連続合成桁橋の信頼性指標 β 値の評価比較

(株) 横河ブリッジ 正 員 高森 博之
ヤマト設計 (株) 正 員 野中 哲也
パシフィックコンサルタンツ (株) 正 員 横田 尚哉
早稲田大学 フェロー 依田 照彦
東京都立大学 正 員 野上 邦栄

1. はじめに

本文では、道路橋示方書・同解説が性能設計を採用したことに伴い、次世代の我が国の設計法が部分安全係数を利用した限界状態設計法に移行することを前提に、許容応力度法により設計された 30~50m スパンの合成桁を対象に、部分安全係数を変化させて信頼性指標 β の値を計算し、現行設計法に対する部分安全係数法の優位性などを明らかにすることを試みた。

2. 信頼性指標 β の算出方法

いま、構造部材の抵抗強度 R と荷重効果 S からなる性能関数 $z = R - S$ において、作用荷重と強度が互いに独立であり相関性がないと仮定することができるならば、信頼性指標 β は性能関数 z の平均値 $\bar{z}$ および標準偏差 σ_z を用いて与えられ、さらに R, S の変動係数 V_R, V_S を用いて表示するならば次式を得る[1)]。

$$\beta = \frac{\bar{z}}{\sigma_z} = \frac{\bar{R} - \bar{S}}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} = \frac{(\bar{R}/\bar{S}) - 1}{\sqrt{(\bar{R}/\bar{S})^2 V_R^2 + V_S^2}} \quad \cdots\cdots (1)$$

曲げ部材の抵抗強度の平均値 $\bar{R}$ に対する設計値 R_n の比および抵抗係数の変動係数 V_R は、

$$\frac{\bar{R}}{R_n} = \frac{\bar{R}/(\bar{A}\bar{\sigma}_y)\cdot(\bar{A}\bar{\sigma}_y)}{R_n/(A_n\sigma_{yn})\cdot(A_n\sigma_{yn})} = \frac{\bar{R}/(\bar{A}\bar{\sigma}_y)}{R_n/(A_n\sigma_{yn})}\cdot\frac{\bar{A}}{A_n}\cdot\frac{\bar{\sigma}_y}{\sigma_{yn}}, \quad V_R = \sqrt{V_A^2 + V_{\sigma_y}^2 + V_f^2} \quad \cdots\cdots (2)$$

と与えられる。ここに、$\bar{A}, \bar{\sigma}_y, A_n, \sigma_{yn}$ は各々平均断面積、平均降伏応力度、設計断面積および設計降伏応力度である。また、V_f は $\bar{R}/(\bar{A}\bar{\sigma}_y)$ の平均曲げ耐荷力の変動係数である。

上式の降伏応力度、断面積および曲げ耐荷力の設計値と平均値との間には、次の関係が成り立つものとすれば[2)]、

$$\bar{\sigma}_y = 1.15\,\sigma_{yn}, V_{\sigma_y} = 0.11, \quad \bar{A} = A_n, V_A = 0.05, \quad \frac{\bar{R}/(\bar{A}\bar{\sigma}_y)}{R_n/(A_n\sigma_{yn})} = 1.02, V_f = 0.05 \quad \cdots\cdots (3)$$

上式を式 (2) に代入すると $\bar{R} = 1.17\,R_n, \quad V_R = 0.131$ を得る。

死荷重 D と活荷重 L を考えるとき、その平均値 $\bar{S}$ および変動係数 V_S は、もし、$\bar{D} = 1.05\,D_n, V_D = 0.1$, $\bar{L} = L_n, V_L = 0.25$ の関係が成り立つならば、次式で与えられる。

$$\bar{S} = \bar{D} + \bar{L} = L_n(1.05\,D_n/L_n + 1),\ V_S = \frac{\sqrt{(\bar{D}V_D)^2 + (\bar{L}V_L)^2}}{\bar{D} + \bar{L}} = \frac{\sqrt{0.1^2(D_n/L_n)^2 + 0.25^2}}{1.05\,D_n/L_n + 1} \quad \cdots\cdots (4)$$

