

PC方杖ラーメン橋の耐震設計について

協本 優¹・渡辺 寛²・遠藤 靖³

¹正会員 (株)ピー・エス 東北支店 土木技術部 (〒980-0811仙台市青葉区一番町1-8-1)
²(株)ピー・エス 東北支店 土木技術部 (〒980-0811仙台市青葉区一番町1-8-1)
³(株)ピー・エス 東北支店 土木技術部 (〒980-0811仙台市青葉区一番町1-8-1)

1. まえがき

平成7年の兵庫県南部地震による橋梁への甚大な被害の経験を踏まえて、平成8年12月に道路橋示方書（耐震設計編）が改訂された。それに伴い耐震の設計手法も震度法主流の時代から保有水平耐力法、または動的解析の時代へと移り変わってきている。設計者は必然的に橋梁固有の変形特性を見極め、各構造形式に適した耐震設計を行うことが要求されている。現在、様々な橋梁形式の耐震設計例が平行され耐震設計が行われているが、PC方杖ラーメン橋に関してはまだ設計例がない。そこで、この耐震性の検討を行った。

以下に、タイプⅡの地震動による非線形時刻歴応答解析結果について報告する。

2. 対象橋梁モデル

対象橋梁モデルを図-1に示す。橋脚上部から下端にかけて、部材厚は薄く部材幅は広がる構造である。また、橋脚下端はメナーゼヒンジとなっている。

形式：PC方杖ラーメン橋
橋 長：72.300m
桁 長：71.900m
支 間：20.55+30.0+20.55m
幅 員：6.200m
活荷重：A活荷重
地盤種別：Ⅰ種地盤

