

## 報告 試設計による各国設計基準の比較検討

橋場 盛\*<sup>1</sup>・井上 晋\*<sup>2</sup>・酒井 博士\*<sup>3</sup>・服部 篤史\*<sup>4</sup>

要旨：阪神・淡路大震災を契機として、コンクリート構造物の地震に対する設計法に関心が持たれている。JCI近畿支部「土木コンクリート構造物の震災対策に関する研究委員会」では、国内外設計基準の内容を把握するため、RC橋脚を対象として試設計を行い、その結果を比較した。また、道路橋復旧仕様を尺度として地震時変形性能を照査し、さらに、実測加速度波形を用いて非線形地震応答解析も併せて行った。せん断に関する構造細目に、国内外基準間で見られるかなりの相違が見られ、このことが試設計上、構造物の地震時変形性能に顕著に影響することが明らかとなった。

キーワード：地震荷重、設計基準、構造細目、地震時変形性能、非線形地震応答解析

### 1. はじめに

本報告はJCI近畿支部「土木コンクリート構造物の震災対策に関する研究委員会」(委員長：藤井学京都大学教授)の中間報告書[1](以下、中間報告書と略記)の内容のうち、第2編「地震設計の現状と将来」に関するものである。本編では、以下のような内容を取り上げている。

- ①国内外の代表的設計基準について地震に係わる設計の位置付けや特徴を明確にし、我が国におけるその変遷を整理した。さらに、これらにおける重要な相違点を調査した。
- ②その中で極めて重要な靱性を取り上げ、定義、影響要因、コンクリート構造の靱性評価指標などを整理し、靱性を統一的に取り扱うための基本検討を行った。
- ③幾つかの設計基準を選定し、単柱式RC橋脚を対象として試設計を行った。その結果を道路橋復旧仕様[2]によって地震時保有水平耐力や変形性能を照査し、さらに兵庫県南部地震における実測加速度波形を用いた非線形応答解析を実施して、各設計基準を比較検討した。
- ④これらの調査研究の結果を踏まえて、現状で明確になっていない幾つかの課題を取り上げ、今後の委員会活動の方向を示した。

ここでは、主として上記③を中心に報告する。

### 2. 国内外の設計基準における地震に係わる設計の考え方

中間報告書では、国内3基準、国外6基準の地震に係わる項目を取り上げて以下のような内容を比較し、各基準における考え方を示した。

- ①基本方針および設計手法、②地震荷重およびその組合せ、③構造解析および断面強度、④構造細目、⑤免震規定

これらの項目のうち、とくに後述する試設計結果に影響を及ぼす柱部材のせん断に関する耐力

\*1 (株) オリエンタルコンサルタンツ関西支社総合技術部部長、工修 (正会員)

\*2 大阪工業大学助教授 工学部土木工学科、工博 (正会員)

\*3 (株) ピーエス大阪支社設計部課長、工修 (正会員)

\*4 京都大学助手、工学部土木工学科 (正会員)

および構造細目についてまとめると、次のようである。

- ① せん断耐力は、各基準ともにコンクリートおよびせん断補強鉄筋が負担する分の和で、すなわち、累加式で表現されている。後者が負担する分に関しては、ともにトラス理論によって求めている。しかし、前者に関しては、国外基準では、地震の影響を考慮するとき、塑性ヒンジが形成されることが予想される部材端部で、軸圧縮力が小さい場合には零としている。
- ② 鉄筋径および量に関しては、国内基準では、ほぼ同様な内容が規定され、最小鉄筋比が示されている。国外基準では、より細かな規定が設けられており、その量に関してもコンクリートおよび鉄筋強度、部材形状等を考慮した算定式が示されている。
- ③ 配置に関しても、国外基準では国内基準に比して詳細に規定されている。NZSでは、部材端の潜在塑性ヒンジ区間に対して特別の規定を設けて、一般部より鉄筋量を多くし、配置間隔も密にしている。これは国内基準の部材接合部における補強筋量を密に配置する範囲とほぼ一致している。
- ④ なお、せん断補強鉄筋のうちの帯鉄筋やスパイラル鉄筋に関しては、せん断補強の他に内部コンクリートを拘束し、軸方向鉄筋の座屈を防止する目的がある。国外基準では、横拘束コンクリートとしてのこれらの量を規定しているものもある(例：AASHTO、NZS)。

