

道路橋示方書により設計された鋼 I 桁橋の信頼性指標 β に関する一検討

長崎大学工学部 学生会員 ○吉田遼一

長崎大学工学部 正会員 中村聖三

長崎大学工学部 フェロー 高橋和雄

1. まえがき

現在、道路橋の設計には許容応力度法が用いられているが、要求された性能を満たすことを合理的に検証する手段として、信頼性設計の考え方を基礎とする限界状態設計法の導入が求められている。限界状態設計法を採用している米国のAASHTO LRFDコード¹⁾では、設計供用期間を75年とし、終局限界状態に対して目標とする信頼性指標 β_T の値として3.5が設定され、主要な照査項目に対する荷重・抵抗係数が定められている。本研究では、鋼道路橋上部構造を対象とし、道路橋示方書・鋼橋編にしたがって設計された鋼I桁橋に対して、信頼設計法における信頼性指標 β を試算することによって、現道路橋示方書によって設計された橋梁がどの程度の信頼性指標を有するのかを明らかにする。その際、ばらつきを考慮する設計変数の確率分布形を変えて信頼性指標 β を算出し、その影響についても把握する。

2. 検討内容・条件

(1) 対象橋梁と照査項目

現在の道路橋示方書をもとに設計された鋼I桁橋を対象として信頼性指標 β の試算を行う。対象橋梁は支間長40mの単純合成桁であり、その断面は図-1に示すとおりである。照査位置における桁断面は、上フランジ410×19mm、ウェブ2200×11mm、下フランジ680×31mmである。照査部位は断面設計でクリティカルとなる支間中央部とし、照査項目は曲げに対するフランジの降伏・座屈、桁の横倒れ座屈とした。

(2) 使用材料および荷重条件

使用材料は以下のように設定した。

- ・ 鋼材：SM490Y
- ・ 鉄筋：SD295，SD345
- ・ コンクリート設計基準強度：27N/mm²

荷重条件は道路橋示方書²⁾によるものとし、死荷重(D)、活荷重(L)、衝撃(I)、クリープの影響(CR)、コンクリートの乾燥の影響(SH)、温度

変化の影響(T)を考慮し、それらの荷重を組み合わせで照査した。各荷重の組み合わせに対する曲げモーメントを受ける部分の許容応力度の割増し係数は表-1のとおりである。また、活荷重の変化による信頼性指標 β への影響を調査するために、活荷重係数を1.0、1.5、2.0、2.5と変化させて与えることとした。

(3) 信頼性指標 β の算定方法

鋼材の板厚、降伏強度、物理定数、座屈強度、コンクリート床版重量、舗装重量を確率変数とし、モンテカルロシミュレーションにより各値を決定する。各確率変数の平均値および標準偏差は表-2のように設定する。確率分布形としては、正規分布、対数正規分布およびワイブル分布のいずれかを仮定する。Rを耐力、Sを外力として、破壊基準関数を $Z = R - S$ と定義し、シミュレーションを繰り返すことでZの確率分布を求め、その平均値 $\bar{Z}$ と標準偏差 σ_Z を用いて、次式より信頼性指標 β を求める。

$$\beta = \bar{Z} / \sigma_Z$$

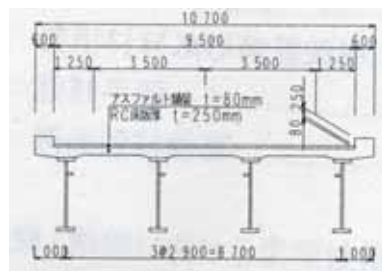


図-1 対象断面

表-1 荷重組み合わせと割増し係数

荷重組み合わせ	圧縮縁	引張縁
D	1.25	1.25
D+L+I	1.00	1.00
D+L+I+CR	1.15	1.00
D+L+I+CR+SH+T	1.30	1.15

表-2 各確率変数の平均値・標準偏差

不確定要因	平均値 基準値	標準偏差
鋼材降伏強度	1.232	0.1011
コンクリート床版重量	1.050	0.0138
板厚誤差	1.0017	0.0121
舗装重量	1.03	0.05
鋼材ポアソン比	0.937	0.085
鋼材弾性係数	0.999	0.045
横倒れ座屈強度	1.302	0.171
局部座屈強度	R 0.8	1.0985
	0.8 < R 0.9	1.45
	0.9 < R 1.0	1.67
	1.0 < R	1.99

