

I-13 全応力設計による不静定構造物の最適設計に関する研究

長崎大学工学部 正員 小西 保則
長崎大学工学部 学生員 ○大塚 正道

1. まえがき

構造物が長大化し、複雑になると、変数・制約条件式ともにその数は多くなるが、Suboptimizationによればその場合でも容易に最適設計が可能である。不静定構造物の最適設計については、断面寸法の変化が各部材の断面上に影響し、最適断面の近似値しか求まらない。しかし、本論文で用いた全応力設計法を使用すると、より最適値に近い値が求められる。そこで全体構造について、全応力設計法により、最適断面積を求め、その後Suboptimizationにより各部材の最適値を求めることによって、精度のよい最適値を求めることができる。

本論文では、全応力設計法(応力比例法と感度マトリクス法)により各部材の最適値を求めた結果と、SLP法により求めた場合の比較について述べる。

2. 全応力設計法(応力比例法と感度マトリクス法)¹⁾

応力比例法は最も単純な方法で、各サイクルの結果より要素寸法を全応力状態に変更する方法である。

k 回目サイクルの i 番目要素の設計変数を x_i^k 、応力 σ_i^k 、許容応力 $\bar{\sigma}_i$ とすると、

$$x_i^{k+1} = x_i^k \times \sigma_i^k / \bar{\sigma}_i$$

として、繰り返し計算していくものである。

感度マトリクス法はすべての要素寸法の影響を考慮して、特定の要素の応力を計算する方法である。

ある要素の応力を、要素力 F_i 及びそのコンプライアンス b_i との積によつて表わしたものを、設計変数 x_j で微分し、 $b_i = 1/A_i = 1/x_i$ で置き換えた式

$$\partial \sigma_i / \partial x_i = -F_i / x_i^2 + 1/x_i \times \partial F_i / \partial x_i$$

を用いるのであるが、この計算はかなり困難であるので代わりに次式を用いる。

$$\delta \sigma_i = \partial \sigma_i / \partial x_1 \times \delta x_1 + \cdots + \partial \sigma_i / \partial x_j \times \delta x_j + \cdots + \partial \sigma_i / \partial x_n \times \delta x_n$$

$\delta \sigma = \bar{\sigma} - \sigma^k$, $\delta x = x^{k+1} - x^k$ であることから、

$$x^{k+1} = x^k + [H(\sigma)]^{-1} \times (\bar{\sigma} - \sigma^k)$$

と、置き換えることができる。ここで $H(\sigma)$ は $H(\sigma) = [\partial \sigma_i / \partial x_j]^k$ $i, j = 1, \dots, n$ の正方マトリクスで、設計点 x^k で求められる。

その各行は、応力 σ_i に対応する設計空間内曲面の勾配である。

応力比例法は静定構造物を対象とした解析方法であるが、本論文では、初期値かどのような値でも飛散しないように、繰り返し計算3回までは応力比例法を用い、その後感度マトリクス法を用いた。

3. 最適設計例

本手法を用いた最適設計例として、図-1のような、外的一次不静定構造物、二径間連続トラスの部材の最適設計を行なう。設計条件として、支間 $L = 1600 \text{ cm}$ 、荷重 $P = 6000 \text{ ton}$ 、使用鋼種弦材=SS41、斜材=SM58、設計部材断面としては図-1のような箱型断面とする。設計変数としては板厚(T)、部材断面積(A)、制約条件式としては全応力設計であることより応力制限 $\bar{\sigma} - \sigma \geq 0$ ($\bar{\sigma}$:許容応力度、 σ :作用応力)を用いる。目的関数は、

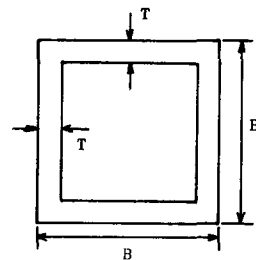
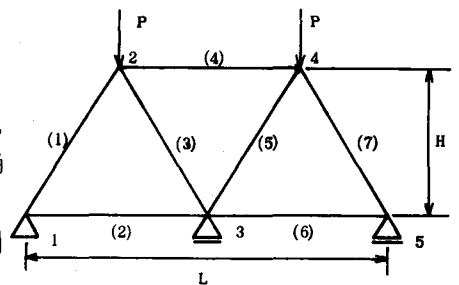
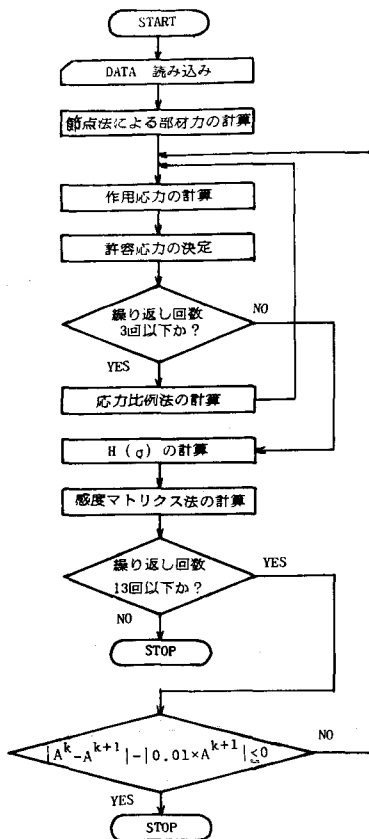