### 3. 試設計による設計基準の比較

道路橋下部構造の代表的な形式であるRC単柱式橋脚の試設計を国内外6基準(コンクリート標準示方書[3]、鉄道構造物等設計標準[4]、道路橋示方書[5]、AASHTO[6]、CALTRANS[7]、NZS[8])によって行った。その結果を用いて、次のような比較検討を行い、これら基準の地震に係わる設計を把握することとした。

- ①断面諸元および補強鉄筋の比較、②道路橋復旧仕様による地震時保有水平耐力および変形性能の照査、③兵庫県南部地震の実測加速度波形による動的応答特性の照査

#### 3.1 道路橋RC単柱式橋脚の試設計

##### (1) 試設計のための条件

ここでは、地震を含む荷重作用の大きさを指定し、それに耐えうる(倒壊しない)断面を設計することとし、道路橋RC単柱式橋脚の基部を設計部位とした。

設計条件は以下のように選定した。

##### a) 橋脚基部に作用する断面力

- ・軸圧縮力  $N=930 \text{ tf}$
- ・曲げモーメント  $M=4950 \text{ tf}\cdot\text{m}$
- ・せん断力  $S=330 \text{ tf}$
- ・コンクリート 設計基準強度  $f'_c=270 \text{ kgf/cm}^2$   
最大粗骨材径 20 mm
- ・鉄筋 引張降伏強度  $f_y=3000 \text{ kgf/cm}^2$

##### b) 橋脚形状および軸方向鉄筋の配筋細目

- ・橋脚形状(図-1参照) (中実)円形断面
- ・軸方向鉄筋の配筋細目 (最大)鉄筋径 D32  
(最大)鉄筋段数 2.5段

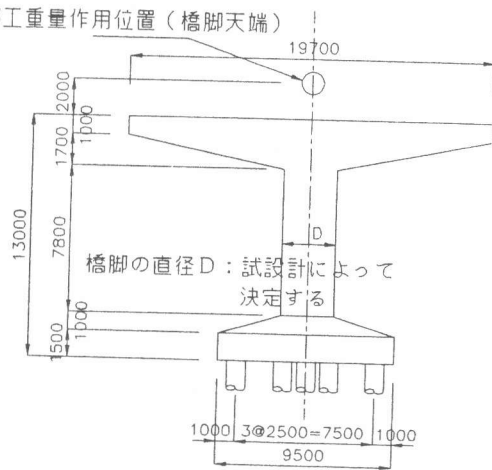


図-1 設計に用いた橋脚形状

(2) 試設計結果

試設計によってえられた断面諸元および補強鉄筋を表-1に示す。この結果をまとめると、次のようである。

- ①柱の直径に関しては、CALTRANSが2.4mと最小径となり、他の5基準は2.9mとなった。
- ②主鉄筋比に関しては、CALTRANSで最大(3.2%)となり、AASHTOおよびNZSで最小(2.2%)となった。国内基準は、これらの中間的な鉄筋比となっている。また、NZSでは最大鉄筋量の制約から主鉄筋2段配筋となったが、他の5基準はともに2.5段配筋となっている。
- ③帯鉄筋比をみると、国内基準では0.3~0.6%、国外基準では0.8~1.4%である。最大はCALTRANSで、最小はコンクリート標準示方書となった。

