

熊本大学 正員。山尾敏孝
" " 崎元達郎
道路公団 " 八木 弘

まえがき: 鋼構造物を構成する部材が、軸力・曲げおよびねじりの組合せ応力を受けた時の弾塑性部材の剛性の評価やねじり挙動の研究は従来より盛んに行われているが、ほとんどが開断面部材に関してであり、開断面部材のねじり剛性、特にそり拘束の影響を考慮した場合のねじり剛性の評価法は必ずしも明確にされていない。本報告では、そり拘束の影響が大きく現実に多用される溶接H形断面部材を試験体を選び、軸力とねじりの組合せ力と載荷し、両端部のそり拘束をした時の弾塑性ねじり挙動について実験的に調べ、並行して進めている理論解析法の仮定の妥当性やねじり剛性の評価法について検討したものである。

実験概要: 使用鋼材はともにSS-41であるが表-1の試験結果に示すように二種類の材料を用いた。供試体は溶接H形断面で縦軸に対する細長比を20~59、軸力比を0~0.4に変化させて組合せさせた供試体であり、その形状寸法、断面寸法を表-2、図-1に示す。部材断面の溶接による残留応力を切断法により測定を行ない、その実測値と修正値を図-2に示す。供試体への載荷は、図-3に示すように圧縮ロードセルと回転をスムーズにするためのスラストベアリングを通して軸力を与え、トルクは供試体上部に取付けた回転円板の相対する2ヶ所にワイヤーを取付け、これを引張ることにより与えた。供試体両端部はそりを完全に拘束するために厚鋼板を溶接し、さらにその上から押え板で押えた。下端部には、軸偏に補正および回転用として、半径76mmの球形半球のついた固定端板を付けた。ねじり角の測定は図-1に示すように材長方向の等分点に、30cmのアングル材を取付け、その上に25cm間隔で2個の電変式変位計を1組として計6組セットし、軸ひずみ、せん断ひずみは端部から2cmのA断面に三軸32枚、中央断面Cには一軸14枚、三軸10枚の計56点である。実験では、一定軸力を与えて保持した後トルクを加え、再び軸力を補正する方法をとった。

実験結果と考察: 図-4にはねじり角の材長方向に対する分布状態としてHT-1について示したものである。 $T = 80 + cm$ はほぼ弾塑性状態であるが、端部のそり拘束が解除され、固定端部に曲げヒンジが発生し単純ねじり状態に移行するような傾向は見られず、

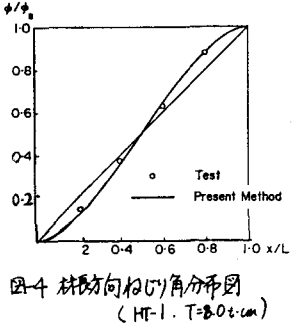


表-1 材料の機械的性質

Properties	Test Specimen	HT-1, 4, 5		HT-2, 3	
		Mill Sheet	Measured Value	Mill Sheet	Measured Value
Plate Thickness	t mm	6.0	5.7	6.0	5.4
Young's Modulus	E kg/cm ²	—	2.17x10 ⁵	—	2.09x10 ⁵
Strainhardening's Modulus	E _h kg/cm ²	—	1.15x10 ⁵	—	8.55x10 ⁴
Tensile Strength	σ_b kg/cm ²	2800	2810	3100	2875
Max. Strength	σ_m kg/cm ²	4200	4354	4500	4250
Yield Stress	σ_y kg/cm ²	—	1450	—	1370
Strainhardening Strain	$\epsilon_p \times 10^4$	—	18700	—	26700
Elongation	δ %	33.0	93.0	27.0	49.9

表-2 供試体の断面寸法

No.	L	λ_z	h	b	t_f	t_w	A	α
HT-1	652.9	20	80.6	80.4	5.8	5.8	13.34	0.2
HT-2	1280.0	39	81.4	80.0	5.9	5.9	13.54	0.2
HT-3	1935.1	59	78.9	79.9	6.1	6.1	13.74	0.2
HT-4	1277.5	40	80.3	80.9	5.8	5.8	13.38	0.4
HT-5	1277.3	40	79.9	80.7	5.8	5.8	13.35	0.4

Remarks: λ_z : Slenderness ratio
 α : Axial load ratio ($= P/P_y$)

