

圧縮、2軸曲げ、および、ねじりを受ける薄肉箱形短柱の終局強度に関する実験的研究

EXPERIMENTAL STUDY ON ULTIMATE STRENGTH OF THIN-WALLED BOX STUB COLUMNS
SUBJECTED TO COMPRESSION, BIAXIAL BENDINGS AND TORSION北田 俊行^{*}, 中井 博^{**}, 國廣昌史^{***}, 岸田 和人^{****}

By Toshiyuki KITADA, Hiroshi NAKAI, Masashi KUNIHIRO and Kazuhito KISHIDA

This paper deals with an interaction surface for the ultimate strength of the thin-walled box stub columns under compression, biaxial bendings and torsion. Tests were carried out by using 9 specimens with thin-walled rectangular cross section. Finally proposed is the interaction surface for the ultimate strength which is deduced by considering the local buckling strength of the plate elements from the inherent interaction surface for the fully plastic strength. The error of the test results is laid on the safe side and falls within 18% in comparison with the ultimate strength predicted from the proposed interaction surface for the ultimate strength.

1. まえがき

薄肉箱形断面に、圧縮、1軸曲げ、および、ねじりが作用した場合の終局強度特性についての研究は、文献1)~3)で既に報告されている。これらの研究では、まず構成板パネルの最大の幅厚比パラメータ $R (= \sqrt{\sigma_y / \sigma_{cr}}$ 、 σ_y :降伏点、 σ_{cr} :構成板パネルの弾性座屈応力度)が、0.53(実橋部材によく使用される幅厚比パラメータ)、0.7(実橋部材板パネルのほぼ上限値)、および0.94の箱形短柱について、座屈実験を行っている。それらの座屈実験の結果、i)幅厚比パラメータ $R=0.53$ の供試体では、いずれの荷重の組合せにおいても全塑性に達してから終局状態に至る、そして、ii)幅厚比パラメータ $R=0.7$ の供試体では、終局強度は、ほぼ全塑性強度に一致し、局部座屈は終局強度にほとんど影響しない、また、iii) $R=0.94$ の供試体では、すべてが、全塑性に至らずに終局状態を迎えることが報告されている。つぎに、これらの実験結果、および、そのほかの文献に示された実験結果を用いて、圧縮、1軸曲げ、および、ねじりが、それぞれ独立に作用した場合の薄肉箱形短柱の終局強度曲線について検討を加えている。さらに、これらの終局強度曲線と断面固有の全塑性相関曲面とを用いて、圧縮、1軸曲げ、および、ねじりが同時に作用する薄肉箱形短柱の終局強度相関曲面を導き、実験結果との比較を行っている。その結果、提案された終局強度相関曲面は、終局強度を安全側に評価している。そして、実験値との誤差は、最大の場合でも約20%であることを示し、終

- | | | |
|----------------|------------------|------------------------|
| * 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) |
| *** 工修 川崎重工業㈱ | 部長 鉄構事業部・西部橋梁設計部 | (〒675-01兵庫県加古郡播磨町新島8) |
| **** 大阪市立大学大学院 | 院 生 工学研究科土木工学専攻 | (〒558 大阪市住吉区杉本3-3-138) |

局強度相関曲面の有用性を確かめている。

本研究の目的は、これら文献1)～3)の一連の研究をより発展させて、薄肉箱形短柱に、圧縮、2軸曲げ、およびねじりを同時に作用させた場合の終局強度特性、ならびに終局強度相関曲面について検討することにある。

そこで、まず構成板パネルの最大の幅厚比パラメータ $R=0.53$ 、 0.7 、および 0.94 の3体の実験供試体に2軸曲げモーメントのみを作用させ座屈実験を行い、文献1)、3)、および4)の強軸、および弱軸曲げを作用させた場合の座屈実験結果と突き合わせて、局部座屈を考慮した2軸曲げの終局強度相関曲線について検討する。

さらに、上記幅厚比パラメータを有する各2体の実験供試体に、圧縮、2軸曲げ、および、ねじりが同時に作用する座屈実験を行う。そして、2軸曲げを含む組合せ断面力を受ける場合の全塑性相関曲面を用いて、文献3)と同様の考え方に基づいて、圧縮、2軸曲げ、およびねじりが同時に作用する薄肉箱形短柱の終局強度相関曲面を導き、本実験結果、および文献1)～3)の実験結果との比較、および検討を行う。

2. 実験供試体と作用断面力

(1) 実験供試体の設計

薄肉箱形断面の実験供試体を、板厚3.2mm、4.5mm、および6.0mmの3種類の鋼板を用いて、それぞれ3体ずつ製作した。圧縮を含む組合せ断面力を受ける実験供試体の形状寸法は、文献1)～3)と同一とした。図-1には、2軸曲げを受ける実験供試体の形状寸法を示す。