表-1 試設計結果

コンクリート標準示方書	鉄道構造物等設計標準	道路橋示方書	AASHTO	CALTRANS	NZS
<p>軸方向鉄筋(鉄筋比P=3.00%)</p> <p>最外縁 D32 - 100本 (φ87)</p> <p>2段目 D32 - 100本</p> <p>3段目 D32 - 50本</p> <p>計 D32 - 250本</p> <p>帯鉄筋(鉄筋比W=0.18%)</p> <p>最外縁 D16 - ctc125</p> <p>2段目 D16 - ctc500</p> <p>3段目 D16 - ctc500</p> <p>1段目軸方向鉄筋心かぶり: 70mm</p>	<p>軸方向鉄筋(鉄筋比P=3.00%)</p> <p>最外縁 D32 - 100本 (φ86)</p> <p>2段目 D32 - 100本</p> <p>3段目 D32 - 50本</p> <p>計 D32 - 250本</p> <p>帯鉄筋(鉄筋比W=0.23%)</p> <p>最外縁 D16 - ctc100</p> <p>2段目 D16 - ctc400</p> <p>3段目 D16 - ctc400</p> <p>1段目軸方向鉄筋心かぶり: 90mm</p>	<p>軸方向鉄筋(鉄筋比P=2.64%)</p> <p>最外縁 D32 - 88本 (φ86)</p> <p>2段目 D32 - 88本</p> <p>3段目 D32 - 44本</p> <p>計 D32 - 220本</p> <p>帯鉄筋(鉄筋比W=0.29%)</p> <p>最外縁 D19 - ctc150</p> <p>2段目 D19 - ctc300</p> <p>3段目 D19 - ctc300</p> <p>1段目軸方向鉄筋心かぶり: 110mm</p>	<p>軸方向鉄筋(鉄筋比P=2.14%)</p> <p>最外縁 D32 - 72本 (φ87)</p> <p>2段目 D32 - 72本</p> <p>3段目 D32 - 34本</p> <p>計 D32 - 178本</p> <p>帯鉄筋(鉄筋比W=0.72%)</p> <p>最外縁 D22 - ctc125</p> <p>2段目 D22 - ctc125</p> <p>3段目 D22 - ctc125</p> <p>1段目軸方向鉄筋心かぶり: 80mm</p>	<p>軸方向鉄筋(鉄筋比P=3.16%)</p> <p>最外縁 D32 - 94本 (φ97)</p> <p>2段目 D32 - 72本</p> <p>3段目 D32 - 36本</p> <p>計 D32 - 180本</p> <p>帯鉄筋(鉄筋比W=0.72%)</p> <p>最外縁 D22 - ctc150</p> <p>2段目 D22 - ctc150</p> <p>3段目 D22 - ctc150</p> <p>1段目軸方向鉄筋心かぶり: 90mm</p>	<p>軸方向鉄筋(鉄筋比P=2.26%)</p> <p>最外縁 D32 - 94本 (φ92)</p> <p>2段目 D32 - 94本</p> <p>計 D32 - 188本</p> <p>帯鉄筋(鉄筋比W=0.44%)</p> <p>最外縁 D19 - ctc100</p> <p>2段目 D19 - ctc100</p> <p>1段目軸方向鉄筋心かぶり: 80mm</p>
<p>&lt;軸方向鉄筋計算式&gt;</p> $P = \frac{A_s}{1/4 \cdot \pi \cdot D^2} \times 100$ <p>ここに <math>A_s</math>: 軸方向鉄筋断面積 <math>D</math>: 柱断面直径</p>		<p>&lt;帯鉄筋計算式&gt;</p> $W = \frac{A_w}{b \cdot a} \times 100$ <p>ここに <math>A_w</math>: 帯鉄筋断面積 (帯鉄筋の場合は1組当たり2本分計上する)</p>		<p>b: 矩形換算断面幅</p> $(D=290\text{cm}: \sqrt{1/4 \cdot \pi \cdot D^2} = 257\text{cm})$ $(D=240\text{cm}: \sqrt{1/4 \cdot \pi \cdot D^2} = 213\text{cm})$ <p>a: 帯鉄筋間隔 <math>A_w</math>には中間帯鉄筋は含まず。</p>	

3. 2 道路橋復旧仕様による地震時保有水平耐力および変形性能の照査

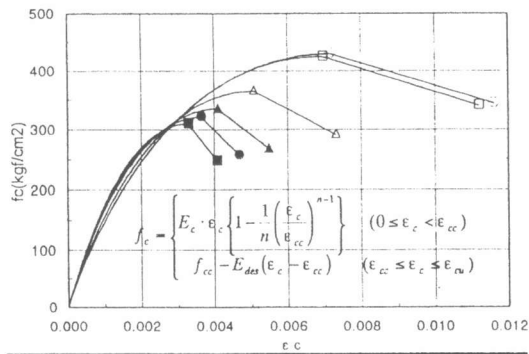
試設計結果を道路橋復旧仕様を尺度として、その地震時保有水平耐力および変形性能を照査した。図-2に横拘束効果を考慮したコンクリートの応力-ひずみ関係を、図-3に橋脚の水平力-水平変位(P-δ)関係を示す。さらに、表-2に地震時保有水平耐力および変形性能の照査結果を示す。これらの照査結果をまとめると、次のようである。

