

開断面鋼部材の弾塑性ねじりについて

熊本大学 正 員 崎元達郎

熊本大学の学生員 須崎浩二

熊本大学 正 員 山尾敏孝

熊本大学 正 員 坂田力

1. まえがき: 耐力力を基準として薄肉開断面鋼部材の強度設計をする場合には、弾塑性ねじり挙動が問題となることが少なくない。しかし、その変位を拘束した状態でのねじり挙動は、弾性域では理論が確立しているが、材料が塑性化した状態では弾性域での理論を拡張して適用しているにすぎない。そこで、すでに行なった実験の結果と、著者が開発した弾塑性有限要素法による結果を比較・検討して、その挙動を明らかにしたい。

2. 解析モデル: 弾塑性ねじり実験の供試体は、溶接H形鋼で、強軸に対する細長比を20~59, 軸力比($\alpha = P/P_y$)を0~0.4に変化させ組合せた5体である

が、そのうち $\alpha = 2.0$, $\alpha = 0.2$ の供試体HT-1を選んで解析した。その断面寸法を表1, 図1に示す。また図2はその残留応力分布である。この供試体を図3のB-1, B-2のようなはり要素のみのモデルと、Cのようなはり要素と板要素を結合させたモデルで解析する。解析に用いた応力ひずみ関係は図4に示すbi-linear型のものとした。ここで、ひずみ硬化係数 E_{st} を、母材の引張試験により得られた応力ひずみ関係から図に示すようにひずみエネルギーが一定となるように定めた。

3. 結果と考察: 図5は荷重とB断面のねじり角 ϕ_B の関係を示している。モデルCの解析値が実験値と非常によく一致している。また、モデルB-2がモデルB-1より実験値に近ずいたのは、端部付近のはり要素の分割を多くしたので、境界のそり拘束の影響がうまく伝達されたためと考えられる。モデルBとモデルCの結果の相違の一因も、端部のそり拘束の解析精度にあると考えられる。另、モデルCの板要素部分を長

表1 供試体断面諸量

No.	L (mm)	L/r _x	h (mm)	b (mm)	t _f (mm)	t _w (mm)	A (cm ²)	α
HT-1	652.9	20	80.6	80.4	5.8	5.8	13.34	0.2

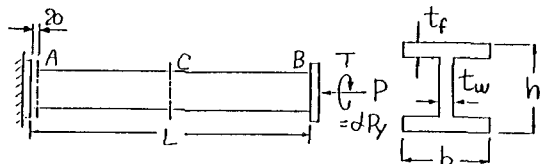


図1 供試体形状寸法

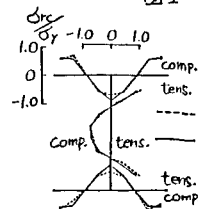


図2 残留応力分布

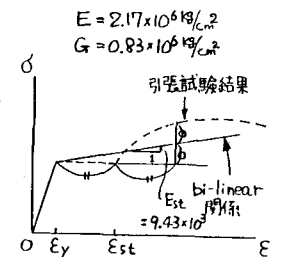


図4 応力ひずみ関係

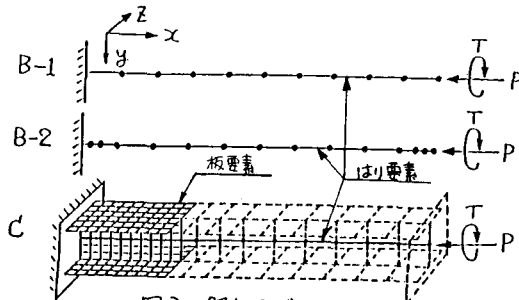


図3 解析モデル

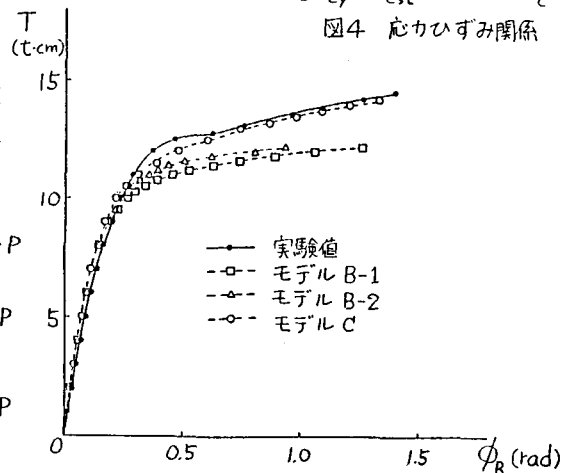


図5 トルク-ねじり角曲線

手方向及び幅方向に細分割したモデルにより、弾性解析した時のフランジの二次せん断応力の分布を図6に示す。 $x=2.99\text{cm}$ では、はり理論で得られる放物線分布をしているが、端板に近づくほどフランジ幅方向端部のせん断応力が大きくなる。このフランジ幅方向端部は、そり拘束ひずみも大きいので、断面の塑性化をばやめる効果があると考えられる。また、その時の端板近傍におけるフランジのそり拘束ひずみの分布を図7に示す。端板近傍ではひずみ分布が線形分布からはずれる。軸ひずみと直線分布と仮定する薄肉はり理論では、端板近傍のひずみ分布を近似的に取扱っていることになる。図8は各荷重段階での実験値及びモデルCの解析結果の上フラン

