

## 圧縮・曲げ・ねじりの組合せ断面力を受ける薄肉箱形短柱の終局強度特性に関する実験的研究

EXPERIMENTAL STUDY ON ULTIMATE STRENGTH OF THIN-WALLED SHORT BOX COLUMNS  
SUBJECTED TO COMBINED ACTIONS OF COMPRESSION, BENDING AND TORSION

北田俊行\*, 中井博\*\*, 國廣昌史\*\*\*, 松下孝文\*\*\*\*

Toshiyuki KITADA, Hiroshi NAKAI, Masashi KUNIHRO and Takafumi MATSUSHITA

An experimental apparatus (hereafter referred to as the N-M-T apparatus) is developed to apply compression, bending and torsion to thin-walled short column models with box cross sections, simultaneously. Through the experimental study by using the N-M-T apparatus the following conclusions are obtained :

① All the test specimens consisting of plate element of slenderness  $R=0.7$ , which is almost an upper limit among plate elements used in steel bridges, attained to the fully plastic state before their collapse in the case of any load combinations. ② Although the local buckling of plate element was recognized prior to the collapse, it did not affect the ultimate strength. ③ The stiffnesses on compression, bending and torsion up to collapse can be evaluated by taking into consideration the partial yielding of cross section due to residual stress.

## 1. まえがき

鋼薄肉構造物は、近年、製作技術、あるいはコンピュータの発達と相まって、大型化、薄肉・軽量化する傾向にある。なかでも、経済性や美観上の理由から、斜張橋やアーチ橋が多く建設されるようになってきており、これらの形式の橋梁では、タワーやアーチリブにおいて軸力と曲げのほかに、ねじりを伴った複雑な組合せの断面力が発生していることが考えられる。

鋼薄肉部材では、その断面が全塑性状態に至るまでに、構成板要素の局部座屈によって崩壊することが考えられる。したがって、薄肉構造物の合理的な設計法を確立するためには、断面の構成板要素の局部座屈に起因する終局強度特性を明らかにすることが重要な問題の一つとなる。

圧縮と曲げとを同時に受ける鋼薄肉箱形短柱については、中井・北田・酒造<sup>1)</sup>によって簡便な相関曲線が提案されている。また、宇佐美・土屋・大谷・福本<sup>2)</sup>は、箱形短柱の曲げモーメントと曲率との厳密な関係

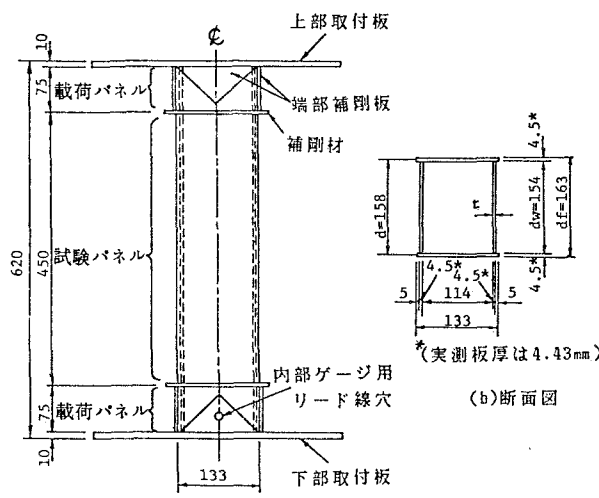
---

|         |            |               |                        |
|---------|------------|---------------|------------------------|
| * 工博    | 大阪市立大学助教授  | 工学部土木工学科      | (〒558 大阪市住吉区杉本3-3-138) |
| ** 工博   | 大阪市立大学教授   | 工学部土木工学科      | (〒558 大阪市住吉区杉本3-3-138) |
| *** 工博  | 川崎重工業(株)部長 | 鉄構機器事業部・橋梁設計部 | (〒675-01 兵庫県加古郡播磨町新島8) |
| **** 工修 | 大阪府港湾局     | 泉北港湾事務所       | (〒595 泉大津市新港町1番地)      |

式を用いて柱の局部座屈と全体座屈との連成座屈現象を解析し、柱の設計公式としてまとめている。このように、圧縮と曲げとを受ける薄肉箱形短柱については、実験的および理論的にその終局強度特性がかなり明確にされている。一方、ねじりを伴う場合の研究については、小松・崎元<sup>3)</sup>が局部座屈が起こらない箱形短柱の弾塑性挙動を棒理論を用いて、良好にシミュレートできる理論を開発している。しかしながら、ねじりを含む組合せ断面力を受ける薄肉断面部材の局部座屈に起因する終局強度特性については、ほとんど明らかにされていないのが現状である。

そこで、本研究においては、まず軸圧縮力、曲げモーメント、および、ねじりモーメントの組合せ荷重を同時に載荷できる薄肉箱形短柱の破壊実験装置（N-M-T破壊実験装置）を開発する。つぎに、この破壊実験装置を用いて箱形短柱供試体の破壊実験を行い、その終局強度特性を明らかにする。さらに、設計あるいは三次元骨組構造物の弾塑性有限変位解析に導入できるような形での全塑性状態における軸圧縮力、曲げモーメント、および、ねじりモーメントの相関曲面を導き、実験結果との比較・検討を行う。

