

## I-16

## 比較的悪条件のトラス構造物の離散的最適設計に関する研究

室蘭工業大学工学部 学生員 山本 洋敬

室蘭工業大学工学部 正 員 杉本 博之

## 1. まえがき

骨組構造物の部材は、集成部材として設計される場合と、既製形鋼が用いられる場合とがある。集成部材を用いる場合は、その断面寸法あるいは断面積等は連続変数として扱うことができ、最適設計法の対象になり易い。一方、既製形鋼を用いる場合には、それぞれの断面を表す値は離散量となり、最適化問題としては難しくなる。

既製形鋼としては、JIS G 3192に定められているH形鋼と、JIS G 3444に定められている一般構造用炭素鋼鋼管（以下、鋼管と略する）を本論文では考える。

これらの既製形鋼を用いる構造物の設計法として、一般にとられている方法は、まず各部材毎に適当な既製形鋼を仮定し、構造解析を行う。その結果得られた断面力に対して、それらをぎりぎり満足する既製形鋼を各部材毎に求め、その結果が、解析に用いた断面と一致するまで繰返すというものであると考えられる。この方法を本論文では、離散的全応力設計法、得られた結果を離散的全応力設計と呼ぶことにする。この方法がとられる暗黙の了解として、そのような離散的全応力設計は一つであり、かつ最小の鋼重を与えるはずだという、証明されていない認識がある。

しかし、著者らは、トラス構造物および平面骨組構造物における数値実験的手法により、離散的全応力設計が複数あることを示し、かつ複数の離散的全応力設計の総鋼重の間にはかなりの差があるケース（場合によっては30%の差）があることを示した。<sup>1) 2)</sup>

また、著者の一人は、近似の概念を利用したトラス構造物の離散的設計法を発表し<sup>3)</sup>、その中で、離散的全応力設計がかならずしも最適設計にならない例があることを示した。

これらの研究においては、上記の JISに定められている種々の断面の内、同程度の断面積であれば、許容応力度の大きい断面のみを選んで計算した。いわば、離散の問題としては、性質の良い問題を設定していたとも考えられる。

そこで、本研究においては、JIS G 3444に定められている鋼管の内、部材断面積と許容応力度の関係は無視し、入手し易い断面のみを選択し、その中での離散的最適設計について検討を加えた。結果的に、それらの断面は、部材断面積が大きいからといって、必ずしも許容応力度が大きいことはなく、かなり離散の程度が高い問題になっている。また、より実際的な問題が設定されたと考えることができる。

数値計算は、種々のトラス構造物に対して行い、離散的全応力設計法と文献3)で提案している離散的最適設計法の両方を適用し、離散的全応力設計が複数存在すること、それらは必ずしも最適でないこと、及び文献3)の方法が、本論文の悪条件の離散的最適化問題にも十分対応すること等を説明するものである。

## 2. 離散的最適設計法と離散的全応力設計法

本研究のトラス構造物の離散的最適化問題は、次のように定義される。

$$\text{○目的関数: } 0(\{I\}) = \sum_{i=1}^n c_i \cdot l_i \cdot A(I_i) \quad \longrightarrow \quad \min \quad (1)$$

○制約条件: 制約条件は応力（軸力）のみを考える。それは以下のように表される。

---

On Discrete Optimum Design of Truss Structures Using the Dispersedly Distributed Ready-Made Shape Steels, by Hiroyuki YAMAMOTO and Hiroyuki SUGIMOTO

$$\cdot \text{応力} \quad g_j(\{I\}) = F_{ik}(\{I\}) - F_{ai}(\{I\}) \leq 0 \quad (i=1 \sim NM, k=1 \sim NLC) \quad (3)$$

$$\bigcirc \text{上下限值: } I_{\min} \leq I_i \leq I_{\max} \quad (i=1 \sim NDV) \quad (4)$$

