

- 123 -

本研究では構造形式をも設計変数とする問題への拡張を企図しているため連続最適解が一意に決定されず、そこで次式に示す  $S$  値を最小とする解を最適と判定する最適性規準を用いる。

$S_{min}$  規準：

$$S = \sum (Z^A - Z_i^d)^2 + \sum (Z^W - Z_i^d)^2 \quad (2)$$

ここに、 $Z^A$ と $Z^W$ は式(3)に示す $Z$ 値を最小とする解を最適と判定する  $Z_{min}$  規準の解の算術平均値および加重平均値である。

$Z_{min}$  規準：

$$Z = \max Z_i^d \quad (3)$$

### 3. 数値実験対象構造

構造形式の離散値データには全 16 種類を設定する。図-2,3 の構造形式では表-1に示すスパン長によってそれぞれ5種類、図-4,5 の構造形式では表-2 に示すスパン長によってそれぞれ 3 種類。ただし、 $V1=10\text{tf}$ 、 $V2=20\text{tf}$ 、 $P_i=(L_i/12)\times 12\text{tf}$  とし、 $P_i$  は  $L_i/2$  点に作用する集中荷重とする。

設計変数  $X_1\sim X_4$  の離散値データは表-3 に示すようにそれぞれ 31 種類とする。

表-1 各構造形式のスパン長 (構造形式 1~10)

|      |       | スパン長(m) |     |     |
|------|-------|---------|-----|-----|
|      |       | L1      | L2  | L3  |
| 構造形式 | 1(6)  | 6       | 3   | 3   |
|      | 2(7)  | 5       | 4.5 | 2.5 |
|      | 3(8)  | 5       | 4   | 3   |
|      | 4(9)  | 5       | 3.5 | 3.5 |
|      | 5(10) | 4       | 4   | 4   |

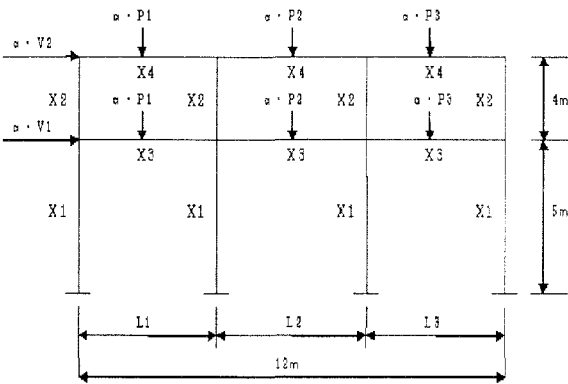


図-2 構造形式 1~5

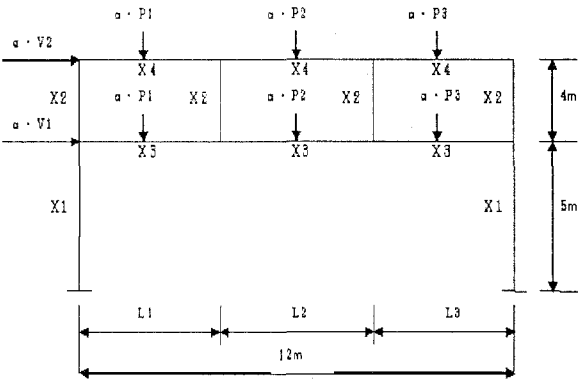


図-3 構造形式 6~10

表-2 各構造正式のスパン長 (構造形式 11~16)

|      |        | スパン長(m) |     |
|------|--------|---------|-----|
|      |        | L1      | L2  |
| 構造形式 | 11(14) | 6       | 3   |
|      | 12(15) | 5       | 4.5 |
|      | 13(16) | 5       | 4   |