ただし、ここでは、斜張橋タワーやアーチ橋アーチリブに用いられるような軸圧縮力が卓越する箱形断面短柱を対象とし、箱桁のように極めて幅厚比の大きい腹板を有する曲げモーメントとせん断力のみを受ける場合は対象外とする。



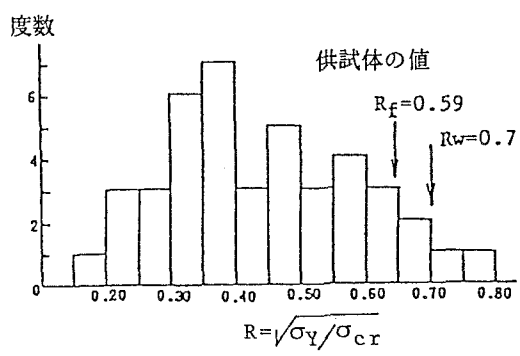
(a)側面図  
図－1 実験供試体

## 2. 実験方法

### 2.1 実験供試体の設計

薄肉箱形短柱の実験供試体を、座屈実験用に7体、また残留応力測定用に1体、合計8体製作した。

図－1には、中心圧縮用供試体の一般図を示す。今回、供試体の断面寸法は、すべて同一とした。図－2に示す斜張橋タワーの実績調査結果<sup>4)</sup>から、供試体の最大の幅厚比パラメータ $R$  ( $=\sqrt{\sigma_y/\sigma_{cr}}$ ,  $\sigma_y$ :降伏点,  $\sigma_{cr}$ :弾性座屈応力)は、実橋の場合のほぼ上限値である0.7と決定した。フランジ・プレートとウェブ・プレートとの板幅比を3/4、フランジおよびウェブ・プレートの板厚を $t=4.5\text{mm}$ とした。また、供試体の骨組高さは、柱としての座屈が発生しないように、細長比パラメータ $\lambda$ が



図－2 斜張橋タワーの幅厚比パラメータの実績調査結果<sup>4)</sup>

0.2となるように定めた。

供試体の製作の際には、以下の点に特に留意した。

- ① 供試体のフランジおよびウェブ・プレートは、それらの降伏応力を等しくするために、すべて1枚の圧延板から板取りした。
- ② 供試体に荷重を作用させたとき、溶接部分が供試体の弱点とならないように、角溶接部には、開先を設け、完全溶け込み溶接とした。なお、溶接棒には、母材よりも強度の高いものを用いた。
- ③ 供試体のテストパネル部以外における座屈を防ぐため、供試体の取付板付近には、ダイヤフラムおよび補強板を取り付けた。

## 2.2 N-M-T破壊実験装置

本研究では、圧縮、曲げ、および、ねじりを同時に載荷できるN-M-T破壊実験装置を新たに開発した。図-3には、今回開発した実験装置の一般図を示す。

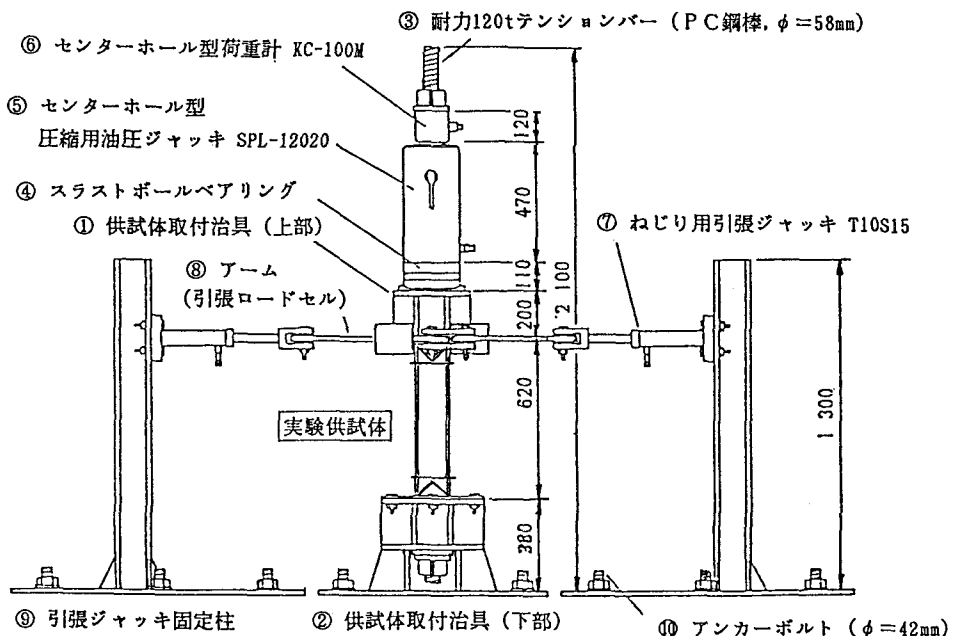


図-3 N-M-T破壊実験装置

本実験装置による圧縮、曲げ、および、ねじり荷重の載荷方法を、図-3を参照して、説明する。軸圧縮力は、供試体およびセンターホールジャッキ⑤等にテンションバー③を通し、上下端をテンションバー専用のナットで固定して反力を取る自定式で導入した。したがって、本実験装置に中心圧縮用供試体をセットすれば、供試体には軸圧縮力のみが作用し、また偏心圧縮用供試体であれば、軸圧縮力と曲げモーメントとが同時に作用することになる。また、ねじり荷重は、供試体取付治具①の両端に連結したアーム⑧を引張ジャッキ⑦で引張り、偶力を与えることにより導入した。そして、偏心量、軸圧縮荷重、および、ねじり荷重を独立なパラメータとして実験を行った。