$$\bigcirc \text{設計変数: } \{I\} = \{I_1, I_2, \dots, I_n\} \quad (5)$$

ここで、0 は目的関数、 $I_i$  は設計変数  $i$  の値であり、既製形鋼の断面ランクである。ここで断面ランクとは任意の数選択した既製形鋼を断面積の小さい順に並べ換え番号付けを行ったものである。 $\{I\}$  は設計変数のベクトルである。 $A(I_i)$  は部材  $i$  のランク  $I_i$  に対応する断面積である。 $n$  は設計変数の数、 $l_i$  は設計変数  $i$  にリンクされている部材の部材長の総和である。 $c_i$  は設計変数  $i$  の鋼材あるいは鋼重の単位体積当たりの価値を表す量である。 $c_i (i=1 \sim n)$  が 1 の場合は 0 は骨組構造物の全容積となる。 $g_j$  は制約条件、 $m$  は制約条件の総数である。 $F_{ik}$  は荷重条件  $k$  における部材  $i$  の軸力、 $F_{ai}$  は部材  $i$  の許容軸力、 $NM$  は部材数、 $NLC$  は荷重条件数である。 $I_{\min}$ 、 $I_{\max}$  はそれぞれ使用する断面ランクの最小値、最大値を表している。

離散的最適設計法は列挙法を基本としているが、これに対して離散的全応力設計法は、ある設計変数にリンクされている部材の少なくとも 1 つにおいて、少なくとも 1 つの荷重条件下で、式 (3) に示す条件の内少なくとも 1 つをできるだけアクティブに近い状態で断面を決定するという方法である。

本研究は、既製形鋼の入手しやすい断面を用いて離散的全応力設計法<sup>3)</sup>と離散的全応力設計法を行い、得られた結果について検討および考察を加えるものである。制約は応力の条件のみとした。

### 3. 鋼管の断面ランクについて

今回、本研究で計算に使用した既製形鋼は JIS 規格に定められている鋼管である。JIS 規格には鋼管は 71 種類の断面が定められているが、ここではすべての断面を使用することはせず、断面積が  $50 \text{ cm}^2$  以下となる断面をカットした 47 断面の内、入手しやすい 29 種類の断面を断面積の小さい順に並べ換え使用した。

表-1 は、使用した断面の断面積と断面ランクの関係を表したものである。

図-2 は、選択した断面の部材長を  $10.0 \text{ m}$ 、鋼種を STK50 とした時の断面積と許容軸方向圧縮応力度の関係を表したものである。

この図によると、断面積が増加しても許容軸方向圧縮応力度が増加するとはかぎらず、同程度の断面積でも許容軸方向圧縮応力度にかなりのばらつきがある。このような断面を用いる最適化問題は、同じ離散性を持つ場合でもその離散性は高く、解を得るのが困難となる、いわゆる悪条件の問題であると考えられる。一方、入手しやすい鋼材であるため、より実際的な問題を設定することができたとも考えられる。

表-1 断面ランクと断面積の関係

| ランク | 断面積 ( $\text{cm}^2$ ) | ランク | 断面積 ( $\text{cm}^2$ ) |
|-----|-----------------------|-----|-----------------------|
| 1   | 53.61                 | 16  | 209.40                |
| 2   | 54.08                 | 17  | 217.90                |
| 3   | 67.55                 | 18  | 238.20                |
| 4   | 70.21                 | 19  | 239.70                |
| 5   | 75.41                 | 20  | 272.80                |
| 6   | 86.29                 | 21  | 278.70                |
| 7   | 99.73                 | 22  | 298.40                |
| 8   | 118.50                | 23  | 319.20                |
| 9   | 133.60                | 24  | 349.40                |
| 10  | 148.80                | 25  | 359.80                |
| 11  | 157.10                | 26  | 400.30                |
| 12  | 163.90                | 27  | 400.50                |
| 13  | 177.30                | 28  | 451.60                |
| 14  | 179.10                | 29  | 502.70                |
| 15  | 197.60                |     |                       |

