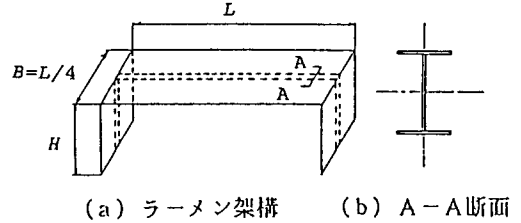


雪荷重をも考慮に入れた荷重係数設計法の鋼構造への適用

金沢大学工学部 正会員 北浦 勝, 正会員 池本 敏和  
 金沢大学工学部 学生員○堅田 努

1. まえがき

現在, 我が国における構造物の設計においては, 材料強度のばらつきに着目して使用部材の設計基準強度を安全率で除した値を許容応力度として, 断面計算等を行う許容応力度設計法が主流である。しかしながら, 地震荷重・風荷重など, 構造物を破壊に至らしめる要因である荷重はばらつきを有しており, これは材料強度のばらつきよりも大きいものと思われる。したがって, 確率論的手法を用いて各荷重のばらつきを評価し, 各構造物に対して, 均一な安全性・信頼性を得られる設計法を確立することは, 安全性の面からのみだけでなく経済性の面からも有効であるように思われる。このような荷重係数設計法は, 既に欧米諸国で実用化されており, 我が国でもコンクリート構造物や道路橋の設計では移行が考えられている。著者らはこれまでに, 最適な荷重係数の解析<sup>1)</sup>を行ってきたが, 本研究では, 対象構造物を金沢市における鉄骨造の体育館・倉庫などのラーメン架構(図一1)<sup>2)</sup>とし, 雪荷重をも考慮して解析を行う。対象構造物の諸元を表一1に示す。



図一1 対象構造物

表一1 対象構造物の諸元

$S_j$	$H$ (m)	$L$ (m)	$B$ (m)
1	4.0	16.0	4.0
2	6.0	16.0	4.0
3	8.0	16.0	4.0
4	4.0	18.0	4.5
5	6.0	18.0	4.5
6	8.0	18.0	4.5
7	4.0	20.0	5.0
8	6.0	20.0	5.0
9	8.0	20.0	5.0

2. 荷重の組合せと応力照査式の定義

構造物に加わる荷重は, 固定荷重(G), 積載荷重(P), 雪荷重(S), 風荷重(W), 地震荷重(K)および土圧・水圧およびその他の荷重となっているが<sup>3)</sup>, 対象構造物の性格上, 固定荷重, 雪荷重, 風荷重, 地震荷重を考慮すれば良いものと思われ, これらに温度荷重(T)を付け加えて考える。荷重の組合せとしては, 表一2に示す5つを考える。荷重の組合せ2, 4, 5は現行の設計に対応したものであり, 荷重の組合せ1, 3については温度荷重を考慮したものとなっている。また, 対象構造物の基礎部分は十分に安全に設計されているものとし, 破壊は圧縮応力度によって生じるものとする。応力照査点については図一2のように7点考え, 応力照査式は柱部と梁部で分けて考え次式で与える。

表一2 荷重の組合せ

$j$	荷重の組合せ
1	G + T
2	G + S
3	G + T + K
4	G + S + K
5	G + S + W

(柱部)

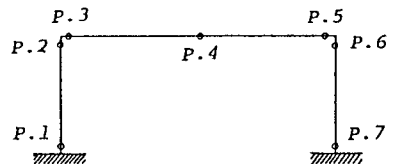
$$\frac{\sum m_j \cdot \alpha_{mM} \cdot m^* / \psi_j \cdot f_b + \sum m_j \cdot \alpha_{mN} \cdot m^* / \psi_j \cdot f_c}{\dots} \leq 1.0 \quad (1)$$

(梁部)

$$\frac{\sum m_j \cdot \alpha_{mM} \cdot m^* / \psi_j \cdot f_b}{\dots} \leq 1.0 \quad (2)$$

( $m = G, S, W, K, T, j = 1, 2, 3, 4, 5$ )