次に、許容応力度設計法および限界状態設計法 (部分安全係数法) のフォーマットは、次式のように表すことができる。

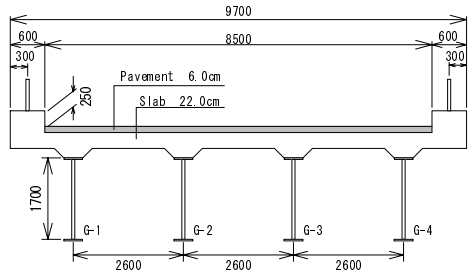
$$\frac{R_n}{\nu} = D_n + L_n, \quad \phi^*\,R_n = \gamma_D^*\,D_n + \gamma_L^*\,L_n \quad \cdots\cdots (5)$$

ここに、ν は安全率、ϕ^*, γ_D^*, γ_L^* は各々抵抗係数、死荷重係数および活荷重係数である。したがって、式 (5) は、各々次式のように書き換えられるので、式 (6) および式 (4) の V_S および $V_R = 0.131$ を式 (1) に代入することにより、$\nu, \phi^*, \gamma_D^*, \gamma_L^*$ および D_n/L_n に対する β 値を求めることができる。

$$\frac{\bar{R}}{\bar{S}} = \frac{1.17\times\nu\,(D_n/L_n + 1)}{1.05\,D_n/L_n + 1}, \quad \frac{\bar{R}}{\bar{S}} = \frac{1.17}{\phi^*}\left(\frac{\gamma_D^*\,D_n/L_n + \gamma_L^*}{1.05\,D_n/L_n + 1}\right) \quad \cdots\cdots (6)$$

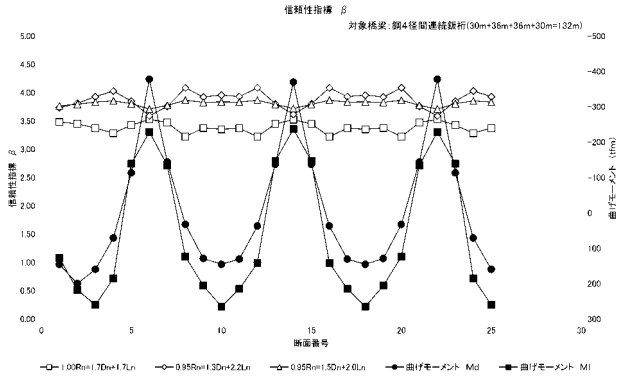
3. 連続合成桁橋モデル

対象とした橋梁は、すでに許容応力度設計法で設計された 4 径間連続非合成桁橋[3)]と新たに試設計した 3 径間合成桁橋である。前者は、支間割り (30m+36m+36m+30m) と (4@45m) の 2 橋であり、主桁本数は各々5 本と 6 本である。後者は、支間割りが (3@40m) および主桁本数が 4 本である。合成桁橋の断面形状を**図–1** に示す。

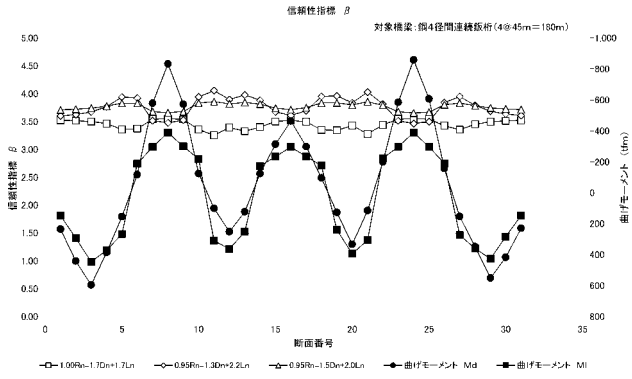


図–1 解析モデル例

〒 192-0397 東京都八王子市南大沢 1–1 TEL. (0426)77–1111 FAX. (0426)77–2772
Key Words: 連続合成桁、 許容応力度設計法、限界状態設計法、 信頼性指標