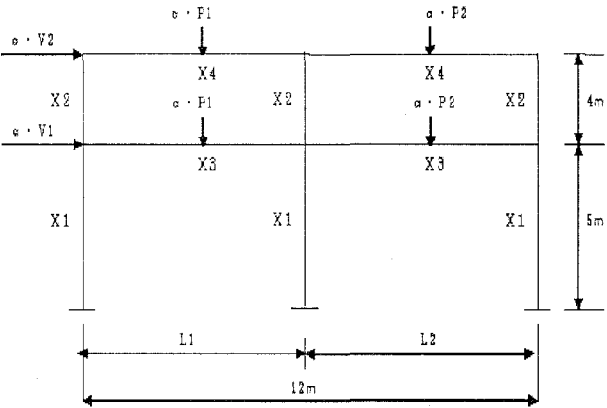


図-4 構造形式 11~13

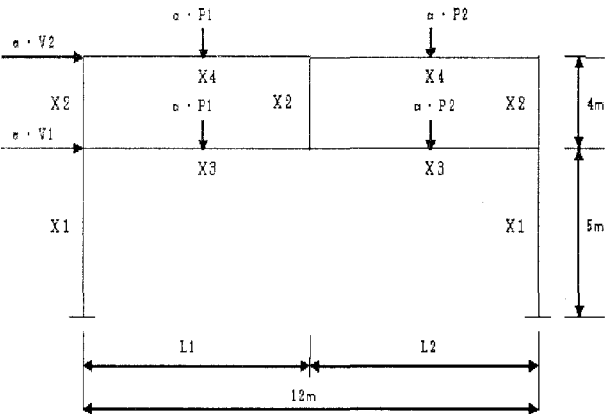


図-5 構造形式 14~16

表-3 離散値データ

| No. | MP    | No. | MP     | No. | MP    |
|-----|-------|-----|--------|-----|-------|
| 1   | 2.102 | 12  | 11.400 | 23  | 24.96 |
| 2   | 2.448 | 13  | 12.600 | 24  | 27.12 |
| 3   | 3.696 | 14  | 13.008 | 25  | 30.72 |
| 4   | 3.768 | 15  | 13.392 | 26  | 31.92 |
| 5   | 3.768 | 16  | 13.560 | 27  | 33.84 |
| 6   | 5.016 | 17  | 17.184 | 28  | 34.80 |
| 7   | 5.904 | 18  | 19.320 | 29  | 36.00 |
| 8   | 7.416 | 19  | 20.616 | 30  | 36.72 |
| 9   | 7.656 | 20  | 20.832 | 31  | 38.64 |
| 10  | 8.784 | 21  | 23.040 | -   | -     |
| 11  | 8.856 | 22  | 24.480 | -   | -     |

注) MP は全塑性モーメント(単位:  $\text{tf}\cdot\text{m}$ )

#### 4. 数値実験の方法と結果

2 層ラーメンの重量関数  $W (= \sum X_i \cdot L_i)$ ,  $X_i$  は設計変数で全塑性モーメント,  $L_i$  は設計変数  $X_i$  に対応する部材の部材長の合計) の最小化および崩壊荷重係数の最大化を目的関数とし, 塑性解析の静的定理に基づき平衡条件および降伏条件を制約とする 2 目的最適塑性設計問題を設定した。

まず, 最小化目的関数である重量関数の理想点と希求水準  $W_a$  を 0.0 と 1800.0 に固定し, 最大化目的関数である崩壊荷重係数の理想点を 10.0 に固定し, 希求水準  $\alpha_a$  を 0.1 刻みに 1.0 ~ 4.0 とし,  $S_{min}$  規準による解を求めた。次に, 重量関数の希求水準  $W_a$  のみを 200.0, 250.0, 500.0, 1000.0 と順次大きく設定して, 同様に解を求めた。得られた結果を表 4~8 に示す。各表において複数の解が得られたケースには網掛けを施している。なお最適化計算に用いた scsGA の計算パラメータは, 人口数 = 300, 交配個体数 30~60(31 ケース), 突然変異発生確率 0.1, 計算世代数 100 である。

表 4~8 に示す数値実験の範囲では構造形式 6~9 および 11~16 は最適解の構造形式として 1 ケースも出現せず, 全般に構造形式 5 が支配的であることがわかる。  $W_a=1000.0$ (表-8) の  $W$  に関する希求水準値を最も大きく設定したときに全ての  $\alpha_a$  に対して構造形式 5 が選定されていることに顕著のように, 柱の数が多く, スパン割が均等なこの形式が安全性の面で優れた形式であるためと考えられる。

複数の最適解が得られたケースのほとんどは構造形式 1~5 の組合せに限定されており, そこでも構造形式 5 が中心的な選定構造形式であることが観察される。ここでは水平荷重による単純な枠型式の塑性崩壊モードによりスパン割と無関係に設計が決定されているためである。なお, 例えば  $W_a=500.0$ (表-7) の  $\alpha_a=2.6$  や  $W_a=250.0$ (表-6) の  $\alpha_a=2.5$  のように複数の最適解が得られているが構造形式 5 が出現していないケースも数ケースあるが, scsGA の収束が不十分なためと考えられる。

$W_a=180.0$ (表-4) と  $W_a=200.0$ (表-5) では,  $W$  に関する希求水準値  $W_a$  が小さく設定されているため一部のケースで構造形式 10 が出現している。厳しい  $W_a$  に対応して小さい  $W$  値の設計を追及するときに, 構造形式 5 と比較して 1 層部分の中間柱がなく構造重量を小さくできる構造形式 10 が選定された結

果と考えられる。これは構造形式 10 が選定されたケース数が  $W_a=200.0$  では 2 ケースに対し, より条件が厳しい  $W_a=180.0$  では 4 ケースであることから裏付けられる。

