I-223 最大荷重設計による骨組構造物の多段階最適化

名古屋工業大学 学生員○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、解析する構造物が比較的多くの設計変数を有する。このため、初期値を与えにくいことや最適化計算のうえで満足する収束解を得ることが難しくなる困難がある。本報告では最適化手法として、最大荷重設計法を適用し、この解決案として、多段階最適化と呼ぶ方法を提案し、従来の方法（一括最適化と呼ぶ。）と比較して、その有効性を検討する。

2．多段階最適化： Fig.1に示す骨組構造について、下層左右柱①，下層中央柱② 上層左右柱③ 上層中央柱④，下層はり⑤，上層はり⑥の6つの部材群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ぶ。このとき、類似した力学的挙動を示すと思われる部材群の断面積成分をひとまとめにした少変数の最適解は多変数の最適解の近似となり得る。[1] したがって、少変数の最適配分の結果をもとに、さらに少ずつ変数を分け、段階的に断面配分の最適化を行えば、多変数の最適解に近づけることができると予想される。最終的に求めたい部材群となるまで段階的に収束性の良い少変数最適化を行なって、最適な断面配分を決定する方法を多段階最適化と呼ぶ。Fig.1の構造物を例に多段階最適化を適用した場合の一手順をFig.2に示す。

最大荷重設計法において、骨組構造の最適化は最終的に、

$$P_{max} = (q_{max}/\sigma_Y \ell) = \underset{\bar{X}_i}{Max}\,(Min\,\bar{P}_j) \qquad (1)$$

と表現できる。ここに、q_{max}=適用可能最大荷重，σ_Y=降伏応力，ℓ=基準長（ここでは部材長），$\bar{X}_i = X_i/\ell^2$=断面積変数，i=変数の数の添字，$\bar{P}_j$=状態能力関数，j=設計項目である。設計項目には部材の全体座屈を含む許容縁応力，許容せん断応力を考える。式(1)に体積一定条件を導入し、このうち何変数かを消去すれば制約条件のない非線型関数の極値問題に帰着される。鋼種にSS41（σ_Y=2400kg/cm²）を選び、断面2次モーメント，断面係数，弱軸回りの断面2次モーメント，横座屈に関する換算2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係数$\alpha, \beta, \gamma, \xi, \eta$を採用する。全部材に2軸対称H型断面を用い、この検討結果に基づき，$\alpha=1.0$，$\beta=1.03$，$\gamma=0.6$，$\xi=1.05$，$\eta=0.13$とした。[2]

3．数値計算例と考察： Fig.1の断面配分の最適化において、Table.1の一括および多段階最適化の3つのケースについて考え、各Stageでの最適化における変数の与え方を群番号によって示した。この中の変数の個数の（ ）の数は体積一定条件を導入して残る独立変数の個数である。式(1)の最大化手法として、Powellの共役方向法を用い、構造解析は無次元化した通常のマトリックス構造解析を用いる。さらに、計算時間の効率を考えて、適宜、断面力や節点変位の近似を工夫する。収束判定条件の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。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$\Sigma \bar{A}_i \bar{\ell}_i$（ここで、$\bar{A}_i = A_i/\ell^2$，$\bar{\ell}_i = \ell_i/\ell$）には、$1.67\times10^{-2}$を採用した。Fig.3は計算時間、探索回数の比較を示す。これより、ケース2 3は1と比較すれば、収束までに要する計算時間，探索回数は半分以下となる。Fig.4は最大荷重，最適体積比率の比較を示したもので、最大荷重はケース1を基準とした比で与え、配分された部材群①〜⑥の体積量は$\bar{A}_1\bar{\ell}_1 \sim \bar{A}_6\bar{\ell}_6$に対応する。最大荷重はケース2，3は1より若干小さな値をとるが、その比は0.95程度で ケース1との差はあまり見られない。また体積比率も個々の部材群の体積比率を完全に一致させることは難しいが、大まかな形状はほぼ一致している。多段階最適化としては、このような簡単な構造物に対しても、さらに多くのケース分けがあり得る。考えられるケースの中には、その最適解が一括最適化の最適解と大きく異なる場合もあるであろう。したがって、実際に設計するときは、構造物の持つ力学的特性や多段階最適化の最適特性の十分な把握，研究も必要とされよう。

その上で、この方法を用いれば、多数の部材群の最適断面配分でも容易に短時間で最適解を得ることは可能となる。したがって、この多段階最適化は収束性、計算効率の改善に有効な一方法であると言える。

〈参考文献〉 1)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　2)長谷川彰夫，岡崎光央，松浦聖：最大荷重設計による柱およびはり－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

