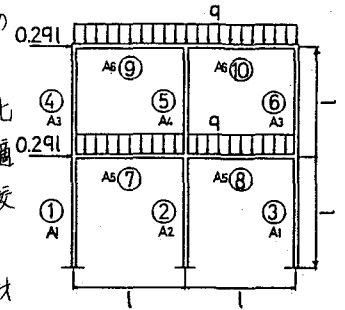


名古屋工業大学 学生員 〇江場田 直
 東京大学 正員 長谷川 彰夫
 名古屋工業大学 正員 松浦 聖

1. まえがき: 骨組構造物の構成部材断面配分の最適設計を行う場合の一つの問題点として、解析する構造物が多くの設計変数を有するため、最適化計算の収束が困難となることがあげられる。本報告では、最適化手法に最大荷重設計法を適用した場合、この解決法として、多段階最適化と称する方法を提案し、これと従来の方法(ここでは一括最適化)と比較し、この新しい方法の有効性を検討する。



2. 多段階最適化: Fig1に示すフレーム構造に対して、 $A_1 \sim A_6$ までの部材群の断面積成分の最適断面配分を行う。設計変数として、各構成部材群の断面積成分をえらび、同じ力学的挙動を示す部材群の断面積成分を(1)～(10)要素番号とまとめた小変数の最適解は、文献2)の検討結果に基づき、多変数の最適解の近似になっている。次にこの小変数の最適結果も一定条件に、さらに少ずつ変数を与えて、細かく断面配分の最適化を段階的にくり返せば、多変数の最適解に近づけることができる。このように所定の部材群となるまで収束性の良い小変数の最適化を段階的に行なう、最適断面配分を決定する方法を多段階最適化と称することにする。Fig1の構造物に多段階最適化を適用した場合の手順の一例は次のようになる。

3変数最適化(下層中央柱, 他の柱部材, はり部材の断面積)

下層中央柱を除く柱部材5本の合計体積比率 下層中央柱の体積比率 A_{2L} はり部材4本の合計体積比率

3変数最適化(下層左右柱, 上層左右柱, 上層中央柱の断面積)

2変数最適化(下層はり, 上層はりの断面積)

下層左右柱の
体積比率 $2A_{2L}$

上層左右柱の
体積比率 $2A_{2L}$

上層中央柱の
体積比率 A_{2L}

下層はりの
体積比率 $2A_{2L}$

上層はりの
体積比率 $2A_{2L}$

最大荷重設計法において、骨組構造の最適化は最終的に、

$$P_{\max} = (\bar{g}_{\max} / \bar{\alpha}_j) = \max_{\bar{x}_i} (\min_j \bar{P}_j) \quad (1)$$

と表現でき、制約条件のない非線形関数の極値問題に帰着される。ここで $\bar{g}_{\max}$ = 適用可能最大荷重, $\bar{\alpha}_j$ = 基準長(ここでは部材長), $\bar{x}_i = X_i / l^2$ = 断面積変数, i = 変数の添字, $\bar{P}_j$ = 状態能力関数, j = 設計項目, 設計項目には部材の全体座屈を含む許容繰応力, 許容せん断応力を考える。また鋼種に SS41 を選び、断面

Table 1 一括最適化および多段階最適化の各ケースにおける変数

Optimization	Case	Stage	Variable name						Number of design Var. (Independent)
			X1	X2	X3	X4	X5	X6	
Ordinary (一括)	1		①③	②	④⑥	⑤	⑦⑧	⑨⑩	6(5)
	2	1st	①③④ ⑤⑥	②	⑦⑧ ⑨⑩				3(2)
Multi-stage (多段階)	2	2nd	①③	④⑥	⑤	⑦⑧	⑨⑩		5(3)
		1st	①③④ ⑤⑥	②	⑦⑧ ⑨⑩				3(2)
	3	2nd	①③	④⑥	⑤				3(2)
		3rd	⑦⑧	⑨⑩					2(1)
		1st	①③④ ⑤⑥	②	⑦⑧ ⑨⑩				3(2)
	4	2nd	①③	④⑥	⑤				2(1)
		3rd	④⑥	⑤					2(1)
		4th	⑦⑧	⑨⑩					2(1)
		1st	①③④ ⑤⑥	②	⑦⑧ ⑨⑩				3(2)
		2nd	①③	④⑥	⑤				2(1)