### 3. 実験供試体

#### 3.1 荷重パラメータ

圧縮・曲げ(N-M)、圧縮・ねじり(N-T)、圧縮・曲げ・ねじり(N-M-T)の各組合せ断面力下の破壊実験では、供試体に作用させる圧縮、曲げ、および、ねじり荷重の比を一定に保って比例載荷の条件で実験を行った。

これらの荷重比を表すのに、以下に示す荷重パラメータ $\varphi$ と $\eta$ を用いた。

$$\varphi = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1}, \quad \eta = \frac{\tau}{(\sigma_1 + \sigma_2)/2} \quad (1)a, b$$

ここに、

$\sigma_1, \sigma_2$  : それぞれ箱形断面の上縁および下縁の応力度。

ただし、 $\sigma_1 \geq \sigma_2$ とし、圧縮応力を正とする。

$\tau$  : せん断応力度。

$\varphi$ は、圧縮力と曲げモーメントとの比を表すパラメータである。今回行う N-M および N-M-T の実験では $\varphi = 0.5$ を目標とし、この $\varphi$ から偏心圧縮用供試体の偏心量 $e$ を決定した。また、 $\eta$ は、圧縮力とねじりモーメントの比を表すパラメータである。N-T実験では $\eta = 0.5$ 、また N-M-T実験では $\eta = 0.5$  および 0.25 の2種類とした。

表-1に、各実験供試体の実測寸法を用いて計算した荷重パラメータを示す。

表-1 荷重パラメータ

| 項目<br>供試体No. | 荷重パラメータ   |        |
|--------------|-----------|--------|
|              | $\varphi$ | $\eta$ |
| M -1         | 2.000     | —      |
| T -3         | —         | —      |
| NT -4        | 0         | 0.500  |
| N -5         | 0         | 0      |
| NM -6        | 0.513     | 0      |
| NMT-7        | 0.520     | 0.507  |
| NMT-8        | 0.548     | 0.258  |
| R S          | —         |        |

表-2 鋼板の機械的性質

| ヤング係数<br>$E$ (kgf/cm <sup>2</sup> ) | ポアソン比<br>$\mu$ | 降伏応力<br>$\sigma_Y$ (kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|-------------------------------------|----------------|-------------------------------------------|
| $2.11 \times 10^6$                  | 0.28           | 2,946                                     |

#### 3.2 鋼板の機械的性質

実験供試体の製作に用いた鋼板の機械的性質を調べるために、引張試験を行った。各引張試験結果の降伏点 $\sigma_{y1}$ の平均値を供試体の降伏点 $\sigma_Y$ とし、またヤング係数 $E$ 、および、ポアソン比 $\mu$ の値も、各試験値の平均値を用いることにした。これらの値を表-2に示す。

#### 3.3 初期不整

初期たわみは、薄肉箱形短柱の終局強度に影響を及ぼす要因の一つであるので、実験に先がけて全実験供試体の初期たわみを測定した。測定には、鋼尺(精度1/10mm)およ

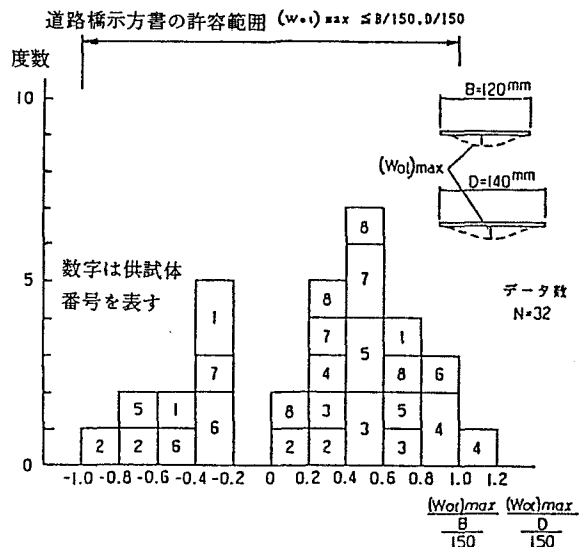


図-4 初期たわみの最大値の分布

び最短視距離がほぼ 0m のトランシットを用いた。 図-4 に示すように、初期たわみの最大値の分布は、供試体 NT-4 で道路橋示方書<sup>5)</sup>の製作基準を若干超えていたが、全体の97%は製作基準を満足していることがわかった。

また、供試体と同一断面・同一溶接条件とした残留応力測定用供試体 RS を製作し、機械的な切断法により残留応力を測定した。 測定結果を図-5 に示す。

#### 4. 終局強度の実験結果とその考察

##### 4.1 弾性実験結果

破壊実験に先立ち低荷重レベルで数回の弾性実験を行い、本研究で開発した N-M-T 破壊実験装置によって、供試体断面内に所定の軸方向直応力分布およびせん断応力分布が再現できることを確かめた。 図-6(a)~(b)に、一例として供試体 NMT-7 の弾性実験に

