幾何学的非線形を考慮している影響により、応答が大きめに評価されるものと考えられるが、現時点では詳細に確認できていないため、今後検証していく。

6. まとめ

鋼製門型ラーメン橋脚のモデル化の違いに着目した解析を行った。この結果、各 M-φモデルに比べ、FB モデルは柱下端の曲げが大きめに評価されることを確認した。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)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.

表-1 橋脚天端の変位と断面力 (※表の変位,M,S は最大最小の絶対値が大きい方を着色)

解析ケース	水平変位		鉛直変位		曲げ(最大)				曲げ(最小)			
	最大	最小	最大	最小	横梁左内	横梁右内	左柱下端	右柱下端	横梁左内	横梁右内	左柱下端	右柱下端
死荷重M-φ	0.048	-0.070	0.002	-0.003	32925	37292	49312	46807	-42075	-39561	-50601	-52897
N最大M-φ	0.051	-0.069	0.002	-0.002	30320	35007	46924	43930	-40856	-38420	-47657	-51316
N最小M-φ	0.048	-0.067	0.002	-0.003	33510	36237	53930	46774	-40327	-38009	-54279	-56522
N変動M-φ	0.049	-0.071	0.002	-0.002	33571	36001	52777	42534	-41395	-38961	-45746	-56988
FIBER1	0.047	-0.067	0.002	-0.003	38677	41209	54698	61442	-44559	-42352	-55675	-48365
FIBER2	0.059	-0.087	0.002	-0.004	40983	40578	65912	60540	-40449	-48851	-54507	-61521

解析ケース	せん断力(最大)				せん断力(最小)				軸力(最大)				軸力(最小)			
	横梁左内	横梁右内	左柱下端	右柱下端	横梁左内	横梁右内	左柱下端	右柱下端	横梁左内	横梁右内	左柱下端	右柱下端	横梁左内	横梁右内	左柱下端	右柱下端
死荷重M-φ	14411	5913	7378	9389	-4854	-13848	-8606	-7123	3415	3331	20643	19330	-4716	-5269	-1301	-3073
N最大M-φ	14158	5852	7158	9331	-4768	-13475	-8293	-6681	3262	3098	19630	18518	-4654	-5467	-685	-2175
N最小M-φ	14077	5356	7686	9595	-4707	-13802	-9061	-6901	3543	3833	20861	19483	-5141	-5780	-1832	-3138
N変動M-φ	14090	5710	6593	9664	-4969	-13856	-9030	-6511	2740	2966	20130	19479	-5101	-5511	-1241	-2971
FIBER1	15328	6832	8195	10383	-6072	-14523	-9448	-7490	3404	3364	22172	20465	-5114	-5508	-3091	-3659
FIBER2	15128	6396	7870	10171	-7593	-15768	-10823	-8713	3443	4169	21350	23099	-6075	-5473	-4018	-2660

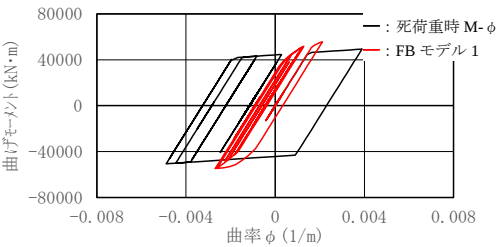


図-3 死荷重時 M-φ と FB1

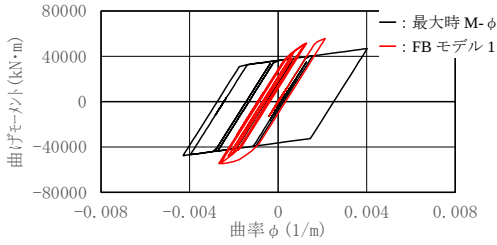


図-4 最大軸力時 M-φ と FB1

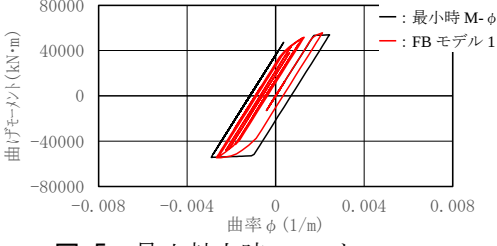


図-5 最小軸力時 M-φ と FB1

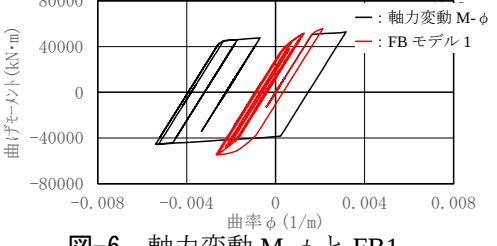


図-6 軸力変動 M-φ と FB1

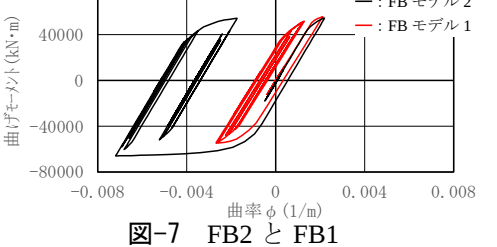


図-7 FB2 と FB1