

信頼性理論を用いた道路橋橋脚の終局強度設計法に関する基礎的研究

鳥取大学工学部 正会員 高岡 宣善 NTT (株) 正会員 酒井 太
鳥取大学工学部 正会員 白木 渡 鳥取大学大学院 ○学生員 山路 良隆
鳥取大学工学部 正会員 松保 重之

1. まえがき 現行の許容応力度設計法においては、部材の降伏点を基準にして安全率が定められているため構造物の終局限界状態における安全性が不明である。また、構造物の種類・規模・構造形式により安全性が異なる等の問題点が指摘されている¹⁾。そのため世界的傾向として、許容応力度設計法に基づく設計規準から限界状態設計法に基づく設計規準への移行が検討され、欧州・米国・カナダなどではすでに規準化が行われている。本研究では、許容応力度設計法の問題点を解消するための一つの方法として、信頼性理論に基づいた終局強度設計法を考える。また、終局強度理論による荷重係数設計法の有効性を検討し、終局限界状態における設計規準に関しても考察を行う。

2. 終局強度設計法による構造物の設計

本研究で対象とする道路橋橋脚は、先の研究¹⁾でモデル化された図1～図3に示す3径間連続非合成箱桁橋を支える一層の門型鋼製ラーメン橋脚(変断面)とする。まず、この橋脚の梁部および柱部の板厚 t_b, t_c を終局強度設計法により設計することを考える。終局強度設計法に関しては、日本において設計規準がないため、ここではカナダのオンタリオ州道路橋示方書(OHBD)²⁾、カナダ建築規準(NBCC)³⁾を参考にする。これらは、信頼性理論による限界状態設計法で統一された優 t_c に示方書として知られ、現行設計法に対するコード・キャリブレーションにより策定されている。式(1)に、これら設計規準で用いられている終局限界状態の設計照査式を示す。

$$\phi \cdot R \geq \gamma_D \cdot D + \eta \cdot \phi (\gamma_L \cdot L + \gamma_E \cdot E + \gamma_T \cdot T) \cdots (1) \quad \text{図3}$$

ここに、 ϕ : 耐力係数; R : 構造要素の終局耐力; η : 重用度係数; ϕ : 荷重組合せ係数; $\gamma_D, \gamma_L, \gamma_E, \gamma_T$: それぞれ死荷重、活荷重、地震荷重、温度荷重の荷重係数; D, L, E, T : それぞれ、死荷重、活荷重、地震荷重、温度荷重の規格値である。これら各種係数の値は、 $\phi=0.90, \eta=1.00, \phi$ は D と他の一つの荷重、他の2つの荷重、他のすべての荷重が作用すると考えた場合で、それぞれ、 $\phi=1.0, 0.70, 0.60$ と規定されている。それぞれの荷重係数についてはOHBDでは荷重の種類および荷重係数がかなり細かく規定されているが、ここでは簡単化のためNBCCの次の値 $\gamma_D=1.25, \gamma_L=1.50, \gamma_E=1.50, \gamma_T=1.25$ を用いる。さらに、OHBDでは、コンパクト断面・ノンコンパクト断面の規定が幅厚比制限により設けられている。前者の場合は、塑性断面係数、後者は弾性断面係数を用いて構造物の終局耐力を評価する。本研究では、橋脚の部材断面を終局強度設計法によりコンパクト断面として設計する場合、現行設計法でノンコンパクト断面およびコンパクト断面として設計する場合の3つの場合を考えた。

3. 終局強度設計法により設計された構造物の信頼度

ここでは、上で設計された3つの場合の橋脚について信頼度の評価を行い比較・検討する。信頼度を評価する際

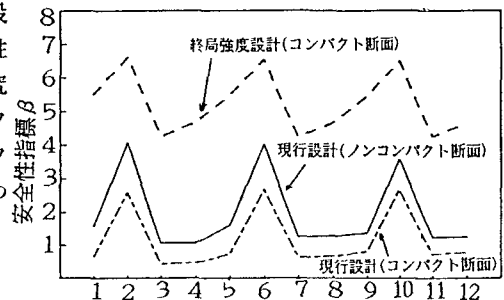
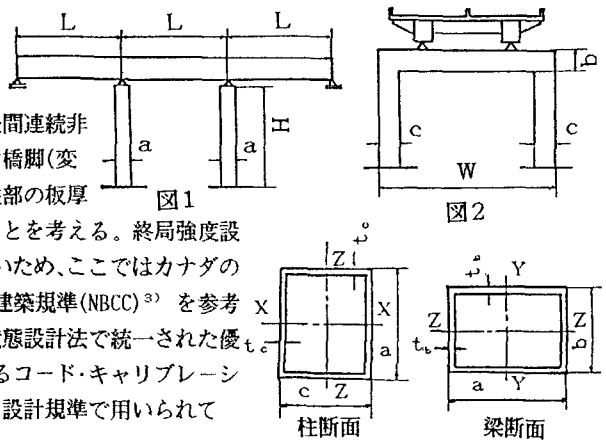


