

道路橋鋼製ラーメン橋脚の耐震信頼性設計

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

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。これまで、地震荷重 E を含む荷重組合せのうち最も基本的な死荷重 D との組合せ $D+E$ 、および活荷重 L を含む $D+L+E$ の組合せに着目し、構造物が降伏点を超えて終局限界状態に至るまでについて塑性ヒンジ法による弾塑性解析を行い、これより得られる各構造物の終局水平耐力を用いて限界状態確率および荷重係数について検討してきた¹⁾。本研究は、橋脚形状による耐震性能の違いに着目し、橋脚モデル形状別に荷重係数を定めることで得られる効果について検討するとともに、地震荷重と活荷重の同時発生を検討することの必要性について考えるものである。

2. 荷重係数²⁾ 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 m とし、許容応力度設計法により設計されたここで対象とする全ての構造モデル i (**Fig.1**) の限界状態確率 P_{im} の平均値を目標限界状態確率 P_{im}^* とする。本研究では、各構造モデルがより均一な安全性を有するよう、目的関数 Ω が最小となる荷重係数を決定する。

$$\Omega = \sum_i \sum_m w_{im} \left\{ (\log P_{im} - \log P_{im}^*) / \log P_{im}^* \right\}^2$$

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、**Fig.1** に示すように下部構造についてモデル化する。対象とする上部構造は支間長 40m, 60m, 80m の 3 径間連続鋼箱桁橋とし、これに相当する質量を橋脚に載荷するものとする。また、下部構造は橋脚の高さと幅の異なる鋼製ラーメンとし、計 12 モデルを取り扱う。

3.2 荷重モデル³⁾ ①**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。②**地震荷重** 阪神地区のM5.0以上の地震を対象とし、応答加速度を極値Ⅲ型分布により表す。各構造物の固有周期に応じたモデル化を行っており、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する。③**活荷重** 1日の朝夕それぞれに1回程度発生する渋滞を想定した荷重列を考える。阪神高速道路の交通実態調査に基づいたモンテカルロ・シミュレーションを用い、支承部の反力を極値Ⅰ型分布により表す。

4. 荷重係数と目的関数 荷重組合せ $D+L+E$ における同一形状モデル (No.1, 5, 9) での荷重係数 γ_L 、 γ_E と目的関数 Ω の関係を解析結果の一例として**Fig.2**に示す。ただし、荷重係数の検討範囲を γ_L 、 γ_E 共に0.0～2.0としている。図より、活荷重係数 γ_L と地震荷重係数 γ_E がある一定の関係を有している場合に、 Ω がより小さい値を示すことが分かる。これらの荷重係数の組合せのうち、最も Ω が小さくなるものを最適な荷重係数と決定する。**Table 1**は決定された荷重係数を荷重組合せおよびモデル

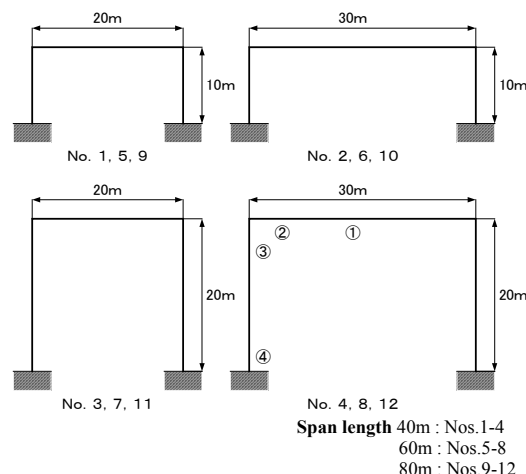


Fig.1 Skeleton of structures and notice points

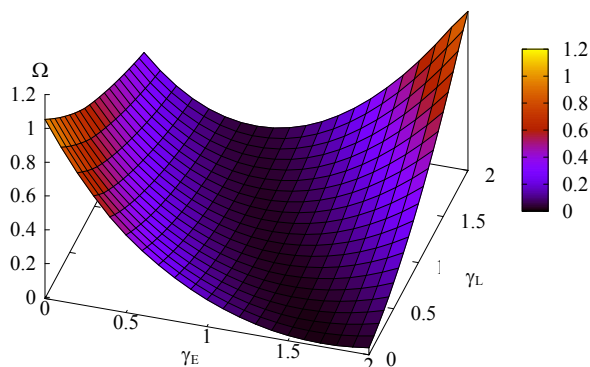


Fig.2 Relation of load factor-objective function (No.1,5,9:D+L+E)

Table 1 Load factor

	Model No.	γ_L	γ_E
D+E	1, 5, 9	1.4	1.4
	2, 6, 10		0.6
	3, 7, 11		1.6
	4, 8, 12		1.2
D+L+E	1, 5, 9	0.0	1.7
	2, 6, 10	0.0	1.0
	3, 7, 11	0.0	1.8
	4, 8, 12	0.0	1.5

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、活荷重

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

形状別に示している。荷重組合せD+L+Eにおいて、活荷重係数 γ_L が0.0となり、荷重係数検討範囲の限界値が採られている。モデルNo.1, 5, 9の荷重係数を例に挙げると、 $\gamma_L=0.0$, $\gamma_E=1.7$ となっており、活荷重による効果が反映されていないように見えるものの、同形状モデルにおける荷重組合せD+Eでの $\gamma_E=1.4$ と比較することで、活荷重の効果が、地震荷重係数の割増しという形で表現されていることが分かる。ただし、Table 2より、例として挙げた $\gamma_L=0.0$ 付近の異なる荷重係数の下で、各部板厚がそれぞれ僅かにしか異なる値を示しており、さらに、このような状況は橋脚形状に関わらず確認できた。いくつかの荷重係数の組合せにおいてほぼ同様の構造物が設計されるという結果を踏まえ、荷重係数の決定条件に関しては今後の検討が必要である。

