

鉄筋コンクリートラーメン橋脚の設計手法に関する検討

落合信之¹・徳川和彦²・日榮民雄³

¹正会員 パシフィックコンサルタンツ(株) 中部本社第一技術部 (〒451 名古屋市西区牛島町2番5号)

²正会員 パシフィックコンサルタンツ(株) 中部本社第一技術部 (〒451 名古屋市西区牛島町2番5号)

³正会員 パシフィックコンサルタンツ(株) 中部本社第一技術部 (〒451 名古屋市西区牛島町2番5号)

1. まえがき

平成8年の道路橋示方書では、鉄筋コンクリートラーメン橋脚の地震時保有水平耐力および許容塑性率が示され、また、基礎の耐震設計手法も明示された。

参考文献2)では、その設計例が紹介されているが、橋脚躯体の設計例に留まっており、橋梁実務者としては、ラーメン橋脚の脚高に対応した設計の検討（震度法と保耐法の断面決定に関する問題点の抽出）と、基礎構造の設計手法に関する検討をしておく必要がある。本検討では、①橋脚高に関するケーススタディ、

②基礎構造の設計手法

について検討計算を行い、設計上の問題点などについて考察する。

2. 橋脚高に関するケーススタディ

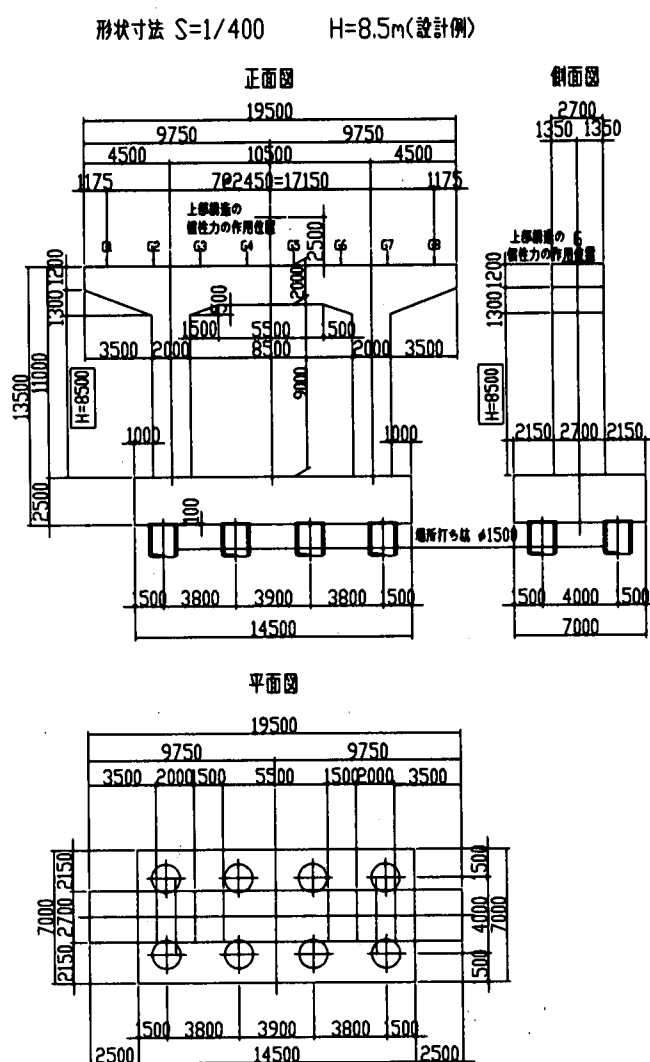
(1)設計対象橋脚

設計対象橋脚は、参考文献2)を標準とし（図-1参照）、柱高H(m)(梁下面～フーチング上面)をcase1 (H=6.5m), case2 (H=8.5m; 設計例), case3 (H=10.5m) の3ケースを検討した。

3ケースともに、設計条件は同一とし、梁断面や柱断面も同一形状とした。また、震度法および地震時保有水平耐力法における、固有周期、設計水平震度、上部構造分担重量も同一条件と仮定して計算を行った。耐震設計上の地盤種別は、Ⅱ種地盤とする。

(2)計算結果

表-1に各ケースにおける断面所要鉄筋の決定比較表を示す。表-2に地震時保有水平耐力（タイプⅡ）の比較表を示す。



Case1	H=6.5m
Case2	H=8.5m
Case3	H=10.5m

図-1 設計対象橋脚

表-1 各ケースにおける断面所要鉄筋の決定比較表

a) case 1 (H=6.5m)

