

高さの異なる橋脚を有するコンクリートラーメン橋の耐震性評価

九州大学 学生員 ○根井 秀樹 九州大学 学生員 矢葺 亘
九州大学 フェロー 大塚 久哲 富士ピーエス 正会員 堤 忠彦

1. はじめに

山岳部の橋梁などでは、複雑な地形条件により高さの異なる橋脚を有するコンクリートラーメン形式が採用される場合が多い。このような橋梁は平成8年道路橋示方書V耐震設計編(以下道示V)では「地震時の挙動が複雑な橋」に該当し、その非線形応答特性の把握に未解明な部分を残しているのが現状である。

本研究では、震度法により設計された既設コンクリートラーメン橋を対象として行った大規模地震時の耐震性の検討結果を報告する。

2. 解析モデル

本研究では、解析対象として高さの異なる橋脚を有する3径間連続PCラーメン箱桁橋を選定した。橋梁の諸元を表-1に、解析モデルの骨組み図を図-1に示す。主桁は線形の梁部材、橋脚は非線形部材とし、橋脚下端部は全方向固定とした。本対象橋梁においては橋脚部で軸方向鉄筋の段落とし(P1下端より28m,52.9m, P2下端より17.7m, 20.3mの各断面)がなされており、塑性ヒンジ発生箇所が明確ではない。そのため橋脚部材の非線形性には、塑性ヒンジ長を考慮した塑性回転ばねは設けず、解析対象断面すべてにおいてコンクリートひび割れ点・降伏点・終局点の3点を結んだ曲げモーメント-曲率関係(M- ϕ 関係)を設定した。橋脚高さ方向に断面が変化するため、M- ϕ 関係は各断面形状と初期軸力に対して算出した。

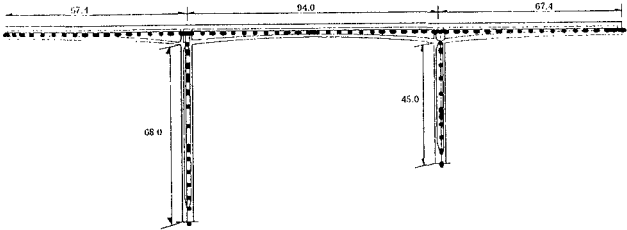


図-1 解析モデル 単位：m

表-1 橋梁諸元

橋長	230.00m	
支間割	67.40m+94.00m+67.40m	
橋脚高	P1: 68.0m	P2: 45.0m
橋脚断面	矩形RC中空断面6.0m×4.0m (橋脚基部)	
設計震度 (55年道示準拠)	橋軸方向	kh=0.12
	橋軸直角方向	kh=0.10
地域/地盤種別	B地域/I種地盤	

表-2 固有周期

次数	橋軸方向		橋軸直角方向	
	固有周期(sec)	刺激係数	固有周期(sec)	刺激係数
1	1.6911	1.078	1.9389	1.660
2	0.6768	-0.043	1.0649	-0.258
3	0.4961	0.742	0.6656	-0.852
4	0.3908	0.014	0.4023	0.106

3. 振動特性

固有値解析による固有周期と刺激定数を表-2に、モード図を図-2に示す。これより橋軸方向、橋軸直角方向ともにほとんど1次モードに支配されることが確認された。

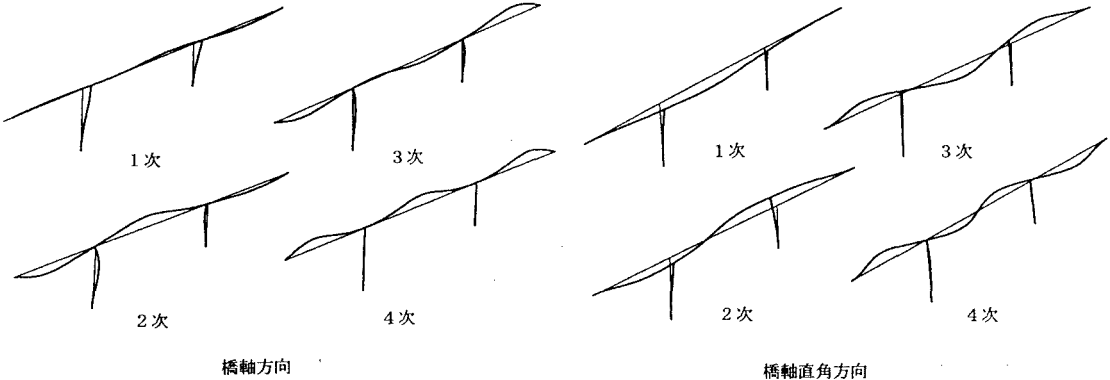


図-2 モード図

4. 非線形静的解析

「地震時の挙動が複雑な橋」は、非線形動的解析により検討を行うことが必要であるが、ここではそうした解析に先立ち予備的に非線形静的解析を行い、構造物の基本的な非線形性の検討を行った。先述の解析モデルに、自重に水平震度を乗じたものを水平方向の荷重として橋軸方向に漸増載荷することで解析を行い、桁の水平変位と震度の関係(図-3)を算出した。橋脚の非線形性にはタイプⅡ地震動に対するM- ϕ 関係を用いた。

