

建設省九州地建	正	木下誠也
東京大学 工学部	正	伊藤 孝
筑波大学構造工学系	正	藤野陽三

1. はじめに 構造設計手法として広く定着してきた許容応力度設計法にとり代って限界状態を念頭においた荷重係数設計法が主流となるのは我が国においても時間の問題となってきた。現在、土木学会をはじめ関連学会協会で荷重係数設計法への移行に関する検討が行なわれている。

荷重係数設計の実施にあたっては解決すべきいくつかの問題があるが、大別すると2つになろう。1つは限界状態の規定、終局耐力の計算法など主として構造解析上の問題、他の1つは荷重係数設計法の規範(format)の選定、そしてその規範で用いられる荷重係数をはじめとする種々の係数の値の決定という設計規準に関する問題である。後者について若干の考察を行ったので以下報告する。

2. 荷重係数設計法の規範について 本来、設計法の規範は鋼、コンクリートをはじめとする構造材料、あるいは構造物の種類を問わず、出来る限り統一的に運用されるものであることが望ましい。土木構造物だけをとってみてもその種類は多く、したがってこれらの構造物の設計を規定する示方書、規準の数も多い。1つ1つの示方書において荷重係数設計の規範が独立に作成され、累后、た規範が使用されることはあり得るだろう。同じ目的を有する同種の構造物なのに使用する構造材料が違っただけで、共通性の乏しい2つの規範が別々に用いられるということも起こり得よう。このような事態は設計体系の統一化という点から見れば、好ましいものではなく、いずれ共通な1つの規範を使うべく、再度の移行が強いられることになる。それならば現時点で荷重係数設計法の基本となるべき規範を決め、各示方書、規準はそれに包含される規範を用いるようにするのが好ましいのではないだろうか。

基本となる規範は必要かつ十分な数の部分安全係数を含む、フレキシブルなものであることが望まれる。次に示す規範はその条件を満たすと考えられる。^{*})

$$\phi R^* \geq \gamma_A \cdot \gamma_I \cdot \max_p g \left(\sum_{i=1}^n \gamma_{I_i} \alpha_{i,p} Q_i^* \right) \quad (1)$$

ここで ϕ = 対象とする限界状態に対する挙動係数で、部材強度のばらつき、強度解析上の不確実性、対象とする限界状態の特性(限界状態の重要性を含む)等を考慮した部材強度に固着する安全係数

R^* = 対象とする限界状態に対する公称値(断面積、応力、ひびわれ幅、変位など)。但し、 $R = R(\psi_1, \dots, \psi_m)$ として与えられる場合も含む。ここで γ_A = 材料の公称値、 ψ_i = 材料 i に対する材料係数。

γ_A = 構造解析手法、レベルに応じて定める部分安全係数。 γ_I = 構造物の重要度および対象とする荷重組合せ状態の性格を考慮し、安全性レベルを調整するための部分安全係数。

γ_{I_i} = 個々の荷重作用に応じた重要度係数、 $\alpha_{i,p}$ = 荷重組合せ状態 p における、荷重作用 i に対する荷重係数。 Q_i^* = 荷重作用 i の公称値、 $g(\cdot)$ = 対象とする限界状態に対する荷重作用を R^* と同じ次元に変換するための関数。

上の規範において若干の変更は許されるが、基本的には上式を念頭において、各示方書、規準作成委員会(1)式を逸脱しない規範を採用することが望ましいと考えられる。

^{*}) この規範は 伊藤、西野(以上東大)、長谷川(名工大)、藤野(筑波大) “荷重係数設計法の規範について” で提案されている規範を土木学会安全性小委員会構造設計法検討分科会で検討し、著者らが再度修正したものである。

3. 信頼性アプローチによるキャリブレーション 規範が設定されたら、次にその規範で用いられる各係数をどのように決めるかというのが重要な問題として浮き出てくる。特に(1)式の α_{lp} という荷重係数は部材の種類、限界状態にかかわらず出来る限り同一の値とすべきものであるから、その決定は慎重を要する。

