

R C 橋脚被害に着目した 地震動特性値評価手法の研究

金子正洋¹・田村敬一²

¹正会員 工修 建設省土木研究所 振動研究室 (〒305 茨城県つくば市大字旭 1 番地)

²正会員 工博 建設省土木研究所 振動研究室 (〒305 茨城県つくば市大字旭 1 番地)

R C 橋脚を対象として、その被害と地震動特性値との関連について検討した。地震動特性値としては、最大加速度、S I 値、加速度応答値、速度応答値等に着目した。検討手法としては、各種条件 (適用設計基準、橋脚高さ、設計震度、断面形状等) の R C 橋脚について試設計を行い、数値計算用モデルを作成し、このモデルに既往の強震記録を入力して非線形動的解析を行った。次に、最大応答塑性率 (μ) と入力波形の地震動特性値との関係について整理し、この結果をもとに構造物 (R C 橋脚) 被害に関連の大きい地震動特性値について評価を試みた。

Key Words : earthquake ground motion, response spectrum, spectral intensity, reinforced concrete pier, earthquake damage

1. はじめに

地震被害は、構造物を支持する地盤の震動特性と密接に関連するものであるが、地震動特性を表す指標 (例えば、最大加速度、S I 値等) のうち何がどのレベルになれば被害が生ずるかという、被害と地震動特性の定量的な関係については、強震記録が必ずしも被災構造物位置で得られていないこともあり、十分に明らかにされているとはいえない。

本研究では、R C 橋脚を対象として試設計を行い数値計算用モデルを作成し、これに既往の強震記録を入力して非線形動的解析を行い、地震動特性値と構造物被害の関係について整理した。ここで、入力波形については、各種地震動特性が種々の値をとるように選定した。

また、R C 橋脚を対象としたのは、R C 橋脚が、①震前震後を通して重要なライフライン施設である道路 (道路橋) の一部であること、②道路橋橋脚に最もよく用いられる形式の一つで数多く存在すること、③設計法が確立されており設計条件を忠実に再現できること、④数多くの非線形動的解析を行うのに適した 1 自由度振動モデルを作成できること等による。

表-1 R C 橋脚の設計条件

項 目	設 計 条 件
形 式	3 径間連続橋 1 点固定形式 径間 : $3 \times 40\text{m} = 120\text{m}$
橋 脚 高 さ	$H = 7.0\text{m}, 11.0\text{m}, 15.0\text{m}$
設 計 震 度	$k_h = 0.20, 0.25, 0.30$
断 面 形 状	矩形、円形
適用設計基準	・ 道路橋下部構造設計指針 ¹⁾ 昭和47年道路橋示方書 ²⁾ ・ 昭和55年道路橋示方書 ³⁾ ・ 平成2年道路橋示方書 ⁴⁾

2. 研究方法

(1) R C 橋脚の数値解析用モデルの作成

R C 橋脚モデルを対象として試設計を行い、非線形動的解析用の一自由度振動モデルを作成した。R C 橋脚は、形式を 3 径間連続橋の中央一点固定 (両端自由) とし、橋脚高さ、設計水平震度、断面形状、適用設計基準の条件を変えて、合計 54 種類の橋脚について試設計を行った。R C 橋脚の各種条件は、表-1 に示すとおりである。

表-2 解析に用いた強震記録成分
(a) 解析対象地震

1968年	日向灘地震
1968年	十勝沖地震
1968年	愛媛県西方沖の地震
1971年	千葉県北部の地震
1975年	愛知・岐阜県境の地震
1978年	宮城県沖地震
1983年	日本海中部地震
1993年	釧路沖地震
1995年	兵庫県南部地震
1989年	ロマブリータ地震
1994年	ノースリッジ地震
1940年	インペリアル・バレー地震
1952年	アーヴィン・タハチャッピ地震

(b) 動的解析用入力波形

地震名	観測箇所	成分
1993. 1. 15 釧路沖地震	釧路気象台	NS
		EW
1995. 1. 17 兵庫県南部地震	尼崎高架橋	HB
	東神戸大橋	N78E
		N12W
	神戸海洋気象台	NS
		EW
	J R 鷹取駅 ⁶⁾	NS
		EW
1994. 1. 17 ノースリッジ地震	SYLMAR	EW