表-4  $W_a=1800.0$  の時の実験結果

| $\alpha_a$ | S 値        | $Z_w$      | $Z_\alpha$ | 構造重量      | 加重係数    | 構造形式      | X1     | X2    | X3    | X4    |
|------------|------------|------------|------------|-----------|---------|-----------|--------|-------|-------|-------|
| 1.0        | 0.01301906 | 1.08004442 | 1.08925024 | 194.40800 | 0.19675 | 5         | 3.768  | 2.102 | 5.016 | 2.102 |
| 1.1        | 0.01688123 | 1.10275693 | 1.10144318 | 196.50400 | 0.19712 | 2.3.4.5   | 3.696  | 2.448 | 5.016 | 2.102 |
| 1.2        | 0.00402414 | 1.11068887 | 1.11353333 | 199.92400 | 0.20091 | 5         | 3.767  | 2.448 | 5.016 | 2.102 |
| 1.3        | 0.02212456 | 1.11068887 | 1.12832257 | 199.92400 | 0.20091 | 5         | 3.767  | 2.448 | 5.016 | 2.102 |
| 1.4        | 0.00895814 | 1.13352665 | 1.14012618 | 204.09600 | 0.19430 | 1.2.3.5   | 3.762  | 2.448 | 3.696 | 3.768 |
| 1.5        | 0.00779736 | 1.13060000 | 1.15375498 | 203.50600 | 0.18504 | 1.2.3.4   | 3.696  | 2.448 | 3.768 | 3.767 |
| 1.6        | 0.00551344 | 1.16626663 | 1.16375362 | 209.92788 | 0.22447 | 5         | 5.016  | 2.448 | 3.768 | 2.102 |
| 1.7        | 0.01637115 | 1.16619997 | 1.17777580 | 209.91599 | 0.22446 | 5         | 5.016  | 2.448 | 3.767 | 2.102 |
| 1.8        | 0.01136980 | 1.18453391 | 1.19192365 | 213.21600 | 0.22623 | 5         | 5.016  | 2.448 | 3.696 | 2.448 |
| 1.9        | 0.0025283  | 1.18919998 | 1.21043264 | 214.05800 | 0.19550 | 5         | 5.016  | 3.696 | 2.102 | 2.448 |
| 2.0        | 0.0569054  | 1.18506666 | 1.22526300 | 213.21200 | 0.19712 | 1.2.3.4   | 3.696  | 2.448 | 5.904 | 2.448 |
| 2.1        | 0.06755387 | 1.18926663 | 1.23702917 | 214.06789 | 0.22747 | 5         | 5.016  | 2.448 | 3.767 | 2.448 |
| 2.2        | 0.01061578 | 1.24343222 | 1.25803406 | 224.68600 | 0.19081 | 1.2.3.4.5 | 3.767  | 3.696 | 3.767 | 3.768 |
| 2.3        | 0.01491244 | 1.26266665 | 1.27303444 | 227.28000 | 0.19763 | 10        | 7.656  | 3.768 | 3.768 | 3.768 |