なお、実験供試体の製作に当たっては、腹板とフランジ・プレートとの溶接部分が弱点とならないように、レ型の開先溶接を採用した。

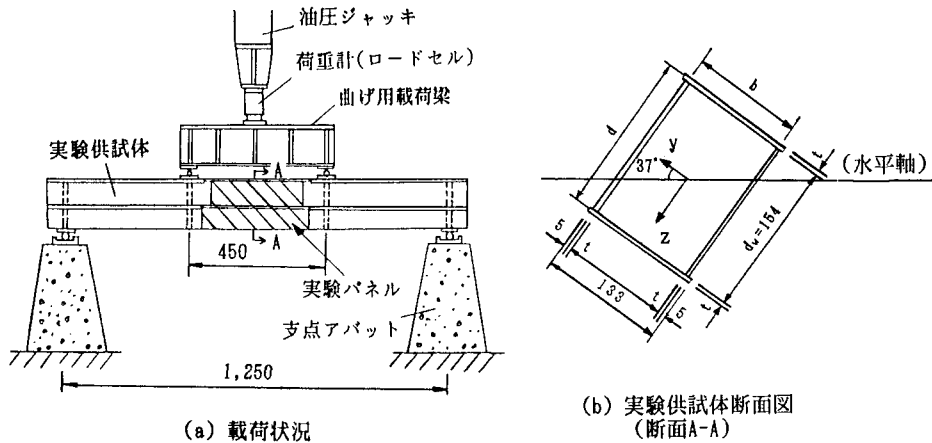


図-1 2軸曲げの荷重状況、および
実験供試体断面図(寸法単位:mm)

(2) 実験供試体の種類

各供試体の板厚、幅厚比パラメータ、および作用断面力を、表-1に示す。なお、この表において、フランジ・プレート、および腹板の幅厚比パラメータ R_f 、ならびに R_w の計算には、実測の降伏点と板厚とを用いた。

(3) 作用断面力

2軸曲げ ($M_y M_z$)、圧縮・2軸曲げ ($N M_y M_z$)、および圧縮・2軸曲げ・ねじり ($N M_y M_z T$) の組合せ断面力のもとで弾性範囲内における作用応力分布を、図-2に示す。また、図中に示す応力の比が、

$\sigma_1/\sigma_2=1.5$ 、 $\sigma_3/\sigma_4=2.0$ 、および $\sigma_3/\sigma_1=1.25$ となるように軸方向圧縮力、および2軸曲げモーメントを作用させた。

表-1 実験供試体一覧、および実験供試体名

形状寸法 (単位 mm)				幅厚比パラメータ		本数	作用断面力		
板厚 t	フランジ幅 b	腹板幅 d	供試体長 l	R_f	R_w		$M_y M_z$	$N M_y M_z$	$N M_y M_z T$
3.2	130	157	450	0.74	0.94	3	MM-1	NMM-1	NMMT-1
4.5	129	159	450	0.53	0.70	3	MM-2	NMM-2	NMMT-2
6.0	127	160	450	0.39	0.53	3	MM-3	NMM-3	NMMT-3
N : 軸方向圧縮力 M_y : 強軸回りの曲げモーメント T : ねじりモーメント M_z : 弱軸回りの曲げモーメント									

3. 載荷方法

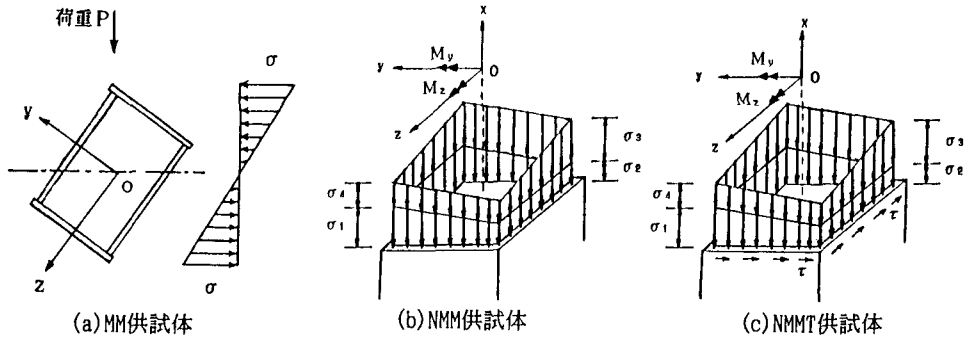
(1) 2軸曲げ実験

図-1に示すように、実験供試体を斜めにセットし、2点荷重を与えて、2軸曲げモーメントを再現させた。

(2) 圧縮・2軸曲げ、および 圧縮・2軸曲げ・ねじり実験

実験には、文献1)で開発されたN-M-T実験装置を用いた。

なお、 $N M_y M_z T$ の実験供試体では、最初に所定のねじりモーメント(全塑性モーメント $T_p^{(1)}$ の1/2)を与え、それを一定に保持した。その後、圧縮力と曲げモーメントとの比を一定に保ちながら荷重を漸増させ、実験供試体を終局状態に至らしめた。ここで、 T_p の上添字(1)は、関係する断面力(ここでは、ねじりモーメント)のみが作用している状態を表す。



4. 予備実験

図-2 各実験供試体の作用応力分布
(低荷重の弾性範囲)