解析の結果、P2橋脚上端で最初の塑性ヒンジが形成され、その後P2下端、P1上端、P1下端の順に橋脚高さの短いものから降伏した。段落とし部においては、塑性化に至らないことが確認された。また4箇所の塑性ヒンジ発生場所では、終局に至った荷重ステップにおいて、いずれの橋脚のせん断力もせん断耐力以下であり、破壊形態は曲げ破壊型と判断された。さらに軸力の変動は常時に作用している軸力の5%であり、動的解析において、無視できる程度であることが確認された。

5. 非線形動的解析

ここでは、大規模地震動に対する対象橋梁の耐震性の評価を非線形動的解析により行った。解析は橋軸方向および橋軸直角方向の両方向で行い。各々のM- ϕ 関係を用い、剛性低下を伴う武田型の復元力特性に従うものとした。減衰定数は上部構造で2%、橋脚に対して5%とした。解析結果を表-3、表-4に示す。表中の応答はタイプⅠ、Ⅱ標準波をそれぞれ3波入力した際の平均値である。橋軸方向および橋軸直角方向解析の各断面において、応答曲率塑性率は許容曲率塑性率を下回っている。また動的解析時においても、P2橋脚から塑性化が始まり、その後の損傷の程度もP1橋脚に比して大きいことが確認された。桁の変位は最大約45cmであり、桁遊間10cmを大きく上回る結果となった。参考に、解析結果において最大応答を示したタイプⅠ地震動入力時の橋軸方向解析における桁の変位時刻歴波形、加速度時刻歴波形を図-4,5に、P2橋脚上端の履歴曲線を図-6に示す。

6. まとめ

以上の検討の結果、本対象橋梁は、桁の変位を除けばタイプⅠ、Ⅱの大規模地震に対して、比較的安全な結果を示したと考えられる。ただし本解析は道示Ⅴのラーメン橋脚の考えに準じており、ラーメン橋全体としての終局状態の設定等については今後検討の余地がある。

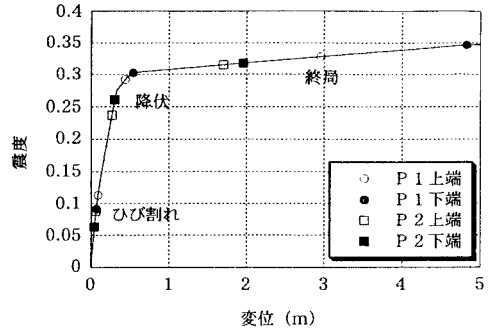


図-3 橋全体系の水平変位—震度曲線

表-3 非線形動的解析結果一覧(橋軸方向)

地震波タイプ	Ⅰ				Ⅱ			
橋脚	P1		P2		P1		P2	
検討箇所	上端	下端	上端	下端	上端	下端	上端	下端
最大加速度(m/sec ²)	5.053	—	4.691	—	4.219	—	6.634	—
最大変位(m)	0.4525	—	0.4232	—	0.2787	—	0.2634	—
応答曲率塑性率	2.034	0.821	2.974	1.791	0.94	0.567	1.305	0.499
許容曲率塑性率	7.471	6.206	8.237	7.023	29.448	22.788	33.101	27.329

表-4 非線形動的解析結果一覧(橋軸直角方向)

地震波タイプ	Ⅰ				Ⅱ			
橋脚	P1		P2		P1		P2	
検討箇所	上端	下端	上端	下端	上端	下端	上端	下端
最大加速度(m/sec ²)	4.215	—	3.388	—	5.436	—	5.557	—
最大変位(m)	0.528	—	0.317	—	0.288	—	0.191	—
応答曲率塑性率	—	0.75	—	0.941	—	0.601	—	0.547
許容曲率塑性率	—	5.285	—	8.467	—	16.226	—	30.387

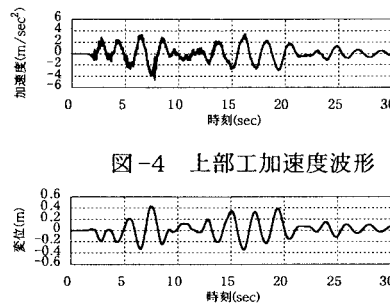


図-5 上部工変位波形

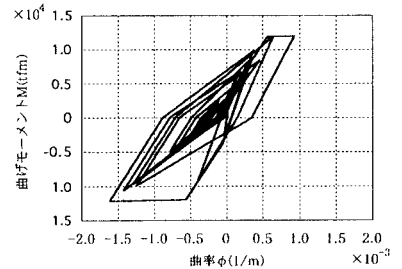


図-6 P2橋脚上端履歴曲線