

鋼製ラーメン橋脚の地震荷重下の終局限界状態設計と動的照査

神戸大学工学部 フェロー 川谷 充郎 神戸大学大学院 学生員 川口 和行
 神戸大学大学院 学生員 辻井 正則

1.まえがき 著者らは、地震荷重と死荷重の荷重組合せ（D+E）に着目し、塑性ヒンジ法により算定する終局水平耐力を用いて限界状態確率および荷重係数を検討してきた¹⁾。現行の道路橋示方書²⁾では、耐震設計において活荷重を考慮していないが、頻繁に起こる交通渋滞の間に地震が発生することは十分に考えられる。また、温度荷重との組合せも考慮し、本研究では、D+E、D+L+E、D+T+Eの3つの荷重組合せに着目し、耐震信頼性設計を行う。異なる目標限界状態確率での限界状態確率および荷重係数について検討する。また設計した構造物を弾塑性時刻歴応答解析により照査する。

2.荷重係数決定法³⁾ 各限界状態において、超過確率の目標とする値に対して、各構造物の限界状態確率のばらつきを小さくするように荷重係数を決定する。このことにより各構造物に対してより均一な安全性が得られる。

3.解析モデル 3.1 橋脚モデル 構造物は阪神高速道路の代表的な高架橋を対象とし、Fig.1に示すように下部工についてモデル化する。対象とする上部構造は支間長が40m、60m、80mの3径間連続鋼箱桁橋であり、下部構造は橋脚の高さと幅を変えた鋼製ラーメンである。

3.2 荷重モデル⁴⁾ (1)死荷重 ばらつきは他の荷重に比べて非常に小さいため、荷重係数 $D = 1.05$ の確定値として評価する。(2)地震荷重 各構造物の固有周期に応じる応答加速度をWeibull分布で表す。ここで減衰定数の固有周期依存性を考慮している(Fig.2)。(3)活荷重 交通荷重の統計的性質を取り込んだモンテカルロシミュレーションを行い、支点反力をGumbel分布で表す。(4)温度荷重 実態調査による構造物温度から、温度荷重を正規分布で表す。

4.塑性ヒンジ法 Fig.1に示す橋脚の解析モデルを26個の有限要素に離散化して弾塑性解析を行う。ここに、塑性ヒンジが形成されると推測される点を応力の照査点としFig.3のように6箇所設け、これらの点はすべて塑性回転ばねでモデル化する。なお、上部構造の質量、橋脚の質量それぞれに対応する水平力をFig.3のように作用させ、さらに上部構造慣性力の作用位置を考慮して、支承の部分にモーメント荷重を想定する R_E も作用させる。弾

