

I-43 鋼材の引張応力-ひずみ特性による履歴応力-ひずみ関係の推定

武蔵工業大学 正会員 皆川 勝  
 武蔵工業大学 正会員 西脇威夫  
 武蔵工業大学 正会員 増田陳紀

1. はじめに 著者等は、鋼構造物の履歴特性を検討するために、鋼材の履歴引張圧縮応力-ひずみ関係を精度良く推定することのできる応力-ひずみモデル(以後N.M.H.モデルと呼ぶ)を提案した[1]。このモデルを用いて鋼材の履歴応力-ひずみ関係を推定する場合、必要となる材料特性は引張試験と唯一回の荷重反転を含む引張圧縮試験によって決定される。また、より簡略な方法として、3本の試験片による引張試験と引張圧縮試験の結果のみによって決定された材料特性を用いても、通常の鋼材の場合には顕著な誤差を伴わずに応力-ひずみ関係が追跡できることを、著者等は示した[2]。しかし、例えば薄板により構成された部材の履歴引張圧縮特性を検討する場合には、薄板試験片による圧縮試験が必要であるが、現実にはこれは必ずしも容易ではない。また、既設構造物の弾塑性解析を行う必要がある際には、材料特性を求めるために試験片を切り出すことさえできない場合が考えられる。これらのことから、本報告では著者等が測定結果から決定した材料特性を用いて、同一鋼種でロットの異なる材料の履歴引張圧縮応力-ひずみ関係を追跡することを試みた。

2. N.M.H.応力-ひずみモデルとその材料特性 N.M.H.応力-ひずみモデルは、降伏曲面とそれに相似な曲面群の拡大/縮小と移動によって塑性挙動をシミュレートする多曲面塑性モデルを基本としている。モデルに含まれる材料特性は、基本的な3つの履歴段階での多曲面のサイズを塑性ひずみの関数として表わした基本曲面サイズ関数 $K_a$ 、 $K_{ab}$ および $K_b$ と、それらの途中の履歴段階での曲面サイズを表現するための重み関数 $W1$ および $W2$ である。3つの基本曲面サイズ関数は次のa)~c)の段階での曲面サイズ関数である。

a)  $K_a$  ; 履歴のない段階, b)  $K_{ab}$ ; ひずみ硬化開始の段階, c)  $K_b$  ; 履歴が定常的となった段階

$K_a$  は引張試験より求められる応力-塑性ひずみ曲線である。また、 $K_{ab}$ および $K_b$  は基本的な引張圧縮試験の結果から決定される。基本曲面サイズ関数は累積相当塑性ひずみ増分の関数であり、重み関数は累積相当塑性ひずみの関数である。

3. 供試鋼材の引張応力-ひずみ特性 本報告では、N.M.H.モデルの検証のために用いた鋼材Aとそれとはロットの異なる鋼材Bに関する測定結果を用いた。鋼種は共にSM41Aである。鋼材Aについては材料特性を求めるための基本測定を行っているので基本曲面サイズ関数は既知であるが、鋼材Bについては引張試験以外は基本測定を行っていない。両鋼材のミルシートによる機械的性質を表-1に、また引張試験の結果を降伏応力で無次元化した応力と塑性ひずみの関係で図-1に示す。表-1より、降伏応力は鋼材Aおよび鋼材Bでほぼ等しいが引張強さは鋼材Bのほうが大きく、降伏比はそれぞれ67%と54%である。この傾向は引張試験の結果にも明瞭に現われており、ひずみ硬化特性はかなり異なっていることが図-1より分る。

表-1 供試鋼材のミルシートによる機械的性質

	降伏点 HPa	引張強さ HPa	伸び %
鋼材A	284	421	37
鋼材B	265	490	31

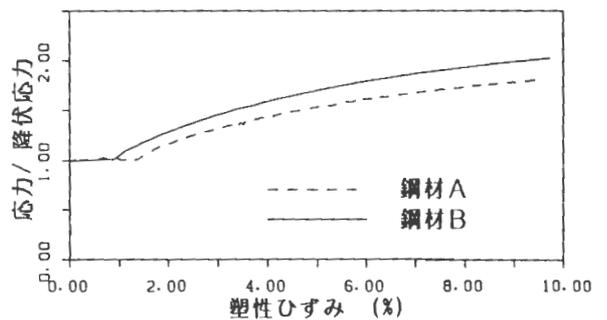


図-1 無次元化応力-塑性ひずみ曲線

4. 履歴応力-ひずみ関係の推定 応力-ひず

み関係の推定精度は、次式によって評価する。

$$G = \left[ \frac{\sum |\sigma_i, \text{calculation} - \sigma_i, \text{experiment}| d|\epsilon_i|}{\sum |\sigma_i, \text{experiment}| d|\epsilon_i|} \right] \times 100 \quad (\%)$$

ここで、 $\sigma_i$  および  $\epsilon_i$  は直前の反転点からの応力増分およびひずみ増分であり、誤差量Gは各経路での応力-ひずみ曲線の計算結果の測定結果に対する相違を百分率で示すものである。

