

I - 523 平面骨組構造物の離散的全応力設計の多数性とGAの応用について

室蘭工業大学 正員 杉本博之、学生員 杉本治暁

1. まえがき 現在の道路橋示方書は、各部材の断面で安全性の照査を行うことを基本としているため、平面骨組構造物の設計は、構造解析を行い、得られた断面力に対して各部材の断面を決定する、必要があればその過程を繰り返す、という全応力設計法が用いられている。道路橋示方書は、許容応力度設計法を基本としているが、将来、終局強度設計法が導入されるようになって、全応力設計法が、実務レベルの設計法の中心であることには変化がないと予想される。その根底には、全応力設計の(準)唯一性と(準)最適性に対する暗黙の了解があるように思われる。

筆者の一人は、既製形鋼を用いる骨組構造物の全応力設計について、多くの数値計算より考察を加え、構造系によっては複数の全応力設計が存在することを確認した¹⁾。そこでの平面骨組構造物の設計変数(決めるべき部材断面)の数は、3~6と比較的少なかったが、その後、設計変数の数を多くして同様の計算を試みたところ、予想よりはるかに多くの全応力設計を得るに至った。これは、今後、全応力設計法を取る上での問題点となると考えられるので、それらの結果の紹介と、そのような問題にGAを応用した場合の結果の比較について、若干の考察と共に発表するものである。

2. 既製形鋼を用いる平面骨組構造物の全応力設計 実務における平面骨組構造物の設計においては、過去の設計例等により初期剛性を仮定し、また、数回の構造解析のみで設計作業を終了させていると考えられるが、本研究では、初期設計は設定した形鋼のランク¹⁾に対して、一様乱数により各部材の断面を決めて設計を開始している。また、構造解析とその結果に基づく断面決定の繰り返し計算になるが、基本的には前回と今回の各部材の断面ランクが一致するまで繰り返して全応力設計を得ている。既製形鋼を用いる設計なので、厳密な意味での全応力設計とはならないが、使用できる形鋼の中から、安定照査式及び強度照査式のいずれかをできるだけクリティカルに近い状態で満足する設計をもって(離散的)全応力設計としている。

初期設計は、1000の組み合わせを発生し、収束計算の結果得られた全応力設計を集計して考察を加えている。設計の過程で振動したケース、あるいは全く収束しないケースもあった。また、全応力設計が得られた場合でも、途中で許容設計が得られたケースもあったが、それらについては本文では触れない。

既製形鋼は、JIS G 3444に定められているH形鋼であり、鋼種はSS41である。照査式等細部の規定は、道路橋示方書に従っている。

3. GA (遺伝的アルゴリズム) GAは、ダーウィンの自然淘汰説を基本とし、それを簡単な数理モデルに置き換えて最適化手法の一つとして利用しているものである。理論は簡単であるが、従来の数理計画法では解くことが困難であった、離散変数、不連続関数から構成される最適化問題に容易に応用することができ、最適性の厳密な証明はできないが、とにかく解は出すという頑健さが評価されている手法である²⁾。

後記の数値計算例で1例を示すように、今回全応力設計を試みた構造系の大部分で、数十あるいはそれ以上の全応力設計を得た。これは、全応力状態のみを断面決定の根拠とする設計法では、真の最適設計が非常に得づらいことを意味する。

そこで、本研究では全応力設計法以外にGAの応用を試みた。GAは、繁殖・淘汰、交叉、及び突然変異を基本オペレータとしているが、本研究のGAはそれらに成長オペレータも加えたものを用いている。

4. 数値計算例 図-1に構造系を示す、18部材の平面骨組構造物の全応力設計とGAの結果について説明する。梁は支間を1断面とし、部材間のリンクはしていないので、13変数の設計問題となる。荷重 P_1 、 P_2 は同時に載荷している。 P_1 は 5^{tf} 、 10^{tf} 、 20^{tf} 、 P_2 は 10^{tf} 、 20^{tf} 、 30^{tf} 、およびLは 2^{m} 、 3^{m} 、 4^{m} のすべての組み合わせ27ケースの結果を表-1に示した。初期設計は1000種類の断面ランクの組み合わせを発生させ、そこからの全応力設計の結果を集計したものである。表中、右の数字は全応力設計が得られたケース

