

I-114 固有値解析によるラーメン柱の実用的な設計

日立造船 正会員 岡田俊之
芝浦工業大学 正会員 山本一之
東京都立大学 正会員 野上邦栄

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。この方法は、確実に安全側の結果を与える。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。さらに、設計技術者から軸力が小さい部材ではきわめて長い有効座屈長になり、許容応力度がかなり低下するなど有効座屈長の算出法の不合理性が指摘されている。これに対して、現在ラーメン構造の終局強度設計法に関する活発な研究が行われており、設計上の観点から従来の有効座屈長を用いた耐荷力評価法に関する見直しが理論的および数値解析的に行われている^{2)~4)}。

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、部材の非線形性を考慮でき、しかも作用軸力の関数として与えられる関数⁴⁾を導入した固有値計算による一設計法を提案する。

2. 有効接線弾性係数法について

実用的なラーメン柱の耐荷力算出法として、ラーメン柱全体の座屈する状態における見掛けの弾性係数の低下を考えた弾性係数 E_f を導入し、通常の固有値解析を行う方法がある。この場合、 E_f は一般に予め予測し難いものであるため、例えば柱の基準耐荷力曲線に見合った全体座屈荷重が得られるように E_f を変化させて繰り返し計算を行うことになる。本四規程⁵⁾では、塔の構造全体系に関する有効座屈長を求める計算において、この方法が採用されており、通常有効接線弾性係数法(E_f 法)と呼ばれている。

いま、 E_f 法の意味するところを確認するため図-1の変断面を持つ単純支持された柱⁶⁾を用いて、弾性固有値解析と E_f 法による有効座屈長および限界応力度を比較した。その計算結果が図-2である。なお、同図には平均断面を持つ等断面柱としての近似解を破線で示してある。このような部材の場合各要素に作用する軸力は全て一様になるが曲げ剛性が異なるため、断面が小さく、曲げ剛性が小さい断面では有効座屈長が短くなり、耐荷力が大きくなる事実を弾性固有値解析および E_f 法は明確に表しており、 E_f 法はその傾向が著しい。

3. 非線形性を考慮した固有値解析による設計

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

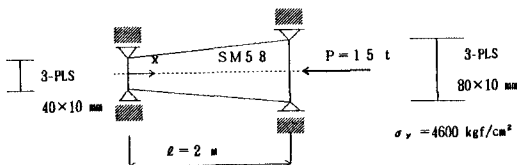


図-1

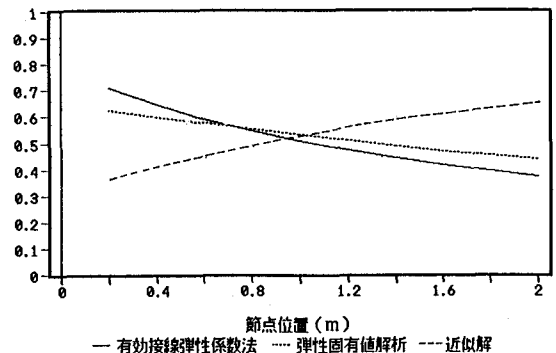


図-2

き荷重係数が与えられていれば、設計において照査のために使用するべき外力が決定できることになる。

ところで、すでに関数を導入した固有値解析法により構造物の耐荷力を簡易に算出できることを明らかにしている⁴⁾。しかし、実際の設計では、厳密に耐荷力を求めることが絶対的な必要条件ではない。要は仮定した構造が照査用の荷重に対して安全であるか否かを判断できれば良い。そこで、図-3のような設計方法を提案する。

いま、図-4のような実橋レベルの3層ラーメン構造を対象にして、ここで提案した設計法による安全性照査を行い現行設計法と比較を行った。なお、荷重は荷重係数 $\nu=1$ とした設計荷重である。表-1は本設計法による照査結果であるが、全ての要素において $P_{cr} < P_y$ となるため限界軸力として降伏荷重が採用されている。この計算では、荷重係数 $\nu=1$ とした設計荷重を用いているため照査式の値がかなり小さくなっている。いま、概算ではあるが安全率相当値1.7を考えるならば、その値は0.7~0.75となる。したがって、他の設計法にくらべて設計断面に余裕が生まれることになるため、より改善された設計を可能にする。

