

鋼材特性を考慮した鋼部材の弾塑性解析

岐阜大学大学院 学生員○安藤和幸
 岐阜大学工学部 正 員 森脇良一
 岐阜大学工学部 正 員 奈良 敬

1. まえがき

種々の作用荷重に対して土木鋼構造物を安全に設計するためには、その強度を、疲労や座屈の観点から正確に把握する必要がある。また、地震等その大きさを予測し難い荷重に対しては、鋼構造物の強度はもちろんその変形能を確保することが、より安全な鋼構造物を設計する上で重要である。それには、鋼構造物を構成する部材や板要素等が崩壊するまでの荷重－変位挙動を把握する必要がある。したがって、鋼材特性や断面形状の異なった種々の構造部材を対象として荷重－変位挙動を解明することは、その極限強度ならびに変形能と鋼材特性との関連性を明らかにする上で重要な研究課題である。本研究においては、鋼材特性が構造部材の極限強度と変形能に与える効果を解明すべく、当研究室で開発された鋼板構造の立体弾塑性有限変位解析法¹⁾を、鋼材のひずみ硬化を考慮して極限状態における鋼構造物の弾塑性挙動を把握できるように拡張し、鋼構造物を構成する部材を対象とした弾塑性有限変位解析法を開発したので、ここに報告する。

2. 解析法

解析法については、1 節点 6 自由度を有する立体弾塑性有限変位解析法¹⁾を、ひずみ硬化を考慮できるように拡張した弾塑性解析法²⁾を用いて拡張はかった。本解析法の妥当性を検証するために、等曲げを受ける H 形断面はりの解析を行った。

(1) 解析モデル

図-1 に示すような等曲げを受ける 2 軸対称な H 形断面はりを解析対象とする。解析モデルとしては、変形の対称性を考慮して 1 節点 6 自由度の三角形平板要素の集合体としてモデル化を行い、ウェブの中心に強制回転角 (θ) を与えるようにした。当研究室で行われた実験³⁾と比較するために、対称変形を示している試験体 (S5R7) を解析モデルとした。解析モデルの寸法、初期たわみおよび残留応力には実験値を用いた。解析モデルの諸元を表-1 に示す。

(2) 初期たわみおよび残留応力

初期たわみは、上フランジのみに与え実験で測定した結果から各節点の初期たわみを計算し、各節点ごとに初期たわみを導入した。残留応力は実験において測定した結果に基づいて、自己平衡となるように残留応力分布の理想化を行った。その結果を用いて、残留応力を両フランジおよびウェブの X 方向にのみ導入した。

(3) 鋼材の機械的性質

解析モデル (S5R7) の機械的性質については、表-2 に示すとおり、実験で測定した結果に基づいて与えた。また次式に示す鋼材の応力－ひずみ曲線モデル²⁾の各パラメータの値も、表-2 に併せて示す。

表-2 解析モデル (S5R7) の機械的性質

σ_y (MPa)	σ_u (MPa)	$\epsilon_{s, t}$	ϵ_u	B	n	c
399.5	530.9	0.0155	0.1447	0.903	0.1246	-5.417

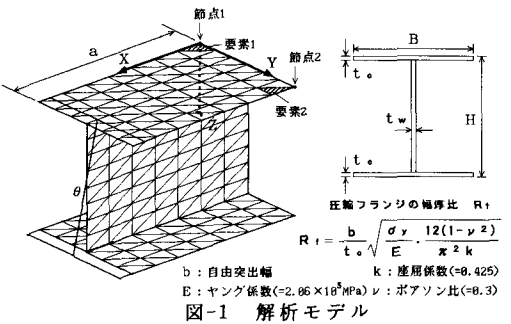


表-1 解析モデルの諸元

鋼 種	a (cm)	B (cm)	H (cm)
S5R7	18.0	24.0	30.2
t_f (cm)	t_w (cm)	b / t	R_f
0.90	0.90	12.83	0.777

$$\frac{\sigma}{\sigma_y} = B \left(c + \frac{\epsilon}{\epsilon_y} \right)^n \quad (1)$$

