

木橋における修復限界状態設計の考え方

秋田県立大学 正会員 ○中村 昇

秋田県立大学 正会員 佐々木貴信

函館工業高等専門学校 正会員 平沢 秀之

1. 目的

昨年は、限界状態設計を木橋に適用するために必要な、使用限界状態および終局限界状態における荷重・耐力係数について報告した。今回は、もう一つの限界状態である修復限界状態設計に対する考え方を提案する。

2. 修復限界状態設計

修復限界状態設計には、初期の設計時点で予め修復を設定する場合と、予め修復を設定しない場合があると考えられる。

2.1 予め修復を設定する場合の限界状態設計

2.1.1 当初の設計

当初の設計は、設計供用期間をT年、ターゲットとする信頼性指標を β_T として、「木橋技術の手引き2005」¹⁾におけるフォーマットにしたがい、 $\sum \gamma_i \cdot Wn_i \leq \phi \cdot Rn$ [(1)式] を満たす部材断面や接合部の仕様を決定する。ただし、 ϕ : 耐力係数、 Rn : 耐力効果の公称値、 γ_i : 荷重係数、 Wn_i : 荷重効果の基本値である。荷重継続時間の影響(以後のDOLの影響と呼ぶ)など、経年的に耐力の減少を生じさせる要因を考慮するならば、限界状態設計に限らず、許容応力度設計においても当初は過剰設計である。例えば、 $\beta_T=3.0$ で設計した場合、 $T=50$ 年とすると、DOLの影響を考慮するため、荷重組み合わせ死荷重(D)+T荷重では初期の β は $\beta_0=3.9$ である。そこで、修復することにより、木橋全体または木橋を構成する構造要素の信頼性指標 β の値を増加させることを考えれば、初期の β を β_T より小さくし、それにより初期コストを押さえ、予め設定した時間が経過時点で修復を行い、 β を増加させることにより供用期間を増すことができると考えられる。

2.1.2 修復時点での設計

(1) 修復時点での信頼性指標 β の算出

調査により腐朽などが発見され、剛性や耐力に影響を及ぼす断面欠損の割合などを非破壊的に推定することになる。例として、終局限界状態設計の場合を考える。部材の基準強度を σ_n とし、便宜上もとの断面係数Zに低減係数 α を乗じて有効断面係数が算定できると考えると、例えば、荷重の組み合わせとしてD+Tの場合、性能関数Zは $Z = \alpha Z \sigma_n - (M_D + M_T)$ [(2)式] で表わされる。

交通量が比較的少ない場合のT荷重については、設計供用期間をt年としたt年最大値分布関数 $F_t(x)$ は $F_t(x) = [F(x)]^{n+365} = \exp \left[-\exp \left[-0.07 \left(x - 2.56 - \frac{\ln(n \cdot t \cdot 365)}{0.07} \right) \right] \right]$ [(3)式] と表せる¹⁾。また、死荷重は正規分布としてい

るので、その分布関数 $F_D(x)$ は $F_D(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2} \right] dx$ [(4)式] と表せる。例えば、死荷重を(木材+

鋼材+舗装)とした場合、 $\mu=3.74 \text{ kN/m}^3/\text{m}^2$ 、 $\sigma=0.13 \text{ kN/m}^3/\text{m}^2$ である。また、耐力の分布は2Pワイブル分布で

キーワード 木橋、修復限界状態設計、低減係数、腐朽、荷重継続時間の影響

連絡先 〒016-0876 秋田県能代市海詠坂 11-1 秋田県立大学木材高度加工研究所 TEL:0185-52-6985 FAX:0185-52-6976

あり、動係数を 0.20 とすると、その分布関数 $F_R(x)$ は $F_R(x) = 1 - \exp\left[-(x/\eta)^{5.80}\right]$ [(5)式] と表せる。 η は耐力の平均値に依存しており、部材をどの等級にするのかで異なるので、ここでは η と表記しておく。

