

構造物設計における安全性を考慮した荷重係数算定手法

神戸大学工学部 フェロー 川谷 充郎 神戸大学大学院 正会員 野村 泰稔
 神戸大学大学院 学生員 加藤 慎吾 神戸大学工学部 学生員 中田 将紀

1. まえがき 近年,道路橋の設計において,現行の許容応力度設計法から信頼性理論を拠りどころとする限界状態設計法への移行が進められている.川谷らは¹⁾,地震荷重 E を含む荷重組合せにおける各荷重強度の確率分布ならびにそれらの同時発生確率を考慮して構造物の限界状態超過確率を求め,荷重係数設計法における荷重係数について評価した.そこでは,橋脚幾何形状別に異なる荷重係数を定める荷重係数設計法を示し,これを用いて構造物設計を行うことにより,全ての対象構造物に同一の荷重係数を用いる場合と比較して,各構造物の限界状態確率をより均一に保つことが可能であることも明らかにしている.しかしながら,そこで定めた荷重係数の下では,設計する構造物の 2/3 以上でそれぞれの限界状態確率が目標限界状態確率を上回る結果となり,構造物設計としての安全性への配慮に欠けることが懸念される.本研究では,限界状態確率の均一性ならびに安全性を満足するような設計を可能とする荷重係数の決定手法について検討する.

2. 荷重係数決定手法 2つの荷重係数決定手法を用い,荷重組合せD+Eにおける荷重係数を橋脚幾何形状別に算出する.橋脚に塑性ヒンジが1つ形成される状態を終局限界状態とし,許容応力度設計法を用いて設計する全ての構造モデル i (Fig.1) が有する限界状態確率 P_i の平均値を目標限界状態確率 P^* とする.また,荷重係数の検討範囲は0.0~2.0とし,これを0.1ずつ逐次変化させてそれぞれ目的関数を算出し,最適な荷重係数を求める.以下に荷重係数決定手法と目的関数を示す.

Method1 目的関数 Ω により,各構造モデルが有する限界状態確率の目標限界状態確率に対するばらつきを評価する.荷重係数の決定は目的関数 Ω の値が最小となるように行う.Method1は,構造物の耐震性能の均一性のみを考慮する荷重係数決定手法である.

$$\Omega = \sum_i w_i \left\{ (\log P_i - \log P^*) / \log P^* \right\}^2 \Rightarrow \min \quad (1)$$

Method2 荷重係数設計法により設計する構造物における目的関数 Ω_{LFD} の値が,許容応力度設計法で設計する構造物における目的関数 Ω_{ASD} を下回り,さらに,対象構造物のうち最も限界状態確率の高い構造物のみに着目した目的関数 Ω_{MAX} の値が最小となるように荷重係数を決定する.これは,構造物の耐震性能の均一性と安全性の双方を考慮する荷重係数決定手法である.

$$\Omega_{LFD} = \sum_i w_i \left\{ (\log P_i - \log P^*) / \log P^* \right\}^2 \leq \Omega_{ASD} \quad (2)$$

$$\Omega_{MAX} = w_{MAX} \left\{ (\log P_i - \log P^*) / \log P^* \right\}^2 \Rightarrow \min$$

3. 解析モデル 3.1 橋脚モデル 阪神高速道路の代表的な高架橋を解析対象とし,下部構造について Fig.1 に示すようにモデル化する.対象橋梁は鋼製ラーメン橋脚を有する 3 径間連続鋼箱桁橋とし,支間長ならびに橋脚