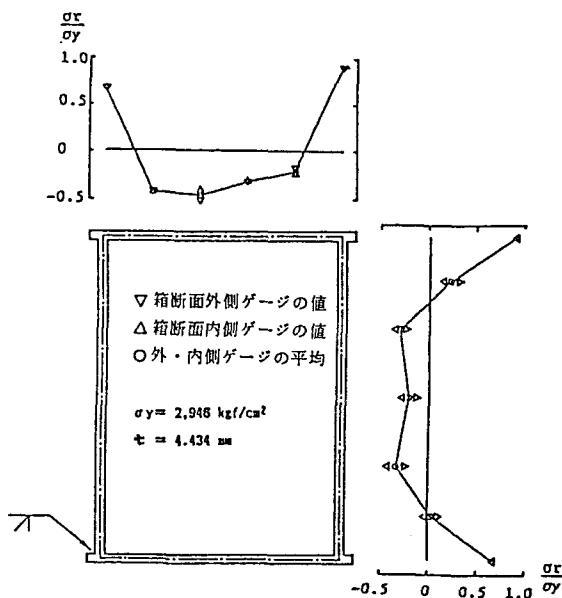


図-5 残留応力分布

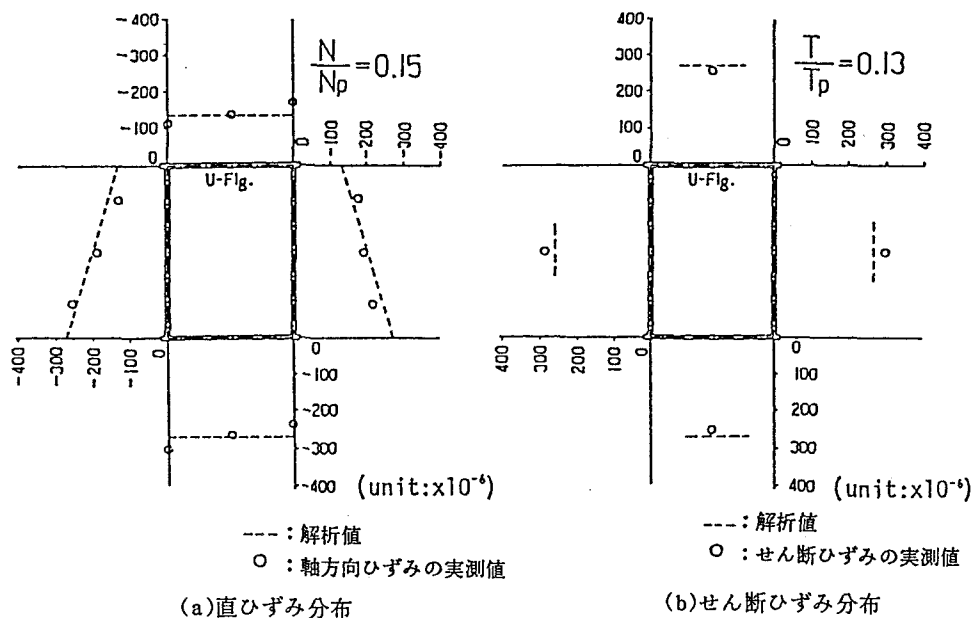


図-6 ひずみ分布 (供試体 NMT-7)

おいて得られたひずみ分布を弾性理論によって求めた理論値とともに示す。この図から、ひずみ分布はウェブにおいて若干のばらつきを示しているが、実測値は理論値の75～90%の範囲にあり、ほぼ両者が一致していることがわかる。せん断ひずみについても、理論値と実測値とは良好な一致を示し、供試体には、所定の断面力が導入されていたことがわかる。以上のことより、今回開発したN-M-T装置は、ほぼ計画通りの性能を有することがわかった。

## 4.2 破壊実験結果と弾塑性解析による結果との比較

### (1) 弾塑性解析

軸圧縮力 $N$ 、曲げモーメント $M$ 、および、ねじりモーメント $T$ を作用させた箱形短柱の弾塑性解析を行った。解析プログラムには、文献6)による三次元骨組構造物の弾塑性有限変位解析プログラム(EPACS)を用いた。その際、解析上の主な仮定のみを列記すると、次のとおりである。

- ① 箱形断面要素の材料は、均一かつ等方性を有し、完全弾塑性体であるとする。応力-ひずみ関係は、von Mises の降伏条件と Prandtl-Reuss の塑性流れ則に従うものとする。
- ② 断面は、変形後も平面を保つものとする。
- ③ 箱形断面要素において断面が部分的に降伏しても、せん断中心の位置は変化せず、さらにせん断流は一定であるとする<sup>3)</sup>。文献3)における、軸圧縮力、曲げモーメント、および、ねじりモーメントが作用する箱形断面の弾塑性ねじり理論に従えば、断面が部分的に塑性化した場合、今回の供試体( $t$  = 一定)では、図-7に示すように、せん断応力が箱断面の周に沿って一定であるとして扱われることになる。
- ④ 曲げによるせん断応力、および、そりねじりによる応力は、無視できるものとする。
- ⑤ 構成板要素には、局部座屈が発生しないものとする。

