

震災を受けたRCラーメン高架橋の耐震性能と損傷に関する検討結果

Study of Earthquake Resistance and Damage by Earthquake Disaster of Reinforced Concrete Rigid Frame Bridge

コンクリート委員会

土木学会コンクリート委員会では、阪神・淡路大震災で被害を受けたコンクリート構造物の状況を調査・研究し、その結果を今後のコンクリート構造物の設計施工に役立てることを目的として、阪神・淡路大震災調査研究特別委員会（委員長：岡村甫）を設けて活動を続けています。

この度、同委員会において、石橋委員（JR 東日本）および池田委員（JR 西日本）から、震災を受けた鉄道用RCラーメン高架橋（以下「ラーメン高架橋」という）の損傷状況から耐震性能についての貴重な資料が提出されました。この資料は、実際に震災を受けた構造物から地震の規模等について検討したものであり、概ね適正な検討結果であると判断されました。今後のコンクリート構造物の耐震設計を考える意味で有効な資料であると考え、その概要を以下に紹介します。

阪神・淡路大震災による土木構造物の被害は至るところで見られ、鉄道構造物においても例外ではなく、JR線、私鉄、地下鉄等で甚大な被害が生じた。特に、JR東海道本線 住吉～灘間の延長約2.2 kmのラーメン高架橋においては、六甲道駅の崩壊を含め、落橋・沈下・大変形といった壊滅的被害を受け、新幹線、在来線を含め最も被

表-1 計算仮定

- 断面寸法、配筋状態は設計図通り
- 材料強度
 - コンクリートの圧縮強度 $f'_{ck}=240 \text{ kgf/cm}^2$
 - 鉄筋の降伏強度
 - $f_{sy}=3\,500 \text{ kgf/cm}^2$ (SD 345)
 - $f_{sy}=3\,000 \text{ kgf/cm}^2$ (SD 295)
 - $f_{sy}=2\,400 \text{ kgf/cm}^2$ (SD 235)
- 柱軸力は軸方向応力度 $\sigma_N=10 \text{ kgf/cm}^2$ で一定
- じん性率 μ は、鉄道構造物等設計標準・コンクリート構造物編 (H 4.10) により次式で算定

$$\mu = (\mu_0 \delta_{y0} + \delta_{u1}) / (\delta_{y0} + \delta_{y1})$$
 ここで、 μ_0 : く体じん性率
 δ_{y0} : 降伏時のく体変位
 δ_{y1}, δ_{u1} : 降伏時、終局時の軸方向鉄筋の抜け出しによる回転変位
- 部材が降伏に達する時点の水平震度は次式により算定。

$$K_y = 1.5 \cdot Kh$$
 ここで、 K_y : 部材が降伏に達する時点の水平震度
 Kh : 設計水平震度
- 換算弾性応答加速度 : $P_E = 1\,000 K_y \sqrt{(2 \cdot \mu - 1)}$