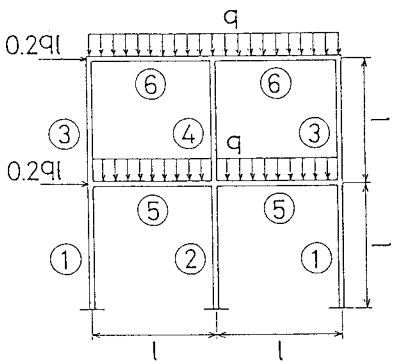
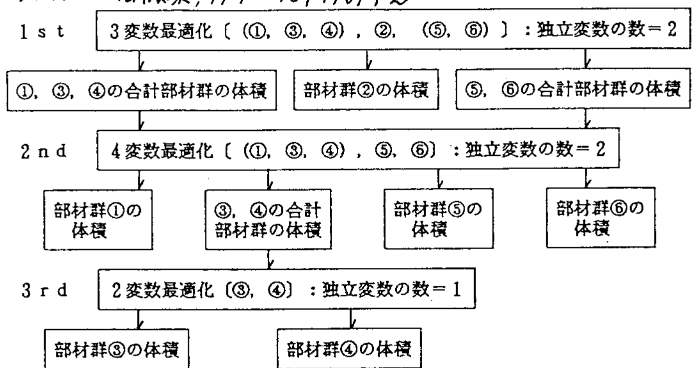


Fig.1 2層2スパンフレーム



(注)　(①, ④, ③), (⑤, ⑥) 等は、2つ以上の部材群をまとめて等断面で変数を与えていることを意味する。

Fig.2　多段階最適化

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

Optimzation	Case	Stage	Design Variable (Cross-sectional Area)						Number of Variable (Independent)
			X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	
Ordinary	1		①	②	③	④	⑤	⑥	6(5)
Multi-stage	2	1st	①③④	②	⑤ ⑥				3(2)
		2nd	①	③ ④	⑤	⑥			4(2)
		3rd	③	④					2(1)
	3	1st	① ③	② ④	⑤ ⑥				3(2)
		2nd	②	④	⑤	⑥			4(2)
		3rd	①	③					2(1)

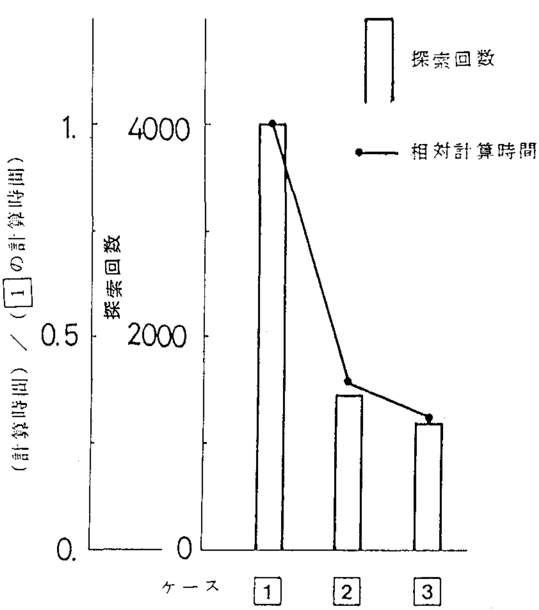


Fig.3　探索回数，計算時間の比較

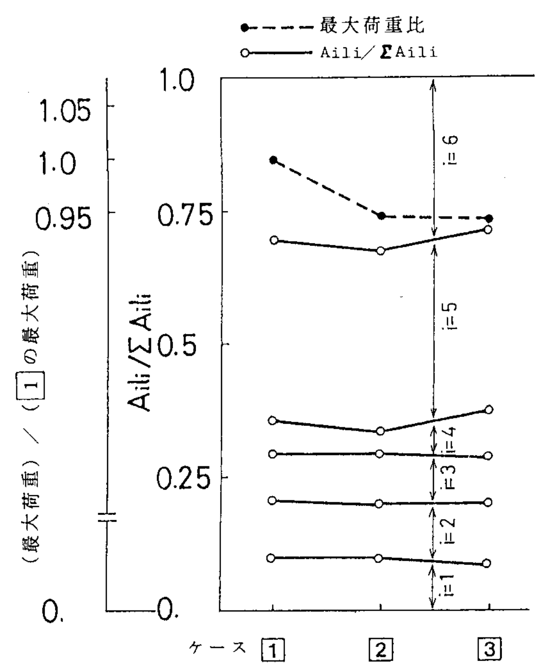


Fig.4　最大荷重および最適体積比率の比較