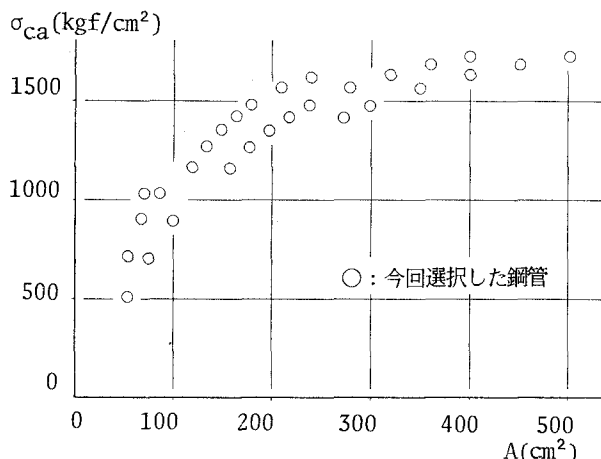


図-1 断面積と許容軸方向圧縮応力度の関係

#### 4. 計算結果

##### (1) 計算に用いた構造物について

本研究では、以下に示す6種類の構造物の離散的最適設計を行った。図は、それぞれの構造物の形状と荷重系を示している。

図-4と図-5の10部材トラスは、構造は同じであるが、荷重系が若干異なる。

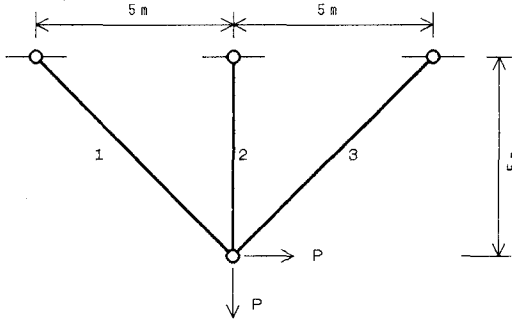


図-2 3部材トラス

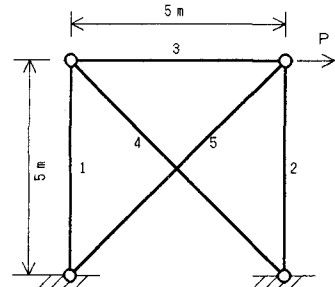


図-3 5部材トラス

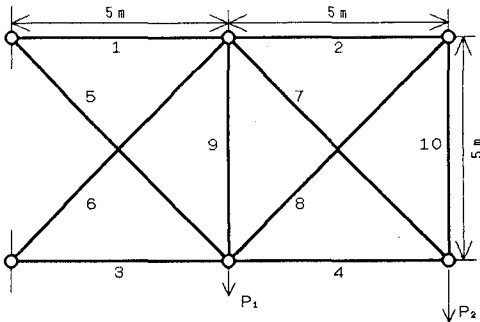


図-4 10部材トラス ( $P_1 \neq P_2$ )

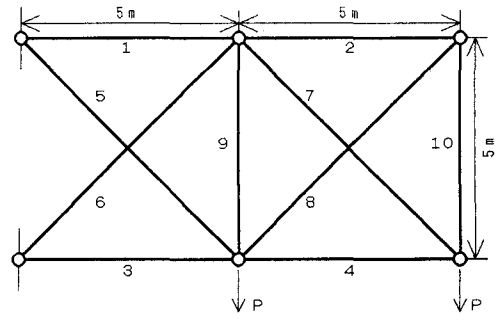


図-5 10部材トラス ( $P = P_1 = P_2$ )

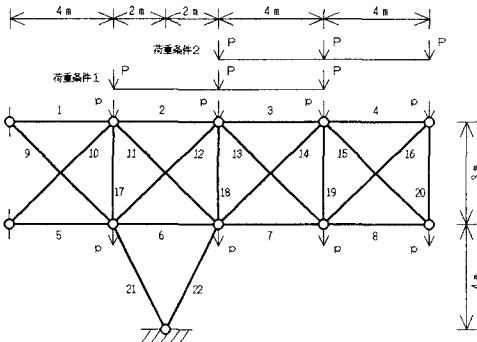


図-6 22部材トラス

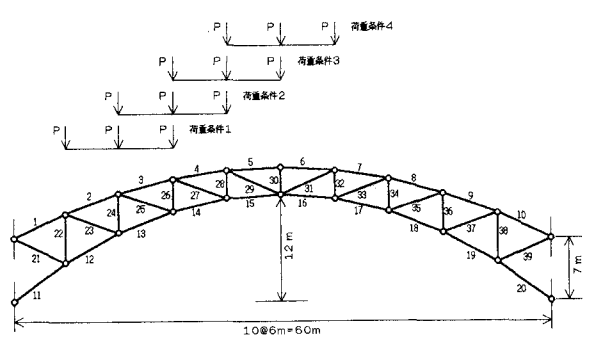


図-7 39部材トラス

(2) 計算結果について

次に図-2～図-7に示した6種類の構造物の計算結果を示す。表は、順に設計変数の番号、各設計変数に対応する部材番号、離散的全応力設計法により得られた各設計変数に対応する断面ランクの組合わせ、離散的最適設計法により得られた組合わせを表している。目的関数は各全応力設計あるいは最適設計に対応する構造物の鋼材総容積であり、初期設計数は乗算合同式<sup>5)</sup>により一様乱数を発生させ初期設計を与えた数、収束数は、各全応力設計に収束した数を表している。

i) 3部材トラス

図-2に示す3部材トラスの設計変数の数を2、3とした時の計算結果をそれぞれ表-2、3に示す。荷重は、設計変数の数が2の場合は、 $P=282.8 \text{ tf}$ 、3の場合は、 $P=353.6 \text{ tf}$ である。

