

I-160

二次モーメント法による安全係数の検討に関する一考察

国 鉄 構造物設計事務所 正員 ○林 淳
 国 鉄 構造物設計事務所 正員 佐藤 勉
 国 鉄 構造物設計事務所 正員 石橋 忠良

1 はじめに

構造物の設計法の趨勢は、世界的に限界状態設計法の採用へと移行しつつある。これは終局、使用、疲労等の限界状態に対して、それぞれの限界状態に適した荷重を用い、それぞれに適した手法で検討を行おうとするものである。この場合、終局限界の特に破壊に対する安全性については、安全度を許容応力度等の応力度で検討する設計法よりも、直接破壊検討用の荷重に対し、破壊耐力で検討するのが合理的である。それには、荷重係数や耐力の低減係数（荷重係数を耐力の低減係数で除したものを安全係数と呼ぶ）を合理的に定めることが必要となる。この安全係数は、材料強度のバラツキ、部材寸法の誤差、耐力算定式の精度および荷重のバラツキ等を考慮して定めねばならない。構造物の安全性の尺度を確率的に評価する手法の一つとしての二次モーメント法は、平均値と分散を用いて安全度を表現できる点において、現時点では実用的手法であると考えられる。

表-1 荷重および耐力の統計量

種 別	平均値／公称値	変動係数	確率分布型
耐 力	1. 2	0. 13	正規
死 荷 重	1. 0	0. 10	正規
列車荷重・衝撃	1. 0	0. 08	対数正規
遠心荷重	1. 0	0. 08	対数正規
車両横荷重	1. 0	0. 05	正規
制動または始動荷重	1. 0	0. 05	正規
ロングレール縦荷重	1. 0	0. 05	正規
風 荷 重	1. 0	0. 13	極値Ⅰ型

そこで、以下に二次モーメント法を用いた、鉄道用鉄骨鉄筋コンクリート構造物の設計に用いる安全係数の試算について報告する。

2 二次モーメント法による安全係数の計算手順

二次モーメント法を利用し、正規分布以外の確率変数に対しても近似計算を行うことにより、耐力の低減係数、荷重係数を算出する手順を以下に示す。

(1) 確率変数 X_i ($i=0, \dots, N$) の統計量の仮定

X_i に対して次の(a)~(c)を仮定する。

(a) 確率分布形状 (b) 平均値 μ_{xi} (c) 変動係数 δ_{xi}

(2) 設計式の設定

設計式として(1)式を定める。

$$\phi X_{no} = \sum_{i=1}^N r_i \cdot X_{ni} \quad \dots\dots (1)$$

ここで、 ϕ ：耐力の低減係数、 r_i ：荷重係数

X_{no} ：耐力の公称値、 X_{ni} ：荷重作用の公称値

(3) 安全性指標 β の値の設定

荷重の組合せ等を考慮して β の値を設定する。

(4) 初期破壊点 X_i^* の設定

X_i^* を(2)式とおく。

$$X_i^* = \mu_{xi} \quad (i=0, \dots, N) \quad \dots\dots (2)$$

(5) 各確率変数の等価正規分布の標準偏差 σ_{xi}^* と

平均値 μ_{xi}^* の算出

$$\sigma_{xi}^* = \phi \left\{ \Phi^{-1} \{ F_{xi}(X_i^*) \} \right\} / f_{xi}(X_i^*) \quad \dots (3)$$

$$\mu_{xi}^* = X_i^* - \sigma_{xi}^* \cdot \Phi^{-1} \{ F_{xi}(X_i^*) \} \quad \dots\dots (4)$$

ここで、 ϕ ：標準正規分布の確率密度関数

Φ^{-1} ：標準正規分布の累積分布関数の逆関数

F_{xi} ：任意の確率分布の累積分布関数

f_{xi} ：任意の確率分布の確率密度関数

表-2 荷重の組合せで用いる安全係数

荷重の種類 構造物の種類	死 荷 重	列 車 荷 重	衝 撃	遠 心 荷 重	車 両 横 荷 重	制 動 始 動 荷 重 ま た	ロ ン グ レ ー ル 縦 荷 重	風 荷 重
H形鋼	1.7	1.7	1.7					
埋込桁	1.55	1.55	1.55	1.55	1.50			
	1.25							1.55
高らん	1.25							1.55
ラーメン	1.7	1.7	1.7					
橋 脚	1.25	1.25	*1.25			1.35	1.35	
	1.25	1.25	*1.25	1.25	1.35			1.55
ラーメン	1.7	1.7	1.7					
高架橋	1.4	1.4	*1.4	1.4	1.5			
	1.25	1.25	*1.25			1.35	1.35	