4.1 鋼材の機械的性質

実験供試体は、文献1)と同じ鋼板(SS41)を用いて製作した。それらの機械的性質を、表-2に示す。

表-2 鋼板の機械的性質

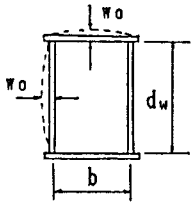
鋼板厚 (mm)	ヤング係数 E (kgf/cm ²)	せん断弾性係数 G (kgf/cm ²)	ポアソン比 μ	降伏応力 σ_v (kgf/cm ²)	引張強さ σ_u (kgf/cm ²)
3.19 (3.2)*	2.07×10^6	8.12×10^5	0.27	2,874	4,500
4.43 (4.5)*	2.11×10^6	7.99×10^5	0.28	2,950	4,290
5.95 (6.0)*	2.05×10^6	8.26×10^5	0.28	2,900	4,040
* : ()内は公称値を示す。(1kgf/cm ² =0.098N/mm ²)					

4.2 初期不整の測定

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。そこで、実験に先立って、す

すべての実験供試体の初期たわみを測定した。測定には、トランシット、および鋼尺(精度1/10mm)を用いた。実験供試体の腹板、およびフランジ・プレートの横断面に沿って測定した初期たわみ w_0 の最大値を、表-3に示す。この表より、実験供試体の初期たわみは、すべて道路橋示方書の製作基準値である $b/150$ 、あるいは $d_w/150$ を満足していることがわかる。

表-3 実測初期たわみの最大値

供試体 No.	腹板 $w_0/(d_w/150)$	フランジ $w_0(b/150)$	備考
MM-1	-0.4	-0.7	
NNM-1	-0.5	0.3	
NNMT-1	—	—	
MM-2	0.4	0.3	
NNM-2	-0.4	-0.3	
NNMT-2	-0.7	-0.8	
MM-3	-0.2	0.6	
NNM-3	-0.4	0.4	
NNMT-3	—	—	

5. 座屈実験

(1) 弾性実験

座屈実験に先立ち、低荷重のもとで数回の弾性実験を行い、供試体断面内の軸方向応力、およびせん断応力が、所定の分布形状になることを確かめた。

(2) 座屈実験 座屈実験より得られた作用断面力-ひずみ曲線から、代表的な実験供試体の崩壊に至るまでの挙動を調べた。以下に、その代表例を示す。

なお、終局強度特性については、次節以降で理論的な全塑性、および終局強度相関曲面を用いて考察を行う。

a. 2軸曲げ実験 ($M_y M_z$ 供試体)

図-3には、実験供試体中央断面の圧縮側フランジ・プレートの作用曲げモーメント-軸方向ひずみ曲線を示す。同図において、 M_y は強軸回りの作用曲げモーメント、 $M_{py}^{(1)}$ はそれに対応する全塑性モーメント、また ϵ_y は降伏ひずみである。この図によると、実験供試体MM-1では $M_y/M_{py}^{(1)}=0.4$ 付近で、また実験供試体MM-2では $M_y/M_{py}^{(1)}=0.5$ 付近で、局部座屈が始まっていることがわかる。

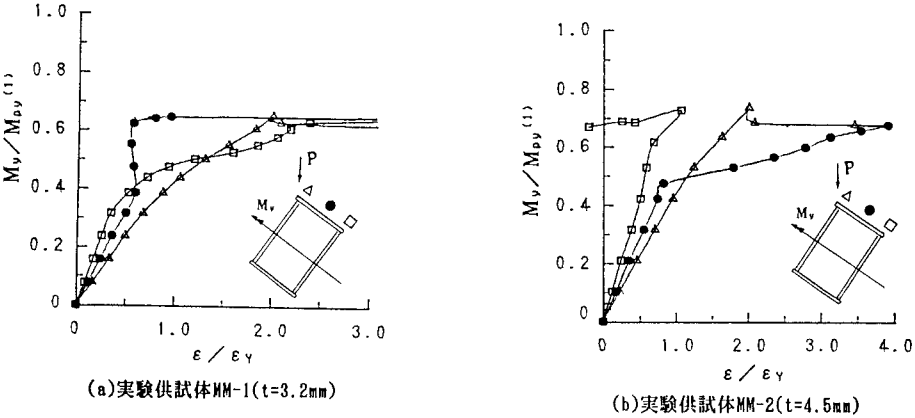
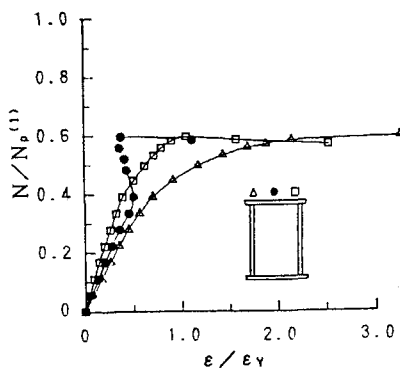


