

I-100 と関数を用いた鋼ラーメン構造物の一設計法

東京都立大学 正会員 野上邦栄
大成建設 正会員 山崎紀彦

1. まえがき

ラーメン構造物の現行設計法¹⁾は、構造物の限界状態（安定性）に対する照査を構造物全体に対する照査に代えて、構成する各部材における照査という形で行われる設計法であり、構造物全体の安全性の確保は個々の部材の安全を確保することにより可能であるという基本的な設計思想に基づいている。しかし、ラーメン構造物の耐荷力に対する安全性は、ラーメン構造全体の形状、剛性分布の他荷重状態にも依存することを考慮する時、本質的には構造全体として評価されるべきであると考えられる。

ここでは、鋼ラーメン構造全体系を対象にして、あまり高度な理論によらない実務設計レベルにそった、しかも有効座屈長の概念にとらわれない照査法を提案している²⁾。さらに提案する設計法の有効性を明らかにするため、具体的数値計算例として3層、および4層ラーメン構造物を取り上げて検討している。

2. と法に基づく設計

ここでは多少設計に手間がかかってもできるだけ簡単に、精度の良いラーメン全体系の耐荷力照査を可能にする方法として、部材の非線形性を簡易に考慮でき、しかも作用軸応力度の関数として与えられると関数³⁾を導入した固有値計算による設計断面耐力と弾性有限変位解析から得られる設計断面力との比較で安全性を照査すると法に基づく設計を提案している。その設計手順の概要を示すと表-1のようになる。

①設計荷重：ラーメン構造物に作用する荷重に対して、その構造形態と各部材断面が仮定されると構造計算が可能になる。その段階で設計に使用するべき限界状態に対する荷重の特性値Fと荷重係数 γ_f が与えられれば、照査のために使用するべき設計荷重が、 $F^* = \gamma_f \times F$ と決定できる。

②構造解析：横拘束のないラーメン構造物では、その構造の水平方向変位は水平材の曲げ剛性に依存し、全体的な変形によるP-Δ効果が大きくなるため、厳密には有限変位理論に従う必要がある。ここでは、計算機機能の飛躍的な向上を踏まえ、弾性有限変位解析を用いて断面力を算出する。

③と関数：骨組構造全体系の終局強度に影響する初期たわみ、初期偏心、および残留応力度などの因子に対して、次式

$$\left. \begin{aligned} \zeta &= 1.0 - 0.773 \sigma / \sigma_y, & \sigma / \sigma_y &\leq 0.564 \\ \zeta &= 3.367(1.109 - \sigma / \sigma_y)^2 \sigma / \sigma_y, & 0.564 < \sigma / \sigma_y &\leq 1.0 \\ \zeta &= 0.04 & 1.0 < \sigma / \sigma_y & \end{aligned} \right\} (1)$$

の軸圧縮応力度の関数で与えられると値を各断面に導入することにより考慮する⁴⁾。

④限界状態照査：終局限界状態の断面照査は、①の設計荷重に対して、

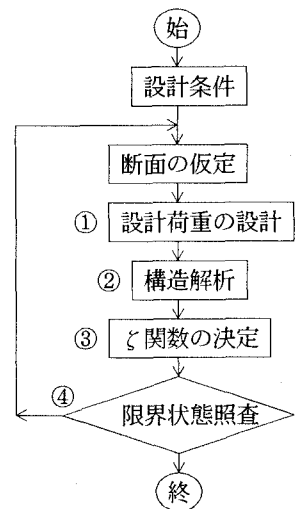
$$\left. \begin{aligned} \text{軸圧縮力に支配される場合, } & \gamma \frac{N}{N_{cr}} \leq 1.0 \\ \text{軸圧縮力と曲げを受ける場合, } & \gamma \left(\frac{N}{N_{cr}} + \frac{M}{M_{cr}} \right) \leq 1.0 \end{aligned} \right\} (2)$$

により行う。ここに、

γ ：構造物係数，N：設計圧縮力，
M, M_{cr} ：各々設計曲げモーメント，設計曲げモーメント耐力
 N_{cr} ：③のと関数を考慮した構造全体系の固有値解析

$$| K_E(\zeta_i) + \kappa K_G(N_i) | = 0 \quad \dots \dots (3)$$

表-1 設計手順



$$N_{cr,i} = \kappa N_i \quad \dots (4)$$

により求まる設計圧縮耐力で、 $N_{cr} \geq N_y$ の時は N_y とする。ここに、 κ は固有値、 K_E および K_G は各々微小変位理論における剛性行列、幾何剛性行列である。