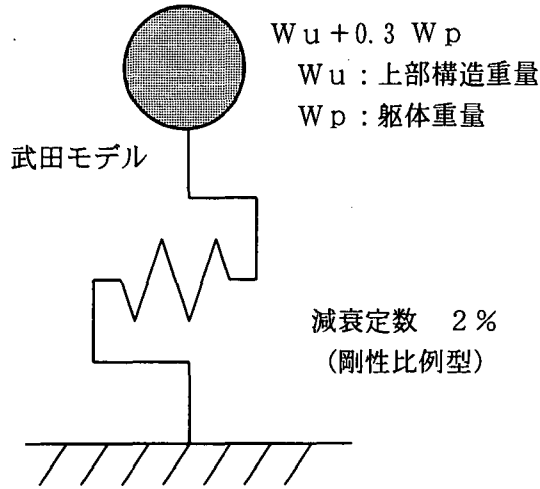


図-1 解析に用いた1自由度非線形振動モデル

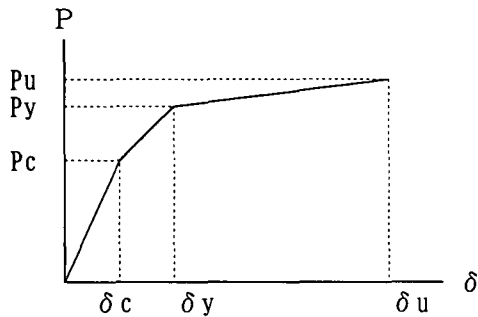


図-2 解析に用いたRC橋脚の履歴モデル

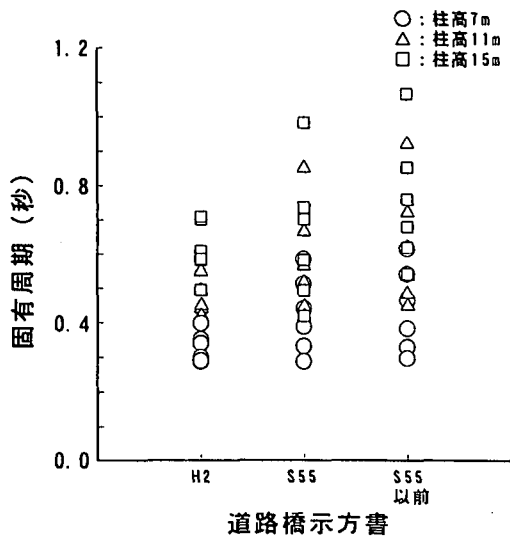


図-3 解析に用いたRC橋脚の固有周期の分布

試設計を行ったRC橋脚を、図-1、2に示す1自由度の非線形振動モデルに置き換えた。RC橋脚の履歴モデルは、復旧仕様⁵⁾に準じて求めたP~δ関係を骨格曲線とした武田モデルによった。図-3には構造物条件の一例として、試設計を行った54橋脚の降伏剛性から算出した固有周期の分布を示す。