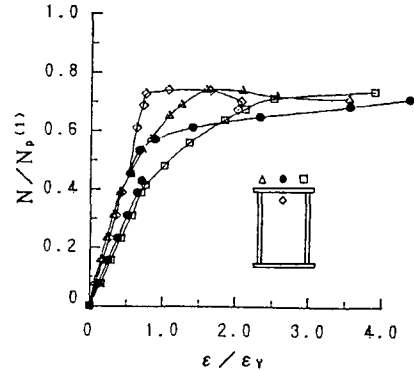
図-3 2軸曲げ(MM)実験の作用曲げモーメント-軸方向ひずみ曲線

b. 圧縮・2軸曲げ実験 ($N M_y M_z$ 供試体)

図-4には、実験供試体中央断面の圧縮側フランジ・プレートの軸方向圧縮力-軸方向ひずみ曲線を示す。同図において、 N は作用軸方向圧縮力、また $N_p^{(1)}$ は全塑性軸力を表す。すると、実験供試体NMM-1では $N/N_p^{(1)}=0.4$ 付近で、また実験供試体NMM-2では $N/N_p^{(1)}=0.55$ 付近で、局部座屈が始まっていることがわかる。



(a) 実験供試体 NMM-1 (t=3.2mm)



(b) 実験供試体 NMM-2 (t=4.5mm)

図-4 2軸曲げ (NMM) 実験の作用軸圧縮力
-軸方向ひずみ曲線

6. 2軸曲げを受ける実験供試体の実験終局強度と推定値との比較

(1) 純曲げを受ける場合の終局強度曲線

1軸曲げを受ける薄肉断面梁に対する文献3)の終局強度曲線について、再検討を行った。その結果、図-5に示すように、幅厚比パラメータ $R_b (= \sqrt{\sigma_y / \sigma_{cr,b}}$ 、 $\sigma_{cr,b}$: 構成板要素の局部座屈に起因する弾性の曲げ座屈応力度) と純曲げの実験終局曲げモーメント $M_u^{(1)}$ との関係が得られた。そこで、最小2乗法を用い、安全側の終局強度曲線 (平均値-2倍の標準偏差, 標準偏差 0.037) を求めれば、以下の回帰式が得られる。

$$\frac{M_u^{(1)}}{M_p^{(1)}} = -0.265 R_b + 1.163 \quad , \quad (0.4 \leq R_b \leq 1.1) \quad (1)$$

ここに、 $M_u^{(1)}$ は終局曲げモーメント、また $M_p^{(1)}$ は全塑性モーメントである。

この式(1)も、図-5中にプロットしてある。これらのことから、同式は、実験値の下限値によく適合していることがわかる。

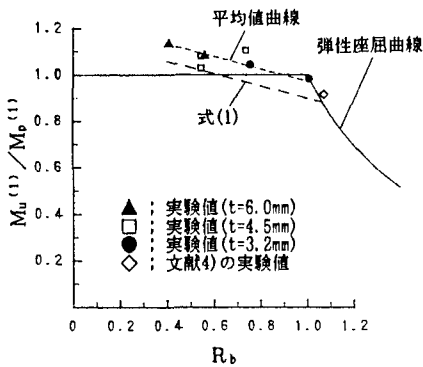


図-5 終局曲げモーメントと幅厚比
パラメータ R_b との関係

表-4 推定値と実験値との比較

		MM-1	MM-2	MM-3
推定値 (全塑性)	$M_{p2y} / M_{py}^{(1)}$	0.695	0.695	0.695
	$M_{p2z} / M_{pz}^{(1)}$	0.635	0.634	0.635
	$M_{p2}^{*(1)}$	0.942	0.941	0.942
推定値 (終局状態)	$M_{uy} / M_{py}^{(1)}$	0.669	0.708	0.733
	$M_{uz} / M_{pz}^{(1)}$	0.568	0.613	0.644
	$M_2^{*(1)}$	0.878	0.936	0.976
実験値 (終局状態)	$M_{uy} / M_{py}^{(1)}$	0.657	0.744	0.767
	$M_{uz} / M_{pz}^{(1)}$	0.599	0.694	0.713
	$M_{2e}^{*(1)}$	0.889	1.017	1.137
$\frac{(M_{2e}^{*(1)} - M_2^{*(1)})}{M_2^{*(1)}} (\%)$		1.244	8.660	7.308

(2) 2軸曲げ実験供試体 (MM) の実験終局強度と推定値との比較

2軸曲げ実験の結果を、表-4、および図-6に示す。図-6において、縦軸は弱軸回りの終局曲げモー

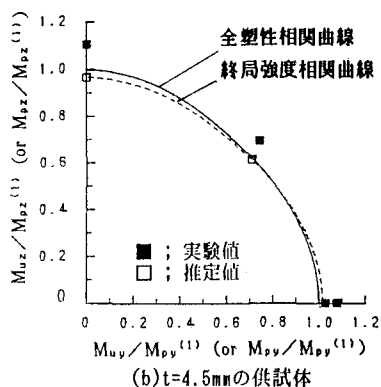
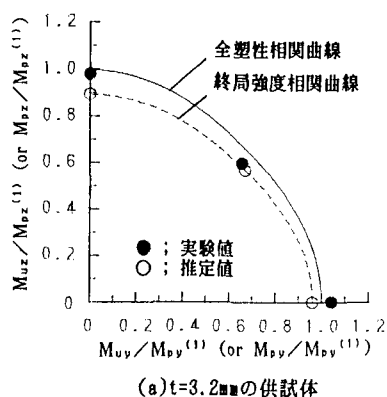


