土木学会第47回年次学術講演会(平成4年9月)

Ⅰ-63　　鋼梁－柱の設計における離散性とGAの応用に関する一考察

室蘭工業大学　正　員　杉本博之　学生員　杉本治暁
東京都立大学　正　員　野上邦栄

1．まえがき　　最適設計法を用いる構造設計は、断面力、剛性等の最適配分と部材断面の決定を同時に行う設計法であると考えることができる。断面力の最適配分を考慮しない設計の最適性が保証されないことは、筆者の一人により、既製形鋼を用いる平面骨組構造物の設計を例にとり指摘されている[1)]。

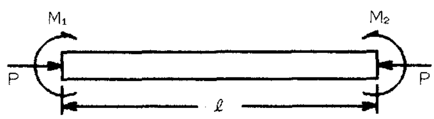
一方、全応力設計を基本とする鋼梁－柱の設計においては、仮定した断面の下での断面力に対して、各部材の断面の設計が行われる。そこでは、断面力、剛性の最適配分は考慮されていないが、設計法としては簡便であり、安全側の設計を与えること等の理由により、現在でも骨組構造物の設計の主流をなしている。その設計法における断面決定の部分だけに、数理計画法による最適化手法を用いることのメリットは、設計過程を合理的にできるという以外にはなく、実際にはそれほど厳密に極値を追求しなくてもトータルには大きな差はなく、また、扱うべき変数は離散値であるので、関数の連続性の保証の下でその微係数の情報を用いる数理計画法の適用に無理があるのは、多くの実務者、研究者の指摘の通りである。しかし、巨大な構造物も、結局は一つ一つの部材から構成されているものであり、精密な構造解析も、その結果を反映する同程度の精密な設計法があって初めて価値が出てくるのではないかと考える。部材断面の決定も、力学系が簡単なもの、あるいは従来からの蓄積がデータベースとして使用できるものは問題がないが、それ以外の場合は、上記のように結局離散値の組合せ最適化問題となるので、複雑な問題を生じる可能性がある。

筆者の一人は、離散的最適化問題を解く手法としてGA（遺伝的アルゴリズム）の研究を進めてきた[2)]が、上記のように鋼梁－柱の断面決定は、①厳密な最適性の保証は必要なく、ある程度の最適性の保証があれば良い、②組合せ最適化問題を解く頑健な手法、また③理論的に簡単であるという3条件を満足する手法としてGAは要件を満足していると考えられたので、その応用を試みたものである。

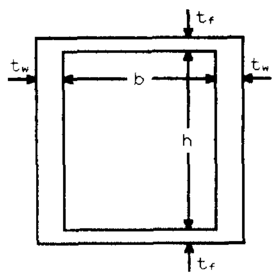
なお、ここでいう最適性とは、設計者が意思決定に当たって考慮する価値基準をいうのであり、コストミニマムでも、重量最大化でも、強度最大化でも良いものであり、本文の記述を拘束するものでは一切ない。