| 2.4        | 0.01213858 | 1.28106663 | 1.28894737 | 230.58199 | 0.20066 | 1.2.3.4.5 | 3.768  | 2.448 | 5.904 | 3.768 |
| 2.5        | 0.02771217 | 1.28724442 | 1.30653267 | 231.30288 | 0.20096 | 1.2.3.4   | 3.768  | 3.767 | 5.904 | 2.102 |
| 2.6        | 0.05249100 | 1.28724442 | 1.32413460 | 231.70288 | 0.20096 | 1.2.3.4.5 | 3.768  | 3.767 | 5.904 | 2.102 |
| 2.7        | 0.01659751 | 1.33124446 | 1.34233425 | 239.62400 | 0.20086 | 5         | 3.766  | 2.102 | 8.784 | 2.102 |
| 2.8        | 0.04205614 | 1.33160001 | 1.36105238 | 239.68900 | 0.20042 | 10        | 13.008 | 2.448 | 3.768 | 2.102 |
| 2.9        | 0.00758768 | 1.36671107 | 1.37207533 | 246.00799 | 0.25626 | 5         | 5.016  | 3.767 | 5.016 | 2.102 |
| 3.0        | 0.00480482 | 1.38877775 | 1.39297840 | 250.16300 | 0.21817 | 2.3.4.5   | 5.016  | 3.767 | 3.696 | 3.768 |
| 3.1        | 0.03305587 | 1.38879887 | 1.41301620 | 250.16300 | 0.21817 | 2.3.4.5   | 5.016  | 3.768 | 3.696 | 3.767 |
| 3.2        | 0.00791028 | 1.42581107 | 1.43150407 | 256.66388 | 0.26577 | 5         | 5.016  | 3.767 | 5.904 | 2.102 |
| 3.3        | 0.01758892 | 1.44993334 | 1.46022085 | 260.80800 | 0.21652 | 10        | 13.008 | 3.768 | 2.102 | 3.768 |
| 3.4        | 0.02403783 | 1.46412596 | 1.48055395 | 263.55600 | 0.22890 | 10        | 11.400 | 3.696 | 3.767 | 3.768 |
| 3.5        | 0.02913251 | 1.48264440 | 1.50612308 | 267.77599 | 0.21020 | 1.2.3.4.5 | 5.904  | 2.102 | 5.904 | 3.768 |
| 3.6        | 0.00051684 | 1.52466682 | 1.51752638 | 274.43899 | 0.23745 | 5         | 5.904  | 3.768 | 5.904 | 2.102 |
| 3.7        | 0.00643754 | 1.53906667 | 1.54365725 | 277.03200 | 0.27496 | 5         | 7.416  | 3.696 | 3.696 | 2.102 |
| 3.8        | 0.03251974 | 1.54548665 | 1.56648053 | 278.18400 | 0.27554 | 5         | 7.416  | 3.768 | 3.696 | 2.102 |
| 3.9        | 0.02323024 | 1.57653328 | 1.59030108 | 289.77524 | 0.24983 | 2.3.4.5   | 5.904  | 3.768 | 5.016 | 3.768 |
| 4.0        | 0.01525250 | 1.61906665 | 1.61696321 | 291.43200 | 0.22810 | 5         | 5.904  | 3.696 | 7.416 | 2.102 |