図-6 2軸曲げ終局強度相関曲線上での実験値と推定値との比較

メント M_{uz} を全塑性曲げモーメント $M_{pz}^{(1)}$ で無次元化した値で、また横軸は強軸回りの終局曲げモーメント M_{uy} を全塑性曲げモーメント $M_{py}^{(1)}$ で無次元化した値である。実線は、図-7に示す応力状態を仮定して導いた2軸曲げが作用した場合の全塑性相関曲線である。また、点線は、全塑性相関曲線を、縦、および横軸方向に、それぞれ終局強度曲線式(1)で求められる強度 $M_{uz}^{(1)}/M_{pz}^{(1)}$ 、および $M_{uy}^{(1)}/M_{py}^{(1)}$ の比率で低減、あるいは拡大した終局強度相関曲線である。図より、すべての実験値は、終局強度相関曲線の外側に位置していることがわかる。

そこで、図-8に示すように、2軸曲げの終局強度を評価する値として、原点からの距離 $M_2^{*(1)}$ を採用するものとすれば、 $M_2^{*(1)}$ は、次のように表される。

$$M_2^{*(1)} = \sqrt{\left(\frac{M_{uy}^{(1)}}{M_{py}^{(1)}}\right)^2 + \left(\frac{M_{uz}^{(1)}}{M_{pz}^{(1)}}\right)^2} \quad (2)$$

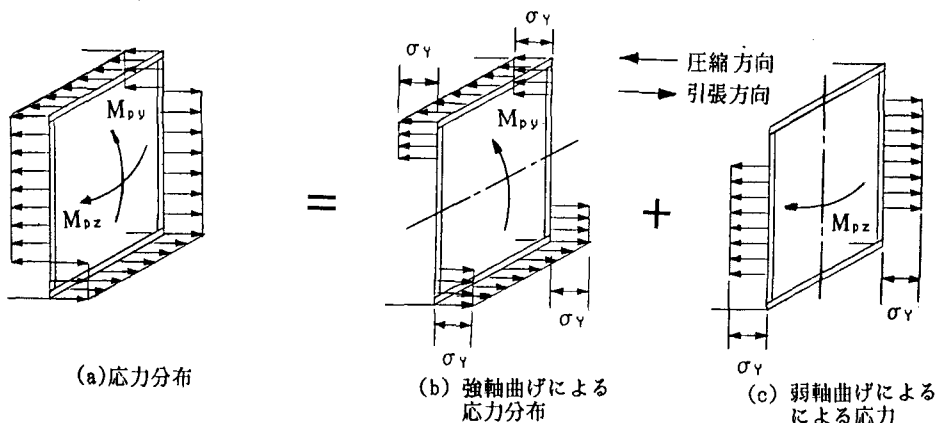


図-7 2軸曲げが作用する場合の全塑性状態における応力分布の仮定（中立軸が腹板内にある場合）

この $M_2^{*(1)}$ は、2軸曲げの終局強度を表すパラメータであり、以下、無次元等価終局曲げモーメントという。また、局部座屈、および、ひずみ硬化が起こらない全塑性状態での $M_2^{*(1)}$ の値を $M_{p2}^{*(1)}$ とし、以下、これを無次元等価全塑性曲げモーメントという。
すなわち、

$$M_{p2}^{*(1)} = \sqrt{\left(\frac{M_{py}}{M_{py}(T)}\right)^2 + \left(\frac{M_{pz}}{M_{pz}(T)}\right)^2} \quad (3)$$

上で示した表-4によると、 $M_2^{*(1)}$ の実験値は、式(2)による推定値に対して、1~9%の安全側の誤差を有していることがわかる。

7. 組合せ断面力による終局強度相関曲面

(1) 全塑性相関曲面

箱形断面に、軸方向圧縮力、2軸曲げモーメント、および、ねじりモーメントが作用した場合の全塑性状態の応力分布としては、中立軸の位置に応じて、図-9のように、3つの場合が考えられる。

中立軸が腹板とフランジ・プレートを通る場合を例として、圧縮、強軸曲げ、弱軸曲げ、および、ねじりによる作用応力を、それぞれ分離して、図-10に示す。ここで、文献3)と同様に、せん断流は、全塑性状態においても断面内で一定である。そして、ねじりによるせん断応力 τ により見かけ上、降伏点が、低下するものと仮定している。