5. モデル別荷重係数の効果 Fig.3は、荷重組合せD+L+Eにおいて、許容応力度設計法（ASD）、全てのモデルに同一の荷重係数を用いた荷重係数設計法（LFD1： $\gamma_D=1.05$, $\gamma_L=0.0$, $\gamma_E=1.5$ ）、モデル形状別に異なる荷重係数を採用した荷重係数設計法（LFD2：荷重係数はTable 1に示す）のそれぞれで設計を行った場合の、限界状態確率とそのばらつきについて示している。設計法LFD2による、全構造モデルに対して均一な安全性を確保する効果は他の設計法と比べて顕著であり、その有効性が確認できる。

6. 現行設計法との比較 道路橋示方書⁴⁾に示されている、耐震設計において死荷重と活荷重の荷重組合せを考慮しないASDと、橋脚モデル形状別に荷重係数を定め、荷重組合せD+E, D+L+Eを考慮したLFD2のそれぞれで設計を行ったときの、各荷重作用下でのモデル別限界状態確率とその平均値についてFig.4に表す。モデル別に荷重係数を決定することによる効果は、5.に示したとおりである。ここで注目すべきは、現行設計法ASDとLFD2を問わず、D+L+E作用下での限界状態確率が最も高くなっている点である。ASDにおいては、一般的な災害による平均リスクレベルといわれる限界状態確率 10^{-6} を上回っており、活荷重と地震荷重の同時発生を考慮することの必要性を表すものであるといえる。

7. まとめ 橋脚モデルの形状別に荷重係数を定めることで、各構造モデルの安全性をより均一にできることが確認できた。また、各荷重作用下での限界状態確率を考慮すると、地震荷重と活荷重の同時発生を考慮する必要性が高ということが出来る。ただし、荷重係数の決定に関しては今後の検討が必要である。

【参考文献】

- 1) 川谷充郎・川口和行・辻井正則：鋼製橋脚の耐震信頼性設計と動的解析照査，JCOSSAR2003 論文集，pp.953-960，2003.11.
- 2) Shinozuka, M.: Load Combination and Load Resistance Factor Design, IABSE Symposium, pp.65-69, Sep. 1986.
- 3) 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.
- 4) 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.

Table 2 Thickness due to load factor (No.1,5,9: D+L+E)

(1) $\gamma_L=0.0$, $\gamma_E=1.7$ [$\Omega=0.0140$]

Model No.	log P_f	Thickness [mm]			
		Beam		Column	
		Center	End	Top	Base
1	-7.659	4.4	15.2	17.3	15.8
5	-6.514	5.2	21.5	22.8	18.0
9	-6.083	5.9	28.8	28.9	19.8

(2) $\gamma_L=0.2$, $\gamma_E=1.5$ [$\Omega=0.0178$]

Model No.	log P_f	Thickness [mm]			
		Beam		Column	
		Center	End	Top	Base
1	-7.568	4.7	15.6	17.7	15.6
5	-6.336	5.5	21.7	23.0	17.6
9	-5.846	6.2	28.8	28.9	19.2

(3) $\gamma_L=0.3$, $\gamma_E=1.5$ [$\Omega=0.0181$]

Model No.	log P_f	Thickness [mm]			
		Beam		Column	
		Center	End	Top	Base
1	-7.815	4.9	16.1	18.3	16.1
5	-6.529	5.6	22.3	23.7	18.0
9	-6.015	6.3	29.5	29.6	19.7

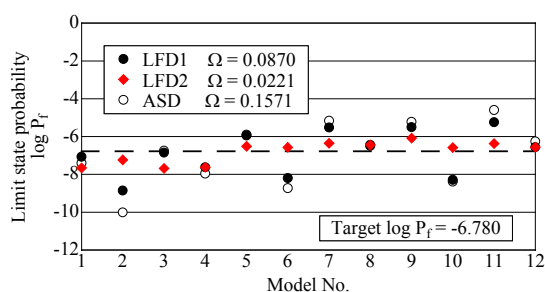
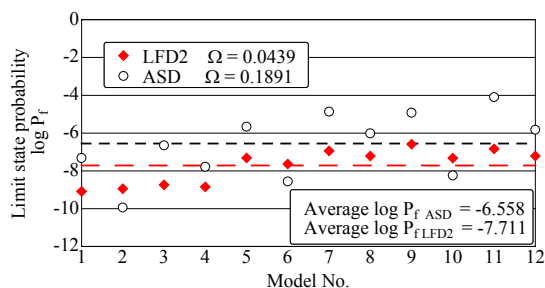
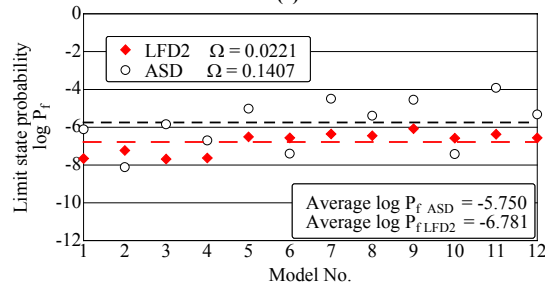


Fig.3 Reliability of design method (D+L+E)



(1) D+E



(2) D+L+E

Fig.4 Limit state probability under each condition