3. 数値計算例

いま、図-1のような実橋レベルの断面諸元および荷重状態を有する3層、および4層ラーメン構造を対象にして、提案する設計法と現行設計法による安全性照査の比較を行った。数値計算における荷重係数 γ_f は $\gamma_f = 1.7$ 、構造物係数 γ は $\gamma = 1.0$ を用いた。また、解析における分割要素数は3層ラーメンで19要素、4層ラーメンで28要素を用いた。なお、現行設計法は、3層ラーメン構造に対しては道示、4層ラーメン構造に対しては本四規程による許容応力度設計法であり、その安定照査式は共に次式で与えられる。

$$\frac{\sigma_c}{\sigma_{ca}} + \frac{C_m \sigma_b}{\sigma_{ba}(1 - \sigma_c/\sigma_a)} \leq 1.0 \quad \dots (5)$$

解析結果をまとめたのが図-2である。横軸に安定照査式の値を、縦軸にラーメン柱の要素座標を取っている。なお、図中には提案法における ζ 値も表示してある。

提案法の実線は、現行設計法の破線に比べて、全ての断面に対して低めの値を示している。これは、ラーメン柱の断面が軸圧縮力に支配される構造のため、式(2)と式(5)の照査式における許容軸圧縮応力度 σ_{ca} および設計圧縮耐力 N_{cr} の評価に影響されたためであり、現行法における σ_{ca} は、有効座屈長の影響により σ_y より低い許容値になったのに対して、提案法は $N_{cr} > N_y$ のため設計圧縮耐力が N_y に支配されたためである。なお、この場合の ζ 値は 0.35 ~ 0.5 となった。

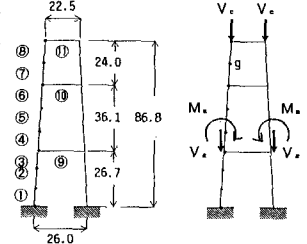
以上のことから、提案法は従来の設計法に比べて設計断面に余裕が生まれ、より改善できる可能性があることが明らかになった。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説(共通編、鋼橋編)，1990
- 2) 野上邦栄：ラーメン柱の実用的座屈設計法に関する一提案，土木学会終局強度研究小委員会終局強度設計分科会資料，1991
- 3) 野上邦栄・小林岳彦：平面ラーメン構造物の実用的耐荷力算出法について，構造工学における数値解析法ソポカム論文集，第12巻，JSSC，1988
- 4) 本州四国連絡橋公団：吊橋主塔設計要領・同解説，1988

Element	A	I	σ_y	Load condition
①	0.56	0.71	36000	$V_x = 7562$
②	0.56	0.70	36000	$V_x = 124$
③	0.54	0.69	36000	$M_x = 163$
④	0.53	0.68	36000	$g = 1206$
⑤	0.52	0.67	36000	
⑥	0.50	0.65	36000	
⑦	0.49	0.64	36000	
⑧	0.47	0.63	36000	
⑨	0.44	1.06	24000	
⑩	0.25	0.68	24000	
⑪	0.18	0.32	24000	

Unit : tf, m



Element	A	I	σ_y	Load condition
①	1.52	3.68	36000	$V_x = 14700$
②	1.22	3.04	36000	$V_x = 480$
③	1.21	3.02	36000	$g = 4470$
④	1.20	2.99	36000	
⑤	1.19	2.97	36000	
⑥	1.13	2.82	36000	
⑦	1.09	2.69	36000	
⑧	1.08	2.67	36000	
⑨	1.07	2.65	36000	
⑩	0.96	2.37	36000	
⑪	0.95	2.36	36000	
⑫	0.95	2.34	36000	
⑬	0.45	4.94	24000	
⑭	0.48	5.53	24000	
⑮	0.59	2.09	24000	
⑯	0.47	4.26	24000	

Unit : tf, m

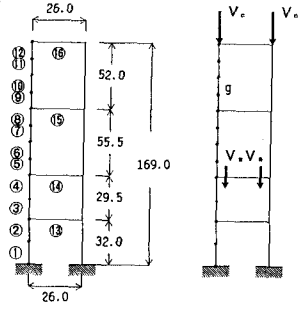


図-1 解析モデル

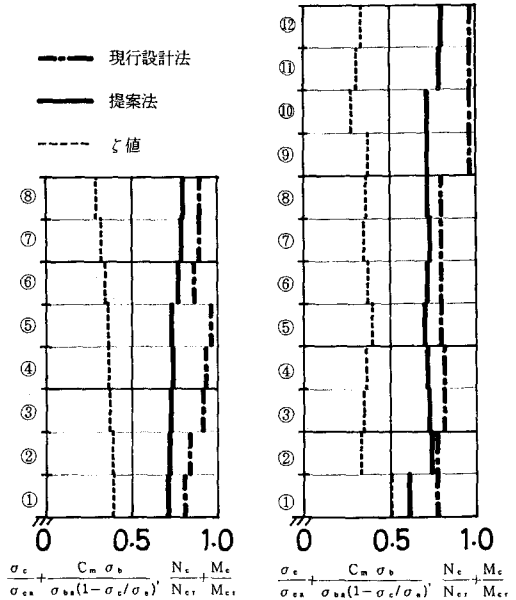


図-2 現行法と提案法による安定照査の比較