これによると、どちらの場合においても全応力設計は1種類であるが、最適設計で得られた断面ランクの組合わせと異なっている。全応力設計の目的関数は最適設計の目的関数の、2変数の場合は1.09倍、3変数の場合は1.07倍となっている。

ii) 5部材トラス

図-3に示す5部材トラスの結果を示す。設計変数の数は5である。荷重を、 $P = 100 \text{ tf}$ 、 $200 \text{ tf}$ とした時の計算結果を表-4、5に示す。表-4の場合、全応力設計の結果は1種類存在し、最適設計の結果と一致している。表-5の場合、全応力設計は3種類存在し、その中で最も目的関数の多い結果は最も少ない結果の1.04倍であった。この結果では、全応力設計の最小の組合わせと最適設計の組合わせは一致しておらず、全応力設計の最小の組合わせの目的関数は最適設計の結果の1.02倍であった。また、全応力設計の最小値と最適設計の部材4の断面ランクの差は2であった。

iii) 10部材トラス

図-4および5に示す10部材トラスの結果を示す。設計変数の数は10である。荷重は、図-4の場合

表-2 3部材2変数トラス  $P = 282.8 \text{ tf}$

| 設計変数  | 1   | 2 | 目的関数              | 収束数      |
|-------|-----|---|-------------------|----------|
| 部材    | 1-3 | 2 | ( $\text{cm}^3$ ) | 初期設計数    |
| 全応力設計 | 15  | 1 | 306253            | 900/ 900 |
| 最適設計  | 14  | 2 | 280326            |          |

表-3 3部材3変数トラス  $P = 353.6 \text{ tf}$

| 設計変数  | 1  | 2 | 3 | 目的関数              | 収束数        |
|-------|----|---|---|-------------------|------------|
| 部材    | 1  | 2 | 3 | ( $\text{cm}^3$ ) | 初期設計数      |
| 全応力設計 | 20 | 1 | 1 | 257612            | 3000/ 3000 |
| 最適設計  | 18 | 3 | 2 | 240448            |            |

表-4 5部材5変数トラス  $P = 100.0 \text{ tf}$

| 設計変数  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 目的関数              | 収束数        |
|-------|---|---|---|---|---|-------------------|------------|
| 部材    | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | ( $\text{cm}^3$ ) | 初期設計数      |
| 全応力設計 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 166088            | 5000/ 5000 |
| 最適設計  | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 166088            |            |

表-5 5部材5変数トラス  $P = 200.0 \text{ tf}$

| 設計変数  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 目的関数              | 収束数        |
|-------|---|---|---|---|---|-------------------|------------|
| 部材    | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | ( $\text{cm}^3$ ) | 初期設計数      |
| 全応力設計 | 1 | 6 | 1 | 6 | 7 | 228291            | 3672/ 5000 |
|       | 1 | 7 | 1 | 3 | 8 | 235032            | 1018/ 5000 |
|       | 1 | 7 | 1 | 4 | 8 | 236913            | 310/ 5000  |
| 最適設計  | 1 | 7 | 1 | 4 | 7 | 223641            |            |

表-6 10部材10変数トラス  $P_1 = 100.0 \text{ tf}$ 、 $P_2 = 200.0 \text{ tf}$

| 設計変数  | 1  | 2 | 3  | 4 | 5  | 6  | 7  | 8 | 9 | 10 | 目的関数              | 収束数        |
|-------|----|---|----|---|----|----|----|---|---|----|-------------------|------------|
| 部材    | 1  | 2 | 3  | 4 | 5  | 6  | 7  | 8 | 9 | 10 | ( $\text{cm}^3$ ) | 初期設計数      |
| 全応力設計 | 20 | 1 | 19 | 9 | 9  | 15 | 11 | 3 | 1 | 1  | 796510            | 613/ 8000  |
|       | 20 | 1 | 19 | 9 | 9  | 16 | 11 | 3 | 1 | 1  | 804854            | 458/ 8000  |
|       | 20 | 1 | 19 | 9 | 10 | 15 | 11 | 3 | 1 | 1  | 807258            | 24/ 8000   |
|       | 20 | 1 | 19 | 9 | 9  | 16 | 12 | 3 | 1 | 1  | 809663            | 1323/ 8000 |
|       | 20 | 1 | 20 | 8 | 10 | 14 | 10 | 6 | 1 | 1  | 810559            | 5054/ 8000 |
| 最適設計  | 20 | 1 | 20 | 9 | 10 | 14 | 11 | 3 | 1 | 1  | 810727            | 528/ 8000  |
|       | 20 | 1 | 19 | 9 | 9  | 15 | 11 | 3 | 1 | 1  | 796510            |            |