2．長方形箱形鋼梁－柱の設計

本研究においては、右図に示す長方形箱形断面の鋼梁－柱の設計を考える。腹板高hは2bとしている。この断面決定問題は、以下のように最適化問題として定式化される。



図－1　梁－柱部材



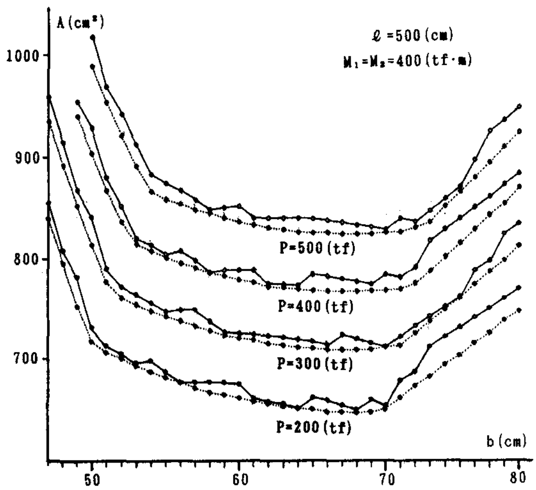
図－2　長方形箱形断面

○目的関数　：　$A=(b+2t_w)(h+2t_f)-bh \longrightarrow \min$　（1）

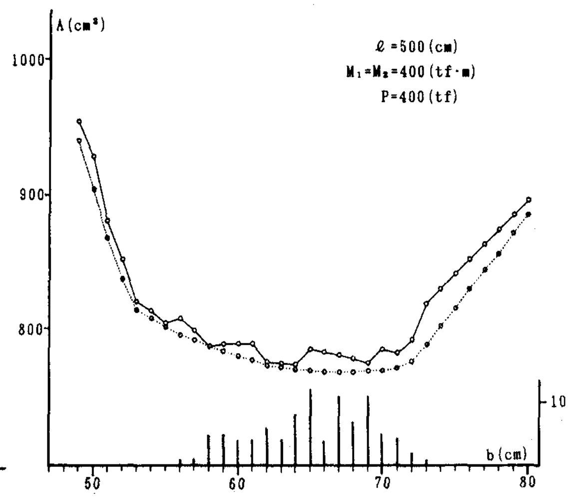
○制約条件[3)]：　最小板厚制限、最大細長比制限、最大幅厚比制限
安定照査式制限、強度照査式制限（これらの条件は、すべて道路橋示方書に従っている）

○設計変数：b、t_f、t_w

3．板厚を離散化することによる設計空間の離散性　　板厚を連続量とした場合と離散量とした場合の結果を比較するために、列挙法により設計を求めた。フランジ幅は、45cm～80cmまで1cm刻みで与えた。フランジ板厚t_fは、15mm～50mmの範囲を△t（mm）刻みで与え、腹板厚t_wは8mm～25mmの範囲をやはり△t（mm）刻みで与え、すべての組合せを検討する列挙法により各フランジ幅に対して式（1）を最少にするt_fとt_wの組合せを求めた。すべての組合せは、$(35+\Delta t)(17+\Delta t)/(\Delta t)^2$だけあるが、その断面積をすべて計算し、値の少ない順に制約条件式を計算し、最初にすべての制約条件を満足した組合せをあるbに対する設計とした。△tは1mmと0．1mmの場合を計算したが、前者が離散的変数



図－３　部材断面積とフランジ幅ｂの関係



図－４　P=400tf の場合のＧＡによる収束状況

に対する設計、後者が連続的変数に対する設計と考えることができる。ℓ＝５m、M_1 ＝M_2 ＝400tfmの場合を例に取り、Ｐ＝200 ～500 tfの場合の計算結果を図－３に示した。　図の点線が連続的変数による結果を示し、実線が１mm刻みの離散的変数に対する結果である。図より、1)連続、離散に関係なく全体に底の平らな曲線であることと、2)離散的変数の場合には、曲線の凹凸がかなりあることが指摘される。1)より、採用すべきフランジ幅の範囲はかなり広いこと、つまり、厳密に極値を求める必要性はないこと、2)より、板厚を離散的な変数と考える場合には、関数の微係数を用いる数理計画法の適用は困難なことがわかる。

なお、曲線の平らなところでも、また両側のかなり断面積が大きいところでも、アクティブな制約条件はほとんど同じであるという結果が得られており、何らかの最適性を保証する手法を用いなければ、考慮すべき評価基準に対してかなり不経済な設計をする可能性が残ることも指摘される。

４．単純ＧＡの応用の試み　　単純ＧＡは、生物の進化の過程を簡単な数理モデルに置き換え、それを種々の最適設計問題、学習等に応用しようという理論である。連続的変数も扱うことが可能であるが、それよりも、離散的変数、組合せ最適化問題、多峰性関数等従来困難とされていた問題に適している手法と考えられる。また、関数の微係数は必要なく、多点から多点への集団的な最適化の過程に特徴がある。詳細[2)]は省略し、一般に単純ＧＡといわれているものを本研究の設計問題に応用した結果の一部を図－４に示す。ＧＡは、現在まだ多くのパラメータ（交叉方法、突然変異の確率等々）があり整理されていないが、それらの種々の組み合わせ９６ケースの計算を行い、各フランジ幅ｂを最適設計としたケースの数を図に棒グラフで示している。図に示すように必ずしも全域的な最適化には多く収束していないが、平らな曲線のほぼ底部に多く収束し、実用的には十分な精度で解が得られていることがわかる。筆者の一人が提案している「生長オペレータ」を用いると、全域的最適解に収束する可能性はかなり高まるが、今回は考慮していない。

５．あとがき　　ＧＡは、理論的には、従来の数理計画法に比べて格段に簡単であり、ある程度の頑健さも兼ね備えている。現在、精力的に他の工学分野で研究されているように、鋼構造物の設計法としても工学的価値は高いと考えられ、設計法の一つの選択肢として今後の研究が必要ではないかと考えられる。

参考文献　　１）杉本博之・山本洋敬：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）杉本博之・鹿汴麗：トラス構造物の離散的最適化問題へのＧＡの応用に関する基礎的研究、第10回システム工学部会研究会資料、1992.　３）杉本博之・野上邦栄：最小重量設計法による鋼構造部材の耐荷力関連規定の比較研究、構造工学論文集、Vol.38A 、1992.