ここでは鋼道路橋の主桁の荷重係数設計を例にとり、信頼性アプローチと最適化手法を組合せたキャリブレーションを行い、荷重係数値を求める。荷重としては死荷重と活荷重のみを考える。規範としては

$$\phi R^* \geq \alpha_D D^* + \alpha_L L^* \quad (2)$$

を採用する。これは(1)式を極めて簡略化したものである。(2)式で R^* , D^* , L^* は各々強度、死荷重、活荷重の公称値であり、 L^* は衝撃荷重を含む。キャリブレーションを行うためには目標とすべき信頼性レベルを設定する必要がある。そのために、まず現行許容応力度設計で達成される信頼性を調べる。信頼性レベルは安全性指標 $\beta = \ln(\bar{R}/S) / \sqrt{V_R^2 + V_S^2}$ で表わす。ここで $S = (D+L)E$ とする。Eは荷重解振に伴う誤差である。現行設計の安全率 P が約1.7, $V_R = \bar{R}/R^* = 1.2$, $V_R = 0.15$, $E = 1.0$, $V_E = 0.05$, $V_D = 1.0$, 活荷重に関しては表1のシミュレーション結果¹⁾、死荷重比を用いると、現行設計の信頼性レベルは図1のように求まる。多少凹凸があるのは活荷重のシミュレーション結果に凹凸があるためである。図1に示される現行設計の信頼性レベルはスパンが長くなるにしたがって単調に増加する。しかし増加量は小さいことはなく、予想に少々反

スパン(m)	20	40	60	80	100	150	200	250	300
$V_R = \bar{R}/R^*$	0.93	1.01	0.99	0.96	0.98	0.94	0.97	0.84	0.73
V_L	0.20	0.16	0.14	0.15	0.14	0.13	0.14	0.14	0.13
$P_L = L^*/D^*$	1.26	0.80	0.63	0.53	0.45	0.34	0.29	0.27	0.25

したものと成った。
次に、目標とすべき信頼性レベルの設定であるが、そのやり方には①現行値そのまま ②ある一定の β 値を採用。③システム信頼性解析から求める。④総費用最小化の原則から決定する。などが考えられる。①によれば規範のみが変わり、実質上同じ物が設計されることになる。③で求める²⁾と図1に

表-1: 活荷重の統計データ¹⁾

スパン(m)	20	40	60	80	100	150	200	250	300
頻度	0.249	0.415	0.183	0.073	0.034	0.025	0.013	0.005	0.003

表-2: スパン別の橋の生起頻度

示すように現行の β とほぼ一致した。③の立場からは現行設計は望ましい状態に近いということになる。④の方法で決めるのは現状では難しいだろう。ここでは②の方法で、現行設計の β 値に表2で与えられるスパン別の生起頻度を掛けて求められた $\beta_T = 4.1$ を目標値と置いて、キャリブレーションは(2)式で達成される β と目標値 β_T との差の2乗と各スパンの頻度との積の総和を最小にする ϕ, α_D, α_L が最適解である基準のもとで行なわれる。 $\phi = 0.9$ と固定し、 α_D, α_L を0.05きざみでいろいろと変えると最適値として次式が得られた。

$$0.9 R^* \geq 1.35 D^* + 1.80 L^* \quad (3)$$

(3)式による β は図2の実線で示される。目標値 β_T に十分近いものと

いえよう。
ここで示したのは最適化を含んだ信頼性アプローチによるキャリブレーションの数値計算例である。目標とする β 値をどこに置くかという問題は残るが、このような方法で主要な荷重に対する係数 α_{lp} を求め、現行設計との差異が極大になる設計条件の所では、(1)式その他の部分係数で調整するというのが妥協的ではあるが先とも実際にやりやすいキャリブレーションではないかと考えられる。

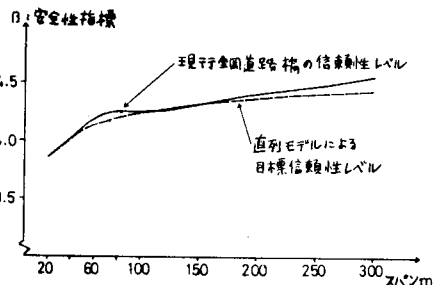


図1: 現行設計の安全性指標値

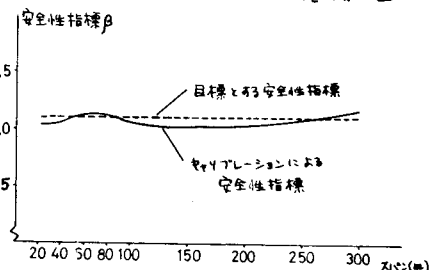


図2: (3)式で達成される安全性指標値

参考文献: 1) 藤野, 伊藤, 遠藤: 道路橋活荷重のシミュレーション, 第33回年次大会講演集, 1978.

2) 藤野, 伊藤, 木下: 現行道路橋設計の信頼性レベルに関する考察, 第32回年次大会講演集, I-161, 1977.