すなわち、いま全塑性状態における断面力を、 N_p 、 M_{py} 、 M_{pz} 、および T_p とする。すると、全塑性ねじりモーメント T_p によるせん断応力 τ を用い、von Misesの降伏条件式に従って、次式に定義されるような応力係数 K_A を考えることができる。

$$K_A = \sqrt{1 - \left(\frac{T_p}{T_p^{(1)}}\right)^2} \quad (4)$$

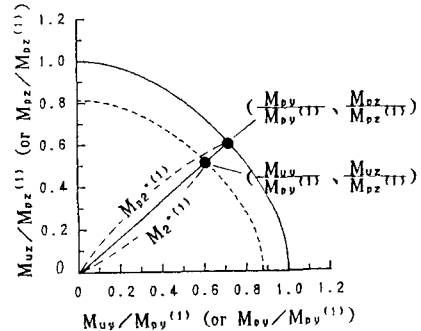


図-8 無次元等価全塑性曲げモーメントおよび無次元等価終局曲げモーメントの定義

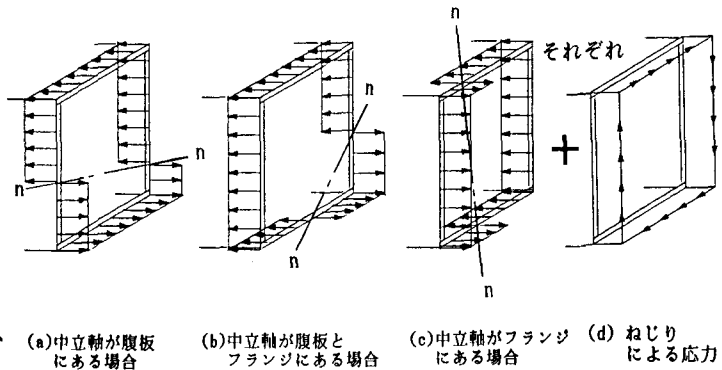


図-9 全塑性状態における応力分布の仮定

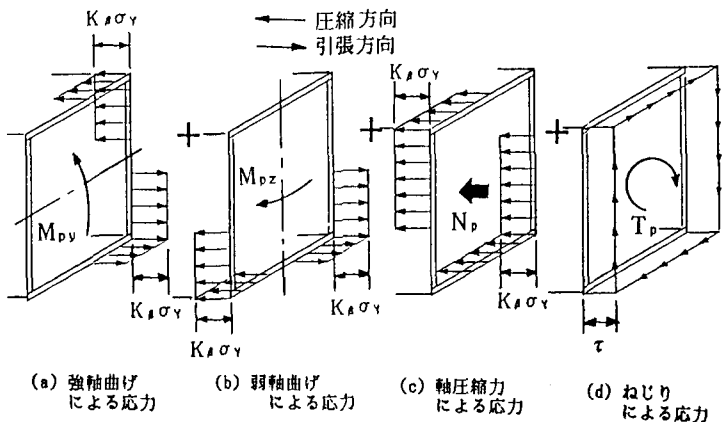


図-10 中立軸が腹板とフランジ・プレートを通る場合の応力分布の内訳

この応力係数を用い、材料の降伏点 σ_Y を見かけ上、 $K_\beta \sigma_Y$ になるものとする。すると、作用断面力の比率が与えられれば、図-10の応力分布を用い、釣合条件式より、圧縮、2軸曲げ、および、ねじりを受ける場合の全塑性相関曲面を導くことができる。

上述の全塑性相関曲面の作図法としては、次の2つの形式を考える。

a. 圧縮、強軸曲げ、および、弱軸曲げを座標軸とする全塑性相関曲面（後述の図-12参照）

この場合のそれぞれの座標軸の無次元化強度は、つぎのように表される。

$$\overline{N_p^*} = \frac{N_p}{K_\beta N_p^{(1)}} \quad , \quad \overline{M_{py}^*} = \frac{M_{py}}{K_\beta M_{py}^{(1)}} \quad , \quad \overline{M_{pz}^*} = \frac{M_{pz}}{K_\beta M_{pz}^{(1)}} \quad (5) \quad a \sim c$$

b. 圧縮、無次元等価曲げモーメント、および、ねじりを座標軸とする全塑性相関曲面
（後述の図-13参照）

2軸曲げの全塑性状態を表す等価値として、無次元等価全塑性曲げモーメント M_{p2}^* （式(3)の $M_{p2}^{*(1)}$ とは、 N 、および T の存在により、 M_{py} 、ならびに M_{pz} の値が異なる）を用い、この場合のそれぞれの座標軸の無次元化強度は、次のように表される。

$$\overline{N^*} = \frac{N_p}{N_p^{(1)}} \quad , \quad \frac{M_{p2}^*}{M_{p2}^{*(1)}} \quad , \quad \overline{T^*} = \frac{T_u}{T_p^{(1)}} \quad (6) \quad a \sim c$$

(2) 終局強度相関曲面

局部座屈を考慮した終局強度相関曲面は、圧縮、1軸曲げ、および、ねじりが、それぞれ独立に作用した場合の終局強度曲線を用い、文献3)と同様の考え方で、近似的に全塑性相関曲面から導くことができる。