		震度法	保耐法	備 考
		径・本数・ピッチ	径・本数・ピッチ	
梁 部	張 出 し	D25 2.0段 n=42 @125	震度法と同値	震度法にて決定
	上 面	D25 1.5段 n=32 @125	"	"
	下 面	D25 2.0段 n=42 @125	"	"
	中間帯鉄筋	D16 n=5 @150	D22 n=5 @150	保耐法(直角)にて決定
柱 部	橋軸方向	D29 1.0段 n=15 @125	震度法と同値	震度法にて決定
	中間帯鉄筋	D13 n=3 @150	D19 n=3 @150	保耐法(橋軸)にて決定
	直角方向	D25 1.0段 n=21 @125	震度法と同値	震度法にて決定
	中間帯鉄筋	D13 n=6 @150	D19 n=4 @150	保耐法(橋軸)にて決定

b) case 2 (H=8.5m)

		震度法	保耐法	備 考
		径・本数・ピッチ	径・本数・ピッチ	
梁 部	張 出 し	D25 2.0段 n=42 @125	震度法と同値	震度法にて決定
	上 面	D25 1.5段 n=32 @125	"	"
	下 面	D25 2.0段 n=42 @125	"	"
	中間帯鉄筋	D16 n=5 @150	D22 n=5 @150	保耐法(直角)にて決定
柱 部	橋軸方向	D29 1.5段 n=23 @125	D32 2.0段 n=30 @125	保耐法(橋軸)にて決定
	中間帯鉄筋	D13 n=3 @150	D22 n=3 @150	保耐法(橋軸)にて決定
	直角方向	D29 1.0段 n=21 @125	D32 1.0段 n=21 @125	保耐法(橋軸)にて決定
	中間帯鉄筋	D13 n=6 @150	D22 n=4 @150	保耐法(橋軸)にて決定

c) case 3 (H=10.5m)

		震度法	保耐法	備 考
		径・本数・ピッチ	径・本数・ピッチ	
梁 部	張 出 し	D29 1.5段 n=32 @125	震度法と同値	震度法にて決定
	上 面	D29 1.5段 n=32 @125	"	"
	下 面	D32 1.0段 n=21 @125	"	"
	中間帯鉄筋	D16 n=5 @150	D25 n=5 @150	保耐法(直角)にて決定
柱 部	橋軸方向	D32 2.0段 n=30 @125	D35 2.0段 n=30 @125	保耐法(橋軸)にて決定
	中間帯鉄筋	D13 n=3 @150	D25 n=5 @150	保耐法(橋軸)にて決定
	直角方向	D32 1.0段 n=21 @125	D32 2.0段 n=42 @125	保耐法(橋軸)にて決定
	中間帯鉄筋	D13 n=6 @150	D25 n=4 @150	保耐法(橋軸)にて決定

表-2 地震時保有水平耐力(タイプⅡ)の比較表

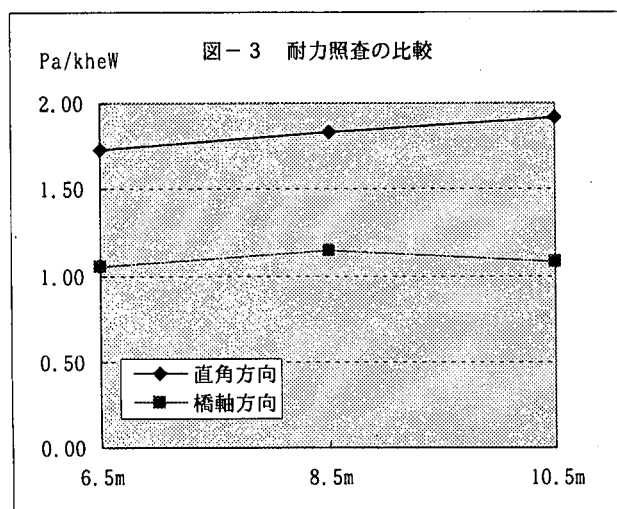
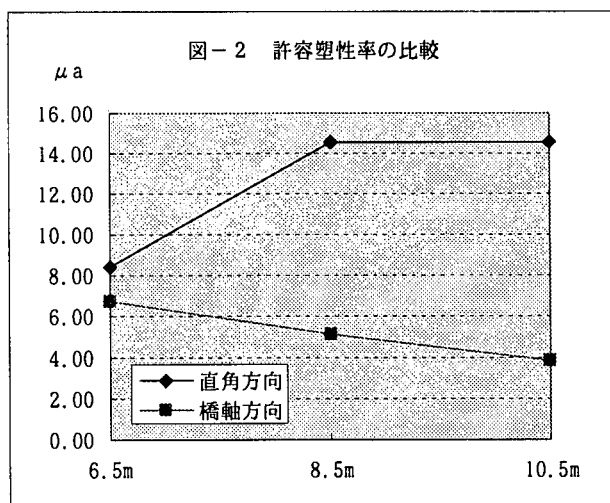
	a) case 1 (H=6.5m)		b) case 2 (H=8.5m)		c) case 3 (H=10.5m)	
	橋軸方向	直角方向	橋軸方向	直角方向	橋軸方向	直角方向
許容塑性率	$\mu_a = 6.746$	$\mu_a = 8.401$	$\mu_a = 5.152$	$\mu_a = 14.595$	$\mu_a = 3.870$	$\mu_a = 14.587$
設計水平震度	$k_{hc} = 1.48$	$k_{hc} = 1.69$	$k_{hc} = 1.48$	$k_{hc} = 1.69$	$k_{hc} = 1.48$	$k_{hc} = 1.69$
等価水平震度	$k_{he} = 0.42$	$k_{he} = 0.43$	$k_{he} = 0.49$	$k_{he} = 0.40$	$k_{he} = 0.57$	$k_{he} = 0.40$
等価重量	$W = 593tf$	$W = 1185tf$	$W = 606tf$	$W = 1212tf$	$W = 620tf$	$W = 1239tf$
破壊形態	曲げ破壊	曲げ破壊	曲げ破壊	曲げ破壊	曲げ破壊	曲げ破壊
耐力照査	$P_a = 262tf$ $> 249tf(1.05)$	$= 881tf$ $> 510tf(1.73)$	$P_a = 342tf$ $> 297tf(1.15)$	$P_a = 888tf$ $> 485tf(1.83)$	$P_a = 382tf$ $> 353tf(1.08)$	$P_a = 954tf$ $> 496tf(1.92)$
残留変位照査	$\delta_r = 0.074m$ $< 0.090m$	$\delta_r = 0.030m$ $< 0.115m$	$\delta_r = 0.079m$ $< 0.110m$	$\delta_r = 0.046m$ $< 0.135m$	$\delta_r = 0.104m$ $< 0.130m$	$\delta_r = 0.058m$ $< 0.155m$