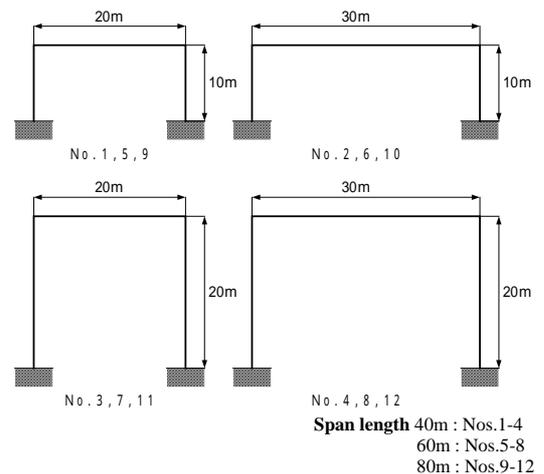


Fig.1 Skeleton of structures and notice points

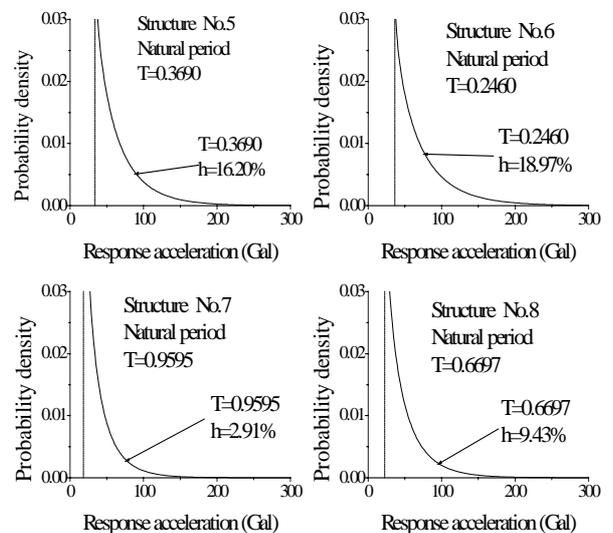


Fig.2 Probability density function of earthquake load

キーワード: 鋼製ラーメン橋脚, 荷重係数, 目的関数, 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

幾何形状の異なる計 12 モデルを扱う。橋脚モデルには上部構造重量に相当する集中荷重を載荷する。また、応力の照査点を図中に示す 4 箇所として、それぞれで板厚の設計を行う。

3.2 荷重モデル²⁾ 死荷重 他の荷重と比較してばらつきが小さいため、ここでは確定値として扱い、荷重係数を1.05として評価する。

地震荷重 阪神地区のM5.0以上の地震を対象とし、応答加速度をWeibull分布に従う確率密度関数を用いてモデル化する。Fig.2にその一例を示す。減衰定数の固有周期依存による応答加速度の低減を考慮し、亀田ら³⁾により提案された方法を用いて弾塑性応答を推定する。

4. 解析結果 4.1 荷重係数

許容応力度設計法により設計する各構造物の限界状態確率を Fig.3に示す。本研究では、荷重係数設計法に用いる荷重係数の算出において考慮する目標限界状態確率を許容応力度設計法とのキャリブレーションにより行うため、図中に示す12モデルの平均限界状態確率Average log P_f = -6.506を目標限界状態確率として定める。Table 1および2に、このように算出した目標限界状態確率の下で、荷重係数決定手法Method1ならびにMethod2のそれぞれを用いて決定した荷重係数を示す。Method2により決定された地震荷重係数γ_Eは、Method1によるものと比較してやや大きくなっており、構造物が有する安全性への配慮がなされたことが分かる。

4.2 構造物設計の信頼性 Method1および2により決定したそれぞれの荷重係数を用いて設計する構造物の限界状態確率をFig.4に示す。

Method1により定めた荷重係数を用いる場合、全12体の構造モデルのうち8体で限界状態確率が目標限界状態確率を上回っているのに対し、Method2によるものを用いた場合では4体にとどまり、構造物設計における安全性の向上がみられる。また、Method2による荷重係数を用いて設計した構造物の目的関数Ω_(i=1,12)はMethod1のそれをやや上回っているものの、Fig.3に示した許容応力度設計法における目的関数Ω_(i=1,12)と比較すると、各構造物の限界状態確率のばらつきは約58%低減されていることがわかる。これより、Method2を用いて設計する構造物は、耐震性能の均一性という点においても十分な信頼性を有しているといえる。