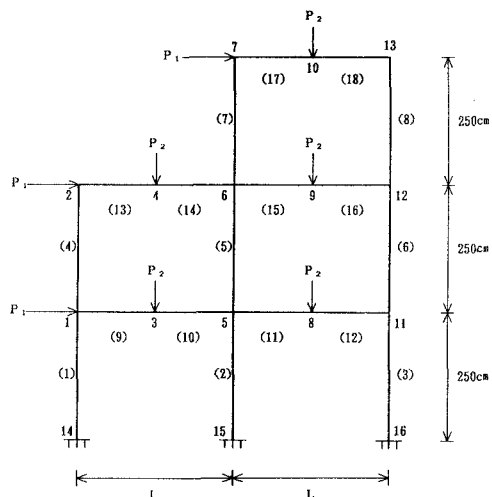


図-1 平面骨組構造物

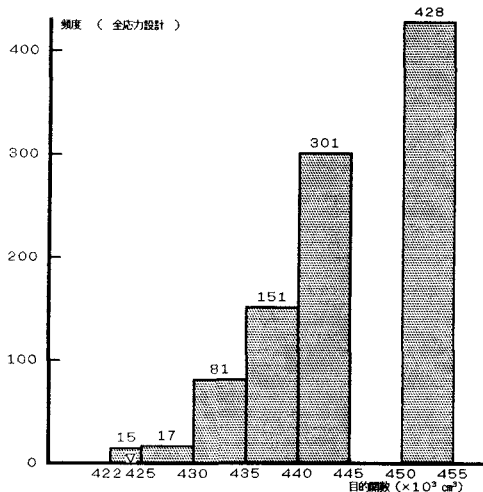

図-2 $P_1=10\text{ tf}$ 、 $P_2=30\text{ tf}$ 、 $L=3\text{ m}$ の場合の頻度分布

表-1 全応力設計が得られたケースと全応力設計の種類

L	2 m			3 m			4 m		
$P_1 \backslash P_2$	10 tf	20 tf	30 tf	10 tf	20 tf	30 tf	10 tf	20 tf	30 tf
5 tf	211/487	85/509	27/185	255/909	28/486	39/776	171/879	10/206	14/787
10 tf	263/487	73/326	39/543	221/544	22/ 46	18/993	153/411	84/528	5/826
20 tf	137/168	66/208	39/136	134/166	67/334	53/203	114/144	33/243	72/736

の数、左の数字は、得られた全応力設計の種類の数である。例えば、 $P_1=5\text{ tf}$ 、 $P_2=10\text{ tf}$ 、 $L=2\text{ m}$ の結果 211/487 は、1000ケースの内487 ケースで全応力設計が得られ（残りの513 ケースは振動が収束せず）、全応力設計の種類は211 あったことを意味する。表に示すように、この構造系では、最小でも5種類、最大では、263 種類の全応力設計があったことになる。一般的に、支間Lが大きい程、また、 P_1 に対して P_2 が相対的に大きい程、全応力設計の種類数は減少する傾向が見られる。これらの内、 $P_1=10\text{ tf}$ 、 $P_2=30\text{ tf}$ 、 $L=3\text{ m}$ の場合（表中網掛）の全応力設計の分布状況を示したのが図-2である。横軸が鋼材総容積、縦軸が頻度である。最小の鋼材総容積は422400cm³、最大は450907cm³である。図の頻度分布より、少ない鋼材総容積の設計を得るのはかなり難しい（425000cm³以下の設計を得る可能性は1.5%）ということが予想される。

ここに示したのは1例であるが、他の計算例では、400以上の全応力設計の種類を得たケースも少なからずあった。これらより、全応力設計が多数存在すること、またその結果当然、例えば鋼材総容積にはかなりの差があること、また、少ない鋼材総容積の設計を得る可能性は少ないことなどが得られる。

この設計問題に、鋼材総容積を目的関数としてGAを応用した。交叉法、人口サイズ等を種々変えて計算した結果、得られた最小の目的関数の値は424182cm³（図中▽）であった。全応力設計の最小値より若干大きな値となったが、解が得られる信頼性、同程度の設計を得るための計算量を考慮すると、この程度の目的関数の差は問題にならないと考えられる。また、GAにおいては、より実的な目的関数の設定も容易³⁾であり、GAはこの種の構造物の設計法として実用的ではないかと考えられる。

5. あとがき 全応力設計に関しては、初期設計を全くランダムではなく、何らかの条件を与えた場合についても検討を加えたい。GAについては、より大規模な構造系への応用を試みる予定である。

参考文献 1) 杉本・山本：骨組構造物の離散的全応力設計に関する数値実験的研究、構造工学論文集、Vol.38A、1992。 2) 杉本：GAの工業設計への応用について、数理科学、No.353、1992。 3) 杉本・鹿：GAの工業設計への応用に関する一考察、第42回応用力学連合講演会講演予稿集、1993。