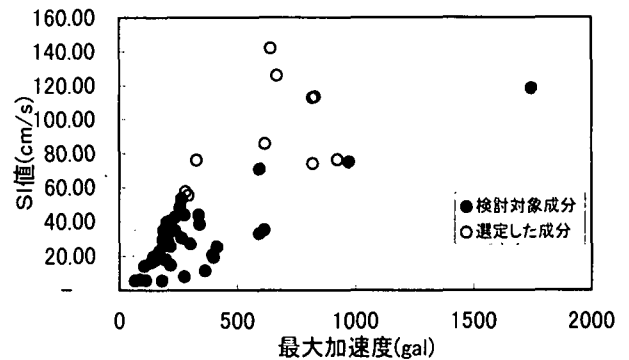
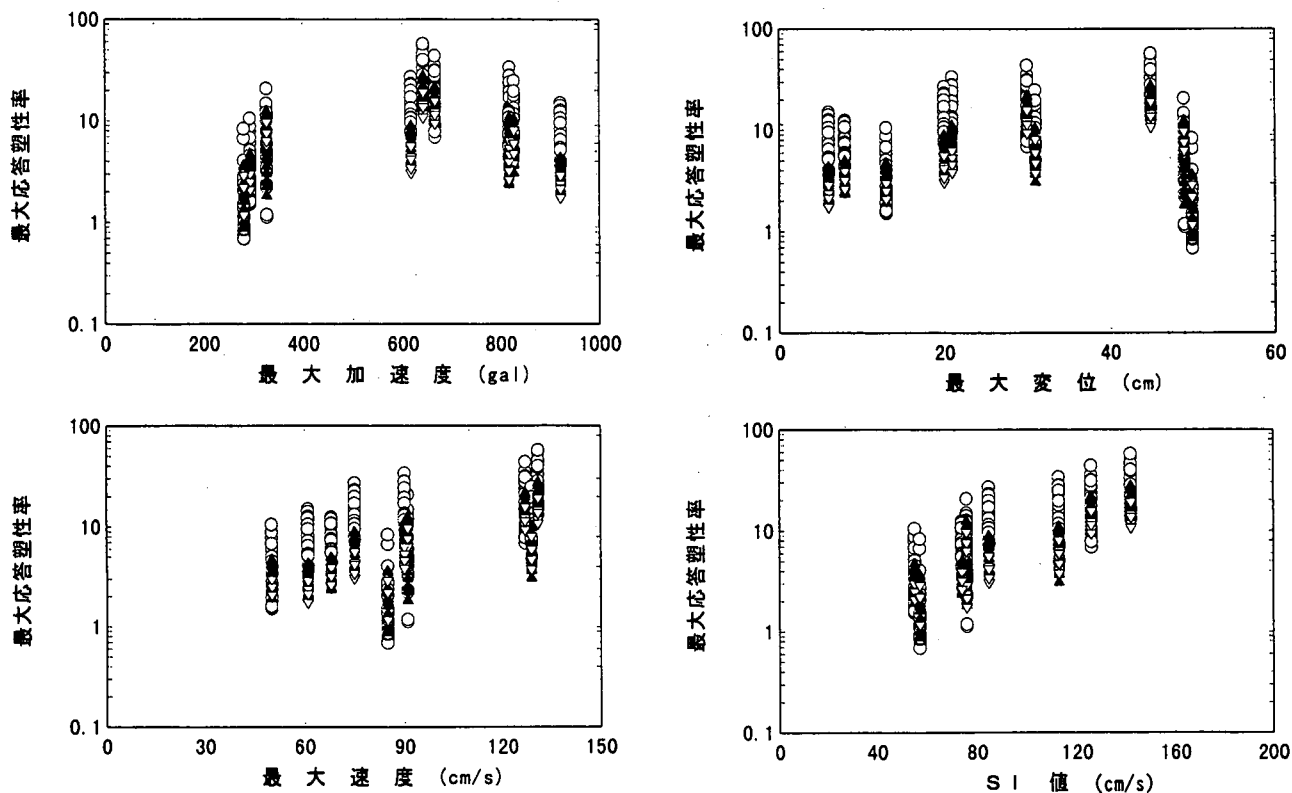


図-4 解析に用いた強震記録の最大加速度とSI値の分布

(2) 入力波形の選定

解析対象とした強震記録は48成分であり、これらの記録が得られた地震は表-2(a)に示す13地震である。これら48成分の記録のうち、SI値が60cm/s程度以上であり、かつ、最大加速度及びSI値が種々の値をとる10成分を動的解析の入力波形とした。(表-2(b)参照)。全解析対象記録の最大加速度及びSI値の分布を図-4に示す。



(○ : 固有周期 ≤ 0.5 秒 (24 橋脚)、▲ : 0.5 秒 < 固有周期 ≤ 0.75 秒 (24 橋脚)、▽ : 0.75 秒 < 固有周期 (6 橋脚))

図-5 地震動特性値と μ の関係 (その 1)