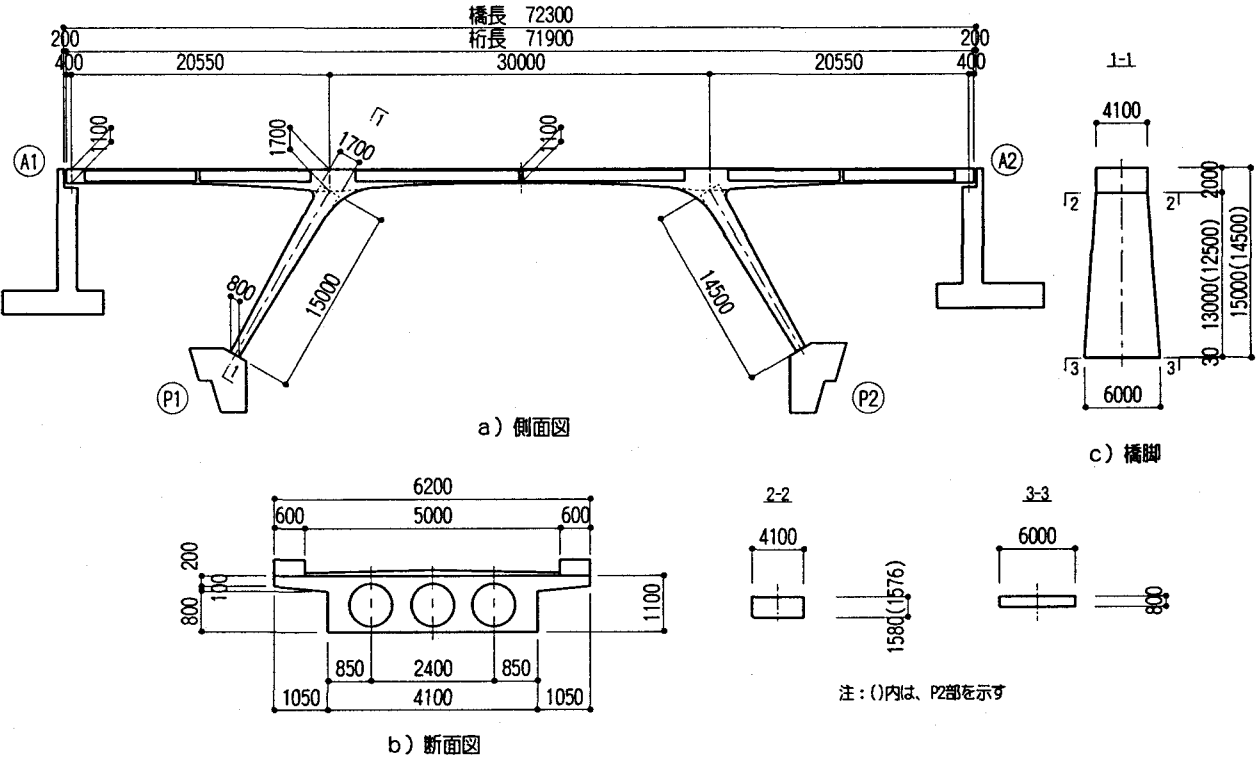


図-1 対象橋梁モデル

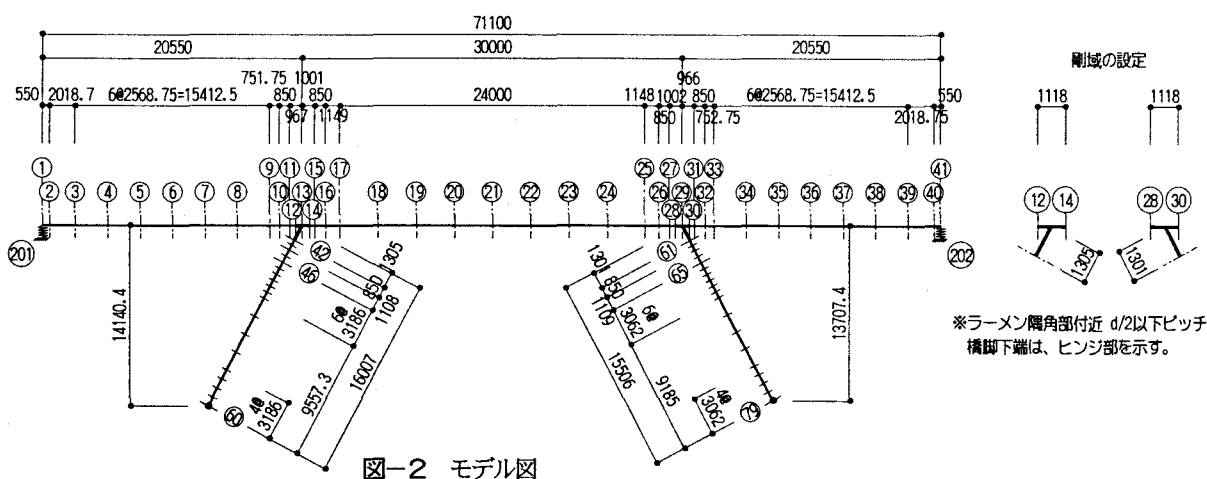


図-2 モデル図

表-1 支点条件および減衰定数

支点条件	端支点	橋軸方向	橋軸直角方向	鉛直方向
		バネ	固定	バネ
減衰定数	橋脚下端	橋軸回り	橋軸直角回り	鉛直軸回り
		固定	自由	固定
減衰定数	上部工		3.0%	
	脚部		2.0%	
	ゴム沓		2.0%	

3. 解析方法

(1)解析モデル

解析モデルを図-2に示す。橋脚と上部工の接合部付近は剛域部とし、橋脚上部は部材厚の1/2程度の位置に節点を設けた。端支点支承部はゴム沓のせん断および鉛直バネ値を考慮した。

(2)部材剛性

はじめに、主桁は線形部材、橋脚は非線形部材として解析を行った。このときの非線形部材の復元特性は、ひび割れ発生時および引張鉄筋初降伏時を変曲点とする

「武田モデル」を採用した。その結果、主桁部材に降伏曲げモーメントを上回る応答断面力が発生したため、主桁の非線形性も考慮して再度解析を行った。また、道示の塑性ヒンジ区間と弾塑性回転バネを設けたモデル化は、本例では降伏位置が塑性ヒンジ区間以外に生じるので適用しなかった。橋脚の配筋計画は、図-3に示すように震度法レベルの設計に対して配筋した橋軸方向鉄筋D29をD32へと変更した。