図–2 信頼性指標 (非合成桁橋)



図–3 信頼性指標 (非合成桁橋)

4. 部分安全係数と β 値評価比較

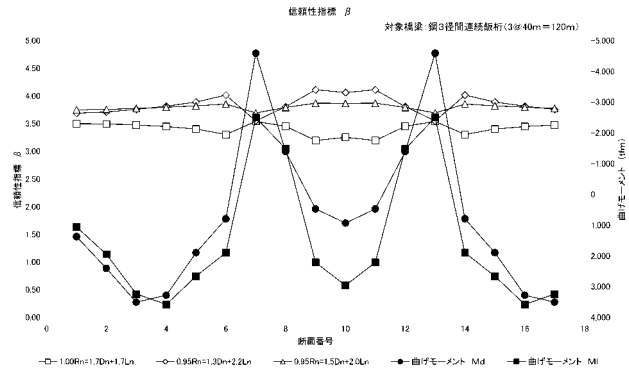
対象橋梁の β 値を算出するにあたり、式 (5) の両設計法において想定した荷重係数および抵抗係数は次の 3 ケースである。

① $1.00R_n = 1.7D_n + 1.7L_n$

② $0.95R_n = 1.3D_n + 2.2L_n$

③ $0.95R_n = 1.5D_n + 2.0L_n$

①は許容応力度法、②および③は部分安全係数法のフォーマットに対応する。この 3 ケースに対して式 (1) の β 値を比較するにあたり、式 (6) から明らかなように β 値は、死荷重活荷重比 (D_n/L_n) に依存したものであるため、実橋全長の曲げモーメント比 (M_D/M_L) を当てはめて、その分布形状をプロットすることで考察する。



図–4 信頼性指標 (合成桁橋)

3 つ図は、ともに全径間の β 値と曲げモーメント分布の関係を示している。横軸は径間長の節点 (断面) 番号である。したがって、曲げモーメント曲線がシャープに立ち上がっている位置が中間支点部である。黒印の曲線が曲げモーメントを、白印の曲線が β 値を表す。

全体的に観ると、①式による β 値の分布 (□印) は、②、③ 式の β 値分布に比して 0.5~1.0 程度下回っており、現行の許容応力度法よりも部分安全係数法の場合の方が高い値を示している。また、許容応力度設計法による 3 橋は全長にわたって信頼性指標が $\beta \approx 3.5$ で設計されていることがわかる。この信頼性指標 $\beta = 3.5$ は、Eurocode および AASHTO において部分安全係数を決定する目標値とした値に一致している。

次に、②式の分布より、③式の分布の方が平準化しており、荷重係数の差がない方が、死荷重活荷重比 (D_n/L_n) に依存しない傾向があることが判る。実橋における死荷重活荷重比は、0.5~2.0 辺りに分布しており、その範囲内で β 値が変化しない設定が理想的である。β 値が最も変動しやすい範囲は、死荷重活荷重比が 0.5 以下のときであり、曲げモーメントが交番する付近に生じている。

5. まとめ

今回対象とした連続合成桁橋のキャリブレーションの結果、荷重係数を適切に組み合わせることにより、死活荷重比に影響されずに一様な信頼性レベルを保つことが部分安全係数法を用いて可能になることが分かった。さらに、材料や荷重のデータが揃えばより合理的な設計が実現可能であることを示すことができた。

参考文献

1) ISO2394：構造物の信頼性に関する一般原則、 1998.
2) 土木学会：構造物の終局強度と設計、 1992
3) 守矢・塚原・長崎・入部・中西・依田：鋼桁橋における現行設計法と限界状態設計法のキャリブレーション、橋梁と基礎、1997