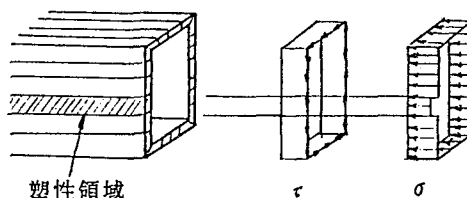
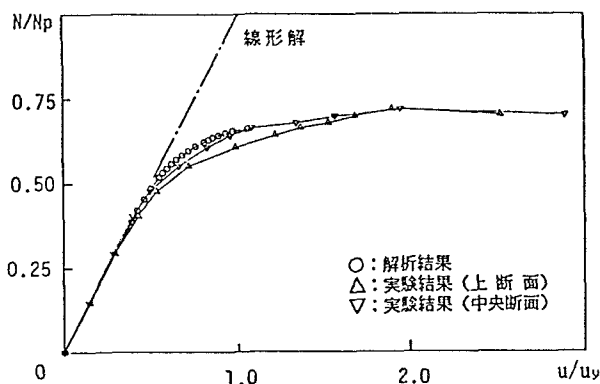


図-7 断面が部分的に塑性した場合

### (2) 実験結果と解析結果との比較

一例として、図-8には、供試体NMT-7の実験結果と解析結果の荷重-変位(平均ひずみ)関係を示す。荷重は、それぞれの断面に対する全塑性軸力 $N_p$ 、全塑性モーメント $M_p$ 、あるいは全塑性ねじりモーメント $T_p$ で無次元化している。軸方向変位 $u$ と断面回転角 $\phi$ は、良好に実測できなかつたので、実測ひずみから計算により求めたものである。変位についても、それぞれの降伏変位で無次元化している。

また、図-9には、供試体NMT-8の軸圧縮力と軸方向ひずみの関係を示す。この供試体では、圧縮応力の大きいフ



(a) 軸圧縮力-軸方向変位

図-8 荷重-変位関係(供試体NMT-7)

ランジ・プレート③のひずみが  $N/N_p = 0.5$  付近から流れ始め、局部座屈が生じ始めていたことがわかる。このように、軸圧縮力を導入した供試体では、終局状態に至るまでに局部座屈の発生が認められた。

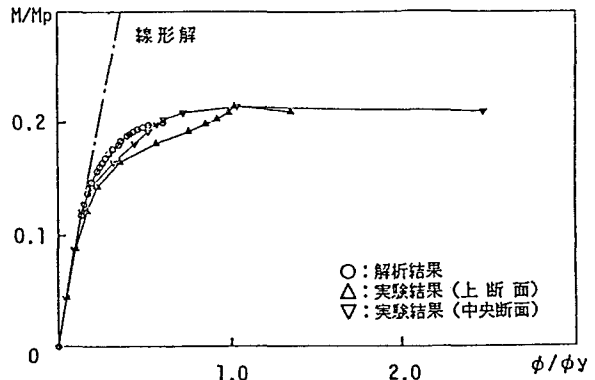
実験結果と解析結果との比較より得られた主な結果をまとめると、以下のとおりとなる。

① 終局強度については、実験結果と解析結果とはほぼ一致していた。

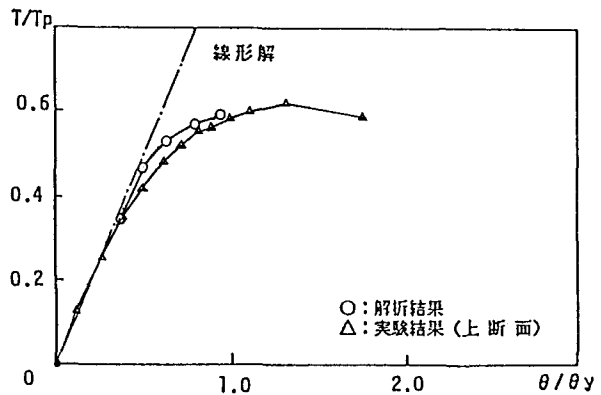
このことから、すべての実験供試体は、全塑性に達して終局状態に至ったと考えられる(表-3参照)。

② 幅厚比パラメータ  $R$  が実橋でよく用いられる値の上限値 0.7 程度の板パネルで構成されている箱形短柱においては、終局状態に至るまでに局部座屈の発生が認められた。しかし、局部座屈は、終局状態に至る断面の剛性および終局強度にそれほど大きな影響を与えないことがわかった。終局状態に至るまでの剛性の低下は、主として、残留応力による部分降伏に起因するものであると考えられる。また、紙面の関係で本論文には示さなかったが、局部座屈は終局強度を通過してからの断面の変形能に大きな影響を与えた。

③ 図-8に示すように、軸圧縮力と軸方向変位 ( $N/N_p - u/u_y$ )、曲げモーメントと断面回転角 ( $M/M_p - \phi/\phi_y$ )、ならびに、ねじりモーメントとねじり角 ( $T/T_p - \theta/\theta_y$ ) 曲線に関しては、実験結果と解析結果の挙動はほぼ一致しており、幅厚比パラメータ  $R$  が 0.7 以下の板パネルで構成される箱形断面の終局状態に至るまでの伸び刚度、曲げ刚度、および、ねじり刚度については、板パネルの局部座屈を無視し、残留応力による部分降伏を考慮すれば精度よく評価できることがわかった。