図4

の実働荷重モデルは先の研究¹⁾でモデル化したものを用いる。また、信頼度はHasofer-Lind型の安全性指標 β により評価する。図4に計算結果を示す。図において横軸は、構造モデル番号で上部工主桁の長さ $L=40, 60, 80$ (m)、橋脚全高 $H=10, 20$ (m)、橋脚全幅 $W=20, 30$ (m)の組合せで12種類の橋脚モデルについて計算を行った。終局強度設計された橋脚の限界状態は崩壊メカニズムが形成されたときとし、現行設計により設計された場合は部材の一部が降伏点強度に達した時とした。図からわかるように、終局強度設計された橋脚は、平均して約 $\beta=5.0$ 、現行設計された場合は、平均して約 $\beta=2.5$ (コンパクト断面)、約 $\beta=1.5$ (コパク断面)と低い値を示している。しかし、信頼度の評価の際に考える限界状態が異なれば単純比較はできない。そこで、現行設計法によるコンパクト断面の設計結果を崩壊メカニズムを形成したときを限界状態として信頼度を評価して、終局強度設計法によるコンパクト断面の設計結果と比較したものを図5に示す。この図より、終局強度設計法の安全性指標 β の平均(約 $\beta=5.5$)は、現行設計法(コンパクト断面で限界状態を崩壊メカニズム形成とした場合)の β の平均(約4.5)より大きく、しかも、終局強度設計法の方が安全性のバラツキが少ないことがわかる。これより、終局強度設計法の方が、現行設計法より安全性において有効な設計法であるといえる。

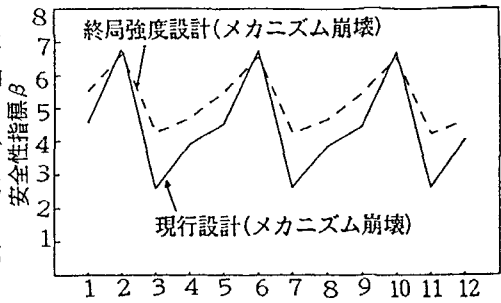


図5

表1

Code	荷重係数設計法の設計規準式
1	$\gamma_D \cdot \alpha_D \cdot D_n + \gamma_L \cdot \alpha_L \cdot L_n \leq \phi \cdot \sigma^*$
2	$\gamma_D \cdot \alpha_D \cdot D_n + \gamma_T \cdot \alpha_T \cdot T_n \leq \phi \cdot \sigma^*$
3	$\gamma_D \cdot \alpha_D \cdot D_n + \gamma_L \cdot \alpha_L \cdot L_n + \gamma_T \cdot \alpha_T \cdot T_n \leq \phi \cdot \sigma^*$
4	$\gamma_D \cdot \alpha_D \cdot D_n + \gamma_E \cdot \alpha_E \cdot E_n \leq \phi \cdot \sigma^*$
5	$\gamma_D \cdot \alpha_D \cdot D_n + \gamma_L \cdot \alpha_L \cdot L_n + \gamma_E \cdot \alpha_E \cdot E_n \leq \phi \cdot \sigma^*$
6	$\gamma_D \cdot \alpha_D \cdot D_n + \gamma_T \cdot \alpha_T \cdot T_n + \gamma_E \cdot \alpha_E \cdot E_n \leq \phi \cdot \sigma^*$
7	$\gamma_D \cdot \alpha_D \cdot D_n + \gamma_L \cdot \alpha_L \cdot L_n + \gamma_T \cdot \alpha_T \cdot T_n + \gamma_E \cdot \alpha_E \cdot E_n \leq \phi \cdot \sigma^*$

表2

支間長	β_T	γ_D	γ_E	Ω
40m	5.0	0.85	4.47	0.0825
60m	5.0	0.90	4.15	0.0717
80m	5.0	0.89	4.20	0.0749

4. 終局強度理論に基づく荷重係数設計

上述したように終局強度設計法の利点を生かして、現行設計法の問題点を解消するための合理的な設計法として終局強度理論に基づく荷重係数設計法を考える。本研究でも、先の研究¹⁾と同じ方法で表1に示す照査式についてそれぞれ荷重係数を個別に求める。この表において、 γ_D 、 γ_L 、 γ_E 、 γ_T は、それぞれのCodeごとに異なる荷重係数、 α_D 、 α_L 、 α_E 、 α_T はそれぞれの荷重を応力レベルへ換算するための変換係数で塑性理論に基づいて算定する。 D_n 、 L_n 、 T_n 、 E_n は現行設計法で定められている公称値である。また、耐力係数 ϕ はOHBDの規定より $\phi=0.90$ とする。荷重係数を算定する手順として、まず限界状態を崩壊メカニズムの形成されたときと考える目標安全性指標 β_T を設定する。各構造モデル i の安全性指標を β_i とし、目的関数 $\Omega = \sum_{i=1}^m (\beta_T - \beta_i)^2$ を計算する。ただし、 m はモデルの数を表す。そして目的関数 Ω が最小となるような最適な荷重係数を算定し設計を行う。この際に、設計断面がコンパクト断面の規定を満足するように荷重係数を算定し断面を設計するには、膨大な繰返し計算が必要である。ここでは、計算の簡単化のためコンパクト断面の規定のチェックは設計した後に行う。目標安全性指標の設定は終局強度設計法で設計された構造物の安全性指標 β の平均値として $\beta_T=5.0$ とする。数値計算の一例として、表2にCode 4に対する荷重係数の算定結果を示す。これは、最も最適解の収束が良かったCodeである。この結果からわかるように、 γ_D に比べ γ_E はかなり大きな値を持っている。これは現行設計法における地震荷重の公称値が小さいことにもよるが、塑性理論に基づいて解析を行ったため構造物の信頼度への地震荷重の影響が大きく、目標安全性指標 β_T を確保するのに荷重係数を大きくしなければならなくなったためであると考えられる。

【参考文献】1) 白木: 鋼製ラーメン橋脚に対する荷重係数の確率論的評価, 阪神高速道路公団(社)システム総合研究所, 1987-3. 2) 九州橋梁・構造工学研究会: 道路橋の限界状態設計法に関する調査研究報告書(I), 1985-3. 3) D.J. Laure Kenedy: J. of Struc. Eng. ASCE, Vol. 110, No. 2, pp. 275-290, 1987-2.