

I-A 11

繰り返し荷重を受ける薄肉構造物の弾塑性挙動に関する解析的研究

瀧上工業 正会員 ○松村 寿男
名古屋大学 フェロー会員 宇佐美 勉
名古屋大学 正会員 水野 英二

1. 緒言

兵庫県南部地震では、橋梁構造物に大きな被害が発生し、比較的じん性の高いとされてきた鋼製橋脚にも多くの損傷があったことが報告されている。これらの損傷の多くは、橋脚に軸圧縮力と繰り返し曲げが作用したことにより、発生したとされている。この現象を実験的、解析的に解明することは、今後の耐震設計および構造物形式の決定に大きく貢献する。そこで、本研究では、名古屋大学構造力学研究室で開発された修正二曲面モデル^[1]を汎用プログラム ABAQUS にユーザー定義の構成則として導入することにより、同研究室で過去に行われた、はり一柱要素の解析^[2]、板要素の解析^[3]および鈴木・宇佐美ら^[4]により行われた単調載荷時の鋼製橋脚の弾塑性有限変形解析と同じモデルを解析した。そのことにより、修正二曲面モデルが正しく機能していることを確認し、さらに繰り返し載荷時の解析に応用した。なお、修正二曲面モデルのように、極めて精度の良い構成則を用いた繰り返し載荷における鋼製橋脚の弾塑性有限変形解析はまだ行われていない。

2. 解析モデル

本研究で解析対象とした構造物は、自由端に一定軸荷重と漸増水平荷重を受ける片持ち柱である。断面形状としては、無補剛箱形断面とした。修正二曲面モデルのパラメータは、以下のものを用いた。

Parameter	E(GPa)	σ_y (MPa)	ν	E_{st}^p/E	$\epsilon_{st}^p/\epsilon_y$	a	b	c	α
SM490	206.	314.	0.30	3.40×10^{-2}	7.0	-0.528	1.88	18.7	0.217
e	f/E	M	E_0^p/E	$\omega \cdot \sigma_y$	κ_0/σ_y	σ_u/σ_y	$\zeta \cdot \epsilon_y^2$		
3.16×10^2	0.484	-0.522	1.01×10^{-2}	4.0	1.13	1.61	1.52×10^{-3}		

幅厚比パラメータ $R_f = 0.4$ ，細長比パラメータ $\bar{\lambda} = 0.4$ ，軸力比 $P/P_y = 0.2$ とする。局部座屈は柱基部のみに発生することから、Fig.1 に示すように、柱基部はフランジ幅の2倍の高さまで板要素を用い、それより上は、はり要素を用いて解析を行った。解析は、構造の対称性から1/2の部分についてのみ行い、有限要素分割は Fig.1 に示すように固定端から長手方向に $2b$ の高さまでを12分割し、フランジ幅方向は4分割、ウェブ幅方向は6分割した。無補剛断柱の板要素における残留応力は、溶接部に隣接する要素では引張残留応力 σ_y が、その他のパネルの部分の要素では圧縮残留応力 σ_{rc} を $0.3\sigma_y$ とし、フランジ、ウェブの板パネル要素部分に導入した。初期たわみは板要素部分にのみ考慮し、はり要素は考慮しなかった。

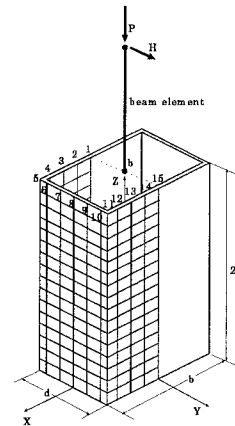


Fig.1 Analytical Model

無補剛板においては、フランジ面とウェブ面に基部から軸方向 ($2b$ の高さまで) に1波の正弦波、また幅方向には半波の正弦波を仮定し、実験値における初期たわみの平均が約 $b/500$ であったため、最大値は $b/500$ とした。なお、初期たわみ方向は基部から b の高さまでは、フランジ内で内側に、ウェブ内で外側にたわむ方向を仮定した。ABAQUS においては、板要素部分は、S4R の4節点、曲面薄肉または厚肉シェル要素 (低減積分、アワーグラス制御)、はり要素部分は B31OS の2節点線形空間断面はり要素^[5]を用いた。