(b) 曲げ-断面回転角



(c) ねじり-ねじれ角

図-8 荷重-変位関係(供試体NMT-7)

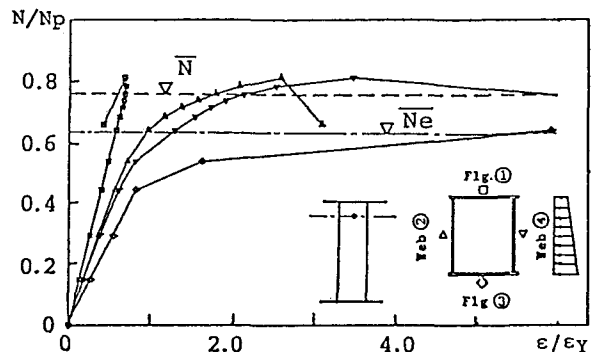


図-9 供試体NMT-8の柱頭部における荷重-軸方向ひずみ曲線

### (3) 破壊後の変形モード

図-10には、供試体NT-4の破壊後の変形モードを示す。この図に示すように、ねじりを含む荷重状態の場合には、せん断の影響により、残留たわみ波形の稜線の方向が水平にならなかった。

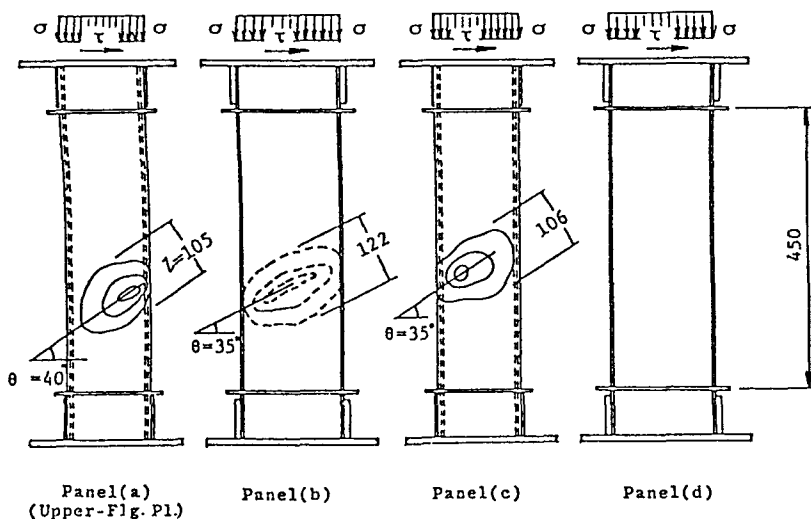


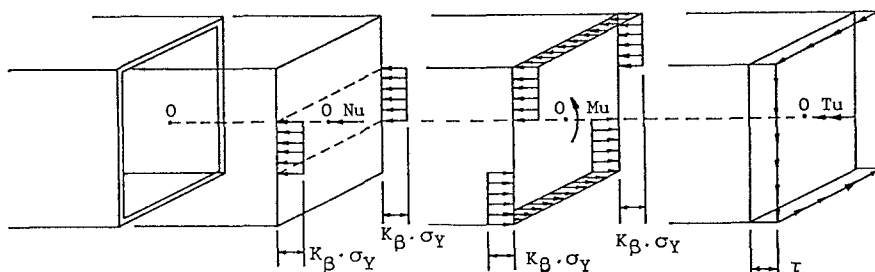
図-10 残留たわみ波形のスケッチ(供試体NT-4)

## 5. 終局強度相関曲面

### 5.1 全塑性相関曲面

全塑性状態としては、図-11に示す応力状態を想定する。すなわち、全塑性状態においても、せん断流  $q (= \tau \cdot t)$  は一定であると仮定する。全塑性状態における断面力を  $N_u, M_u, T_u$  とすると、作用ねじりモーメント  $T_u$  による作用せん断応力  $\tau$  を用い、von Mises の降伏条件に従って、次式で定義されるような応力係数  $K_\beta$  を考える。

$$K_\beta = \sqrt{1 - \left(\frac{\tau}{\sigma_Y/\sqrt{3}}\right)^2} = \sqrt{1 - \left(\frac{T_u}{T_p}\right)^2} \quad (2)$$



(a) 供試体断面 (b) 軸力による応力 (c) 曲げによる応力 (d) ねじりによる応力

図-11 全塑性状態における応力分布

この応力係数 $K_B$ を用い、材料の降伏点 $\sigma_Y$ を見かけ上 $K_B \cdot \sigma_Y$ とすれば、軸圧縮力、曲げモーメント、および、ねじりモーメントを受ける場合の全塑性相関曲面は、軸圧縮力と曲げモーメントのみを受ける場合の全塑性相関曲面から導くことができる。すなわち、

① 中立軸がウェブ・プレート内にある場合 ( $N_u \leq K_B \cdot A_w \cdot \sigma_Y$ )

$$\bar{M}^* = 1 - \frac{1}{1 + \frac{2 \cdot A_f \cdot d}{A_w \cdot d_w}} \cdot \left(1 + \frac{A_f}{A_w}\right)^2 \cdot \bar{N}^2 \quad (3)a$$