ここに,  $\gamma_{mj}$  は荷重の組合せ  $j$  における荷重係数,  $\alpha_{mM}$  は荷重  $m$  の引げによる応力度への変換係数,  $\alpha_{mN}$  は荷重  $m$  の軸圧縮による応力度への変換係数,  $m^*$  は荷重  $m$  における公称設計荷重,  $\psi_j$  は荷重の組合せ  $j$  の抵抗応力の割増し係数,  $f_b$  は許容曲げ応力度,  $f_c$  は許容圧縮応力度をそれぞれ表す。 $\alpha_{mM}$ ,  $\alpha_{mN}$ ,  $f_b$ ,  $f_c$  は構造物の特性や断面の大きさによる変数で,  $m^*$  や  $\psi_j$  は確定値 ( $j = 1, 2$  で  $\psi_j = 1.0$ ,  $j = 3 \sim 5$  で  $\psi_j = 1.5$ ) として与えられる。



図一2 応力照査点

3. 荷重係数の最適解の解析法

最適な荷重係数を求めるために、次のような手順で解析を行う。まず、荷重の組合せごとに9つの構造物に対する断面を許容応力度設計法で決め、限界状態Ⅰ、Ⅱ（それぞれ抵抗応力の1.0倍、1.5倍）に対する超過確率を計算する。9つの構造物の超過確率の平均値とその前後の値を限界状態超過確率の目標値  $P_{fIj}^*$ 、 $P_{fIIj}^*$  とする。次に荷重の組合せごとに荷重係数を適当に変化させて限界状態超過確率  $P_{fIj}^{(i)}$ 、 $P_{fIIj}^{(i)}$  を算出し、これを用いて次式で定義される目的関数  $\Omega_j$  の値をもとめる。

$$\Omega_j = \sum_{i=1}^9 \left\{ \frac{\log P_{fIj}^{(i)} - \log P_{fIj}^*}{\log P_{fIj}^*} \right\}^2 + \sum_{i=1}^9 \left\{ \frac{\log P_{fIIj}^{(i)} - \log P_{fIIj}^*}{\log P_{fIIj}^*} \right\}^2 \quad (3)$$

$\Omega_j$  の値は荷重係数の組合せごとに構造物の限界状態超過確率のばらつきに応じてただ1つ定義されることになる。ただし、本研究では  $\gamma_{Gj}$  はすべて1.00とした。次に  $\Omega_j$  の等高線図を作成し、 $\Omega_j$  の値が最小となるような点（荷重係数の最適解）を求める。

4. 解析結果

以上のような解析法で、荷重係数のきざみ幅を0.05として解析して得られた結果を表一3に示す。荷重の組合せ1の場合、 $\gamma_{T1}$  の最適解が0.95~1.15という値になったが、これは温度荷重が固定荷重に比して構造物にきいていないために  $\gamma_{T1}$  を少しぐらい変えても断面が変化しなかったことを表している。この解析ではH型鋼の断面を1mmきざみで行っているが、もっと細かくきざめば1点で決定されたものと思われる。荷重の組合せ2では、限界状態超過確率の目標値  $P_{f2}^*$  を大きくするほど  $\gamma_{S2}$  の最適値が小さくなる結果となった。荷重の組合せ3では、 $P_{f3}^*$  を大きくするほど  $\gamma_{K3}$  の最適値が小さくなり  $\gamma_{T3}$  はある幅を持った結果となった。 $\gamma_{T3}$  がある幅を持つというのは荷重の組合せ1と同様の理由と考えられる。荷重の組合せ4では、 $P_{f4}^*$  を大きくするほど  $\gamma_{S4}$  の最適値が小さくなり  $\gamma_{K4}$  は0.15~0.20と小さな値となった。これは地震荷重による応力よりも雪荷重による応力の方が構造物ごとのばらつきが小さいため、雪荷重を大きく評価し、地震荷重を小さく評価した方が  $P_{f4}^{(i)}$  が  $P_{f4}^*$  に近付き、信頼性の高い設計となることを示している。これについて、許容応力度設計法での  $P_{fII4}^{(i)}$  と荷重係数設計法の  $P_{fII4}^{(i)}$  を図一3に示す。荷重係数設計法の方は各構造物に対して  $P_{fII4}^{(i)}$  が  $P_{fII4}^*$  のまわりに小さい幅で分布している。荷重の組合せ5では、風荷重の荷重効果は吹上側となり、固定荷重、雪荷重の荷重効果とは逆に作用している。