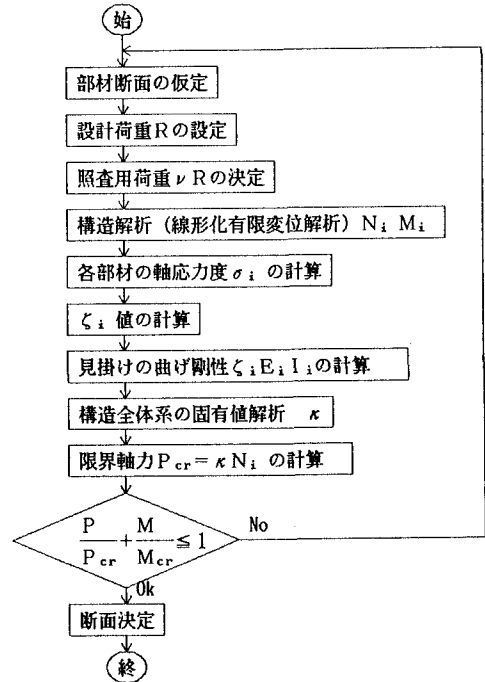


図-3

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)長谷川・西野：線形化有限変位理論による構造物の設計法の提案,土木学会年次学術講演会,1989, 3)倉方・井垣・長谷川・西野：骨組構造の座屈設計法について,日本道路会議論文集, No.18,1989, 4)野上・小林：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シボム論文集,第12巻, JSSC,1988, 5)本四公団：吊橋主塔設計要領・同解説,1988, 6)西野・三木・鈴木：道路橋示方書Ⅱ鋼橋編改訂の背景と運用第8回 1 3章ラーメン構造,橋梁と基礎, 1981.10

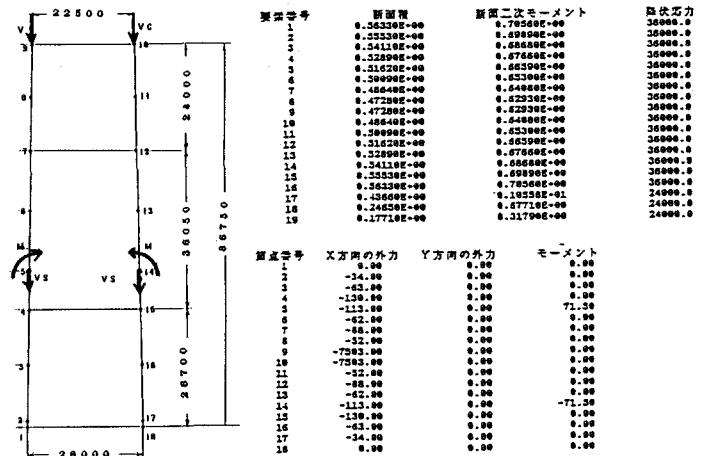


図-4

表-1

部材	l	I _{ci}	A _{ci}	T _{ci}	許容断面力				作用断面力		$\frac{N}{P_{cr}} + \frac{M}{M_{cr}}$
					ζ	P_{cr}	P_y	M_{cr}	N	M	
1-4	26.7	0.7023	0.5532	1.1267	0.685	58383.0	19915.2	15801.8	8046.5	48.2	0.41 (=0.404 + 0.005)
4-7	36.1	0.6648	0.5153	1.1358	0.672	55288.0	18550.8	14958.0	7819.4	55.6	0.43 (=0.422 + 0.004)
7-9	24.0	0.6351	0.4796	1.1507	0.659	54718.0	17265.6	14290.0	7556.4	24.7	0.44 (=0.438 + 0.002)