3. 解析結果と考察

解析および実験による極限強度を表-3に示す。解析値が約 8% 程度実験値より下回っているものの、強度の観点からみるとかなり正確に追跡しているものと思われる。解析を行ったコンパクト断面である S5R7 の最大曲げモーメントは、実験においても全塑性モーメントを越えている。解析結果のひずみを見るとスパン中央部の上フランジ部分が全断面塑性域にあることが認められた。次に、荷重とスパン中央部の近傍の圧縮フランジ両端の上側部分のひずみの関係を図-2,3に示す。これらからも强度的には解析値が下回っているものの、ねじれ変形によって引き起こされるひずみが反転する現象を追跡している。また、荷重と、はりの鉛直成分を除去した圧縮フランジのたわみの関係を図-4,5に示す。圧縮フランジのたわみは、はりの中央断面 ($X=0$) のフランジ両端の Z 方向変位を示している。図-4,5よりフランジのねじり変形が卓越することからほぼ対称なたわみ経路が解析、実験両方にみられる。次に、曲げモーメントを降伏モーメントで無次元化した値 M/M_y を縦軸に、回転角を降伏時の回転角で無次元化した値 θ/θ_y を横軸にとった、 $M/M_y - \theta/\theta_y$ 曲線を図-6に示す。最大モーメント時における無次元化した回転角 θ/θ_y は 3.8 である。

解析結果と実験結果との差異については次のような原因が考えられる。①解析モデルで与えた境界条件が実験と若干異なる。②実験におけるひずみや変位の測定個所が、解析モデルのそれらとぴったり一致していない。

しかし、実験結果と比しても、荷重-変位挙動等をかなり正確に追跡しているため、本解析法で H 形断面はりの解析は十分に可能であると判断される。

4. 結論

1 節点 6 自由度を有する三角形要素を用いた鋼部材の立体弾塑性有限変位解析法を、鋼材のひずみ硬化を考慮して極限状態における鋼構造物の弾塑性挙動を把握できるように拡張し、鋼構造物を構成する部材を対象とした弾塑性有限変位解析法を開発した。

さらに、H 形断面はりを解析モデルとして数値計算を行った結果、本解析法の妥当性が検証された。

今後、さらに他の試験体についても数値計算を行い、荷重-変位挙動のみならず、ダクティリティやタフネス等についても実験結果と比較、検討する予定である。

参考文献

- 1) 森脇良一・奈良 敬・岩木和洋：薄肉鋼板構造の立体弾塑性有限変位解析，平成 3 年度研究発表会講演概要集，I-6，土木学会中部支部，1992 年 3 月。
- 2) 奈良 敬・出口恭司・小松定夫：ひずみ硬化を考慮した圧縮板の極限強度に関する研究，構造工学論文集，Vol.33A，1987 年 3 月。
- 3) 後藤茂之：溶接組立 I 形梁の局部座屈と塑性変形能力に関する研究，岐阜大学修士論文，1993 年 2 月。

表-3 極限強度

S5R7	解析値	実験値
P_y (N)	4.71×10^5	
P_u (N)	5.49×10^5	5.99×10^5
M_y (N·cm)	2.59×10^7	
M_u (N·cm)	3.02×10^7	3.29×10^7
M_p (N·cm)	2.92×10^7	
M_u/M_y	1.166	1.270
M_u/M_p	1.034	1.127

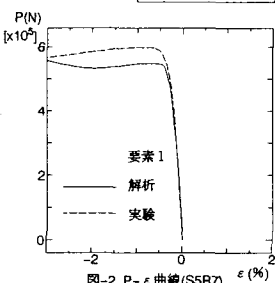


図-2 P-ε 曲線 (S5R7)

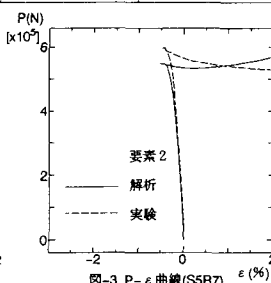


図-3 P-ε 曲線 (S5R7)

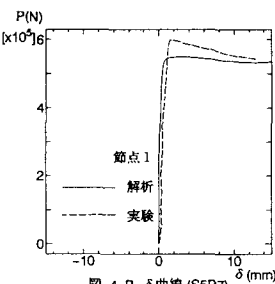


図-4 P-δ 曲線 (S5R7)

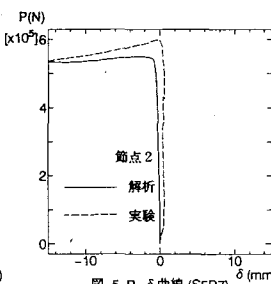


図-5 P-δ 曲線 (S5R7)

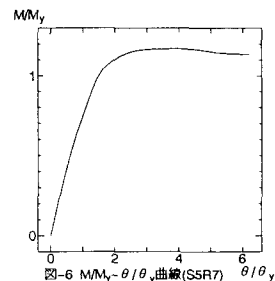


図-6 $M/M_y - \theta/\theta_y$ 曲線 (S5R7)