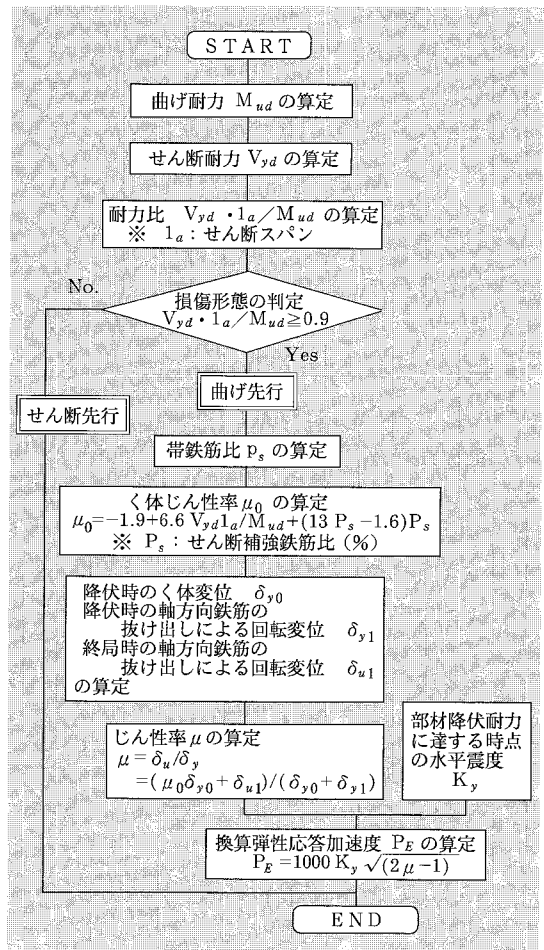


図-1 耐震性能の計算方式

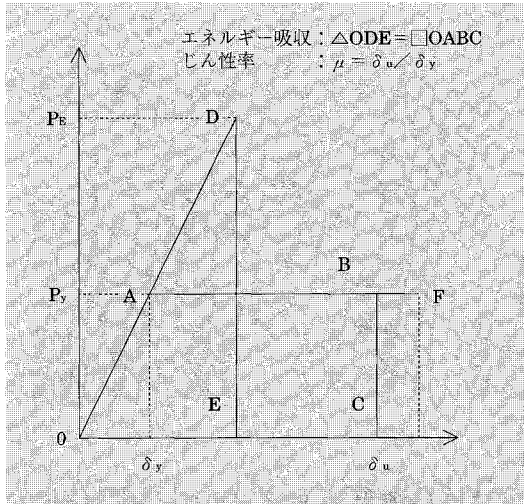


図-2 エネルギー定則の概念図

害が大きかった。本文は、当該地区の全高架橋の上下線 158 ブロックのラーメン高架橋について、構造物の耐震性能と損傷度を比較検討したものである。

ラーメン高架橋の概要

本区間では、3 径間を標準とした 2 線 2 柱ビームスラブ式ラーメン高架橋が上下線で並列している。地盤は、N 値 3~50 の沖積砂質土、沖積砂礫土が地表面から 2~10 m 程度堆積している。この層を支持層とした高架橋の基礎形式は、全体の 86% が直接基礎で、残りが直径 30 cm、長さ 1.1~4.0 m の H 鋼を芯材とした場所打ち杭を 1 フーチング 24 本で構成した群杭基礎となっている。なお、ラーメン高架橋の設計は、昭和 45 年制定の国鉄建造物設計標準により行われている。

高架橋の耐震性能検討方法

耐震性能の検討は、損傷を受けたラーメン高架橋の柱部材について行った。計算方法を図-1 に、計算仮定を表-1 に示す。

なお、正確には荷重を計算し部材の降伏水平震度を算定する必要があるが、本検討では部材降伏時の水平震度として、 $1.5 \times \text{水平震度}(0.2) = 0.3$ とした。この理由として、設計時に無視している

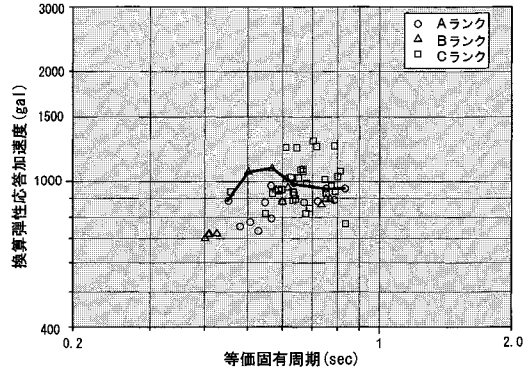


図-3 ラーメン高架橋の等価固有周期と換算弾性応答加速度と損傷度

側方鉄筋の影響を考慮し、また設計に若干の余裕が一般的にあるので、これらを考慮すると柱部材の降伏耐力は個々のラーメン高架橋で若干バラツクが設計水平震度の 1.5 倍程度となるものが多いので、ここでは一率な値として検討を行った。