表-7 10部材10変数トラス  $P = 100.0 \text{ tf}$

| 設計変数  | 1  | 2 | 3  | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 目的関数              | 収束数        |
|-------|----|---|----|---|---|---|---|---|---|----|-------------------|------------|
| 部材    | 1  | 2 | 3  | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | ( $\text{cm}^3$ ) | 初期設計数      |
| 全応力設計 | 10 | 1 | 12 | 3 | 8 | 8 | 3 | 3 | 1 | 1  | 533654            | 8000/ 8000 |
| 最適設計  | 10 | 1 | 10 | 3 | 7 | 9 | 3 | 2 | 3 | 1  | 520955            |            |

は、 $P_1 = 100 \text{ tf}$ 、 $P_2 = 200 \text{ tf}$ 、図-5の場合は、 $P = 100 \text{ tf}$ 、 $150 \text{ tf}$ 、 $200 \text{ tf}$ をそれぞれ与えて計算した。

それらの計算結果を表-6、7、8、9に示した。表-6の場合、全応力設計は6種類存在し、目的関数の最大値は最小値の1.02倍であった。収束数より判断すると、最小の全応力設計に収束する可能性は少ない。この結果では全応力設計の最小値と最適設計の結果は一致している。表-7の場合、全応力設計の結果は1種類であるが、最適設計により得られた結果と異なり、全応力設計で得られた目的関数は、最適設計で得られた目的関数の1.02倍で

あった。表-8の場合、全応力設計は4種類存在し、目的関数の最大値は最小値の1.02倍であった。また、最大の目的関数の設計に最も多く(50%)収束している。この場合、全応力設計の最大の目的関数は最適設計の1.03倍であった。この最適設計の結果において部材8の断面ランクの値が5であったが、この点については、次節で考察を加える。表-9の場合、全応力設計は6種類存在し、目的関数の最大値は最小値の1.03倍であった。この場合、全応力設計の最小値は最適設計の結果と一致していることが確認できる。

iv) 22部材トラス

図-6に示す22部材トラスの計算結果を表-10に示す。設計変数の数は8である。荷重は、 $p = 2 \text{ tf}$ 、 $P = 50 \text{ tf}$ である。この場合、全応力設計は2種類存在し、目的関数の最大値は最小値の1.1倍であった。この場合、全応力設計の最小値と最適設計の結果は一致している。

v) 39部材トラス

図-7に示す39部材トラスの結果を示す。設計変数は6である。荷重を  $P = 60 \text{ tf}$ 、 $100 \text{ tf}$ とした時の計算結果を表-11、12に示す。表-11の場合、全応力設計は1種類であるが、最適設計の結果の方が若干少ない結果になっている。表-12の場合、全応力設計は3種類し、目的関数の最大値は最小値の1.02倍であった。この場合、全応力設計の最小値と最適設計の結果は一致している。

表-8 10部材10変数トラス  $P = 150.0 \text{ tf}$

| 設計変数  | 1  | 2 | 3  | 4 | 5  | 6  | 7 | 8 | 9 | 10 | 目的関数              | 収束数        |
|-------|----|---|----|---|----|----|---|---|---|----|-------------------|------------|
| 部材    | 1  | 2 | 3  | 4 | 5  | 6  | 7 | 8 | 9 | 10 | ( $\text{cm}^3$ ) | 初期設計数      |
| 全応力設計 | 15 | 1 | 18 | 7 | 13 | 10 | 8 | 3 | 1 | 1  | 710325            | 380/ 8000  |
|       | 16 | 1 | 18 | 7 | 13 | 10 | 8 | 3 | 1 | 1  | 716225            | 344/ 8000  |
|       | 15 | 1 | 19 | 7 | 15 | 10 | 8 | 3 | 1 | 1  | 725429            | 3301/ 8000 |
|       | 16 | 1 | 18 | 7 | 13 | 12 | 8 | 3 | 1 | 1  | 726902            | 3975/ 8000 |
| 最適設計  | 15 | 1 | 18 | 6 | 13 | 10 | 8 | 5 | 1 | 1  | 709163            |            |