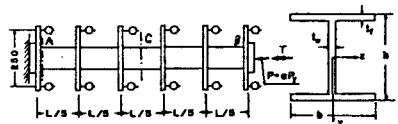


図-1 供試体の形状寸法

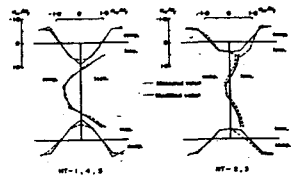


図-2 残留応力分布図

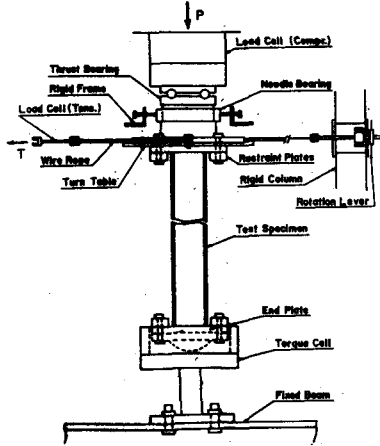


図-3 実験装置図

ほぼ弾性状態と同じであった。これは、残留応力の存在が大きいと考えられる。図-5はHT-1のA断面におけるそり拘束ひずみの実験値を示したものである。弾性域($T=1.0 \text{ t/cm}$)ではほぼ薄肉弾性ばり理論に従っており、そり拘束はほぼ十分に拘束されたと考えられる。そして端部が降伏あるに従って非線形性が生じはじめ、同時にウェブにも圧縮ひずみが生じていることがわかる。なおフランジ部分の圧縮ひずみの乱れは、溶接残留応力と軸力が載荷された状態にトルクによる付加ひずみにより早期降伏を生じたためと考えられる。図-6,7は、各供試体のトルクと材端ねじり角曲線の関係を示したものである。実験で用いた供試体はフランジ端で最大 0.6 O_y の圧縮残留応力を有しており(図-2), しかも軸力を用いることで $T=1.5 \sim 2.0 \text{ t/cm}$ という比較的

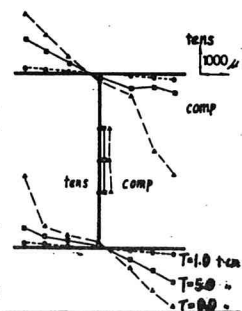


図-5 そり拘束ひずみ分布図 (HT-1)

小さなトルク荷重でフランジ端に降伏域が荒生した。実験値は破線で示しているが、トルクの上昇とともに、ねじり剛性の低下していく様子がよくわかる。軸力比が一定の場合(図-6)では実験値と理論解析値を比較するとHT-3を除いて立上りの勾配も良く一致し、ひずみ硬化の状態もよく表している。なお理論値は、実験値と同じ形状寸法、理想化した残留応力分布を用い、ひずみ硬化を考えた Tri-linear 型の応力-ひずみ関係を用いて計算した。HT-3は、供試体の材長が長くなり、製法不整が原因と考えられる。また、装置の関係上、材端ねじり角は約 $2 \sim 3 \text{ rad}$ 程度しか載荷できなかったが、残留応力がかかっているにもかかわらず、軸力比が $0 \sim 0.2$ 程度では耐力力の減少は見られなかった。 $\alpha=0.4$ では(図-7) $\phi_g=1.0 \text{ rad}$ 付近より耐力力上昇しなかったが、局部座屈の発生は見られなかった。図-8,9はHT-1への中央断面ウェブ中央におけるせん断ひずみと、軸ひずみの実験値である。中央断面のせん断ひずみは、断面が一部塑性化しても急激なひずみ増加は見られずに線形性を保っており、図-6の $T-\phi_g$ 曲線で耐力力の上昇が小さくなる頃から、急激な変化が生じている。これらの事より理論解析における St. Venant のせん断ひずみは、断面の一部が塑性化しても線形性を保つという仮定の妥当性が示された。又、これらの断面では、せん断ひずみ及び軸ひずみの両者より相当塑性ひずみを計算してもひずみ硬化には達していないこともわかった。図-10は、HT-3のねじり変形後の状態を示したものである。この計算は九州大学大型計算機センターのM-200によった。

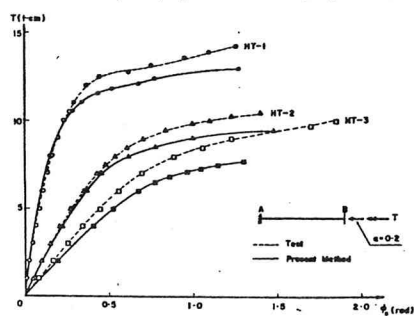


図-6 $T-\phi_g$ 曲線 (軸力比一定)

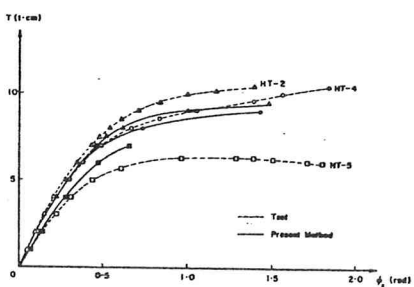


図-7 $T-\phi_g$ 曲線 (細長比一定)

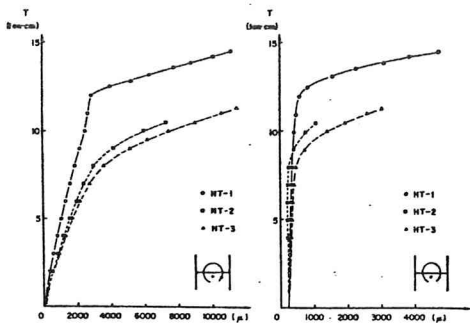


図-8 $T-\gamma$ 曲線

図-9 $T-\epsilon$ 曲線

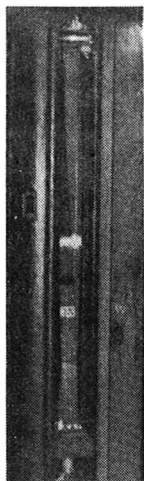


図-10 ねじり変形後の供試体 (HT-3)

参考文献

- 1) 山尾、崎元、菊池：「薄肉断面ばりの非線形解析」 昭55年講義要集 昭55年9月
- 2) 鈴木、木村：「H型钢の弾塑性挙動」 日本建築学会論文報告集 昭56年2月