損傷度判定

表-2 に、実橋の損傷度判定表を示す。損傷度は各ラーメン高架橋ごとに最も損傷の大きい柱で判断し、損傷の程度の大きいものから A ランク、B ランク、C ランクに分類した。

耐震性と損傷度との比較・検討

表-3 に、当該高架橋 158 ブロックのラーメン高架橋についての計算による耐震性能と実際の損傷度との比較・検討結果を示す。耐震性能の指標としては、換算弾性応答加速度を用いた。換算弾性応答加速度とは、図-2 に示すエネルギー定則を仮定することによって、構造物が弾性振動すると仮定した場合の最大応答値であり、この値が大きいほど構造物の耐震性能は高いと評価される。

換算弾性応答加速度と等価固有周期との関係

当該高架橋の等価固有周期と換算弾性応答加速度と損傷度との関係を図-3 に示す。この中で等価固有周期 0.4 秒~0.9 秒の範囲で A・B ランクの上限を結んだのが図中の実線である。なお、こ

表-2 損傷度判定表

損傷度	写真	
A		
	<p>桁・スラブの落下 柱の崩壊</p>	
B		
	<p>桁・スラブの沈下 柱のコンクリートかぶり剥落、鉄筋はらみだし</p>	
C		
	<p>桁・スラブの沈下なし 柱は降状耐力を保持、残留ひびわれ、かぶり剥落</p>	

表-3 耐震性能と損傷度

損傷形態と耐震性能(計算)	損傷度 総数	Aランク		Bランク		Cランク		微小クラック程度	
		絶対数	割合(%)	絶対数	割合(%)	絶対数	割合(%)	絶対数	割合(%)
曲げ先行	1 200 gal 以上	7	0	0	0	0	86	1	4
	1 000~1 200 gal	16	0	0	4	25	10	2	12
	800~1 000 gal	54	11	20	8	15	20	15	28
	800 gal 以下	22	7	32	4	18	2	9	41
せん断先行	59	30	51	10	17	6	10	13	22

こでの等価固有周期の算定は、部材の降伏剛性を
用いている。

ま と め

検討結果を以下にまとめる。

- ① 全般的に、耐震性能の高いと計算される構造物ほど被害の程度は小さかった。
- ② せん断先行と計算された構造物の損傷度は A ランクが多く、その 68% が B ランク以上 (A・B ランクの合計) の損傷度であって、著しい被害を受けたものがきわめて多かった。
- ③ 換算弾性応答加速度が 1 200 gal 以上と計算された構造物では、A・B ランクの損傷はなく、大きな損傷は生じていなかった。
- ④ 換算弾性応答加速度が 1 000~1 200 gal と計算された構造物では、B ランクの損傷はあるものの A ランクはなかった。

今回の手法は、鉄道コンクリート構造物に用い

ている設計手法を基に検討したものである。この手法を基準とすると鉄道橋の RC ラーメン高架橋においては、換算弾性応答加速度を 1 200 gal 以上として設計したとすればこの地域でも大きな被害はなかったと考えられる。

おわりに

本報告は、被害を受けた鉄道用 RC ラーメン高架橋の耐震性について、構造物側から検討したものである。今後適切な耐震設計法を構築していくために、他の構造物においても同様な検討手法による損傷度と構造物の耐震性能の検討を行うことを推奨する。

(文責：コンクリート委員会委員長 岡村 甫)

参考文献

- 1) 石橋忠良, 吉野伸一: 鉄筋コンクリート橋脚の地震時変形能力に関する研究, 土木学会論文集, 第 390 号 V-8, pp.57~66

土木学会刊行物

『環境工学研究論文集 VOL. 32』

環境工学委員会編

<B5 版 466 頁 定価: 7 500 円 (消費税込み) 送料: 500 円>

申込先: 土木学会研究事業課 遠藤宛 FAX 03-5379-0125

〒160 東京都新宿区四谷 1 丁目無番地

(本代・送料を同封のうえ現金書留にてお申込み下さい)