図 - 1



流れ図

表 - 1 初期値の異なる場合の収束値

IS	0	1	2	3	4	5
A(1)	100.000	141998.375	1218.611	1904.628	1924.776	1925.465
A(2)	100.000	1186.101	1186.101	1186.101	1186.692	1186.625
A(3)	100.000	173742.375	1491.030	2339.512	2369.253	2370.945
A(4)	100.000	265.154	265.153	265.155	263.979	264.105

IS	0	1	2	3	4
A(1)	1000.000	1898.888	1923.838	1922.563	1922.366
A(2)	1000.000	1186.101	1186.101	1184.855	1184.759
A(3)	1000.000	2323.388	2369.995	2373.868	2374.182
A(4)	1000.000	265.154	265.155	267.646	267.839

表 - 2 各方法の最適値の比較

	全応力設計による 最適断面 B	SLP法による 最適断面 C	比率 B/C×100
A(1)	1852.334	1173.652	157.82651
A(2)	1251.321	1095.557	114.21779
A(3)	2135.347	1641.478	130.08685
A(4)	188.464	468.293	40.24489

最小断面積すなわち体積最小である。以上のものを設計条件に最適設計を行なった。その手順を流れ図に示す。設計繰り返し打ち切り規準は、 $|A^k - A^{k+1}| \leq |0.01 \times A^{k+1}|$ (A^k : k 回目サイクルの断面積、 A^{k+1} : $k+1$ 回目サイクルの断面積)とし、 A^{k+1} を最適断面積としている。まず表-1であるが、これは $B = 80 \text{ cm}$ 、 $H = 650 \text{ cm}$ の図-1のトラスと断面積の初期値を変えて、本手法を用いて最適設計を行なった結果であるが、だいたい近い値に収束している。また IS (繰り返し回数) を見ても、収束状況は、良好である。BとHの値を変えた数例の場合についても計算を行なってみたが、だいたい同じような結果となった。同じトラスであるが結果が初期値によって異なる場合についても、繰り返し計算打ち切り規準を厳しくすることにより、ほぼ同値に収束するであろう。次に本手法の結果の検討の為に、SLP法を用いて計算、比較した(表-2)。SLP法は設計変数に板厚、コード幅、コード高、トラス高等すべての断面寸法を採用し、制約条件は応力制限、たれみ制限、細長比制限、板厚制限、各変数の上下限制限である。尚、計算の対象となるトラスは、図-1で $H = 637.018 \text{ cm}$ のトラスである。表-2において断面積 $A(1) \sim A(4) \text{ cm}^2$ の本手法による最適計算結果 $B \text{ cm}^2$ 、SLP法による最適計算結果 $C \text{ cm}^2$ 、本手法とSLP法の最適値の比率 $B/C \%$ を示している。

これによると、全応力設計とSLPによる設計とを比較すると最適値にかなりの差が見られる。(特に上弦材(4))が、これは全応力設計が応力のみを制約条件として部材断面積のみを変数として

いるのに対して、SLP法はすべての断面寸法を考慮し、板厚板幅の比の制限やすべての変数に対する上下限制限などたくさんの制約条件を考慮し、更に目的関数が費用最小であることなどのためである。違いの特に顕著な(4)部材は上弦材であるため、応力が0に近くなるのであるが、応力制限のみの全応力設計では最適値が小さくなり、板厚の下限値制限や板厚板幅の比の制限などのあるSLPでは大きくなっている。

4. 結 果

以上のように応力制限のみを考慮した全応力設計法と目的関数として費用を考慮し、制約条件としてすべての制限を考慮したSLP法とを比較すると、かなりの誤差があるが、全応力設計法では最適部材断面積を長大構造物の場合でも短い時間で効率的に求めることが可能である。従って全応力設計法により最適断面積を求め、その後 Suboptimizationにより最適値を求めることにより、より正確な値を求めることが可能であり、長大複雑化した構造物の最適設計も効果的に行なうことが出来る。

参考文献 1) R.H.ギャラガー・O.C.ツイエンキーヴィッツ共編 最適構造設計・基礎と応用 培風館