

組合せ部材を用いる平面骨組構造物の全応力設計について

北海学園大学 正員 杉本博之、東京都立大学 正員 野上邦栄、前田建設 正員、杉本治曉

1. まえがき 全応力設計とは、全応力設計法で得られる設計とここでは定義する。全応力設計法とは、何らかの仮定の下で構造物を解析し、得られた断面力に対して各部材毎に断面を照査し、設定している仮定の下で照査式を満足する断面を求め(断面決定)、これらの繰り返しの過程で得られた収束解を断面寸法とする設計法と定義し、現行の平面骨組構造物の設計は、基本的にはこの方法でなされていると考えられる。

筆者らは、すでに既製形鋼を用いる平面骨組構造物において、断面決定に列举法を用い、数値実験的に全応力設計を検討した。その結果、一構造系において、多数存在する全応力設計の鋼材総容積の値が広く分布すること等より、従来全応力設計に対して暗黙の内に了解している、「唯一性」、「信頼性(最良の設計が得られ易い)」、「最適性」の保証がないことを示した^{1) 2)}。一方、組合せ部材は、鋼板を溶接して断面を形成する部材であり、最適設計法を用いる場合は、板厚、板幅は連続量として扱われていたものである。しかし、板厚には規格があり、板幅も製作の精度等を考えると完全な連続量ではない。このわずかな離散性が全応力設計にどのような影響を及ぼすかをやはり数値実験的に検討した結果、既製形鋼を用いる場合程ではないが、やはり全応力設計の多数性を得たので、計算結果の一例と共に発表する次第である。

2. 断面決定と全応力設計 組合せ部材の断面は、図-1に示す正方形箱形断面とする。図の b 、 t が設計変数で、図-2に示す列举法により各断面毎に求めるものとする。板幅 B は、1 cm刻みの値のみを取るものとし、板厚 t は、以下に示す16種類の値のみを取るものとする。

取り得る板厚の値: 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 19, 22, 25, 28, 32, 34, 36, 38 (mm)

図-2の中の、 $t = t^{(i+1)}$ は、上記の板厚の並びの一つ上の板厚を用いることを意味する。鋼種はSS41を用いている。

これらの値を、各部材毎にランダムに1000組与え、それらを初期設計として全応力設計法の収束計算を行い、得られた結果を集計して考察している。本研究の全応力設計法の手順は、以下ようになる。

①初期設計を与えて構造解析をし各部材の断面力を計算し、また有効座屈長を求める。②各部材の断面力と有効座屈長の下で、図-2に示した流れにしたがって、照査式(道路橋示方書)を満足し、かつ断面積最少の b 、 t を決定する。これを全部材について行う。③新しく得られた断面寸法の下で構造解析を行い、各部材の断面力と、新しい断面寸法に従って修正された有効座屈長に対して、断面の照査を行う。④新しい設計が許容設計であり、かつ前回の設計と一致すれば全応力設計が得られたことになる。そうでなければ新設計を全設計として②へ返る。

この全応力設計法を、1000組の初期設計に対して行い、結果を集計している。全応力設計の他に、途中で得られる許容設計が全応力設計よりも良ければ、それも集計して考察の対象としている。

