

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ないものとしているが、頻繁に起こる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。さらに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。

2. 荷重係数決定法³⁾ 荷重係数決定の際には次の基本的な考え方に従う。ある限界状態において、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と考える。

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 $\gamma_D = 1.05$ 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。(3) 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 に示すラーメン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

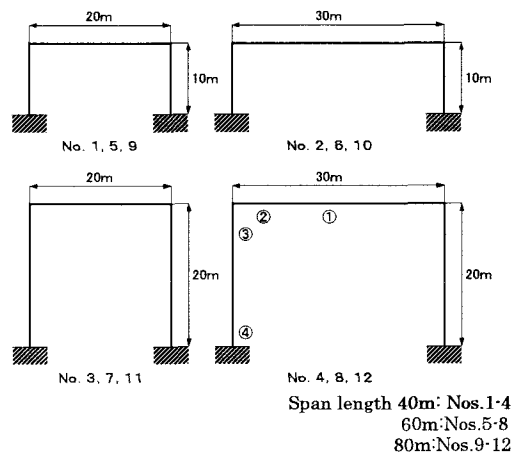


Fig.1 Skelton of structures and noticed points

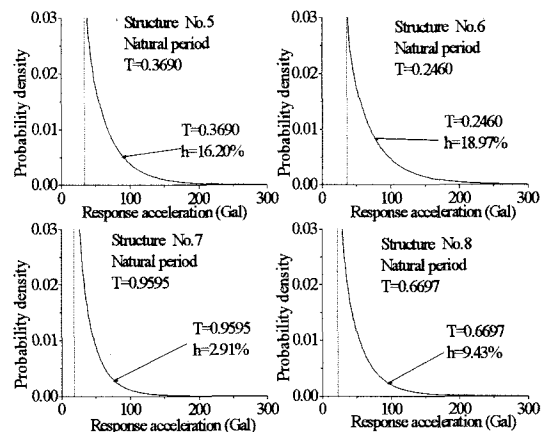


Fig.2 Probability density function of earthquake load

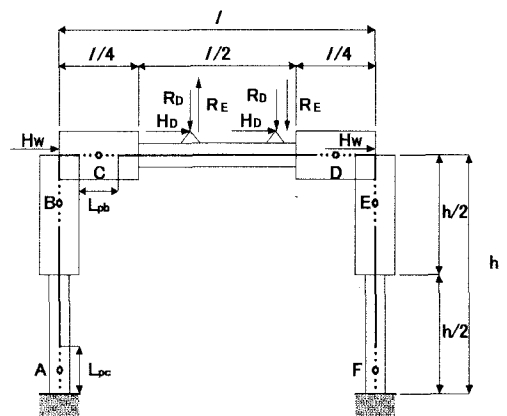


Fig.3 Analytical model in plastic hinge method

る。弾塑性モデルについては、2次剛性を $E/100$ 、終局ひずみを $\varepsilon_u = 20 \varepsilon_y = 3.43\%$ 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、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。既往の研究で取り扱ってきたD+Eの組合せでは、塑性ヒンジ法の解析の中でも確定量である死荷重しか取り扱わないが、今回の研究で取り扱うD+L+E、D+T+Eの荷重組合せでは、変動する荷重下で塑性ヒンジ法を行う。

6. 荷重係数と設計板厚 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。また3つの荷重組合せで一律に目標限界状態確率を 10^{-6} とする場合の柱基部の板厚をFig. 5に示す。これらより、橋脚高さが小さいモデルはD+T+Eの荷重組合せで、橋脚高さが大きいものはD+Eの組合せで断面板厚が決定していることが分かる。特に橋脚高さが小さく、橋脚幅が大きいNo.2,6,10の構造物は、D+T+Eにより決まる板厚が著しく大きくなっている。これは温度荷重により梁部材の応力が柱の基部に集中しているものと考えられる。

【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，Ⅴ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 of each combination	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
Average of 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

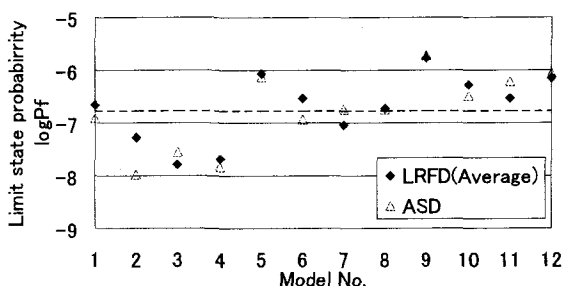


Fig.4 Limit state probability (D+L+E)

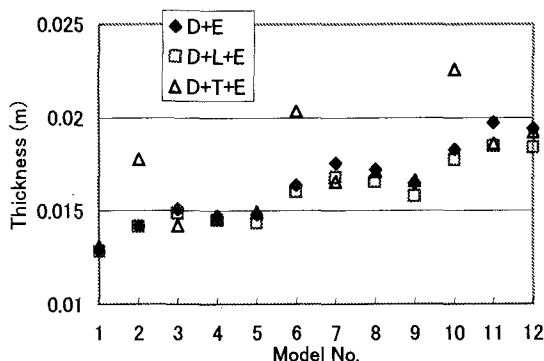


Fig.5 Thickness of column base (Risk)