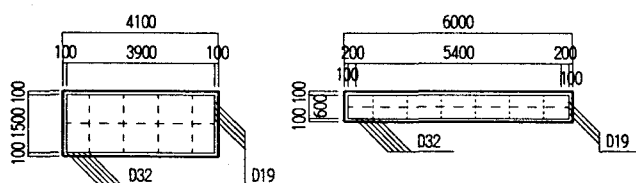


図-3 橋脚の配筋図

(3)解析方法

解析方法は時刻歴応答解析とし、解析間隔は0.002秒とした。入力地震波には表-2に示すようにタイプI、タイプIIともに3波を用い、照査においては3波平均とした。

表-2 非線形動的解析の条件

項目	条件
慣性力	自重、橋面
入力地震動	タイプI：宮城県沖地震 開北橋 BRG LG 宮城県沖地震 開北橋 BRG TR 北海道南西沖地震 七峰橋 BRG LG タイプII：兵庫県南部地震 神戸海洋気象台 OBS N-S 兵庫県南部地震 神戸海洋気象台 OBS E-W 兵庫県南部地震 猪名川 N-S
減衰モデル	Rayleigh減衰

4. 解析結果

(1)脚部の照査

a)曲げモーメント

図-4に、橋軸方向及び橋軸直角方向のP1橋脚の曲げモーメントー曲率（ $M-\phi$ ）応答履歴曲線を示す。降伏に至った位置は、橋軸方向は橋脚上部で3.2m～4.0m、橋軸直角方向は橋脚下端で3.1～3.2mであった。曲げモーメントによる照査は応答曲率が許容曲率を越えないことを条件とし応答曲率は入力地震動の3波平均を用いた。

許容曲率は下式により算出した。

$$\phi_a = \phi_{yo} + (\phi_u - \phi_{yo}) / \alpha$$

ここに、 ϕ_a ：許容曲率（1/m）

ϕ_{yo} ：初降伏曲率（1/m）

ϕ_u ：終局曲率（1/m）

α ：安全係数（タイプI：2.4

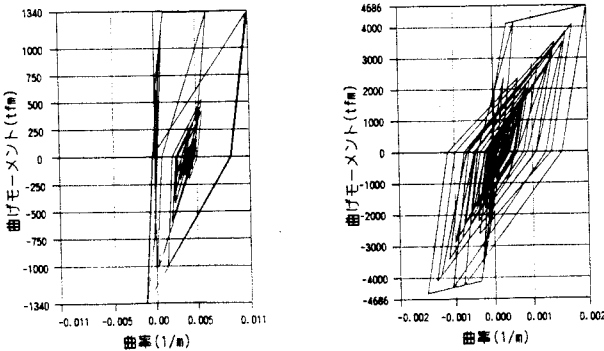
タイプII：1.2）

橋軸方向、橋軸直角方向ともに着目部材は初降伏に至っているが許容曲率以下であった。また、その他の部材についても許容曲率以下であった。

表-3 脚部の照査

応答曲率及び曲げに対する検討 (タイプⅡ) 単位: 曲率 $\frac{1}{m}$			
	橋軸方向 (橋脚上端)		橋軸直角 (橋脚下端)
	P1	P2	P1 P2
Mmax	1339	1331	4513 4495
Mmin	-1331	-1337	-4554 -4532
ϕ_{max}	0.009579	0.001678	0.001808 0.001781
ϕ_{min}	-0.001285	-0.007749	-0.001920 -0.001917
ϕ_u	0.077770	0.077535	0.008916 0.008928
ϕ_{y0}	0.001198	0.001198	0.000360 0.000360
ϕ_a	0.065008	0.064812	0.007490 0.007500
せん断力に対する検討 (タイプⅡ) 単位: tf			
	橋軸方向 (橋脚下端)		橋軸直角 (橋脚上端)
	P1	P2	P1 P2
せん断力	175	175	276 286
せん断耐力	468	467	759 756
残留変位に対する検討 (タイプⅡ) 単位: mm			
	橋軸方向		橋軸直角
残留変位	4.5		3.2
許容残留変位	137		137