表-5  $W_a=200.0$  の時の実験結果

| $\alpha_a$ | S 値       | $Z_w$     | $Z_\alpha$ | 構造重量      | 加重係数    | 構造形式      | X1     | X2    | X3    | X4    |
|------------|-----------|-----------|------------|-----------|---------|-----------|--------|-------|-------|-------|
| 1.0        | 0.0727276 | 1.0702800 | 1.0890884  | 214.05900 | 0.19550 | 5         | 5.016  | 3.696 | 2.102 | 2.448 |
| 1.1        | 0.0442635 | 1.0702800 | 1.1018340  | 214.06794 | 0.19357 | 3.4.5     | 5.016  | 2.448 | 2.448 | 3.767 |
| 1.2        | 0.0623220 | 1.0702800 | 1.1143557  | 214.06799 | 0.19357 | 2.3.4.5   | 5.016  | 2.448 | 2.448 | 3.767 |
| 1.3        | 0.0362765 | 1.1245200 | 1.1223768  | 224.90399 | 0.23532 | 5         | 5.016  | 2.448 | 5.016 | 2.102 |
| 1.4        | 0.0108868 | 1.1313200 | 1.1391749  | 224.30899 | 0.20310 | 5         | 5.904  | 2.102 | 2.448 | 3.768 |
| 1.5        | 0.0042841 | 1.1452200 | 1.1490553  | 225.24800 | 0.22623 | 2.3.4.5   | 5.016  | 2.448 | 3.696 | 3.767 |
| 1.6        | 0.0033176 | 1.1591400 | 1.1614855  | 231.82799 | 0.24352 | 5         | 5.904  | 2.448 | 3.767 | 2.448 |
| 1.7        | 0.0014334 | 1.1536000 | 1.1806072  | 231.31999 | 0.20096 | 1.2.3.4.5 | 3.768  | 3.768 | 5.904 | 2.102 |
| 1.8        | 0.0502165 | 1.1552400 | 1.1806617  | 231.04799 | 0.23657 | 5         | 5.016  | 3.769 | 3.768 | 2.102 |
| 1.9        | 0.0170076 | 1.1883800 | 1.2098254  | 239.67800 | 0.20041 | 10        | 13.008 | 2.448 | 3.767 | 2.102 |
| 2.0        | 0.0378505 | 1.1934400 | 1.2249472  | 239.68900 | 0.20042 | 10        | 13.008 | 2.448 | 3.768 | 2.102 |
| 2.1        | 0.0043729 | 1.2300400 | 1.2331315  | 246.00799 | 0.25626 | 5         | 5.016  | 3.767 | 5.016 | 2.102 |
| 2.2        | 0.0159262 | 1.2503800 | 1.2485552  | 250.15399 | 0.26127 | 5         | 5.016  | 3.767 | 5.016 | 2.448 |
| 2.3        | 0.0220256 | 1.2536800 | 1.2633420  | 250.16300 | 0.24817 | 2.3.4.5   | 5.016  | 3.767 | 3.696 | 3.768 |
| 2.4        | 0.0144270 | 1.2734400 | 1.2835760  | 254.68799 | 0.24493 | 2.3.4.5   | 5.016  | 2.448 | 5.904 | 3.696 |
| 2.5        | 0.0208157 | 1.2833200 | 1.2878970  | 256.66388 | 0.26577 | 5         | 5.016  | 3.767 | 5.904 | 2.102 |
| 2.6        | 0.0344348 | 1.2952800 | 1.3196146  | 259.05800 | 0.23495 | 5         | 7.416  | 3.768 | 2.102 | 2.102 |
| 2.7        | 0.0178733 | 1.3168400 | 1.3314779  | 263.76799 | 0.28021 | 5         | 5.904  | 3.767 | 5.016 | 2.102 |
| 2.8        | 0.0173255 | 1.3396000 | 1.3521377  | 267.80000 | 0.28481 | 2.3.4.5   | 5.904  | 3.767 | 3.696 | 3.768 |
| 2.9        | 0.0079556 | 1.3722000 | 1.3678652  | 274.43899 | 0.28745 | 5         | 5.904  | 3.768 | 5.904 | 2.102 |
| 3.0        | 0.0058478 | 1.3851600 | 1.3893915  | 277.03200 | 0.27496 | 5         | 7.416  | 3.696 | 3.696 | 2.102 |
| 3.1        | 0.0260535 | 1.3903200 | 1.4083414  | 278.18400 | 0.27554 | 5         | 7.416  | 3.769 | 3.696 | 2.102 |
| 3.2        | 0.0138012 | 1.4168800 | 1.4270481  | 283.77599 | 0.24535 | 2.5       | 5.904  | 3.768 | 5.016 | 3.768 |
| 3.3        | 0.0211317 | 1.4392800 | 1.4537469  | 287.85800 | 0.25890 | 5         | 8.856  | 3.768 | 2.102 | 2.102 |
| 3.4        | 0.0098672 | 1.4623200 | 1.4699063  | 292.58399 | 0.29682 | 5         | 5.904  | 3.768 | 7.416 | 2.102 |
| 3.5        | 0.0125042 | 1.4850800 | 1.4998120  | 287.81200 | 0.29152 | 2.3.4.5   | 7.416  | 3.696 | 3.767 | 3.696 |
| 3.6        | 0.0222193 | 1.5076800 | 1.5223913  | 301.53599 | 0.25670 | 5         | 7.416  | 5.904 | 2.448 | 2.448 |
| 3.7        | 0.0312002 | 1.5146800 | 1.5309415  | 302.97800 | 0.31727 | 5         | 7.656  | 3.768 | 5.016 | 2.448 |
| 3.8        | 0.0148664 | 1.5624000 | 1.5591936  | 312.48000 | 0.33000 | 5         | 7.656  | 3.696 | 5.904 | 2.448 |
| 3.9        | 0.0228175 | 1.5681600 | 1.5842943  | 313.63200 | 0.33580 | 5         | 7.656  | 3.768 | 5.904 | 2.448 |
| 4.0        | 0.0333667 | 1.6132800 | 1.6105412  | 322.65800 | 0.33675 | 2.3.4     | 7.416  | 3.696 | 5.904 | 3.696 |