注) 耐力照査欄の () 数字は、 $P_a/k_{he}W$ の値を示す。

(3) 計算結果の考察

図-2に許容塑性率の比較を図-3に耐力照査の比較を示す。橋脚高に関するケーススタディの結果より次のことが言える。

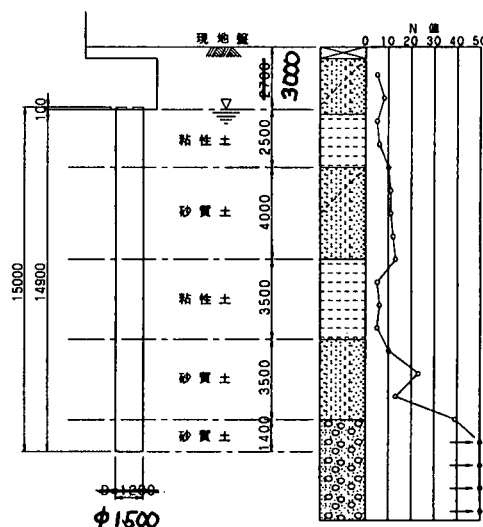
- case1 の場合には、震度法にて決定した柱主鉄筋を保耐法で照査した結果、所要鉄筋を変える必要はなく、中間帯鉄筋（横拘束筋）の変更でOKとなった。これは、断面寸法に余裕があったという理由と、震度法における直角方向の主鉄筋の決定において、乾燥収縮の影響が大きかったことなどが考えられる。
- case2, case3 については、鉄筋決定の傾向が同一であり、横拘束筋の体積比 ρ_s の上限値と最大主鉄筋量の目安から、断面寸法へのフィードバックをしていけば、保有耐力の決定も同一傾向となることが考えられる。
- 橋軸方向の保有耐力によって、鉄筋量が決定する傾向となり、その決められた鉄筋断面で直角方向の耐力照査を行った場合、すべて $P_a/kheW \geq 1.5$ という結果となった。



3. 基礎構造の設計手法

(1) 設計対象橋脚

設計対象橋脚は、前述の case2 の形状寸法を採用し、土質条件としては、図-4に示すものとする。今回の検討では、直角方向の杭基礎の設計に（タイプII）に着目して計算を行う。



	地盤の種類	層厚 (m)	平均N値	粘着力 c (t/m ²)	せん断抵抗 φ (度)	単位体積重量 (t/m ³)	γ	γ'
第1層	粘性土	2.5	5	3.0	0	1.7	0.8	
第2層	砂質土	4.0	10	0.0	27	1.7	0.8	
第3層	粘性土	3.5	5	3.0	0	1.7	0.8	
第4層	砂質土	3.5	15	0.0	30	1.9	1.0	
第5層	砂質土	1.4	50	0.0	40	1.9	1.0	