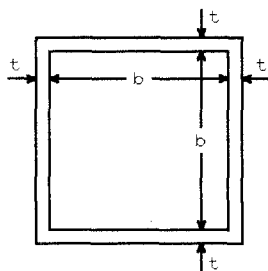


図-1 正方形断面

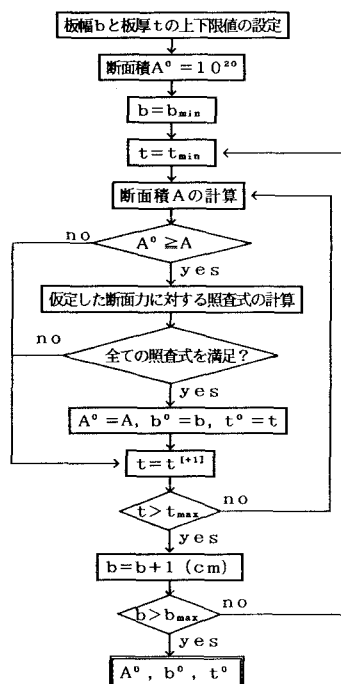


図-2 断面決定のフロー

3. 計算結果と考察 幾つかの構造系において、多くの計算を行ったが、ここでは、図-3に示す5層ラ

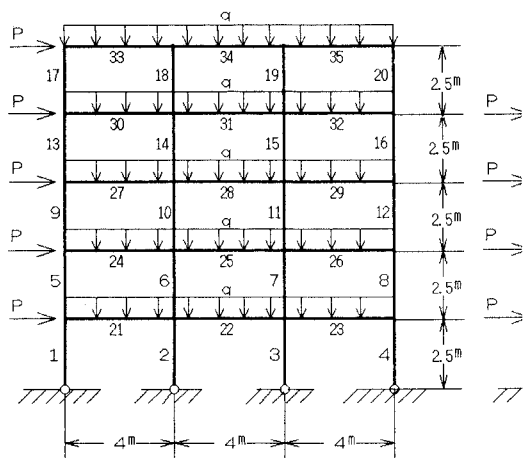


図-3 5層ラーメン

ーメンの結果の一部を説明する。

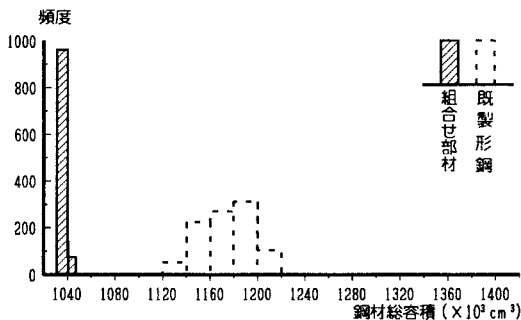
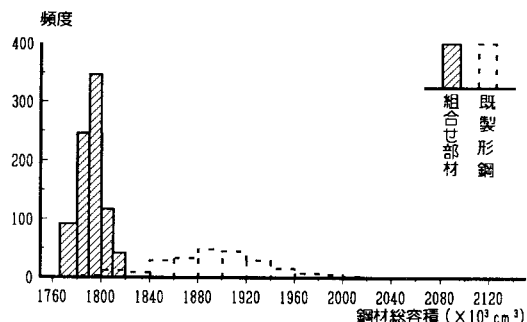
図-3の5層ラーメンは、左右対称の位置にある部材は同一断面としているので、決めるべき断面寸法の数40となる。水平荷重 P は、5、10、20(tf)の3種類、垂直荷重 q は、2.5、5、7.5(tf/m)の3種類の計9ケースの荷重条件を考慮したが、それらの内、 $q=5$ tf/mで、 $P=5$ tfと20tfの2ケースについて、結果を図-4と図-5に示した。

$P=5$ tfの場合は、得られた全応力設計の総数は993、種類は495、また、7ケースにおいて振動したが許容設計が得られ、全応力設計と許容設計の総和は1036、種類は533であった。全応力設計と許容設計の総和が1000を越すのは、全応力設計が得られた過程で許容設計が得られた場合があるからである。 $P=20$ tfでは、得られた全応力設計の総数は343、種類は327、439ケースにおいて振動し、内343ケースで許容解が得られた。全応力設計と許容設計の総数は844、種類は815であった。まったくランダムに発生させた1000組の初期設計に対する結果であるが、他の例でもまったく同様の結果が得られており、組合せ部材においても、全応力設計法の唯一性は保証されないことが指摘される。

図-4、図-5は、これらの全応力設計と許容設計の両方の鋼材総容積の値を集計し、既製形鋼(H鋼)を用いた場合と比較して示してある。 $P=5$ tfの場合は、 $1.031 \sim 1.040 \text{ m}^3$ (既製形鋼の場合は、 $1.094 \sim 1.264 \text{ m}^3$)に分布し、 $P=20$ tfの場合は、 $1.766 \sim 1.831 \text{ m}^3$ (既製形鋼の場合は、 $1.789 \sim 2.167 \text{ m}^3$)に分布している。分布幅と最小値との割合は、 $P=5$ tfで0.9%(15.5%)、 $P=20$ tfで3.7%(21.1%)となる。既製形鋼を用いる場合よりは、1オーダ分布幅は狭くなるが、なお少なくない分布幅を持っていることがわかる。これらの分布図は、最適設計(ここでは、全応力設計と許容設計の中で最も鋼材総容積が少ない設計と定義する)が得られる確率を表す図とも考えることができるが、最適設計から1%以内の設計が得られたのは $P=5$ tfの場合で986ケース、 $P=20$ tfの場合で172ケースであり、それぞれ、99%、17%の確率で最適設計が得られることになる。前者は受け入れられ得る値であるが、後者はそうではないであろう。

あとがき 全応力設計法は、部材レベルの照査法を前提とした設計法であり、効率的、簡便であることは認めた上で、その問題点を数値計算により指摘した。今後、構造の全体系の耐力力等が照査の対象になるときは、対応に問題が残ると考えられるが、本文が、今後の設計法の確立に参考になれば幸いである。

参考文献 1) 杉本・山本：骨組み構造物の離散的な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・杉本・鹿：既製形鋼を用いる平面骨組構造物の全応力設計の特性とGAの応用に関する研究、構造工学論文集、Vol.40A、1994。

図-4 鋼材総容積の頻度分布 ($P=5$ tf)図-5 鋼材総容積の頻度分布 ($P=20$ tf)