※3波平均とする。



P1橋脚上部一橋軸方向 P1橋脚下部一橋軸直角方向

図-4 曲げモーメント-曲率履歴曲線

b) せん断力

せん断力とせん断耐力の比較図を図-5, 6に示す。せん断耐力は道示Ⅴの式を用いて算出した。橋脚のせん断耐力が応答値よりも上回ったが、せん断耐力の算出においては帯鉄筋量および有効高さによって耐力が左右されるので、帯鉄筋量は十分配置しておく必要がある。

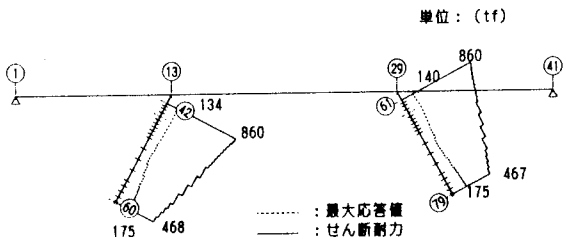


図-5 橋脚のせん断力 (橋軸方向)

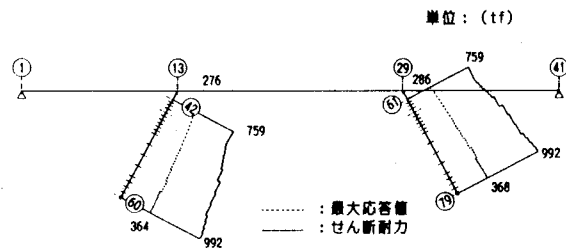


図-6 橋脚のせん断力 (橋軸直角方向)

c) 残留ひずみ

地震波終了後に自由振動させ、落ち着いた変位の最大値と最小値の平均を残留ひずみとし、そのときのひずみの許容値を橋脚高さの 1/100 とした。残留変位は十分小さく、橋軸方向および橋軸直角方向ともに安全である。橋脚部の照査結果を表-3に示す。

(2) 上部工の照査

a) 曲げモーメント

各断面の応答断面力が初降伏モーメントを越えないことを照査した。上部工を線形部材とした場合は耐力を上回るのでは、ここでは非線形性を考慮した応答値を示す。また、剛性の算出には死荷重断面力を考慮した。本例の場合、応答断面力を降伏モーメント以下に抑えるために軸方向鉄筋量を震度法レベルよりも増加した。

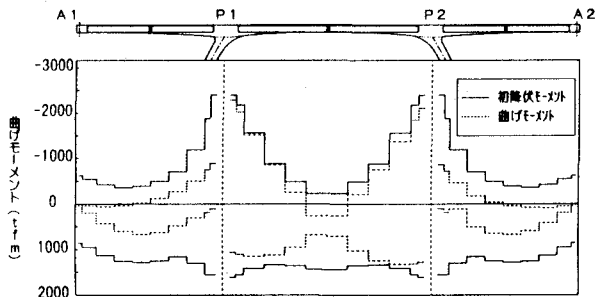


図-7 上部工の曲げモーメント (橋軸方向)

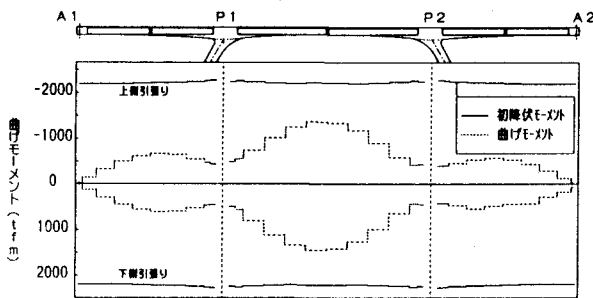


図-8 上部工の曲げモーメント (橋軸直角方向)

b)せん断力

上部工のせん断力とせん断耐力の比較図を図-9,10に示す。せん断耐力は道示Ⅲの式を用いて算出した。せん断耐力以下の断面については震度法レベルの鉄筋量に追加補強した。