表-6 Wa=250.0の時の実験結果

| Qs  | S値         | Zw         | Zα         | 構造重量      | 加重係数    | 構造形式    | X1    | X2    | X3    | X4    |
|-----|------------|------------|------------|-----------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|
| 1.0 | 0.01434044 | 0.02167985 | 0.09171014 | 257.92000 | 0.26462 | 2.3.4.5 | 5.904 | 3.767 | 3.856 | 3.767 |
| 1.1 | 0.01412723 | 0.02167985 | 0.09171014 | 257.92000 | 0.26462 | 2.3     | 5.904 | 3.767 | 3.856 | 3.767 |
| 1.2 | 0.01596742 | 0.09467978 | 0.10566364 | 278.67200 | 0.26752 | 5       | 5.016 | 3.696 | 7.416 | 2.102 |
| 1.3 | 0.00710126 | 0.11273589 | 0.11775348 | 278.18400 | 0.27554 | 5       | 7.416 | 3.768 | 3.696 | 2.102 |
| 1.4 | 0.00789560 | 0.12473600 | 0.13027107 | 281.18400 | 0.27682 | 5       | 7.416 | 3.696 | 3.666 | 2.448 |
| 1.5 | 0.02336006 | 0.13504097 | 0.14467631 | 253.75200 | 0.23500 | 2.3.4.5 | 5.904 | 3.767 | 5.016 | 3.767 |
| 1.6 | 0.02848623 | 0.13512646 | 0.13524636 | 283.75200 | 0.23500 | 2.3.4.5 | 5.904 | 3.768 | 5.016 | 3.768 |
| 1.7 | 0.00449080 | 0.16572799 | 0.16680353 | 291.43200 | 0.29810 | 5       | 5.904 | 3.696 | 7.416 | 2.102 |
| 1.8 | 0.01519437 | 0.17149799 | 0.18223197 | 292.87200 | 0.30570 | 5       | 7.416 | 3.696 | 5.016 | 2.102 |
| 1.9 | 0.00458507 | 0.18263998 | 0.19568176 | 298.15980 | 0.31336 | 5       | 7.416 | 3.767 | 5.016 | 2.448 |
| 2.0 | 0.01777547 | 0.20614597 | 0.21791304 | 301.53580 | 0.25670 | 5       | 7.416 | 5.904 | 2.448 | 2.448 |
| 2.1 | 0.02456586 | 0.21670931 | 0.22930295 | 302.67600 | 0.26570 | 2.3.4.5 | 7.656 | 3.696 | 3.767 | 3.768 |
| 2.2 | 0.00634731 | 0.23526398 | 0.23975193 | 306.81580 | 0.32980 | 5       | 7.416 | 3.767 | 5.904 | 2.448 |
| 2.3 | 0.00566534 | 0.25260798 | 0.25652852 | 313.15180 | 0.32473 | 5       | 7.416 | 3.768 | 5.016 | 3.696 |
| 2.4 | 0.02415028 | 0.25452799 | 0.27160462 | 313.63200 | 0.33580 | 5       | 7.656 | 3.768 | 5.904 | 2.448 |
| 2.5 | 0.02670236 | 0.26062395 | 0.26843294 | 322.65800 | 0.32675 | 2.3.4   | 7.416 | 3.696 | 5.904 | 3.696 |
| 2.6 | 0.00687603 | 0.29663997 | 0.30489825 | 324.65980 | 0.34309 | 5       | 7.416 | 3.768 | 5.904 | 3.767 |
| 2.7 | 0.00582359 | 0.31768799 | 0.32200596 | 329.47200 | 0.34936 | 5       | 7.656 | 3.768 | 5.904 | 3.768 |
| 2.8 | 0.03179090 | 0.31768799 | 0.34036715 | 329.47200 | 0.34936 | 5       | 7.656 | 3.768 | 5.904 | 3.768 |
| 2.9 | 0.02455686 | 0.36320000 | 0.36554011 | 340.80000 | 0.35437 | 5       | 7.416 | 3.696 | 7.416 | 3.696 |
| 3.0 | 0.00341830 | 0.37651197 | 0.37723354 | 344.62780 | 0.35937 | 5       | 7.416 | 5.016 | 5.904 | 3.767 |
| 3.1 | 0.00327042 | 0.38771199 | 0.38658853 | 348.42600 | 0.36354 | 5       | 7.656 | 5.016 | 5.904 | 3.767 |
| 3.2 | 0.00256539 | 0.41383999 | 0.41563545 | 353.45980 | 0.37356 | 5       | 8.656 | 3.768 | 5.904 | 3.767 |
| 3.3 | 0.03247117 | 0.41383999 | 0.43678391 | 353.45980 | 0.37356 | 5       | 8.656 | 3.767 | 5.904 | 3.768 |
| 3.4 | 0.00361691 | 0.45108797 | 0.45788601 | 362.77190 | 0.37794 | 5       | 7.416 | 5.016 | 7.416 | 3.757 |
| 3.5 | 0.00501826 | 0.48180800 | 0.47903278 | 370.45200 | 0.38679 | 5       | 7.656 | 5.016 | 7.656 | 3.757 |
| 3.6 | 0.02786622 | 0.51102646 | 0.51087000 | 375.75200 | 0.38990 | 2.3.4.5 | 7.416 | 5.016 | 7.416 | 5.016 |
| 3.7 | 0.00361536 | 0.52265997 | 0.52521804 | 380.43980 | 0.39389 | 2.3.4.5 | 7.416 | 5.016 | 7.656 | 5.016 |
| 3.8 | 0.01331933 | 0.53268900 | 0.54810659 | 384.67200 | 0.40174 | 5       | 7.656 | 5.904 | 7.656 | 3.768 |
| 3.9 | 0.02024097 | 0.56473999 | 0.57286365 | 391.20000 | 0.37302 | 2.3.4.5 | 7.416 | 7.656 | 5.016 | 5.016 |
| 4.0 | 0.02716626 | 0.57785599 | 0.58706667 | 394.45400 | 0.41760 | 5       | 2.356 | 5.016 | 7.656 | 2.758 |