- ①コンクリートのひずみ(最大圧縮応力時 $\epsilon_{cc}$ 、終局時 $\epsilon_{cu}$ )は、ともに国外基準の方が大きく、CALTRANSでは国内基準の2倍強となっている。また、 $\epsilon_{cu}/\epsilon_{cc}$ をみると、国内基準で1.24~1.34、国外基準で1.44~1.62となっている。さらに、応力-ひずみ関係の下降勾配を初

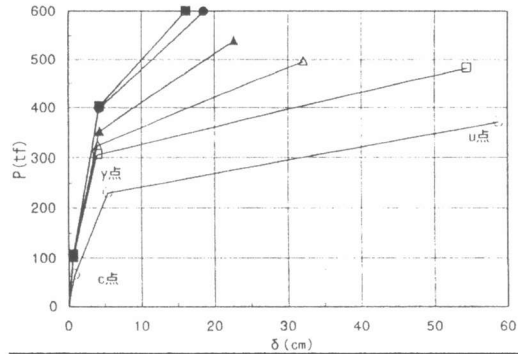
期勾配との比で見ると、国内基準で0.18~0.30、国外基準で0.08~0.13となっている。

②橋脚の水平力と水平変位の関係で国内基準と国外基準を比較すると、国内基準における終局時の水平力は国外基準よりも大きくなるが、終局時の水平変位は国外基準よりも小さい。また、道路橋示方書とNZSとはかなり近い結果となっている。

③降伏時および終局時の橋脚水平変位 ( $\delta_y$ 、 $\delta_u$ ) を比較すると、国内基準で3.80~5.40、国外基準で8.00~13.6となっている。また、橋脚基部のせん断耐力と基部が終局モーメントに達するときとに相当する上部構造の慣性力作用位置での水平力との比 ( $P_s/P_u$ ) を見ると、国内基準で0.97~1.0、国外基準で2.0~3.1となっている。



	$E_c$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$f_{cc}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\epsilon_{cc}$	$\epsilon_{cu}$	$E_{des}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
コンクリート標準示方書	265,000	310	0.00328	0.00407	78,200
鉄道構造物等設計標準	265,000	321	0.00364	0.00469	61,000
道路橋示方書	265,000	335	0.00409	0.00549	47,700
AASHTO	248,000	425	0.00697	0.0112	20,100
CANTRAS	248,000	430	0.00716	0.01161	19,300
NZS	247,000	365	0.00507	0.00731	32,500



	c点		y点		u点	
	水平力 (tf)	変位 (cm)	水平力 (tf)	変位 (cm)	水平力 (tf)	変位 (cm)
コンクリート標準示方書	106.2	0.6	402.1	4.2	598.9	16.0
鉄道構造物等設計標準	105.4	0.6	397.6	4.2	598.4	18.5
道路橋示方書	101.6	0.6	352.1	4.2	538.5	22.6
AASHTO	99.6	0.6	306.3	4.0	481.7	54.4
CANTRAS	64.5	0.8	230.7	5.4	371.1	58.7
NZS	101.0	0.6	324.1	4.0	495.1	32.1