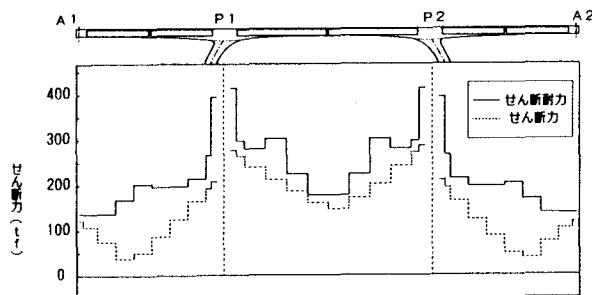


図-9 上部工のせん断力（橋軸方向）

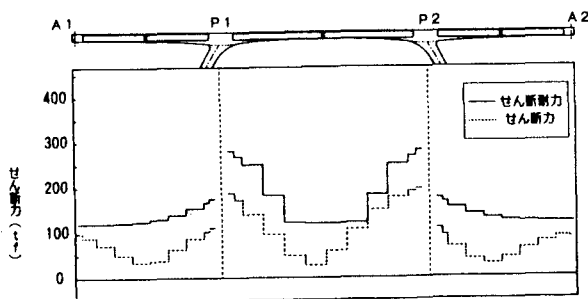


図-10 上部工のせん断力（橋軸直角方向）

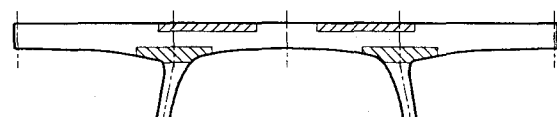
5. 入力地震波に対する結果の比較

入力地震動はタイプⅠ、タイプⅡともに3波を用いたが、本例では結果にほとんど差がなかったので1波形の解析でも十分であると考えられる。

6. 上部工の補強

震度法で計画された鉄筋量に追加補強を行った部分を図-11に示す。鉄筋径はD22を最大径とした。補強の大部分は中央径間支点部付近の上縁引張と下縁引張に対するものである。これはPC鋼材が断面図心位置付近に配置されているので降伏モーメントを算出する際に軸方向鋼材量として有効に働かないためである。また、せん断力に対しては、橋軸直角方向のウェブ、下床版に追加補強を行ったがわずかな鉄筋量であった。震度法で計画された鉄筋量と動的解析を行った結果の鉄筋量とを比較すると約1.4倍程度の増加となった。

橋軸方向鉄筋



橋軸直角方向鉄筋

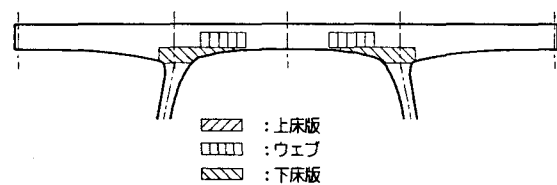


図-11 上部工鉄筋補強位置

7. まとめと今後の課題

本例は、橋脚下端がヒンジなので橋軸方向地震力では橋脚上部に塑性化が生じる構造物であるが、橋脚の部材厚と部材幅が上端から下端へと大きく変化するため、ラーメン橋の地震時保有水平耐力法では、地震時の断面力とM-φの関係により橋脚上端において塑性化が生じなかった。つまり、方杖ラーメン橋の場合は塑性化の位置が特定できない橋梁と考えられるので、下端がヒンジの場合は動的解析を行うことを提案したい。

動的解析の結果追加配置された鉄筋量は、主に曲げモーメントに対するものであった。

今後の課題としては、上部構造PC部材の剛性評価の方法や軸力変動に伴う動的解析手法、初期断面力の評価法、ねじりに対する挙動などがある。また、ヒンジ構造のない方杖ラーメン橋の地震時の挙動についても研究が必要である。

参考文献

- 1) 道路橋示方書・同解説、Ⅰ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ編：日本道路協会 平成8年12月
- 2) 道路橋の耐震設計に関する資料：日本道路協会 平9年3月、平10年1月