5. まとめ 荷重係数設計法では、構造物が有する耐震性能の均一性ならびに安全性の双方を考慮して決定する荷重係数を用いることにより、極めて信頼性の高い構造物設計が可能となることが分かった。

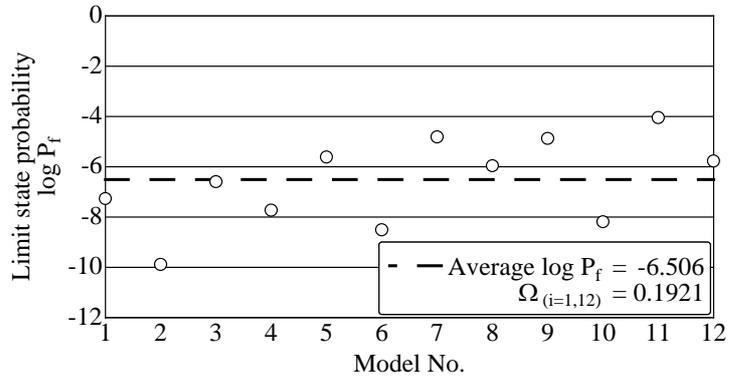


Fig.3 Limit state probabilities of structures designed using ASD

Table 1 Load factors for each structure (In considering uniformity only)

Model No.	1, 5, 9	2, 6, 10	3, 7, 11	4, 8, 12	
Load factor	1.05				
	γ _D	1.4	0.6	1.6	1.2
	γ _E				

Table 2 Load factors for each structure (In considering uniformity and safety)

Model No.	Ω _{ASD}	Ω _{LFD}	Ω _{MAX}	Load factor	
				γ _D	γ _E
1, 5, 9	0.04635	0.04362	4.163 × 10 ⁻³	1.05	1.5
2, 6, 10	0.10025	0.01529	1.430 × 10 ⁻⁶		0.8
3, 7, 11	0.04047	0.01584	1.033 × 10 ⁻⁴		1.7
4, 8, 12	0.00501	0.00506	1.085 × 10 ⁻³		1.2
All	0.19209	0.07980			

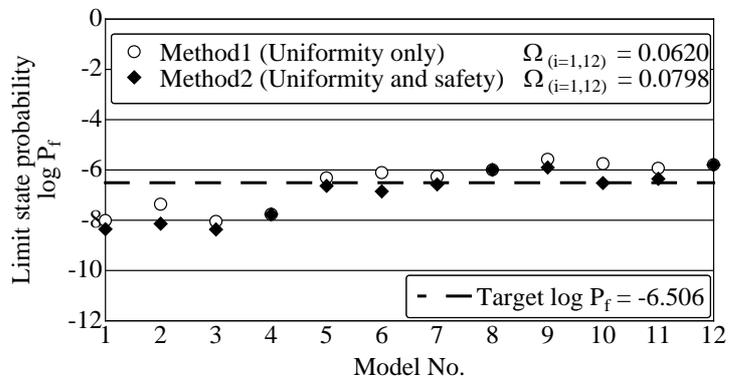


Fig.4 Limit state probabilities of structures designed using LFD

【参考文献】

- 1) 川谷充郎, 野村泰稔, 加藤慎吾: 道路橋鋼製ラーメン橋脚の耐震信頼性設計, 土木学会第 61 回年次学術講演会講演概要集, I-001, 2006.
- 2) Shinozuka, M.: Load Combination and Load Resistance Factor Design, IABSE Symposium, pp.65-69, Sep. 1986.
- 3) Milutinovic, Z. and Kameda, H.: Statistical Model for Estimation of Inelastic Response Spectra, Proc. of JSCE, Structural Eng./Earthquake Eng., Vol.1, No.2, pp.105-114, 1984.