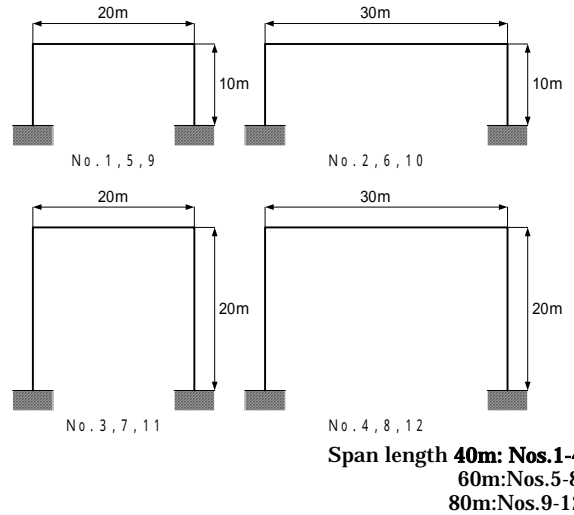


Fig.1 Skelton of structures and noticed points

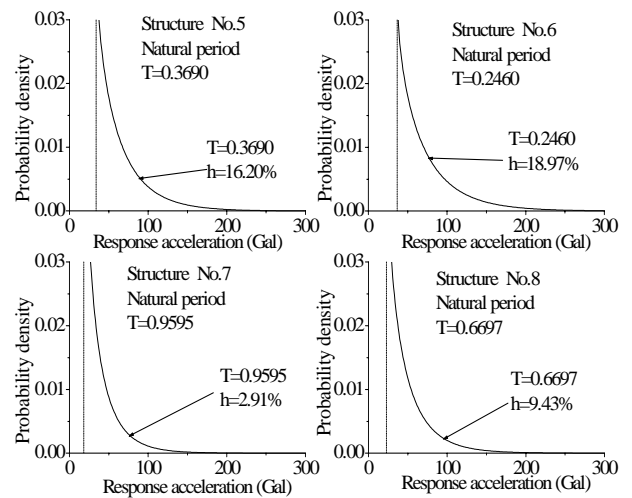


Fig.2 Probability density function of earthquake load

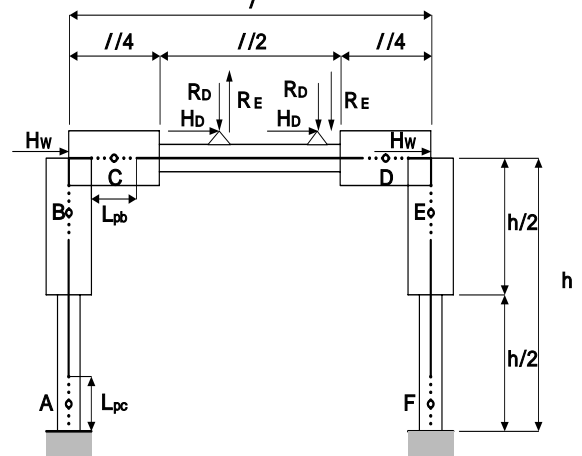


Fig.3 Analytical model in plastic hinge method

キーワード：鋼製ラーメン橋脚，限界状態設計法，荷重係数，地震荷重

連絡先：〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1, Phone : 078-803-6278, Fax : 078-803-6069

塑性モデルについては、2次剛性を $E/100$ 、終局ひずみを $\epsilon_u = 20 \epsilon_y = 3.43\%$ の硬化型バイリニアモデルとする⁵⁾。

5.限界状態確率算定手順 限界状態を塑性ヒンジが1つ形成されるとききの水平耐力 P_u を用いて、 W を等価重量、 K_{he} を等価水平震度とすると、 $Z = P_u - K_{he} \cdot W$ で表される限界状態関数を用いて限界状態確率を求める。目標限界状態確率については、3つの荷重組合せそれぞれで、許容応力度法により設計される各モデルの限界状態確率の平均値とする場合

(Average)と、3つの荷重組合せで一律に、一般的に災害による平均リスクレベルといわれている限界状態確率 10^{-6} とする場合 (Risk) の2種類で考える。

6.荷重係数と限界状態確率 2種類の目標限界状態確率により設計した各荷重組合せの荷重係数・目的関数を Table 1 に、限界状態確率の1例を Fig. 4 に示す。目的関数は目標限界状態確率を許容応力度法により設計される各モデルの限界状態確率の平均値とする場合の D+T+E の荷重組合せを除いて、許容応力度法より荷重係数設計法の値のほうが小さくなっており、3つの荷重組合せの合計でも同じ傾向が見られる。これから限界状態設計法の方が目標限界状態確率周りのばらつきが小さいことがわかる。

7.弾塑性時刻歴応答解析による照査 弾塑性時刻歴応答解析による応答塑性率の最大値の1例を Fig.5 に示す。No.3,7,11 のモデルの値が大きくなっているが、これはラーメンの幅に比べて高さが大きい構造物の特徴によるものと考えられる。現行設計法の各応答値のばらつきを基準に限界状態設計法のばらつきを標準偏差の比で較べると (Fig.6)、応答加速度の最大値のばらつきは現行設計法のほうが小さいが、全体的に見て現行設計法に比べて限界状態設計法で設計した構造物のほうがばらつきは小さく、特に目標限界状態確率をコード・キャリブレーションに基づき設定した限界状態設計法が優れているといえる。