(3) RC 橋脚モデルの非線形動的解析

(1) で作成した 54 モデルに (2) で選定した 10 波形成分を入力した計 540 ケースについて非線形動的解析を行った。ここで、被害の程度を表すパラメータとして、式 (1) に示す最大応答塑性率 (μ) を用いることとした。

$$\mu = \delta / \delta y \quad (1)$$

δ : 最大応答変位、 δy : 降伏変位

また、 μ との関連について着目した地震動特性値は、最大加速度、最大速度、最大変位、S I 値、加速度応答値、速度応答値である。ここで、加速度応答値、速度応答値とは、それぞれ加速度応答スペクトル、速度応答スペクトルを、特定の固有周期の範囲について積分したものである。一例として、加速度応答値 (積分固有周期範囲 : 0.5 ~ 0.7 秒) ($S_{a, 0.5-0.7}$) を式 (2) に示す。

$$S_{a, 0.5-0.7} = \int_{0.5}^{0.7} S_a(T) dT \quad (2)$$

$S_a(T)$: 固有周期 T の加速度応答値
減衰定数 : 5 %

3. 研究結果

計算結果から、地震動特性値と μ について全ケースを対象として整理したものを、図-5 に示す。ここでは、地震動特性値としては、最大加速度、最大速度、最大変位、S I 値について整理し、RC 橋脚の降伏固有周期により、プロットの記号を変えた。

これらの値の中では、S I 値が、地震動特性値の増加に伴い μ が増加するという点において、最も明瞭な傾向を示した。

次に、RC 橋脚の降伏固有周期の範囲を 0.5 ~ 0.7 秒に限定して同様の検討を行った。地震動特性値としては、前述の 4 つの値に加えて、加速度応答値、速度応答値の積分固有周期範囲を様々に変えたものについて検討した。図-6 に、S I 値及び地震動特性値として、加速度応答値、速度応答値の積分固有周期範囲を、0.5 ~ 0.7、1.0 ~ 1.5 秒としたものと μ との関係を示す。ここで、図示はしていないが、最大加速度、最大速度、最大変位については、図-5 の場合と同様の傾向が見られた。図-6 からわかるように、積分固有周期範囲が 1.0 ~ 1.5 秒の加速度応答値及び速度応答値については、S I 値と同様の傾向が見られるが、積分固有周期範囲が 0.5 ~ 0.7 秒の場合には、応答値がある値を越えると μ が小さくなる傾向が認められた。

積分固有周期範囲を 1.0 ~ 1.5 秒とした場合に、加速度応答値または速度応答値の増加に伴い、 μ も増加するという傾向を示したのは、RC 橋脚が塑性域に入ることにより、その固有周期が、降伏固有周期の 0.5 ~ 0.7 秒よりも長くなっていたことが原因と考えられる。例えば、最大応答塑性率が 4 ~ 9 になれば、RC 橋脚の固有周期は、およそ 2 ~ 3 倍 (1.0 ~ 2.1 秒) になるものと考えることができる。