表-7 Wa=500.0の時の実験結果

| Qs  | S値         | Zw         | Zα         | 構造重量      | 加重係数    | 構造形式    | X1     | X2     | X3     | X4     |
|-----|------------|------------|------------|-----------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|
| 1.0 | 0.01137352 | 0.04428799 | 0.05232650 | 522.14400 | 0.52804 | 5       | 13.392 | 5.904  | 7.416  | 5.904  |
| 1.1 | 0.00742524 | 0.05701937 | 0.06247029 | 523.65980 | 0.54401 | 5       | 11.400 | 7.416  | 11.400 | 3.767  |
| 1.2 | 0.01446266 | 0.06252602 | 0.07273518 | 531.26400 | 0.53993 | 5       | 13.560 | 5.904  | 8.784  | 5.016  |
| 1.3 | 0.00472393 | 0.08364501 | 0.08661208 | 541.82400 | 0.54647 | 5       | 13.392 | 7.656  | 8.856  | 3.768  |
| 1.4 | 0.00477111 | 0.08362402 | 0.08719717 | 546.81200 | 0.56410 | 5       | 12.600 | 7.416  | 8.784  | 5.904  |
| 1.5 | 0.00594450 | 0.10534400 | 0.10941684 | 552.67200 | 0.56395 | 5       | 12.600 | 7.416  | 11.400 | 3.763  |
| 1.6 | 0.02443634 | 0.10534400 | 0.12262419 | 552.67200 | 0.56395 | 5       | 12.600 | 7.416  | 11.400 | 3.763  |
| 1.7 | 0.01904585 | 0.12166400 | 0.13502894 | 560.83200 | 0.57876 | 5       | 13.008 | 7.416  | 11.400 | 3.768  |
| 1.8 | 0.00396764 | 0.14287601 | 0.14578155 | 571.48800 | 0.60458 | 5       | 12.600 | 7.656  | 11.400 | 5.016  |
| 1.9 | 0.00555485 | 0.15929601 | 0.15961299 | 579.84800 | 0.61523 | 5       | 13.008 | 7.656  | 11.400 | 5.016  |
| 2.0 | 0.00688205 | 0.17369600 | 0.17181739 | 588.94800 | 0.62546 | 5       | 13.560 | 7.416  | 11.400 | 5.016  |
| 2.1 | 0.00674278 | 0.18137601 | 0.18614387 | 590.68800 | 0.62946 | 5       | 13.560 | 7.656  | 11.400 | 5.016  |
| 2.2 | 0.00540945 | 0.20268801 | 0.20033891 | 601.34400 | 0.63736 | 5       | 13.560 | 7.656  | 11.400 | 5.904  |
| 2.3 | 0.00807720 | 0.21017603 | 0.21568578 | 605.08800 | 0.63922 | 5       | 13.560 | 7.656  | 12.600 | 5.016  |
| 2.4 | 0.01823558 | 0.21861601 | 0.23170732 | 609.40800 | 0.63902 | 5       | 13.392 | 7.416  | 13.560 | 5.016  |
| 2.5 | 0.01060914 | 0.24070401 | 0.24918551 | 620.35200 | 0.63961 | 5       | 12.600 | 7.416  | 13.392 | 7.416  |
| 2.6 | 0.00548384 | 0.25836302 | 0.26188530 | 629.18400 | 0.66205 | 5       | 13.560 | 8.856  | 13.008 | 5.016  |
| 2.7 | 0.00261463 | 0.27641600 | 0.27820646 | 638.20800 | 0.66908 | 5       | 13.392 | 8.856  | 11.400 | 7.656  |
| 2.8 | 0.01313708 | 0.30813402 | 0.29477294 | 650.59200 | 0.67763 | 2.4     | 13.392 | 8.784  | 11.400 | 8.784  |
| 2.9 | 0.01232966 | 0.30854401 | 0.31550983 | 653.42200 | 0.65527 | 2.3.4.5 | 13.392 | 7.416  | 13.392 | 8.856  |
| 3.0 | 0.00290080 | 0.32525602 | 0.33003659 | 664.12800 | 0.68766 | 5       | 13.392 | 8.856  | 13.560 | 7.656  |
| 3.1 | 0.00264971 | 0.34457600 | 0.34669105 | 672.28800 | 0.70852 | 5       | 13.392 | 11.400 | 12.600 | 5.904  |
| 3.2 | 0.01973061 | 0.35571202 | 0.36964705 | 677.65600 | 0.68640 | 5       | 13.008 | 7.656  | 17.184 | 7.416  |
| 3.3 | 0.00357396 | 0.38355202 | 0.38762891 | 691.77600 | 0.70289 | 5       | 13.560 | 7.656  | 17.184 | 7.656  |
| 3.4 | 0.03417755 | 0.38287602 | 0.40693333 | 691.48600 | 0.71424 | 5       | 13.392 | 12.600 | 12.600 | 5.904  |
| 3.5 | 0.01377934 | 0.41427202 | 0.42388492 | 707.13600 | 0.74475 | 5       | 17.184 | 8.784  | 13.560 | 5.016  |
| 3.6 | 0.00968473 | 0.43553402 | 0.44246951 | 717.79200 | 0.76820 | 5       | 17.184 | 8.784  | 13.560 | 5.904  |
| 3.7 | 0.02079803 | 0.46054387 | 0.47564527 | 730.27190 | 0.71603 | 5       | 20.616 | 8.856  | 8.784  | 5.904  |
| 3.8 | 0.02921532 | 0.47823602 | 0.49622806 | 739.04902 | 0.72295 | 2.3.4.5 | 13.560 | 13.392 | 13.392 | 7.656  |
| 3.9 | 0.02075236 | 0.50854404 | 0.52787892 | 754.27202 | 0.72295 | 2.3.4.5 | 13.560 | 13.560 | 13.392 | 8.784  |
| 4.0 | 0.04967005 | 0.51873002 | 0.53103989 | 753.36000 | 0.65578 | 2.3.5   | 13.008 | 11.400 | 13.008 | 13.392 |