② 中立軸がフランジ・プレート内にある場合 ( $N_u > K_B \cdot A_w \cdot \sigma_Y$ )

$$\bar{M}^* = \frac{1}{1 + \frac{2 \cdot A_f \cdot d}{A_w \cdot d_w}} \cdot \frac{A_f}{A_w} \left\{ \frac{d_f}{d_w} (1 - \alpha^2) + (1 + \alpha)^2 \right\} \quad (3)b$$

$$\alpha = \left\{ \bar{N}^* \left(1 - \frac{A_f}{A_w}\right) - 1 \right\} \frac{A_w}{A_f} \quad (3)c$$

式(3)b は以下の式で近似できる。

$$\bar{M}^* = \frac{1}{1 + \frac{2 \cdot A_f \cdot d}{A_w \cdot d_w}} \cdot \frac{2 \cdot (A_f + A_w) \cdot d_f}{A_w \cdot d_w} (1 - \bar{N}^*) \quad (3)d$$

ここに、 $d$  : フランジ・プレートの中心線間距離

$d_f$  : 箱形断面の高さ

$d_w$  : ウェブ・プレートの幅

$A_f, A_w$  : それぞれフランジおよびウェブ・プレートの断面積

さらに、 $\bar{N}^*$ と $\bar{M}^*$ とは、 $N_u$ および $M_u$ をそれぞれみかけの降伏点 $K_B \cdot \sigma_Y$ に対する断面の全塑性軸力および全塑性曲げモーメントで無次元化したものであり、次式で与えられる。

$$\bar{N}^* = \frac{N_u}{K_B \cdot N_p}, \quad \bar{M}^* = \frac{M_u}{K_B \cdot M_p} \quad (4)a, b$$

## 5.2 全塑性相関曲面と解析結果との比較

実験供試体と同じ断面寸法、降伏応力 $\sigma_Y$ 、および荷重載荷条件で全塑性状態における各断面力を計算した。以下、この値を推定値とよぶことにする。表-3には、無次元化した推定値および4章の弾塑性

表-3 各実験供試体の終局強度の推定値、解析結果および実験結果

| 実験供試体<br>荷重 番号 | 推 定 値 |       |       |       | 解 析 結 果 |       |       |       | 実 験 結 果 |       |       |       | $\frac{l_a - l_s}{l_s}$<br>(%) | $\frac{l_u - l_s}{l_s}$<br>(%) |
|----------------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|--------------------------------|--------------------------------|
|                | $N_s$ | $M_s$ | $T_s$ | $l_s$ | $N_a$   | $M_a$ | $T_a$ | $l_a$ | $N_u$   | $M_u$ | $T_u$ | $l_u$ |                                |                                |
| M 1            | 0     | 1.000 | 0     | 1.000 | 0       | 1.003 | 0     | 1.003 | 0       | 1.078 | 0     | 1.078 | 0.3                            | 7.8                            |
| T 3            | 0     | 0     | 1.000 | 1.000 | 0       | 0     | 0.990 | 0.990 | 0       | 0     | 1.041 | 1.041 | -1.0                           | 4.1                            |
| NT 4           | 0.756 | 0     | 0.655 | 1.000 | 0.764   | 0     | 0.662 | 1.011 | 0.798   | 0     | 0.677 | 1.046 | 1.1                            | 4.6                            |
| N 5            | 1.000 | 0     | 0     | 1.000 | 1.000   | 0     | 0     | 1.000 | 1.045   | 0     | 0     | 1.045 | 0.0                            | 4.5                            |
| NM 6           | 0.828 | 0.242 | 0     | 0.863 | 0.820   | 0.240 | 0     | 0.854 | 0.866   | 0.254 | 0     | 0.902 | -1.0                           | 4.5                            |
| NMT 7          | 0.670 | 0.200 | 0.588 | 0.914 | 0.661   | 0.197 | 0.580 | 0.901 | 0.718   | 0.214 | 0.621 | 0.973 | -1.4                           | 6.5                            |
| NMT 8          | 0.774 | 0.234 | 0.346 | 0.880 | 0.748   | 0.240 | 0.335 | 0.854 | 0.812   | 0.261 | 0.370 | 0.930 | -3.0                           | 5.7                            |

解析による結果を実験結果とともに示す。また、図-12は、全塑性相関曲面の計算結果を示したものであり、同図中には、実験結果もプロットしてある。

なお、表中において、 $N, M, T$ は、それぞれ、

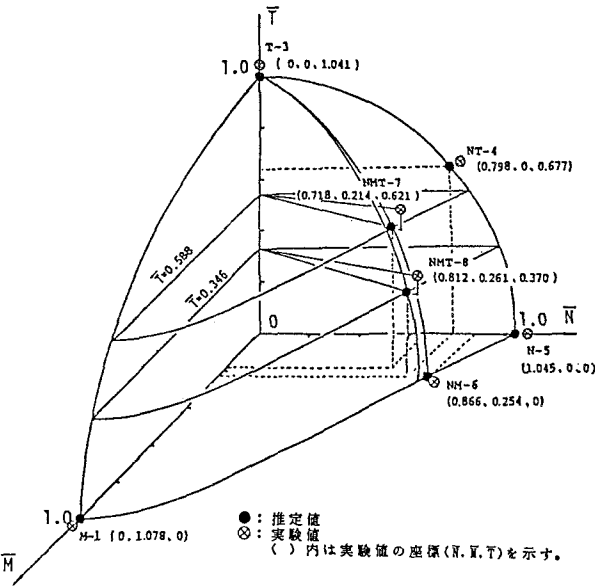
$$\bar{N} = \frac{N_u}{N_p}, \quad \bar{M} = \frac{M_u}{M_p}, \quad \bar{T} = \frac{T_u}{T_p} \tag{5} a, b, c$$

