

鋼製ラーメン橋脚の耐震信頼性設計法に関する基礎的研究

鳥取大学 正会員 白木 渡 (株)横河ブリッジ 正会員 山本 宏
鳥取大学大学院 学生員 松原孝介 鳥取大学大学院 学生員 〇佐々木健太郎

1. まえがき: 平成7年1月17日早朝に起こったマグニチュード7.2の兵庫県南部地震により多くの土木、建築構造物が被害を受けた。とくに道路橋橋脚の破壊が目立ち、その被害は広範囲にわたった。被害を受けた橋脚の設計は、一般に許容応力度設計法により行われており、兵庫県南部地震のように想定した以上の地震力が構造物に作用し、構造物が限界状態に至った場合においては、構造形式により安全性が異なるという問題点が過去の研究においても指摘されてきた¹⁾。現在、欧米諸国では、すでに許容応力度設計法に代わり信頼性理論に基づいた限界状態設計法あるいは荷重係数設計法が規準化され、限界状態における構造物の安全性を明確にする試みが行われている。本研究では、我国の道路橋鋼製橋脚を対象とし、まず、現行設計法で設計した鋼製ラーメン橋脚の耐震信頼性解析を行う。つぎに、その結果をもとに信頼性理論に基づく荷重係数の算定を行う。そして、算定した荷重係数を用いて信頼性を評価する。また、この結果と現行設計規準で設計された橋脚の信頼性とを比較し、許容応力度設計法の問題点を指摘し、信頼性理論に基づく荷重係数設計法の重要性について考察する。

2. 橋脚および実荷重のモデル化: 本研究においては、Fig.1に示す三径間連続非剛性箱桁を支える鋼製門型ラーメン橋脚を対象とする。構造形式の違いによる安全性の違いを示すため、支間長、橋脚全高、橋脚全幅、を適当に変化させたTable1に示す12種類の橋脚モデルを作成し、それに作用する荷重として、死荷重、活荷重、温度荷重、地震荷重の4種類の実荷重を考え、B-C(Borges-Castanheta)荷重モデル³⁾で阪神地区を対象にモデル化を行う。

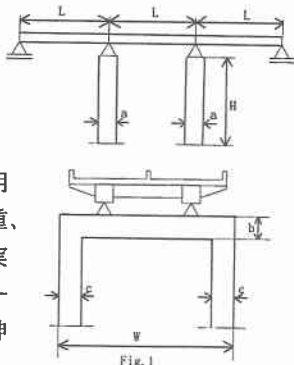


Table1 各構造モデルの諸元 (単位: m)						
モデル No.	支間長 L	橋脚全高 H	橋脚全幅 B	梁柱厚さ a	梁高さ b	柱幅 e
1	40.0	10.0	20.0	2.00	1.67	1.50
2	40.0	10.0	30.0	2.00	2.50	2.00
3	40.0	20.0	20.0	2.00	1.67	2.00
4	40.0	20.0	30.0	2.00	2.50	2.50
5	60.0	10.0	20.0	3.00	1.67	1.50
6	60.0	10.0	30.0	3.00	2.50	2.00
7	60.0	20.0	20.0	3.00	1.67	2.00
8	60.0	20.0	30.0	3.00	2.50	2.50
9	80.0	10.0	20.0	4.00	1.67	1.50
10	80.0	10.0	30.0	4.00	2.50	2.00
11	80.0	20.0	20.0	4.00	1.67	2.00
12	80.0	20.0	30.0	4.00	2.50	2.50

3. 信頼性解析法および荷重係数設計法: 2. でモデル化した実荷重を作用させた橋脚の耐震信頼性を評価する。

なお、安全性の評価にはHasofer-Lind型³⁾の安全性指標を用いる。さらにその信頼性解析の結果をもとに、Table2に示す荷重組み合わせの種類ごとに目標安全性指標 β_T を設定し、これを確保するように各荷重の荷重係数を算定する。具体的には12モデルの安全性指標 β と目標安全性指標 β_T の