3. 解析結果

鈴木, 宇佐美^[4]らによる単調荷重時汎用プログラム MARC による鋼製橋脚の弾塑性有限変位解析結果と本研究で用いた ABAQUS の解析結果との比較 (Fig.2), ABAQUS の繰り返し荷重解析結果による座屈モード (Fig.3) および実験結果と ABAQUS の解析結果との比較 (Fig.4) を示す。

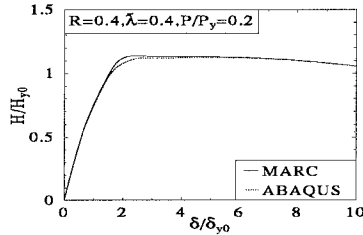


Fig.2 Comparison between MARC and ABAQUS

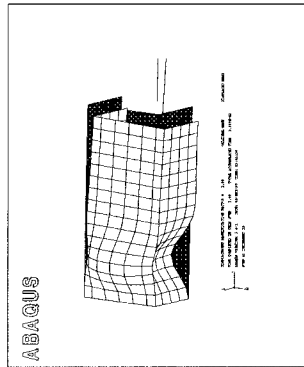


Fig.3 Local Buckling Mode of Unstiffened Box
by Cyclic Loading

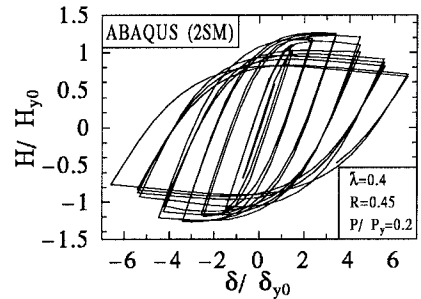


Fig.4 Comparison between Prediction
by 2SM and Experiment

4. 考察とまとめ

局部座屈変形 ($\delta = 8\delta_{y0}$ 付近) は柱の基部から高さ $b/2$ 付近に顕著に現れており、高さ b より上の部分には、ほとんど見られない。これは、MARC の結果および実験結果とよく一致しており、このことから、解析結果の信頼性は高いと判断できる。

Fig.4 の無次元化した荷重-変位曲線より、修正二曲面モデルを用いた ABAQUS の解析結果は、非常に高い精度で実験結果に類似したものになる。このように、若干ピーク時の荷重の値が低くても、比較的履歴曲線を忠実に表現できるのは、柱基部を板要素を用いて解析を行ったため、構造系の全体座屈および局部座屈を精度よく表現するためである。さらに、座屈波形がフランジ部分で内側に窪み、ウェブ部分で外側に膨らむことも、ごく自然に表現されており、幾何学的にもこの解析に対する信頼性は高いといえる。

参考文献

- [1] 水野英二, 沈赤, 宇佐美勉: 鋼素材に対する修正二曲面モデルの一般定式化, 構造工学論文集, vol.40A, pp.235-248, 1994年3月
- [2] Mamaghani.I.H.P, Mizuno, E. and Usami, T.: INELASTIC LARGE DEFLECTION ANALYSIS OF STEEL MEMBERS UNDER CYCLIC LOADING, Engineering Structures, United Kingdom,1995
- [3] 坂野 茂: 修正二曲面モデルによる板要素の繰り返し弾塑性有限変位解析, 名古屋大学 工学部, 土木工学科修士論文, 1994.
- [4] 鈴木森晶, 宇佐美勉: 軸圧縮力と横力を受ける箱形断面鋼片持柱の強度と変形能に関する解析的研究, 構造工学論文集, Vol.40A, pp.189-200,1994.3
- [5] Hibbitt, Karlsson & Sorensen, Inc.: ABAQUS Theory Manual version 5.4, 1995.