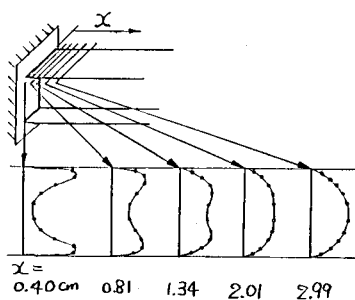


図6 二次せん断応力分布

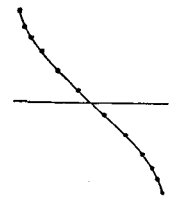


図7 そり拘束ひずみ分布 ($x=0.40\text{cm}$)

ジにおけるそり拘束ひずみ分布である。分布状態はよく一致している。この位置ではそり拘束ひずみはほぼ直線になるので、はり理論によっても同様の結果が得られる。塑性の判定は、残留応力・トルクによるひずみと相当塑性ひずみを越えるかどうかで行なった。図9のように、フランジ幅方向端部の圧縮残留応力に、そりによる圧縮の直応力が加わる部分から塑性化する様子や、ウェブ中央に圧縮による塑性化がすすむ様子などよく一致している。実験では $T=10.5\text{tcm}$ で固定端フランジが全塑性化しているが、モデルB-2では $T=10.25\text{tcm}$ で全塑性化している。フランジが全塑性になるとねじりに対する剛性が低下し、単純ねじりへ移行するのではないかと推察される。表2は実験とモデルB-2の解析結果によるねじり角モードである。ある荷重増分での、各点におけるねじり角増分 $\Delta\phi_x$ をB断面のねじり角増分 $\Delta\phi_b$ で割った値を示している。弾性域では、そり拘束ねじりの分布とよく一致している。実験、解析とも、フランジの塑性化がすすむにつれて単純ねじりへと近づくが、フランジ全塑性後も完全に単純ねじりとはならない。解析では、フランジ全塑性後ごくわずかなではあるがそり拘束ねじりにもどる傾向にある。しかし、実験ではその傾向はみられない。

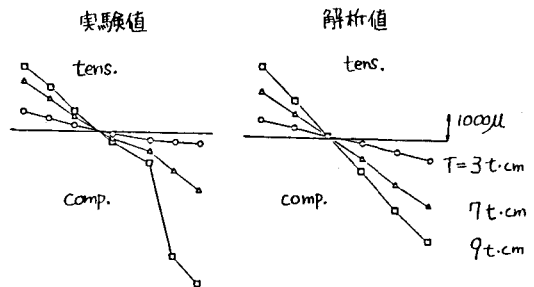


図8 そり拘束ひずみ分布 ($x=2.0\text{cm}$)

4. まとめ: (i)はり要素のみの解析でも、ねじりに対してある程度十分な結果は得られる。(ii)端板近傍でのひずみ分布は薄肉はり理論からはずれる。(iii)そり拘束ねじりで、端部フランジが全塑性化すると単純ねじりに近づくが、完全に単純ねじりになるという結果は得られなかった。

(参考文献)

- 1) 山尾他「H形鋼柱の…」構造工学論文集 Vol.32A 1986.3
- 2) 山尾他「薄肉開断面の…」構造工学論文集 Vol.32A 1986.3
- 3) 山尾他「板要素とはり要素…」構造工学論文集 Vol.32A 1986.3
- 4) 藤井他「H形鋼梁の…」橋梁と基礎 昭和57年11月
- 5) 鈴木他「H形鋼の…」建築学会論文集 第180号 昭和46年2月

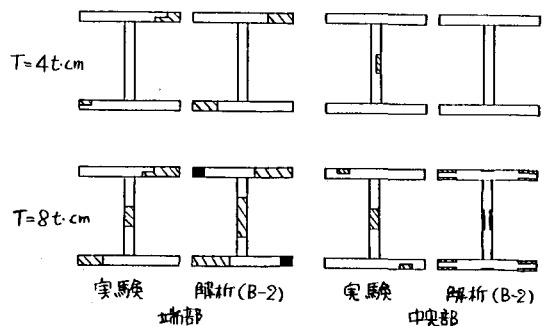


図9 塑性域分布
■ 圧縮
□ 引張

表2 ねじり角モード

x/L		0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
$\Delta\phi_x / \Delta\phi_b$	弾性解	0	0.107	0.354	0.646	0.893	1
	単純ねじり	0	0.200	0.400	0.600	0.800	1
	実験値	T=0~5 t.cm (弾性)	0	0.119	0.360	0.625	0.876
		10.5~12.8 (塑性)	0	0.142	0.386	0.623	0.863
	解析値	T=0~6 t.cm (弾性)	0	0.115	0.360	0.640	0.885
		10.25~11.8 (塑性)	0	0.164	0.384	0.616	0.836