表-9 10部材10変数トラス  $P = 200.0 \text{ tf}$

| 設計変数  | 1  | 2 | 3  | 4 | 5  | 6  | 7  | 8 | 9 | 10 | 目的関数              | 収束数        |
|-------|----|---|----|---|----|----|----|---|---|----|-------------------|------------|
| 部材    | 1  | 2 | 3  | 4 | 5  | 6  | 7  | 8 | 9 | 10 | ( $\text{cm}^3$ ) | 初期設計数      |
| 全応力設計 | 20 | 1 | 23 | 9 | 18 | 15 | 11 | 3 | 1 | 1  | 910224            | 998/ 8000  |
|       | 20 | 1 | 23 | 9 | 18 | 16 | 11 | 3 | 1 | 1  | 918568            | 699/ 8000  |
|       | 20 | 1 | 23 | 8 | 20 | 14 | 10 | 6 | 1 | 1  | 921440            | 210/ 8000  |
|       | 20 | 1 | 23 | 9 | 20 | 14 | 11 | 3 | 1 | 1  | 921608            | 316/ 8000  |
|       | 20 | 1 | 23 | 9 | 18 | 16 | 12 | 3 | 1 | 1  | 923376            | 2827/ 8000 |
|       | 20 | 1 | 24 | 8 | 20 | 14 | 10 | 6 | 1 | 1  | 936540            | 2950/ 8000 |
| 最適設計  | 20 | 1 | 23 | 9 | 18 | 15 | 11 | 3 | 1 | 1  | 910224            |            |

表-10 22部材8変数トラス  $p = 2.0 \text{ tf}$ 、 $P = 50.0 \text{ tf}$

| 設計変数  | 1   | 2   | 3   | 4   | 5       | 6        | 7  | 8  | 目的関数              | 収束数        |
|-------|-----|-----|-----|-----|---------|----------|----|----|-------------------|------------|
| 部材    | 1-4 | 2-3 | 5-8 | 6-7 | 9<br>16 | 17<br>20 | 21 | 22 | ( $\text{cm}^3$ ) | 初期設計数      |
| 全応力設計 | 1   | 7   | 1   | 6   | 4       | 1        | 1  | 9  | 663487            | 4852/10000 |
|       | 1   | 7   | 1   | 6   | 6       | 1        | 1  | 9  | 727807            | 5148/10000 |
| 最適設計  | 1   | 7   | 1   | 6   | 4       | 1        | 1  | 9  | 663487            |            |

表-11 39部材6変数トラス  $P = 60.0 \text{ tf}$

| 設計変数  | 1     | 2   | 3                       | 4        | 5             | 6             | 目的関数              | 収束数         |
|-------|-------|-----|-------------------------|----------|---------------|---------------|-------------------|-------------|
| 部材    | 1-2-3 | 4-5 | 11-12<br>13-14<br>19-20 | 14<br>17 | 22~38<br>2 刻み | 21~39<br>2 刻み | ( $\text{cm}^3$ ) | 初期設計数       |
| 全応力設計 | 10    | 12  | 10                      | 9        | 4             | 7             | 2885722           | 10000/10000 |
| 最適設計  | 10    | 13  | 10                      | 8        | 4             | 7             | 2881297           |             |

表-12 39部材6変数トラス  $P = 100.0 \text{ tf}$

| 設計変数  | 1     | 2   | 3                       | 4        | 5             | 6             | 目的関数              | 収束数        |
|-------|-------|-----|-------------------------|----------|---------------|---------------|-------------------|------------|
| 部材    | 1-2-3 | 4-5 | 11-12<br>13-14<br>19-20 | 14<br>17 | 22~38<br>2 刻み | 21~39<br>2 刻み | ( $\text{cm}^3$ ) | 初期設計数      |
| 全応力設計 | 18    | 19  | 18                      | 15       | 8             | 10            | 4477382           | 5694/10000 |
|       | 18    | 20  | 18                      | 14       | 8             | 10            | 4512282           | 3746/10000 |
|       | 18    | 20  | 18                      | 15       | 8             | 10            | 4557383           | 560/10000  |
| 最適設計  | 18    | 19  | 18                      | 15       | 8             | 10            | 4477382           |            |