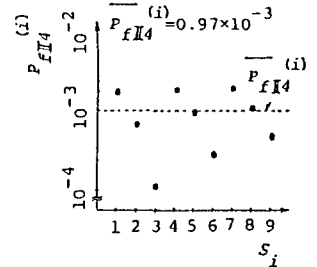
5. あとがき

以上のように荷重係数の最適解を求めた。荷重係数を求めるにあたりいくつかの仮定を考えていることに問題が残るものの、現行の設計と比較して荷重係数設計法で設計された  $P_f^{(i)}$  が  $P_f^*$  により近く分布していることがわかったのは興味深い。

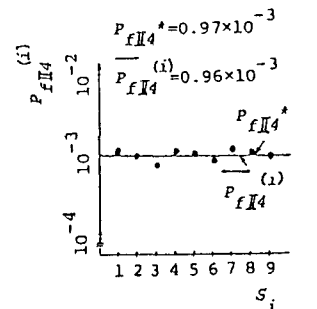
- (参考文献) 1) 若林慎司：橋梁下部構造への荷重係数設計法の適用，金沢大学提出論文。  
 2) 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説，丸善株式会社。  
 3) 小高・佐藤・矢野：建築構造計算実例集2，鉄骨構造編，鹿島出版会。

表一3 荷重係数の最適解

J	$r_{fIj}^*$	$r_{fIIj}^*$	荷重係数の最適解
1	$0.20 \times 10^{-6}$	$0.10 \times 10^{-9}$	$\gamma_{T1} = 0.95 \sim 1.15$
	$0.10 \times 10^{-6}$	$0.10 \times 10^{-9}$	$\gamma_{T1} = 0.95 \sim 1.15$
	$0.50 \times 10^{-7}$	$0.10 \times 10^{-9}$	$\gamma_{T1} = 0.95 \sim 1.15$
2	$0.10 \times 10^0$	$0.10 \times 10^{-9}$	$\gamma_{S2} = 0.90$
	$0.50 \times 10^{-1}$	$0.10 \times 10^{-9}$	$\gamma_{S2} = 1.00$
3	$0.15 \times 10^{-1}$	$0.10 \times 10^{-9}$	$\gamma_{S2} = 1.10$
	$0.36 \times 10^{-1}$	$0.21 \times 10^{-3}$	$\gamma_{K3} = 0.90, \gamma_{T3} = 0.60 \sim 1.60$
	$0.36 \times 10^{-1}$	$0.41 \times 10^{-4}$	$\gamma_{K3} = 1.10, \gamma_{T3} = 0.70 \sim 1.60$
4	$0.36 \times 10^{-1}$	$0.82 \times 10^{-5}$	$\gamma_{K3} = 1.30, \gamma_{T3} = 0.50 \sim 0.80$
	$0.15 \times 10^{-1}$	$0.19 \times 10^{-2}$	$\gamma_{K4} = 0.20, \gamma_{S4} = 1.00$
	$0.75 \times 10^{-2}$	$0.97 \times 10^{-3}$	$\gamma_{K4} = 0.15, \gamma_{S4} = 1.15$
5	$0.30 \times 10^{-2}$	$0.49 \times 10^{-3}$	$\gamma_{K4} = 0.20, \gamma_{S4} = 1.20$
	$0.54 \times 10^{-1}$	$0.32 \times 10^{-1}$	$\gamma_{K4} = 1.25, \gamma_{S4} = 0.00$
	$0.27 \times 10^{-1}$	$0.16 \times 10^{-1}$	$\gamma_{K4} = 0.30, \gamma_{S4} = 0.85$
5	$0.14 \times 10^{-1}$	$0.80 \times 10^{-2}$	$\gamma_{K4} = 0.70, \gamma_{S4} = 1.05$



(a) 許容応力度設計法における  $P_{fII4}^{(i)}$



(b) 荷重係数設計法における  $P_{fII4}^{(i)}$

図一3 両設計法での  $P_{fII4}^{(i)}$  の比較