いま、各終局強度曲線の無次元化強度を、

$$K_\sigma = \frac{N_u^{(1)}}{N_p^{(1)}} \quad , \quad K_{by} = \frac{M_{uy}^{(1)}}{M_{py}^{(1)}} \quad , \quad K_{bz} = \frac{M_{uz}^{(1)}}{M_{pz}^{(1)}} \quad , \quad K_\tau = \frac{T_u^{(1)}}{T_p^{(1)}} \quad (7) \quad a \sim d$$

とおく。すると、これらは、全塑性断面力に対する低減係数と考えることができる。したがって、これらの低減係数を用い、局部座屈の影響を考慮した終局断面力 N_u 、 M_{uy} 、 M_{uz} 、および T_u は、全塑性状態にある断面力 N_p 、 M_{py} 、 M_{pz} 、および T_p を用いて、つぎのように求めることができる。

$$\left. \begin{aligned} N_u &= K_\sigma N_p \\ M_{uy} &= K_{by} M_{py} \\ M_{uz} &= K_{bz} M_{pz} \\ T_u &= K_\tau T_p \end{aligned} \right\} \quad (8) \quad a \sim d$$

ただし、 N_p 、 M_{py} 、および M_{pz} を求める際に用いる見かけの降伏点は、 $K_\beta^* \sigma_Y$ となる。ここに、

$$K_\beta^* = \sqrt{1 - \left(\frac{T_u}{T_p^{(1)}} \right)^2} \quad (9)$$

以下では、式(7)の K_σ 、および K_τ には、文献3)で検討された圧縮とねじりの各終局強度曲線式を用いる。そして、 K_{by} 、および K_{bz} には、曲げの終局強度曲線式(1)を用いることにする。

8. 終局強度相関曲面と実験結果の比較

(1) 2軸曲げを受ける実験供試体（MM, NMM, NMMT）の実験終局強度と推定値との比較

本実験より得られた終局強度と式(8)より求めた終局強度の推定値とを比較したものを、表-5に示す。なお、表中の l_u は、 $N_u/N_p^{(1)}$ 、 $M_{uy}/M_{py}^{(1)}$ 、 $M_{uz}/M_{pz}^{(1)}$ 、および $T_u/T_p^{(1)}$ を座標軸とする4次元相関図上原点Oからの任意点に至る距離であり、次式で定義される量である。

$$l_u = \sqrt{\left(\frac{N_u}{N_p^{(1)}} \right)^2 + \left(\frac{M_{uy}}{M_{py}^{(1)}} \right)^2 + \left(\frac{M_{uz}}{M_{pz}^{(1)}} \right)^2 + \left(\frac{T_u}{T_p^{(1)}} \right)^2} \quad (10)$$

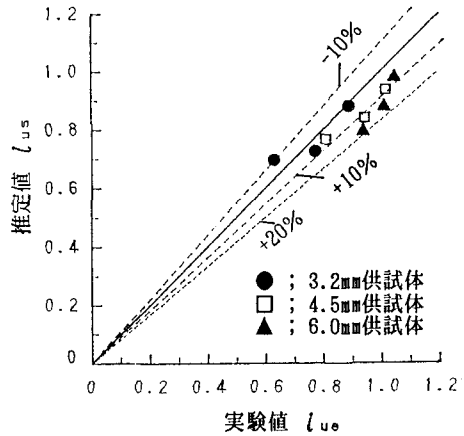
表－5 実験終局強度と推定値との比較

供試体No.		MM-1	MM-2	MM-3	NMM-1	NMM-2	NMM-3	NMNT-1	NMNT-2	NMNT-3
推定値 (終局状態)	$N_u/N_p^{(1)}$	0	0	0	0.627	0.684	0.746	0.514	0.608	0.652
	$M_{uy}/M_{py}^{(1)}$	0.669	0.707	0.733	0.206	0.228	0.189	0.171	0.170	0.171
	$M_{uz}/M_{pz}^{(1)}$	0.668	0.613	0.644	0.222	0.259	0.186	0.161	0.272	0.247
	M_2^*	0.878	0.936	0.976	0.304	0.345	0.266	0.235	0.321	0.301
	$T_u/T_p^{(1)}$	0	0	0	0	0	0	0.456	0.483	0.501
	l_{us}	0.878	0.936	0.976	0.696	0.766	0.792	0.727	0.840	0.876
実験値 (終局状態)	$N_u/N_p^{(1)}$	0	0	0	0.597	0.739	0.882	0.617	0.726	0.788
	$M_{uy}/M_{py}^{(1)}$	0.656	0.743	0.767	0.131	0.208	0.242	0.165	0.171	0.224
	$M_{uz}/M_{pz}^{(1)}$	0.599	0.694	0.713	0.156	0.248	0.203	0.168	0.288	0.276
	M_2^*	0.888	1.017	1.047	0.204	0.325	0.316	0.235	0.335	0.355
	$T_u/T_p^{(1)}$	0	0	0	0	0	0	0.400	0.5	0.518
	l_{uo}	0.888	1.017	1.047	0.631	0.808	0.937	0.773	0.943	1.008
$\frac{l_{uo}-l_{us}}{l_{us}}(\%)$		1.244	8.660	7.308	-9.44	5.428	18.28	6.326	12.20	15.05