調査の結果、 α が 0.9 と算定されたとする。このときの信頼性指標 β を算出してみる。まず、資料1)より D+T の組み合わせにおける設計式は、 $0.98D_n + 1.50T_n \leq 0.53R_n$ [(6)式] (2) 式と (6) 式を見比べれば、(6) 式の左辺の耐力が α だけ低減されたと見ることができる。そこで、この

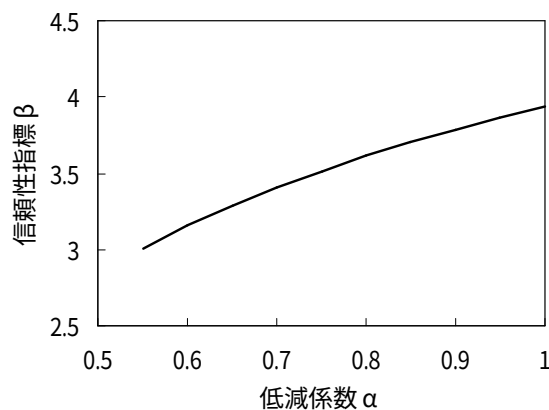


図-1 低減係数 α と信頼性指標 β の関係

時点での β_T は次のようにして算出できる。(3) 式～(5) 式における設計値での累積確率の値を正規化し、それらの二乗和の平方根を求めれば β_T となる。これより、耐力の場合、耐力が α だけ低減されるわけであるが、設計上は (6) 式にしたがい断面算定を行うので、(6) 式の右辺にそのまま α を乗じてしまうと断面が大きくなり、その分信頼性指標 β は大きく算定されることになる。したがって、 α だけ低減されるということは、信頼性指標 β と言う観点からは、逆に $1/\alpha$ 耐力を増加させることと等価であると考えることができる。つまり、耐力、死荷重、T 荷重の設計値はそれぞれ、 $0.53R_n/0.9$ 、 $0.98D_n$ 、 $1.50T_n$ であり、これらの正規化された値はそれぞれ、 3.78、 0.029、 -0.178 と算出され、それらの二乗和のルートは 3.79 となる。つまり、当初の 3.9 から 3.79 と減少したことが分かる。図-1 に低減係数 α と信頼性指標 β の関係を表した。

(2) β_T となるとき低減係数の算出

当初設定した $\beta_T=3.0$ となる α の値は約 0.55 と算定される。つまり、曲げ強度の場合には、断面係数の低減係数 α が 0.55 と算定されたとき修復すればよいことになる。しかし、実は $\alpha=0.55$ となるのは当たり前で、設計期間 50 年の場合、荷重継続時間の影響が 0.55 であるから、低減係数の値も同じとなるのである。言うことは、この α にも荷重継続時間の影響を考慮しなければならない。つまり、調査を行った時点の経過年数から荷重継続時間の影響係数 k_{DOL} を α に乗じた数値が真の低減係数となる。例えば、20 年経過時点での k_d は 0.59 で、この時点での α の値が $0.55/0.59=0.93$ となった時点で修復することになる。

2.2 予め修復を設定しない場合の限界状態設計

設計・計画の段階で予め修復することを考えていなかったり、あるいは、予定していた修復年限よりも早い段階で腐朽などにより耐力が低下し、修復をせざるを得なくなったりする場合もある。設計式のフォーマットは、(1) 式と同じであるが、重要なことは修復するまでの時間であり、これにより荷重・耐力係数が異なってくるので注意を要する。

3. まとめ

修復限界は、通常地震による被害からの修復を対象とするが、木橋の場合は主に生物劣化からの修復を対象とする。木橋に限らず、構造物は修復することにより長く使えるので、このような考え方が広く使われることを期待する。

【参考文献】

1) (社)土木学会鋼構造委員会木橋技術小委員会：木橋技術の手引き 2005, 2005.