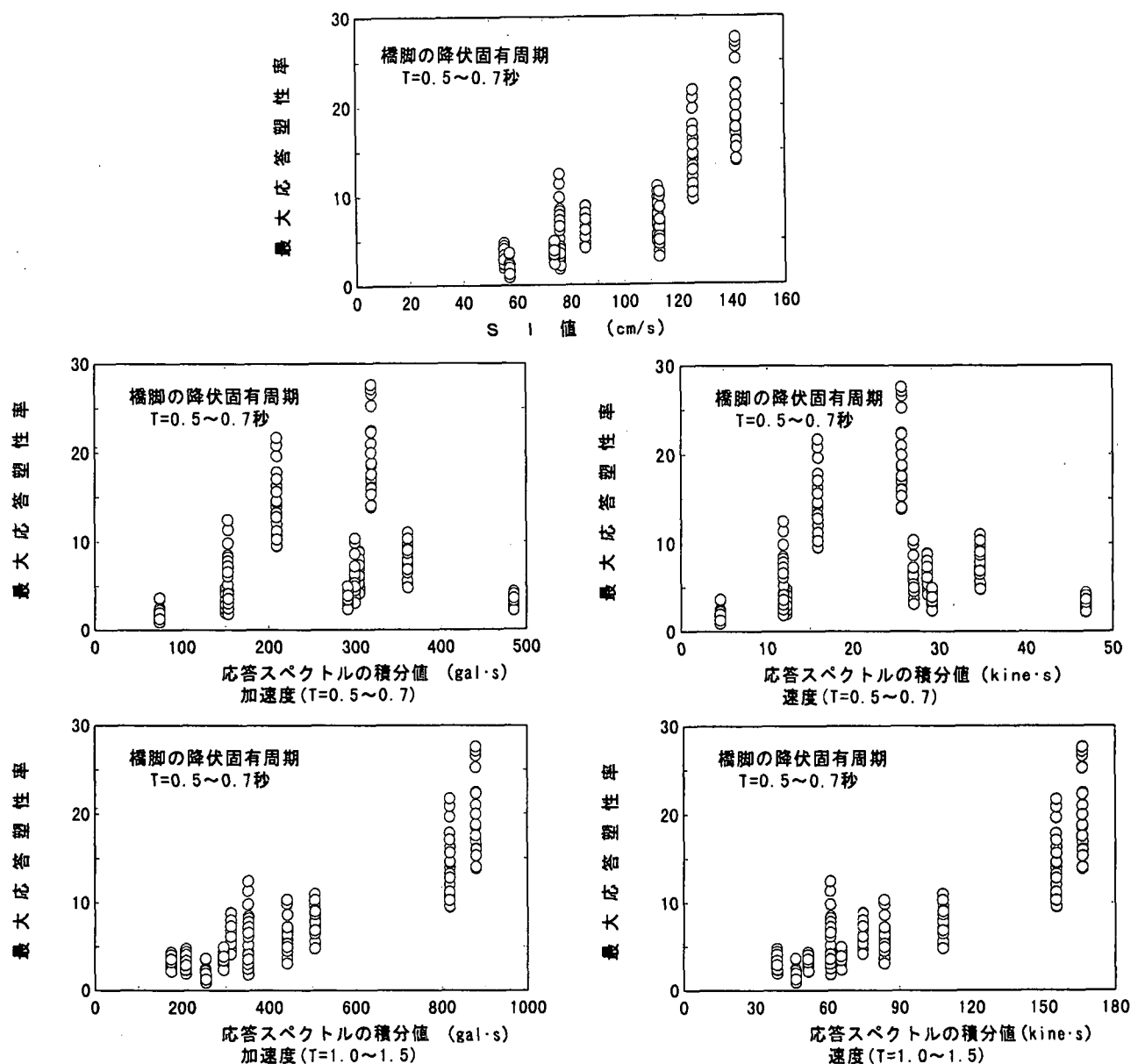


図-6 地震動特性値と μ の関係(その2)

以上の検討結果から、①各種地震動特性値の中でもS I値は構造物の μ とよい相関を示す、②加速度応答値、速度応答値はRC橋脚が塑性域に入ることとを考慮して積分固有周期範囲を定めれば μ とよい相関を示す、ことが明らかになった。

4. あとがき

本研究は、RC橋脚を対象として、地震動特性値と構造物の μ との関連について整理し、S I値、RC橋脚が塑性域に入ることとに配慮した加速度応答値及び速度応答値と μ の関係について成果を得ることができた。

今後は、地震動特性値と μ の関係について、さらに詳細な検討を進めるとともに、RC橋脚の固有周期以外の構造物条件にも着目した検討を進めていきたい。

謝辞：本研究においては、株式会社長大構造防災部の協力を得た。ここに記して、謝意を示す。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路橋下部構造設計指針「調査及び設計一般編」、1966、「橋台、橋脚の設計編」、1968
- 2) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編、II 鋼橋編、1972
- 3) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説、1981
- 4) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説、1990
- 5) (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る仕様」の準用に関する参考資料(案)、1995
- 6) Yutaka Nakamura "Waveform and its analysis of the 1995 Hyogo-ken-Nanbu Earthquake", JR Earthquake Information No. 23c, Railway Technical Research Institute, Feb. 1995