図-4 対象橋脚の土質条件

(2) 計算手順

以下の手順にて設計計算を行うものとする。

- 橋軸直角方向で橋脚躯体が十分大きな終局水平耐力を有している ($P_u/kheW = 1.83 > 1.5$) ことより、基礎の応答塑性率の照査、変位の照査を行うものとする。杭体のせん断照査は省略する。
- 基礎の応答変位時の震度を橋脚に作用させることにより、ラーメン橋脚の左右柱下端外力を計算する。
- フーチングの軸心に対して、連続梁モデルを設定して、左右柱下端外力と杭頭反力を作用させてフーチングに作用する断面力を算出する。この際、フーチングの剛性としては、降伏剛性を用いるものとし、柱との接合部には、剛域を設定する。また、柱下端外力及び杭頭反力は、軸心位置に対する荷重補正を行う。

(3)基礎の計算結果

表-3に基礎の照査結果を示す。表-4に杭反力一覧表を示す。

表-3 基礎の照査結果

保有耐力法に用いる水平震度	khc	1.69
基礎の用いる水平震度	khcF	1.13
基礎の応答塑性率	μ FR	1.473<4.0
基礎の応答変位	δ FR	0.099m
水平変位(m)	δ F0	0.036<0.040
回転変位(rad)	α F0	0.003<0.025

表-4 杭反力一覧表

杭列	V(t)	H(t)	M(t)
1	1047.7	218.6	-362.9
2	528.6	197.1	-350.8
3	-4.2	157.9	-220.9
4	-433.5	157.9	-22.09

(4)柱下端外力の計算結果

応答変位時の震度 α ikhc=0.81 は、塑性ヒンジ形成過程を追っていくと、 $P_u/W=888/1212=0.733$ に対して $C_dF(=1.1)$ を乗じた値と等しくなる。したがって橋脚降伏時の柱下端外力を見かけ上の補正をした値を使用する。

表-5 端下端外力

		塑性ヒンジ 3カ所発生 P=792	塑性ヒンジ 4カ所発生 P=888	応答変位時の 震度 P=982
左柱	N(tf)	170.0	143.0	116.6
	H(tf)	-439.0	-434.0	-429.1
	M(tf・m)	-2395.0	-2393.0	-2391.0
右柱	N(tf)	1394.0	1421.0	1447.4
	H(tf)	-354.0	-454.0	-551.9
	M(tf・m)	-2077.0	-3119.0	-4139.3

(5)フーチング断面の照査

図-5に示す荷重図にそれぞれの荷重を与えて、フーチング断面力を算出する。

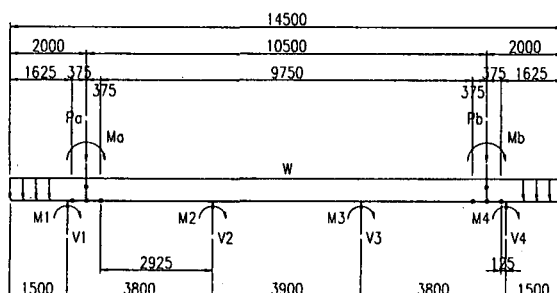


図-5 フーチングの荷重図

表-6 断面力結果

	下側引張	上側引張
曲げモーメントM(tf・m)	2159.9	4870.0
せん断力S(tf)	1428.0	49.1

なお、鉄筋量の算出およびせん断耐力の照査は省略する。

4. まとめ

本報告では、鉄筋コンクリートラーメン橋脚の地震時保有水平耐力法による設計手法について、橋脚高に関するケーススタディと基礎構造の設計手法についての参考例を示したが、以下のような問題点と課題が考えられる。

- (1)橋脚高の低いラーメン橋脚では、震度法で主鉄筋が決定する事が多いが保耐力との整合を考えると不合理である。例えば、震度法における断面剛性の低下や、側方鉄筋の考慮などによって乾燥収縮の不静定力が支配的にならないような、設計手法を取り入れても良いと考える。
- (2)橋軸直角方向の壁式橋脚と同様にラーメン橋脚も地震時保有水平耐力法に用いる設計水平震度に対し、橋脚躯体が十分大きな終局水平耐力を有している場合が多いため基礎に非線形を許容する設計が合理的である。この際には橋脚の残留変位を照査する必要がある。
- (3)ラーメン橋脚で杭基礎を有する場合のフーチングの設計においては、基礎の応答変位時の断面力を再現する手法でフーチングを解析する手法を提案したが、橋脚～基礎を含めた一体型の地震時保有水平耐力法で解析する手法が合理的だと考えられる。

なお、今回の設計計算に関しては、日本電子計算(株)のJSP-56「地震時保有水平耐力法によるRC門型橋脚の耐震計算」のソフトを使用した。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説V 耐震設計編、平成8年12月
- 2) (社)日本道路協会：道路橋の耐震設計に関する資料、平成9年3月
- 3) (財)土木研究センター：耐震設計ソフトウェアに関する研究委員会報告書、平成9年5月