Table2 実荷重の組み合わせCase	
Case 1	D+L
Case 2	D+L+T
Case 3	D+E
Case 4	D+L+E
Case 5	D+T+E
Case 6	D+L+T+E

差の2乗和で表される目的関数 Ω が最小となる最適な荷重係数を算定する。ここで、Table2においてDは死荷重、Lは活荷重、Tは温度荷重、Eは地震荷重である。本研究では、Table3に示す荷重係数設計のCode1~Code6の規準式における荷重係数を評価するときは、これに対応する実荷重しか作用しないものとする。従って、Table3の規準式のそれぞれへTable2の実荷重を作用させて求め、それぞれのCodeの荷重係数を算定する。さらに、その荷重係数を用いて、上記のモデル化した12種類の橋脚を荷重係数設計法で設計し、モデル化した実荷重を作用させて橋脚の信頼性を求める。Table3において $\gamma_D, \gamma_L, \gamma_T, \gamma_E$ は死荷重、活荷重、温度荷重、地震荷重の荷重係数、 $\alpha_D, \alpha_L, \alpha_T, \alpha_E$ はそれぞ

Table3 荷重係数設計法の規準式	
Code	荷重係数設計法の規準式
1	$\gamma_D \cdot \alpha_D \cdot D + \gamma_L \cdot \alpha_L \cdot L \leq \sigma^*$
2	$\gamma_D \cdot \alpha_D \cdot D + \gamma_L \cdot \alpha_L \cdot L + \gamma_T \cdot \alpha_T \cdot T \leq \sigma^*$
3	$\gamma_D \cdot \alpha_D \cdot D + \gamma_E \cdot \alpha_E \cdot E \leq \sigma^*$
4	$\gamma_D \cdot \alpha_D \cdot D + \gamma_L \cdot \alpha_L \cdot L + \gamma_E \cdot \alpha_E \cdot E \leq \sigma^*$
5	$\gamma_D \cdot \alpha_D \cdot D + \gamma_T \cdot \alpha_T \cdot T + \gamma_E \cdot \alpha_E \cdot E \leq \sigma^*$
6	$\gamma_D \cdot \alpha_D \cdot D + \gamma_L \cdot \alpha_L \cdot L + \gamma_T \cdot \alpha_T \cdot T + \gamma_E \cdot \alpha_E \cdot E \leq \sigma^*$

れの荷重を応力レベルへ変換するための変換係数、 D_n 、 L_n 、 T_n 、 E_n 、はそれぞれの荷重の公称値である。なお、現行設計法である許容応力度設計法で設計された既設橋脚の設計規準としては、使用実績の多さを考慮して昭和55年度の示方書を考え、荷重係数設計法による設計規準としては平成6年度の示方書を考えている。

4. 解析結果：Fig. 2は、現行設計法で設計した橋脚の構造モデルの各着目点について計算した安全性指標 β のうち最小値を示したもので、等断面と変断面における値が示してある。この図を見れば現行設計法で設計された橋脚の安全性指標 β の値は、等断面と変断面のどちらにおいても各構造モデルごとにかかなり異なっていることがわかる。このように、現行の許容応力度設計法で設計された橋脚は同一の門型ラーメン橋脚においても、構造モデルごとに信頼性が大きく異なることがわかる。したがって、どの構造モデルに対しても設定した目標安全性指標 β_T を確保するように3.で示した方法で荷重係数を算定する。荷重係数は等断面および変断面、また各Codeおよび各目標安全性指標 β_T ごとに求めたが、ここでは等断面で地震荷重を含んでいるCodeについて荷重係数を算定した結果をTable4～Table7に示す。この算定結果をみると、各荷重の荷重係数はCodeが異なるときでも β_T が等しいものについては、それぞれ似通った値をとっている。これは、地震荷重に比べて活荷重や温度荷重が橋脚の信頼性に及ぼす影響が小さいことを意味している。今回の構造モデルに対して現行の各荷重の公称値は、活荷重 L_n と温度荷重 T_n については過大であり、地震荷重 E_n については過小であることから各荷重係数は活荷重 L_n と温度荷重 T_n については公称値を低減する1.0以下の値であり、地震荷重 E_n については公称値を割り増す1.0以上の値になっている。また目的関数 Ω はどの β_T に対しても十分小さく、得られた荷重係数は十分精度よく評価されていると思われる。次に、これらの荷重係数を用いて荷重係数設計法で設計した橋脚の目標安全性指標 $\beta_T=3.0$ の場合の等断面と変断面における安全性指標 β の値を例にとってFig. 3に示す。この値も、Fig. 2と同じく安全性指標 β の最小値を示したものである。これを見ると荷重係数設計法で設計された橋脚の安全性指標 β の値は、現行設計法の場合と違い構造モデルが異なっても目標安全性指標 $\beta_T=3.0$ の値とほとんど等しい値をどの構造モデルもとっていることがわかる。このことから現行設計法での各構造モデルごとに安全性指標 β が異なるという点が改善されていると言える。