図-2 横拘束コンクリートの応力-ひずみ関係

図-3 橋脚のP-δ関係

表-2 地震時保有水平耐力の照査結果

	コンクリート標準示方書	鉄道構造物等設計標準	道路橋示方書	ASSHTO	CALTRANS	NZS
柱基部断面図						
主要諸元	D: 2.900 P: 3.006 Pw: 0.348	D: 2.900 P: 3.006 Pw: 0.446	D: 2.900 P: 2.645 Pw: 0.570	D: 2.900 P: 2.140 Pw: 1.356	D: 2.400 P: 3.160 Pw: 1.408	D: 2.900 P: 2.260 Pw: 0.837
コンクリート	$\epsilon_{cc}$ : 0.00328 $\epsilon_{cu}$ : 0.00407 f <sub>cc</sub> : 310 E <sub>des</sub> : 7.82E4	$\epsilon_{cc}$ : 0.00364 $\epsilon_{cu}$ : 0.00469 f <sub>cc</sub> : 321 E <sub>des</sub> : 6.10E4	$\epsilon_{cc}$ : 0.00409 $\epsilon_{cu}$ : 0.00549 f <sub>cc</sub> : 335 E <sub>des</sub> : 4.77E4	$\epsilon_{cc}$ : 0.00697 $\epsilon_{cu}$ : 0.01120 f <sub>cc</sub> : 425 E <sub>des</sub> : 2.01E4	$\epsilon_{cc}$ : 0.00716 $\epsilon_{cu}$ : 0.01161 f <sub>cc</sub> : 430 E <sub>des</sub> : 1.93E4	$\epsilon_{cc}$ : 0.00507 $\epsilon_{cu}$ : 0.00731 f <sub>cc</sub> : 365 E <sub>des</sub> : 3.25E4
P-δ曲線	M <sub>u</sub> : 7486 P <sub>u</sub> : 598.9 P <sub>y</sub> : 402.1 δ <sub>u</sub> : 16.0 δ <sub>y</sub> : 4.2 μ: 3.8 E <sub>u</sub> : 6875 E <sub>y</sub> : 94.3 μ <sub>e</sub> : 7.3	M <sub>u</sub> : 7479 P <sub>u</sub> : 598.4 P <sub>y</sub> : 397.6 δ <sub>u</sub> : 18.5 δ <sub>y</sub> : 4.2 μ: 4.4 E <sub>u</sub> : 8058 E <sub>y</sub> : 93.7 μ <sub>e</sub> : 8.6	M <sub>u</sub> : 6731 P <sub>u</sub> : 538.5 P <sub>y</sub> : 352.1 δ <sub>u</sub> : 22.6 δ <sub>y</sub> : 4.2 μ: 5.4 E <sub>u</sub> : 9040 E <sub>y</sub> : 84.7 μ <sub>e</sub> : 10.7	M <sub>u</sub> : 6021 P <sub>u</sub> : 481.7 P <sub>y</sub> : 306.3 δ <sub>u</sub> : 54.4 δ <sub>y</sub> : 4.0 μ: 13.6 E <sub>u</sub> : 20589 E <sub>y</sub> : 71.9 μ <sub>e</sub> : 28.6	M <sub>u</sub> : 4639 P <sub>u</sub> : 371.1 P <sub>y</sub> : 230.7 δ <sub>u</sub> : 58.7 δ <sub>y</sub> : 5.4 μ: 10.9 E <sub>u</sub> : 16742 E <sub>y</sub> : 70.5 μ <sub>e</sub> : 23.7	M <sub>u</sub> : 6189 P <sub>u</sub> : 495.1 P <sub>y</sub> : 324.1 δ <sub>u</sub> : 32.1 δ <sub>y</sub> : 4.0 μ: 8.0 E <sub>u</sub> : 12263 E <sub>y</sub> : 75.3 μ <sub>e</sub> : 16.3
耐力比	0.97	1.1	1.4	3.1	2.7	2.0
記号	D: 柱部直径 (m) P: 主鉄筋比 (%) Pw: 巻鉄筋比 (%) (= 4.0A <sub>wh</sub> /s <sub>d</sub> ) $\epsilon_{cc}$ : コンクリートの最大圧縮力時ひずみ $\epsilon_{cu}$ : 横拘束筋で拘束されたコンクリートの終局ひずみ f <sub>cc</sub> : 横拘束筋で拘束されたコンクリートの強度 (kgf/cm <sup>2</sup> ) E <sub>des</sub> : コンクリートの最大圧縮力以降の下降勾配 (kgf/cm <sup>2</sup> ) M <sub>u</sub> : 終局時の曲げモーメント (t・m) P <sub>u</sub> : 終局水平耐力 (tf)			P <sub>y</sub> : 降伏水平耐力 (tf) δ <sub>u</sub> : 終局変位 (cm) δ <sub>y</sub> : 降伏変位 (cm) μ: 変位靱性率 (μ <sub>w</sub> ) E <sub>u</sub> : P <sub>u</sub> -δ <sub>u</sub> 曲線で囲まれる面積 (t・m) E <sub>y</sub> : P <sub>y</sub> -δ <sub>y</sub> 曲線で囲まれる面積 (t・m) μ <sub>e</sub> : E <sub>u</sub> /E <sub>y</sub> 耐力比: P <sub>s</sub> /P <sub>u</sub> (P <sub>s</sub> : せん断耐力)		