注1) 表中の荷重の横方向の組合せで考える。

注2) *印の荷重は組合せる方が危険な場合に用いる。

(6) 方向余弦 α_{xi}^* と破壊点 X_i^* の計算

方向余弦 α_{xi}^* を(5), (6) 式より求め, 破壊点 X_i^* を(7) 式より求める。

$$\alpha_{x0}^* = -\sigma_{x0}^N / \sqrt{\sum_{i=0}^N (\sigma_{xi}^N)^2} \quad \dots\dots (5)$$

$$\alpha_{xi}^* = \sigma_{xi}^N / \sqrt{\sum_{i=0}^N (\sigma_{xi}^N)^2} \quad (i=1, \dots, N) \quad \dots\dots (6)$$

$$X_i^* = \mu_{xi}^N - \alpha_{xi}^* \cdot \beta \cdot \sigma_{xi}^N \quad (i=0, \dots, N) \quad \dots\dots (7)$$

X_i^* の計算値からその収束状態をチェックし, 収束していれば(7)により安全係数の算出を行う。収束していない場合は(5)に戻り, 繰り返し計算を行う。

(7) 安全係数の計算

(8), (9) より ϕ , r_i を求める。

$$\phi = \mu_{x0} \cdot (1 - \alpha_{x0}^* \cdot \beta \cdot \delta_{x0}) / X_{n0} \quad \dots\dots (8)$$

$$r_i = \mu_{xi} \cdot (1 - \alpha_{xi}^* \cdot \beta \cdot \delta_{xi}) / X_{ni} \quad (i=1, \dots, N) \quad \dots\dots (9)$$

3 安全係数の試算

二次モーメント法を用いて安全係数を計算するためには, 荷重作用と耐力の統計的な性質を調査分析し, 仮定しなければならない。ここでは, 鉄道構造物への荷重作用として, 死荷重, 列車荷重・衝撃, 風荷重, 遠心荷重, 車両横荷重, 制動または始動荷重, ロングレール縦荷重についてと耐力についての確率分布型, 平均値/公称値, 変動係数を以下に記すことを考慮に入れ, 表-1のように設定した。

(1) 死荷重 コンクリートの単位体積重量のバラツキ, 部材寸法の施工誤差および道床厚の増加等による版上荷重のバラツキ等を考慮した。

(2) 列車荷重・衝撃, 遠心荷重 走行列車の輪重の実測値より推定した。

(3) 風荷重 風速の気象庁観測データをもとに, 年最大風速の確率分布型を極値分布I型と仮定し, m年間の最大風速の累積分布関数 $F_m(y)$ を(10)式とおくことで, m年間の最大風速の平均値と変動係数を推定した。

$$F_m(y) = \exp \left\{ -\exp \left[-\alpha \{ y - (u + 1 / \alpha \cdot \ln m) \} \right] \right\} \quad \dots\dots (10)$$

ここで, α : パラメータ(傾き), u : パラメータ(モード)

(4) 車両横荷重, 制動または始動荷重, ロングレール縦荷重 平均値を実際の荷重より大きめにとることで, 変動係数を小さく設定した。

(5) 耐力 材料強度のバラツキ, 部材寸法の施工誤差等を考慮した。

以上, 表-1に示す耐力, 荷重の統計量の仮定のもとで, 二次モーメント法を使用して荷重の組合せに応じて安全性指標 β の値を, 4, 3.5, 3と設定することで, 安全係数を試算した。その結果を表-2に示す。荷重の組合せで用いる安全係数は, β の値を上記のように変えると現行の「国鉄建造物設計標準」の荷重の組合せ別の許容応力度の割増しにはば対応した値となる。鉛直荷重と水平荷重との荷重の組合せで, 鉛直荷重が小さい時の方が危険側となる場合には, 鉛直荷重に対して負の変動を考慮することで係数を試算した。

4 おわりに

本報告では, 耐力, 荷重作用に対してその統計量を仮定し, 構造物の種類別, 荷重の組合せ別に安全係数を試算した。今後の課題として, 荷重作用と耐力の実測データの収集とその統計量の詳細な分析, 時間的な変動の大きい荷重(活荷重, 地震, 風等)が同時に作用する場合の評価方法等があげられる。最後に, 係数の算出方法について御助言を頂いた, 鹿島建設土木設計本部の山本, 中山両氏に謝意を表する。

参考文献 1) A.H-S.Ang, W.H.Tang, Probabiliy Concepts in Engineering Planning and Design, 1976 John Wiley & Sons Inc., 2) Development of a Probability Based Load Criterion for American National Standard A58, U.S.Department of Commerce National Bureau of Standards

3) 藤野・伊藤・酒井, 年最大風速記録による設計基本風速の算定に関する研究, 土木学会論文報告集 第305号・1981年1月