5. あとがき：現行設計法で設計された橋脚の安全性は、構造モデルが異なると全く違うものになっているが、信頼性理論に基づく荷重係数設計法で設計された橋脚の安全性は、構造モデルが異なっても目標安全性指標 β_T にほぼ等しい均一な値をとることがわかった。本研究で得られた荷重係数は現時点ではまだ十分実用的なものとは言えない。しかしこの方法で求められた結果は近い将来限界状態設計法へ移行する際に貴重なものになると思われる。

参考文献：1) 北沢正彦・久保雅邦・白木渡・亀田弘行：鋼製橋脚における荷重組み合わせの解析と荷重係数の試算、構造工学論文集 Vol. 33A, pp. 761-773, 1987-3. 2) P. T. Christensen and M. J. Baker: Structural Reliability Theory and Its Applications, Springer-Verlag, 1982.

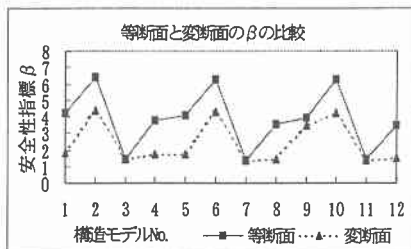


Fig. 2 現行設計法で設計した橋脚の橋軸直角方向における「等断面」と「変断面」の安全性指標 β

Table4 等断面におけるCode3に対する荷重係数の算定結果

β_T	γ_D	γ_L	γ_E	Ω
3.0	1.05	1.94	0.0184	
3.5	1.05	2.30	0.0177	
4.0	1.05	2.70	0.0184	
4.5	1.05	3.14	0.0236	

Table5 等断面におけるCode4に対する荷重係数の算定結果

β_T	γ_D	γ_L	γ_E	Ω
3.0	1.05	0.15	1.94	0.0100
3.5	1.05	0.14	2.30	0.0064
4.0	1.05	0.14	2.70	0.0163
4.5	1.05	0.15	3.14	0.0247

Table6 等断面におけるCode5に対する荷重係数の算定結果

β_T	γ_D	γ_L	γ_E	Ω
3.0	1.05	0.22	1.93	0.0178
3.5	1.05	0.21	2.28	0.0094
4.0	1.05	0.28	2.66	0.0126
4.5	1.05	0.28	3.11	0.0237

Table7 等断面におけるCode6に対する荷重係数の算定結果

β_T	γ_D	γ_L	γ_T	γ_E	Ω
3.0	1.05	0.10	0.39	1.93	0.0113
3.5	1.05	0.11	0.35	2.28	0.0101
4.0	1.05	0.11	0.34	2.67	0.0085
4.5	1.05	0.12	0.40	3.10	0.0116

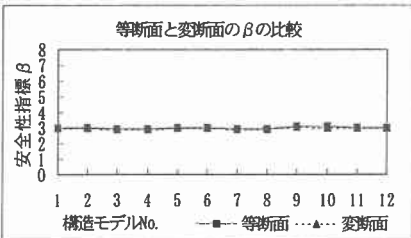


Fig. 3 荷重係数設計法で設計した目標安全性指標 $\beta_T=3.0$ における「等断面」と「変断面」の安全性指標 β