図-2は、鋼材Aの材料特性を用いてN.H.M.モデルにより推定された履歴応力-ひずみ関係と、鋼材Bによる繰返し試験で得られたそれを比較したもので、太線が前者を細線が後者を示す。図中には誤差量Gの値も示した。全体的に、計算結果は測定結果に対して応力が小さめに推定されており、誤差量Gは8%前後であった。この結果は図-2に現われた鋼材Aと鋼材Bのひずみ硬化特性の相違に起因するものと思われる。そこで、本報告では材料特性を修正する方法のひとつとして、以下の方法を試みた。Kaとしては、引張試験の結果が既知であることから鋼材Bの応力-塑性ひずみ関係を用いる。KabおよびKbは、主にひずみ硬化域での特性を表わすものであると考えられる。そこで、引張試験結果のひずみ硬化のかなり進展した領域での両鋼材の応力の比率を鋼材AのKabおよびKbに乘じたものを鋼材Bの材料特性KabおよびKbとした。ここでは、塑性ひずみが6%での比率を用いた。これらの基本曲面サイズ関数を用いて得られた計算結果を測定結果と共に図-3に示す。図-2の結果とこれらの結果を比較すると、後者の方が前者より良好な推定がなされており、誤差量Gも3~4%と小さい。この誤差量は、先に著者等が示したN.H.M.モデルによる推定誤差とはほぼ同じである[2]。この結果は、たとえ材料特性を決定するための基本測定を行わなくとも、引張試験の結果さえあれば著者等が示した材料特性を修正して用いることによって、N.H.M.モデルによって応力-ひずみ関係が追跡できることを示すものであると考える。

5. おわりに  
なお改良の余地はあるが、引張試験の結果のみを用いてN.H.M.応力-ひずみモデルにより鋼材の履歴応力-ひずみ関係を推定できる可能性が示されたものとする。

[参考文献] 1. 皆川, 西脇, 増田, 斎藤: 繰返し荷重に対する高精度応力-ひずみモデル, JSSC第9回構造工学における数値解析法シンポジウム論文集, pp. 145-150, 1985年7月。

2. 皆川, 西脇, 増田: 多曲面塑性モデルによる鋼引張圧縮部材の履歴応力-ひずみ関係の推定, 構造工学論文集, Vol. 32A, pp. 193-206, 1986年3月。

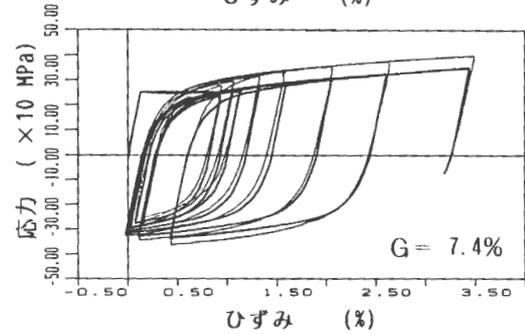
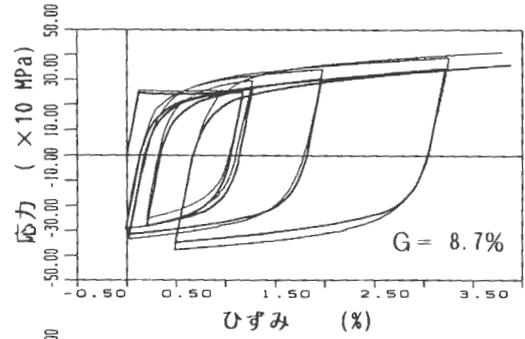


図-2 履歴応力-ひずみ関係の比較  
([1]の材料特性)

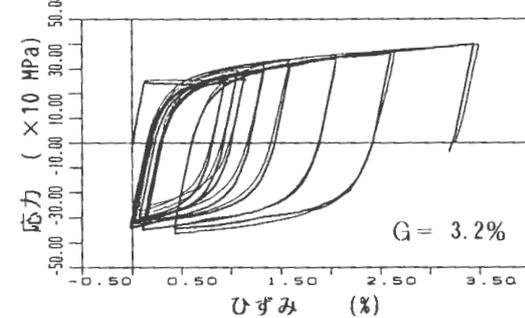
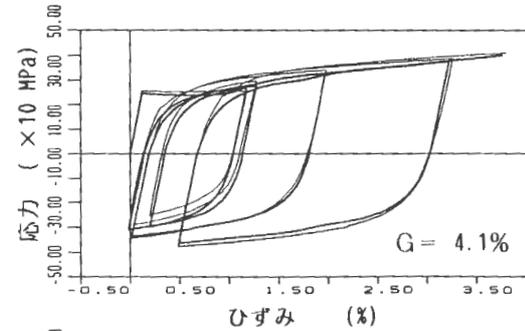


図-3 履歴応力-ひずみ関係の比較  
(修正された材料特性)