表-13 圧縮部材の許容軸力と作用軸力の関係

|           | 圧縮部材      | 3        | 4        | 6        | 8       |          |
|-----------|-----------|----------|----------|----------|---------|----------|
| 最適設計の結果   | 断面ランク     | 18       | 6        | 10       | 5       |          |
|           | 許容軸力 (tf) | -326.08  | -105.84  | -183.10  | -69.18  | (-76.19) |
|           | 作用軸力 (tf) | -324.71° | -105.17° | -177.15° | -63.40° |          |
| 1ランク下げた場合 | 断面ランク     | 18       | 6        | 10       | 4       |          |
|           | 許容軸力 (tf) | -326.08  | -105.84  | -183.10  | -76.19  | (-69.44) |
|           | 作用軸力 (tf) | -324.41° | -106.16× | -177.61° | -62.00° |          |
| 2ランク下げた場合 | 断面ランク     | 18       | 6        | 10       | 3       |          |
|           | 許容軸力 (tf) | -326.08  | -105.84  | -183.10  | -69.44  | (-49.96) |
|           | 作用軸力 (tf) | -324.25° | -106.70× | -177.84° | -61.23° |          |

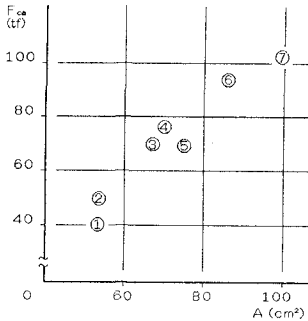


図-8 断面積と許容軸力の関係

### (3) 考察

ここで、表-8の10部材10変数トラスの最適設計の計算結果において、部材8の断面ランクが5と選ばれたことについて考察を加える。

図-8は、10部材トラスの部材8の断面積と許容軸力の関係を表わしたもので、図中の丸付数字は断面ランクの値を表わしている。この図によると、許容軸力は断面ランクの3もしくは4の方が断面ランクの5よりも大きく、前記の表-8に対応する最適設計においても、断面ランクの3もしくは4を選んだ方が目的関数の値が減少するのではないかという疑問があった。最適設計は断面ランクの5を選んでいる。

この結果について検討するために、部材8の断面ランクを、5から3に1つつ下げた場合の作用軸力と許容軸力の関係を表-13に示した。表中の○は作用軸力が許容軸力を満足していることを表わし、×は満足していないを表している。表の横の括弧内の数値は、部材8の断面ランクの1つ前の許容軸力の値を表している。この表によると、部材8の断面ランクを1つ下げた場合、2つ下げた場合のどちらの場合においても、部材8は作用軸力は許容軸力を満足する設計となっているが、部材4が許容軸力を満足しないことが確認できた。これより、表-8の最適設計の結果が妥当であることが説明された。

### 5. 結論

比較的悪条件の離散的なトラス構造物の最適化問題を設定し、筆者の一人が発表している離散的最適化手法の信頼性、離散的全応力設計の複数の存在、及び離散的全応力設計と最適設計の関係などについて考察を加えた。得られた主な事項を箇条書きにすると以下ようになる。

- 1) 本研究で設定した、離散性の高い断面を使用する場合においても、離散的全応力設計は複数存在することが確認された。当然、それらの目的関数の間には差がある。
- 2) 離散的最適設計の結果は、離散的全応力設計の結果（複数ある場合は、それらの内の最小値）より少ないか同じであった。離散的最適化問題の最適性は証明できないが、これらの結果より、本研究で用いた離散的最適化手法の信頼性は示されたと考える。

### 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，（掲載予定）
- 2) 山本洋敬・杉本博之：既製形鋼を用いる平面骨組構造物の全応力設計に関する一考察、土木学会第46回年次学術講演会講演概要集第1部、pp.804~805、1991。
- 3) 杉本博之：近似の概念を利用したトラス構造物の離散的最適設計法に関する研究、土木学会論文集、No.432/I-16、pp.79-88、1991。
- 4) (社)日本橋梁建設協会：'87 JASBC manualデザインデータブック、(社)日本橋梁建設協会、1987。
- 5) 森 正武：FORTRAN 77 数値計算プログラミング、岩波書店、1986。