この l_u の実験値 l_{uo} と推定値 l_{us} とを比較したものが、図－11である。表－5、および図－11より、実験値の推定値に対する誤差は、1体の実験供試体(NMM-1)を除き、1～18%の安全側で実用的なものであることがわかった。

(2) 終局強度相関曲面と実験値との比較

座標軸として、 $(N_u/K_\beta \cdot N_u^{(1)}, M_{uy}/K_\beta \cdot M_{uy}^{(1)}, M_{uz}/K_\beta \cdot M_{uz}^{(1)})$ 、および $(N_u/N_u^{(1)}, M_2^*/M_2^{(1)}, T_u/T_u^{(1)})$ を用いれば、それぞれ7(1)a.およびb.で定義した全塑性相関曲面と終局強度相関曲面とは一致する。これらの座標軸を用いて、終局強度相関曲面と実験終局強度とを比較したものを、図－12、および図－13に示す。なお、それらの図中には、文献3)の実験値も合わせて示してある。これらの図より、実験値の多くは、終局強度相関曲面の外側に位置していることがわかる。



図－11 終局強度の実験値と推定値との比較

9. まとめ

2軸曲げを含む組合せ断面力を受ける9体の模型実験による実験的研究で得られた主な結論は、以下のようにならめられる。

i) 2軸曲げを受ける薄肉箱形断面梁の終局強度は、局部座屈、および、ひずみ硬化を考慮して全塑性相関曲線を縮尺、あるいは拡大した終局強度相関曲線で近似的に評価できることがわかった。

ii) この終局強度相関曲線を用いて計算した推定終局曲げモーメントに対する実験終局曲げモーメントの誤差は、9%以下の安全側の値となった。

iii) 2軸曲げを含む組合せ断面力を受ける薄肉箱形短柱の終局強度も、局部座屈を考慮して全塑性相関曲面を縮尺した終局強度相関曲面によって、近似的に評価できることがわかった。

iv) 終局強度相関曲面を用いて求めた推定終局強度に対する実験終局強度の誤差は、1体の実験供試体を除き、18%以下の安全側の値となった。

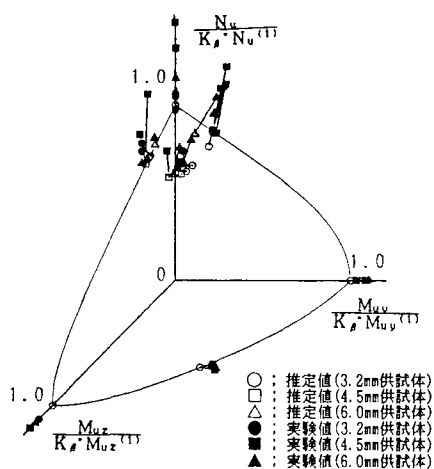


図-1 2 一般化された終局強度相関曲面上での実験値と推定値の比較 (その1) (文献3)の実験供試体も含む)

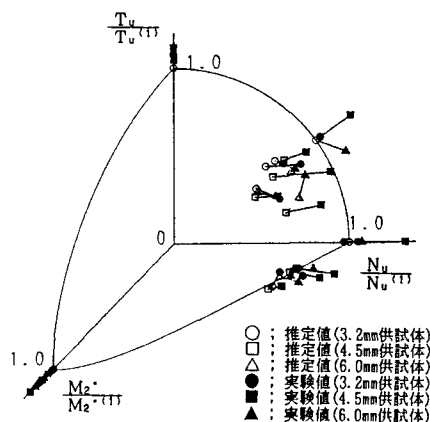


図-1 3 一般化された終局強度相関曲面上での実験値と推定値の比較 (その2) (文献3)の実験供試体も含む)

参考文献

- 1) 北田俊行・中井 博・國廣昌史・松下孝文：圧縮・曲げ・ねじりの組み合わ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，構造工学論文集，土木学会，Vol.34A，1988.3，pp.221～231
- 2) Kitada, T., Nakai, H., and Kunihiro, M. : Ultimate Strength of Box Stub Columns under Combined Actions of Compression, Bending, and Torsion, Journal of Constructional Steel Research, Vol.13, Nos.2 & 3, 1989, pp.153～168
- 3) 中井 博・北田俊行・國廣昌史・中村清孝・岸田和人：組合せ断面力を受ける薄肉箱形断面短柱の局部座屈を考慮した終局強度相関曲面に関する実験的研究，構造工学論文集，土木学会，Vol.36A，1990.3，pp. 89～100
- 4) 中井 博・村山泰男・北田俊行・高田佳彦：曲げとねじりを受ける薄肉箱形断面梁の極限強度に関する実験的研究，構造工学論文集，土木学会，Vol.36A，1990.3，pp.63～70

(1990年10月12日受付)