※ ①～⑩ 要素番号

次モーメント、断面係数、弱軸回りの断面二次モーメント、横座標に関する換算二次半径、ウェブ断面積の最適化計算に必要な断面諸量を断面積成分と結びつけるため、はり一柱に対する部材断面形状の最適化の $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon, \zeta$ を採用する。全部材にZ軸対称H型断面を用い、この検討結果に基づき、 $\alpha=1.0$ 、 $\beta=1.03$ 、 $\gamma=0.6$ 、 $\delta=1.05$ 、 $\zeta=0.13$ とした。

3. 数値計算例と考察：Table 1に一括および多段階最適化の4ケースについて、Stage数、要素番号による変数の割当てと各最適化での変数の個数を示す。このうち(1)は体積一定の条件を導入して残る独立変数の個数である。この4ケースについて調べる。式(1)の最大化手法として、Powellの共役方向法を用いる。探索で必要となる構造解析は共役方向法で求めた一方向直線上において、直線を等間隔で区切る点でマトリックス構造解析を行う。区切られた線分上で部材断面力、節点変位は直線的に変化するとして近似値で探索を行なった。収束判定条件に独立変数の許容相対誤差 ϵ を用い、ここでは $\epsilon=0.01$ とした。また本設計法の一定条件として用いられる総体積の無次元量には、 $\sum \bar{A}_i \bar{L}_i = 1.67 \times 10^{-2}$ (ここで、 $\bar{A}_i = A_i / l^2$, $\bar{L}_i = L_i / l$)を採用した。Fig 2は計算時間、探索回数、構造解析回数の比較を示す。

Fig 3は最大荷重、最適体積比率の比較を示す。これらより、ケース②～④は①の半分以下の計算時間、探索回数で①と同程度の最大荷重、体積比率が得られた。①、②では A_2, A_4 の緩応力、 A_5, A_6 のせん断応力が全応力となり、③、④では A_2, A_4 の緩応力、 A_5 のせん断応力が全応力となった。これより、段階に分けて最適化するほど、計算時間は短縮する一方、①の解から遠ざかることを示すが、最適解である最大荷重、体積比率に対する変化は概して、鋭感であるといえる。多段階最適化の組み合わせは本報告で示したケース以外にも多くのケースが考えられ、これら全てに必ずしも、一括最適化に近い最適解が得られるわけではない。しかし、一括最適化で収束解が得にくい、20.30といった多数の部材群の最適断面配分でも、この方法によれば容易に短時間で最適解を得ることが可能であると予想される。以上より、多段階最適化が収束性、計算効率の面で有効な方法であることが分かった。

〈参考文献〉1) 日本鋼構造協会編：最適化手法の構造設計、解析への応用、培風館、1980、2) 長谷川彰夫、阪上精希、後藤芳顕、松浦聖：骨組構造の最適特性に関する一考察、第28回構造工学シンポジウム講演集、PP19-29、1982、2、3) 長谷川彰夫、岡崎光央、松浦聖：最大荷重設計法による柱およびはり一柱の最適特性、第27回構造工学シンポジウム講演集：PP1-10、1981、2

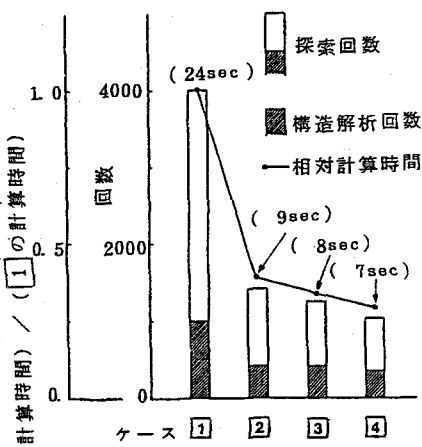


Fig 2 探索回数、構造解析回数および計算時間の比較 (計算時間：名古屋大学大型計算機センター FACOM M-200 による)

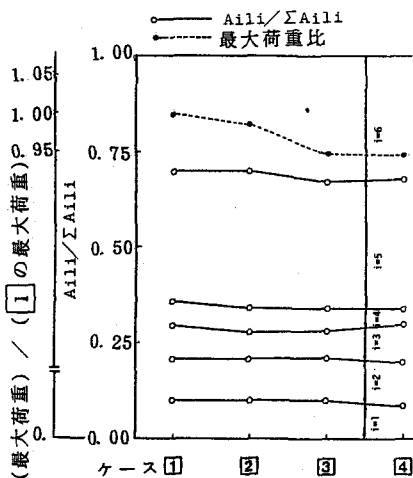


Fig 3 最大荷重比、最適体積比率の比較