R：座屈パラメータ

シミュレーション回数は事前の検討結果に基づき、十分信頼できる結果が得られる 10000 回とした。なお、シミュレーションの実施において、板厚や降伏応力度のように JIS 等の規格でその値に対して許容誤差や下限値が定められているものについては、そのことを考慮した。

3. 検討結果

表 - 3 および図 - 2 に、活荷重係数が 2.0 の場合について、各確率分布形と荷重組み合わせ ~ に対する β 値を示す。表中の比率は正規乱数を 1 としたときの値である。活荷重係数 2.0 における β は曲げ圧縮強度で 5.16 ~ 6.41、曲げ引張強度で 4.13 ~ 9.91 となり、AASHTO LRFDコードにおける目標信頼性指標 $\beta_T (=3.5)$ よりかなり大きな値となっている。また、正規分布に対する各確率分布の β の比率は、ワイブル分布の場合 0.93 ~ 0.97、対数正規分布の場合 0.99 ~ 1.07 であり大きな差は見られない。曲げ圧縮強度については、荷重条件による β 値の変化は小さいが、確率分布形の影響が荷重条件によって多少異なっている。一方、曲げ引張強度については、死荷重のみを考慮した荷重条件 に対して極端に大きな β 値となっており、確率分布形の影響は荷重条件によらず認められない。

図 - 3(a)(b) は荷重条件 において活荷重係数を変化させたときの β をグラフにしたものである。活荷重係数と β は線形関係にあり、パラメータを 0.5 変化させるとどの確率分布形においても圧縮強度で 0.23、引張強度で 0.91 程度、値が変化することが確認できた。

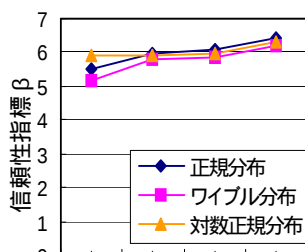
表 - 3 活荷重係数 2 のときの β とその比較

(a) 曲げ圧縮強度 (上フランジ)

確率分布形	β		比率		β		比率	
	β	比率	β	比率	β	比率	β	比率
正規分布	5.53	1.00	5.99	1.00	6.07	1.00	6.41	1.00
ワイブル分布	5.16	0.93	5.80	0.97	5.88	0.97	6.21	0.97
対数正規分布	5.93	1.07	5.91	0.99	5.98	0.99	6.31	0.99

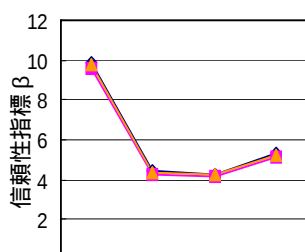
(b) 曲げ引張強度 (下フランジ)

確率分布形	β		比率		β		比率	
	β	比率	β	比率	β	比率	β	比率
正規分布	9.91	1.00	4.45	1.00	4.28	1.00	5.28	1.00
ワイブル分布	9.61	0.97	4.30	0.97	4.13	0.96	5.11	0.97
対数正規分布	9.77	0.99	4.39	0.99	4.22	0.99	5.21	0.99



荷重条件

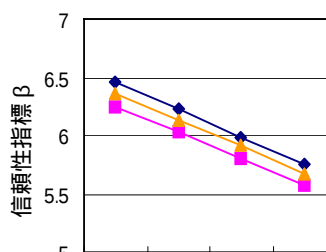
(a) 曲げ圧縮強度



荷重条件

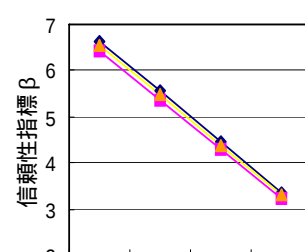
(b) 曲げ引張強度

図 - 2 荷重条件の違いによる β の比較



活荷重係数

(a) 曲げ圧縮強度



活荷重係数

(b) 曲げ引張強度

図 - 3 活荷重パラメータの違いによる β の比較

4. まとめ

本研究で検討対象とした橋梁の場合、今回取り上げたばらつきを想定するパラメータの確率分布形の違いが信頼性指標 β へ与える影響は小さいことを確認することができた。また、活荷重係数 2.0 の場合においても、概ね 4.0 を越える信頼性指標を有することも明らかとなった。今後、異なる橋梁断面や他形式橋梁についても β 値を求め、部分係数設計法導入のための基礎資料とする予定である。

謝辞

本研究の実施にあたって、土木研究所の村越潤氏から正規乱数による β の値を含む有益な情報を提供していただきました。ここに記して、感謝の意を表します。

参考文献 1) AASHTO: LRFD Bridge Design Specifications, 2) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説