【謝辞】本研究は阪神高速道路公団委託研究「耐用年数を考慮した性能照査型設計の基礎研究」の一部として実施できた。また関西大学堂垣正博教授に塑性ヒンジ法解析および弾塑性時刻歴応答解析について協力いただきました。ここに記して感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 川谷充郎・川口和行・辻井正則：鋼製橋脚の塑性ヒンジ法を用いた終局限界状態設計，土木学会第57回年次学術講演会講演概要集，2002.9.
- 2) 日本道路協会編：道路橋示方書・同解説，耐震設計編，丸善，2002.3.
- 3) Shinozuka, M.: Load Combination and Load Resistance Factor Design, IABSE Symposium, pp.65-69, Sep. 1986.
- 4) 川谷充郎・星加益朗・濱田洋・工藤浩：道路橋鋼製橋脚の限界状態確率に基づく荷重組合せと荷重係数，構造工学論文集，土木学会，Vol.40A, pp.629-636, 1994.3.
- 5) (社)日本橋梁建設協会：鋼製橋脚の弾塑性有限変位 FEM 解析マニュアル，pp.6-11, 1998.2.

Table 1 Load factors and object function values

	Load combination	Target limit state probability $\log_{10}P_f$	Object function (LRFD)	Object function (ASD)
Average	1.05D+1.24E	-5.578	0.1488	0.1641
	1.05D+0.26L+1.18E	-6.775	0.0984	0.1230
	1.05D+0.86T+0.94E	-4.729	0.6762	0.6716
	3 combinations	Each combination	0.9235	0.9587
Risk	1.05D+1.40E	-6.000	0.1451	0.2011
	1.05D+0.05L+1.02E	-6.000	0.0946	0.3569
	1.05D+1.27T+1.30E	-6.000	0.5554	0.9557
	3 combinations	-6.000	0.7951	1.5136

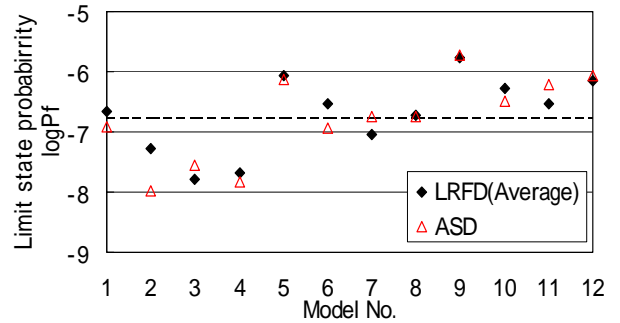


Fig.4 Limit state probability (D+L+E)

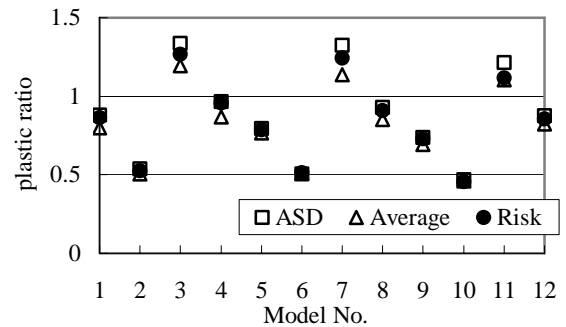


Fig.5 Maximum of response of plastic ratio (Type)

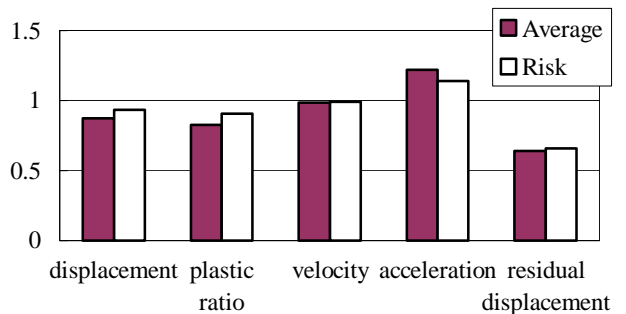


Fig.6 Standard deviation of each maximum response (Type)