### 3. 3 動的応答特性の照査

兵庫県南部地震の実測加速度波形を用いて試設計によって構造物の動的応答特性を照査した。実施するに当たって道路橋復旧仕様を参考に以下のようにモデル等を決定した。

- ①解析モデルは図-4に示すように橋脚部のみを取り出し、質量は水平方向成分のみの集中質量とし、さらに、橋脚の梁およびフーチングは剛体要素とした。
- ②橋脚躯体の復元力特性は、コンクリートのひびわれ発生と、鉄筋の降伏による剛性低下を考慮した武田モデル(図-5参照)を用いた。
- ③減衰定数は橋脚躯体を2%、基礎・地盤系を20%とした。
- ④入力地震には神戸海洋気象台記録のNS成分(最大818gal)を用い、計算時間刻みを0.001とした

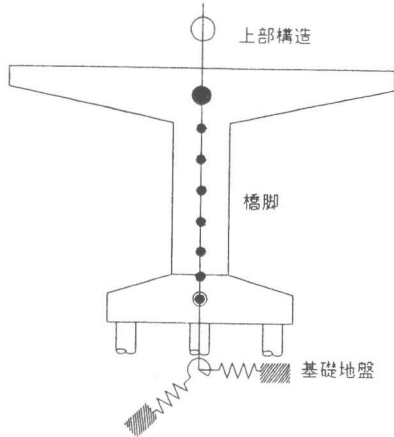


図-4 解析モデル

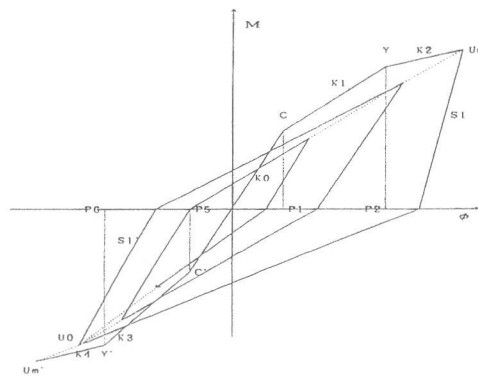


図-5 武田モデル

表-4 動的解析結果

解析モデル	コンクリート標準示方書	鉄道構造物等設計標準	道路橋示方書	AASHTO	CALTRANS	NZS
橋脚断面	φ=2900mm 橋脚方向鉄筋 帯鉄筋 最外縁 D32×100本 D16-C1C150 2段目 D32×100本 D16-C1C500 3段目 D32×50本 D16-C1C500	φ=2900mm 橋脚方向鉄筋 帯鉄筋 最外縁 D32×100本 D16-C1C100 2段目 D32×100本 D16-C1C400 3段目 D32×50本 D16-C1C400	φ=2900mm 橋脚方向鉄筋 帯鉄筋 最外縁 D32×88本 D19-C1C150 2段目 D32×88本 D19-C1C150 3段目 D32×44本 D19-C1C150	φ=2900mm 橋脚方向鉄筋 帯鉄筋 最外縁 D32×72本 D22-C1C125 2段目 D32×72本 D22-C1C125 3段目 D32×34本 D22-C1C125	φ=2900mm 橋脚方向鉄筋 帯鉄筋 最外縁 D32×72本 D22-C1C150 2段目 D32×72本 D22-C1C150 3段目 D32×36本 D22-C1C150	φ=2900mm 橋脚方向鉄筋 帯鉄筋 最外縁 D32×94本 D19-C1C150 2段目 D32×94本 D19-C1C500
橋脚天端の加速度 (m/sec <sup>2</sup> )						
橋脚天端の変位 (mm)						
橋脚基部曲げモーメント (tf-m)						
橋脚基部せん断力 (tf)						
$A_{max}$ (gal)	1039	1037	979	880	598	920
$D_{max}$ (cm)	18.0	18.4	19.9	20.1	19.4	20.1
$D_u$ (cm)	16.0	18.5	22.6	54.4	58.7	32.1
$D_u/D_{max}$	0.89	1.01	1.14	2.71	3.03	1.6
$M_{max}$ (tf-m)	7270	7104	6214	4585	3449	5254
$M_u$ (tf-m)	7486	7470	6731	6021	4635	6178
$M_u/M_{max}$	1.03	1.05	1.08	1.31	1.34	1.18
$S_{max}$ (tf)	745	738	670	557	382	606
$P_s$ (tf)	581	660	756	1476	1000	1013
$P_s/S_{max}$	0.78	0.89	1.13	2.65	2.62	1.67