表-8 Wa=1000.0の時の実験結果

| Qs  | S値         | Zw         | Zα          | 構造重量       | 加重係数    | 構造形式 | X1     | X2     | X3     | X4     |
|-----|------------|------------|-------------|------------|---------|------|--------|--------|--------|--------|
| 1.0 | 0.00674198 | 0.09100603 | 0.098577198 | 991.00603  | 0.03905 | 5    | 20.832 | 13.560 | 17.184 | 12.600 |
| 1.1 | 0.00467130 | 0.0061202  | 0.00361202  | 1000.51202 | 0.05519 | 5    | 23.040 | 12.600 | 19.320 | 8.856  |
| 1.2 | 0.00060740 | 0.01318402 | 0.01375494  | 1013.18402 | 0.07696 | 5    | 23.040 | 13.392 | 19.320 | 8.856  |
| 1.3 | 0.00847134 | 0.01971197 | 0.02570115  | 1019.71197 | 0.07640 | 5    | 24.980 | 11.400 | 19.320 | 8.856  |
| 1.4 | 0.00863053 | 0.02844800 | 0.03466819  | 1028.44800 | 0.10185 | 5    | 24.980 | 12.600 | 19.320 | 8.794  |
| 1.5 | 0.00475540 | 0.04371201 | 0.04683197  | 1043.71201 | 0.10108 | 5    | 23.040 | 13.392 | 19.320 | 11.400 |
| 1.6 | 0.00231865 | 0.05427198 | 0.05581173  | 1054.27198 | 0.13034 | 5    | 24.980 | 13.560 | 19.320 | 8.856  |
| 1.7 | 0.00232166 | 0.06827198 | 0.06783426  | 1066.27198 | 0.13698 | 5    | 24.980 | 13.392 | 20.616 | 8.784  |
| 1.8 | 0.02561816 | 0.07586798 | 0.07894062  | 1075.86798 | 0.14443 | 5    | 24.980 | 13.008 | 19.320 | 11.400 |
| 1.9 | 0.00448316 | 0.08906395 | 0.09260333  | 1086.06395 | 0.14981 | 5    | 24.980 | 13.392 | 20.616 | 11.400 |
| 2.0 | 0.00193365 | 0.10284389 | 0.10409565  | 1102.94389 | 0.16723 | 5    | 24.980 | 13.560 | 20.632 | 11.400 |
| 2.1 | 0.00392252 | 0.11216002 | 0.11489731  | 1112.16002 | 0.19239 | 5    | 27.120 | 13.560 | 20.616 | 8.794  |
| 2.2 | 0.00468941 | 0.12684800 | 0.13018506  | 1126.84800 | 0.18456 | 5    | 24.980 | 13.560 | 20.632 | 13.392 |
| 2.3 | 0.00427523 | 0.13971202 | 0.14284031  | 1139.71202 | 0.20167 | 5    | 27.120 | 13.392 | 19.320 | 12.600 |
| 2.4 | 0.00363005 | 0.15401602 | 0.15446224  | 1154.01602 | 0.22609 | 5    | 27.120 | 13.008 | 20.616 | 13.008 |
| 2.5 | 0.00368294 | 0.16745602 | 0.16812985  | 1167.45602 | 0.23803 | 5    | 27.120 | 13.560 | 20.616 | 13.392 |
| 2.6 | 0.00502206 | 0.18022400 | 0.18377438  | 1180.22400 | 0.24007 | 5    | 24.980 | 17.184 | 20.632 | 13.008 |
| 2.7 | 0.00068628 | 0.19654404 | 0.19724597  | 1196.54404 | 0.26010 | 5    | 27.120 | 13.560 | 23.040 | 13.392 |
| 2.8 | 0.00231476 | 0.21132800 | 0.21284686  | 1211.32800 | 0.26678 | 5    | 24.980 | 17.184 | 23.040 | 13.392 |
| 2.9 | 0.00396294 | 0.22371201 | 0.22667605  | 1223.71201 | 0.29060 | 5    | 30.720 | 13.008 | 20.632 | 12.600 |
| 3.0 | 0.00251475 | 0.24204800 | 0.24112332  | 1242.04800 | 0.31207 | 5    | 30.720 | 13.560 | 20.632 | 13.392 |
| 3.1 | 0.00077762 | 0.25564402 | 0.25708398  | 1256.54402 | 0.32605 | 5    | 31.920 | 13.560 | 20.632 | 12.600 |
| 3.2 | 0.00049031 | 0.27056001 | 0.27125319  | 1270.56001 | 0.35349 | 5    | 30.720 | 13.560 | 23.040 | 13.560 |
| 3.3 | 0.00331046 | 0.28783999 | 0.29014925  | 1287.83999 | 0.35600 | 5    | 30.720 | 13.560 | 24.480 | 13.560 |
| 3.4 | 0.00403261 | 0.30262398 | 0.30547582  | 1302.62398 | 0.33366 | 5    | 30.720 | 17.184 | 23.040 | 11.400 |
| 3.5 | 0.01404602 | 0.31313588 | 0.32811539  | 1313.13588 | 0.36725 | 5    | 31.920 | 17.184 | 24.960 | 8.856  |
| 3.6 | 0.00745314 | 0.32785202 | 0.34301028  | 1337.85202 | 0.40473 | 5    | 27.120 | 20.832 | 24.960 | 13.560 |
| 3.7 | 0.00060307 | 0.35830400 | 0.35670945  | 1358.30400 | 0.45273 | 5    | 31.920 | 17.184 | 24.480 | 12.600 |
| 3.8 | 0.00111135 | 0.37850400 | 0.37637026  | 1375.55400 | 0.46650 | 5    | 31.920 | 17.184 | 24.960 | 13.560 |
| 3.9 | 0.00059732 | 0.38670400 | 0.38517715  | 1386.70400 | 0.48612 | 5    | 33.840 | 17.184 | 24.480 | 12.600 |
| 4.0 | 0.00318151 | 0.41169000 | 0.41814463  | 1411.69000 | 0.43113 | 5    | 30.720 | 19.320 | 27.120 | 13.560 |