また、 $l$ はデカルト座標における着目点から原点までの距離であり、次式で与えられる。

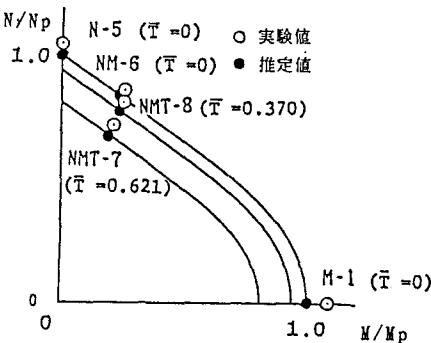
$$l = \sqrt{N^2 + M^2 + T^2} \tag{6}$$

表-3に示すように、本全塑性相関曲面によって求めた推定値は、弾塑性解析結果に対して-3.0~1.1%の精度でよく一致しており、本全塑性相関曲面が十分妥当であることがわかる。

また、この表より、本全塑性相関曲面を用いれば、実験結果を8%以内の精度で評価できることがわかった。すなわち、本全塑性相関曲面を用いれば、構成板パネルの幅厚比パラメータ $R$ が0.7より小さい、実際の薄肉箱型短柱に軸圧縮力、曲げモーメント、および、ねじりモーメントが作用した場合の終局強度を実用的な誤差の範囲内で評価することができるものと考えられる。



(a)相関曲面の全体図



(b)相関曲面の断面図

図-12 相関曲面

## 6. まとめ

本研究で得られた主な結論をまとめると、以下のようになる。

- (1) 実績調査に基づき、実際によく用いられる上限値の幅厚比パラメータ ( $R=0.7$ ) を有する板パネルから構成される本実験供試体は、破壊実験の結果、いずれの荷重の組合せの場合も全塑性に達し、その後、終局状態に至った。
- (2) その際、純ねじり供試体T-3を除いた残りの供試体では、終局状態に至るまでに局部座屈が認められたが、局部座屈は終局強度に、ほとんど影響を及ぼさなかった。
- (3)  $R \leq 0.7$  を有する板パネルからなる箱形短柱の終局状態に至るまでの伸び剛度、曲げ剛度、および、ねじり剛度については、局部座屈による影響を無視し、剛度の低下を残留応力による早期降伏による効果のみを考慮して評価すれば、実際の挙動を良好にシミュレートできることがわかった。
- (4) 本研究で提案した全塑性相関曲線による終局強度は、実験結果に対して、8%以内（安全側）の精度で一致した。
- (5) したがって、ここで提案した相関曲線は、局部座屈の影響が少ない  $R \leq 0.7$  の実際的な箱形断面の終局強度を評価する相関式として有効であると考えられる。
- (6) 実績調査によると、 $R > 0.7$  の局部座屈の影響を考慮する必要がある箱形断面が若干見受けられるが、これらの終局強度相関曲線については、今後、実験および解析によって検討を加える必要がある。

なお、本研究を行うに当たり、川崎重工業(株)技術研究所の大南亮一氏、同橋梁設計部の長井正嗣氏および当時大阪市立大学工学部学生 大槻正彦氏(現 清水建設(株))の協力を得たことを付記し、ここに感謝の意を表する。

## 参考文献

- 1) Nakai, H., Kitada, T. and Miki, T. : Interaction Curve of Thin-Walled Box Stub-Column Subjected to Compression and Bending for Applying to Overall Buckling Analysis of Columns, Proc. of JSCE, Structural Eng./Earthquake Eng., Vol. 2, No. 2, October 1985, pp. 65~73
- 2) 宇佐美勉・土屋信洋・大谷恭弘・福本湧士 : 薄肉集成短柱の弾塑性有限変位解析, 土木学会論文集, No. 362/I-4, 1985年10月, pp. 293~302
- 3) Komatsu, S. and Sakimoto, T. : Elasto-Plastic Behavior of Steel Members under Combined Torsion and Compression, Technology Report of the Osaka University, Vol. 23, No. 1149, 1973, pp. 681-695
- 4) (社)建設コンサルタンツ協会近畿支部 : 斜張橋の実績調査報告, 昭和57年5月, p. 123
- 5) 日本道路協会 : 道路橋示方書・同解説、II. 鋼橋編, 丸善, 昭和55年2月
- 6) Nakai, H., Kitada, T., Ohminami, R. and Nishimura, T. : Elasto-Plastic and Finite Displacement Analysis of Cable-Stayed Bridges, Memoirs of the Faculty of Engineering, Osaka City University, Vol. 26, Dec. 1985, pp. 251-271

(1987年10月16日受付)