解析結果を表-4に示す。この表より、次のようにまとめられる。

- ① 橋脚天端の応答加速度の最大値 ( $A_{max}$ ) と入力加速度の最大値 ( $a_{max}$ ) との比 ( $A_{max}/a_{max}$ ) は、国内基準で1.20~1.27、国外基準で0.73~1.12となっている。また、橋脚天端の応答変位の最大値 ( $\delta_{max}$ ) と前述の終局時橋脚天端変位 ( $\delta_u$ ) との比 ( $\delta_{max}/\delta_u$ ) は、国内基準で0.89~1.14、国外基準で1.60~3.03となっている。
- ② 橋脚基部の終局曲げモーメント ( $M_u$ ) と応答曲げモーメントの最大値 ( $M_{max}$ ) との比 ( $M_u/M_{max}$ ) をみると、国内基準で1.03~1.08、国外基準で1.18~1.34となっている。同様に、せん断について  $S_u/S_{max}$  をみると、国内基準で0.78~1.13、国外基準で1.67~2.65となっている。

#### 4. まとめ

地震に係わる設計方法について、国内外の設計基準の特徴を試設計を通して把握した。道路橋RC橋脚一例の設計であるが、得られた知見をまとめると次のようである。

- ① せん断耐力のうちコンクリートによって負担される分については、国外基準では塑性ヒンジが形成させることが予想される部材端部で、軸圧縮力が小さい場合には零としている。
- ② また、国外基準では構造細目的にも多くのせん断補強鉄筋を密に配置することを規定している。
- ③ 道路橋復旧仕様による変形性能の照査結果では、国外基準による設計は国内基準に比して柔な構造となっている。また、国内基準の中にはせん断耐力の不足をきたすものも見られた。
- ④ 非線形地震応答解析結果でも、上記③と同様な傾向が見られた。
- ⑤ 上記③および④の結果は、主に上記②によるものと考えられ、国内基準の構造細目的な検討が必要である。

最後に、本報告は上述委員会のWG2（主査：小林和夫大阪工業大学教授）が担当して行った調査研究成果である。委員各位のご努力に感謝致します。

#### 【参考文献】

- [1] (社)日本コンクリート工学協会近畿支部：「土木コンクリート構造物の震災対策に関する研究委員会」中間報告書、1995.12
- [2] (社)日本道路協会：兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係わる仕様、1995.2  
(社)日本道路協会：兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係わる仕様の準用に関する参考資料、1995.6
- [3] (社)土木学会：コンクリート標準示方書 設計編、1991
- [4] (財)鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説、1992
- [5] (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 耐震設計編、1990
- [6] AASHTO：Standard Specifications for Highway Bridges, 15th Edition, 1992  
Standard Specifications for Seismic Design of Highway Bridges, 1991
- [7] CALTRANS：Bridge Design specifications Manual, 1990
- [8] NZS3101：Code of practice for THE DESIGN OF CONCRETE STRUCTURE, 1982  
NZS4203：Code of practice for GENERAL STRUCTURAL DESIGN AND DESIGN LOADINGS FOR BUILDINGS, 1992