

739 衝撃曲げ試験による動的応力-ひずみ曲線の測定

On the Measurement of Dynamic Stress-Strain Curve
by Impact Bending Test

正○放生 明廣 (金大工)

正 茶谷 明義 (金大工)

正 立矢 宏 (金大工)

Akihiro Hojo, Akiyoshi Tyatani, Hiroshi Tachiya, Kanazawa University

1.はじめに

機械構造物の動的強度を知るためには、動的な応力-ひずみ曲線を測定することが必要となるが、静的な場合とは異なり引張-圧縮試験が困難であり曲げ試験によって応力-ひずみ曲線を測定しなければならない場合がある。曲げ試験から応力-ひずみ曲線を推定する方法としては、Herbertの式が知られているが、衝撃曲げ試験時には支持部や試験片内を伝ばする弾性波の影響により衝撃力波形中に振動が生じるため正確な値を求めることができない。そこで本研究では曲げ試験から応力-ひずみ曲線を推定する方法を提案し、シミュレーションによりHerbertの式による結果⁽⁴⁾⁽⁵⁾と比較、検討する。また衝撃三点曲げ試験により実際にアルミニウム、軟鋼(SS400)の応力-ひずみ曲線を推定し、引張圧縮試験による結果と比較、検討し本方法の妥当性を調べた。

2.推定方法

2.1 推定理論

引張側と圧縮側で応力-ひずみ関係が等しく、中立軸の位置が変化しない単純曲げを仮定すれば、モーメントの釣合条件式から幅 b 、高さ h である長方形断面はりの曲げモーメント M と試験片外表のひずみ ε_1 の間には次式の関係が成立する。

$$M = \frac{bh^2}{2\varepsilon_1} \int_0^{\varepsilon_1} \sigma \varepsilon d\varepsilon \quad (1)$$

ここで σ は応力である。本研究では応力-ひずみ曲線 $\sigma = \sigma(\varepsilon)$ を仮定して式(1)から求まる曲げモーメントと実験により求めた曲げモーメントとの間に最小二乗法を適用して $\sigma(\varepsilon)$ を推定する。

また式(1)の両辺を ε_1 で微分し整理することにより、次式のHerbertの式が導かれる。

$$\sigma = \frac{2}{bh^2} \left(2M + \varepsilon \frac{dM}{d\varepsilon} \right) \quad (2)$$

本研究では式(2)による結果と式(1)より推定した結果を比較した。また式(2)により求めた応力-ひずみ曲線を直接最小二乗近似した結果とも比較した。

2.2 推定式

$\sigma(\varepsilon)$ の関数としてパラメータ $p = (p_1, p_2, \dots)$ を用いて以下に示す4通りの推定式について検討を行った。

$$\text{Equation1: } \sigma = P_1 \cdot \varepsilon \cdot \exp(-\varepsilon/P_2) + \{1 - \exp(-\varepsilon/P_2)\} \cdot (P_3 + P_4 \cdot \varepsilon + P_5 \cdot \varepsilon^2)$$

Equation2: Fig.1のように任意の ε での応力を P として折れ線近似

Equation3: Fig.2のように任意の ε での $d\sigma/d\varepsilon$ を P として折れ線近似

Equation4: 前半は任意の ε での応力を P として折れ線近似
後半は任意の ε での $d\sigma/d\varepsilon$ を P として折れ線近似

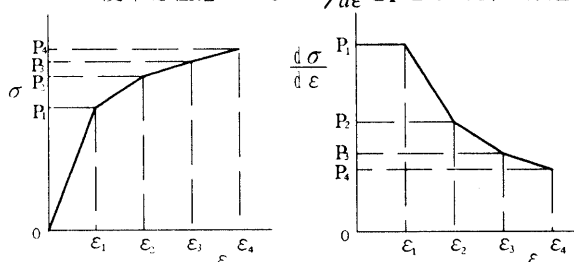


Fig.1 Equation2

Fig.2 Equation3

なおEquation2,3,4ではひずみを8区間に分割して推定を行った。

3.シミュレーション

シミュレーションにより応力-ひずみ曲線に与えるノイズの影響等を調べ本方法の妥当性を検討した。

シミュレーションでは、上降伏点の現れない材料と現れる材料との2通りの応力-ひずみ関係を仮定し式(1)により試験片のひずみに対応するモーメントを求めそれに最大値の±3%以内のランダム誤差を加え五点で移動平均し、モーメント-ひずみ関係を作成する。これを測定として、次の3通りの方法で応力-ひずみ関係を推定した。なお、試験片のひずみにはノイズを加えなかった。

- 式(2)のHerbertの式から応力-ひずみ曲線を決定
- (a)で得られた応力-ひずみ曲線を直接最小二乗近似。
- 式(1)を用い曲げモーメントを最小二乗近似するように応力-ひずみ曲線を決定。

Fig.3に推定に用いた上降伏点が現れない場合のモーメント-ひずみ関係をFig.4,5,6にそれぞれ(a)(b)(c)の各方法で求めた推定結果と応力真値を示す。また、Fig.7~10は

上降伏点が現れる場合の結果である。

Fig.4, 8のHerbertの式による結果は、式中に微分項を含むためノイズの影響を受け大きく波打ってしまい、このままでは採用できないのは明らかである。Fig.5, 9のHerbertの式で求めた応力から直接近似させた結果とFig.6, 10のモーメント-ひずみ関係から応力を推定した結果をそれぞれ比較すると、Table 1の変動係数の比較からも分かるようにモーメント-ひずみ関係から推定した本方法が真値に近い値が得られノイズの影響を受けにくいことが分かる。また、上降伏点が現れない材料の場合、いずれの推定式を用いてもほぼ満足のいく結果が得られ、応力-ひずみ関係を曲線で表せるEquation1,3を使用した方が良いと思われる。一方上降伏点が現れる材料の場合

Equation2,4の直線近似以外では上降伏点のような応力の急激な変化は表すことはできないと思われる上降伏点が現れる材料の場合はEquation2,4のいずれかを用いて推定を行う必要があると思われる。

Table 1 Comparison of variable coefficient

	Equation1	Equation2	Equation3	Equation4
Fig.3	0.03603	0.01106	0.01805	0.00752
Fig.4	0.02992	0.00759	0.01648	0.00702
Fig.9	0.06135	0.01254	0.06000	0.02244
Fig.10	0.05762	0.00723	0.04136	0.01280

なお、実験結果は、紙面の都合上、省略し、発表当日示す。

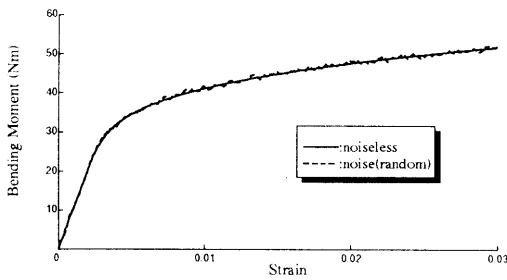


Fig.3 Bending moment-strain curve

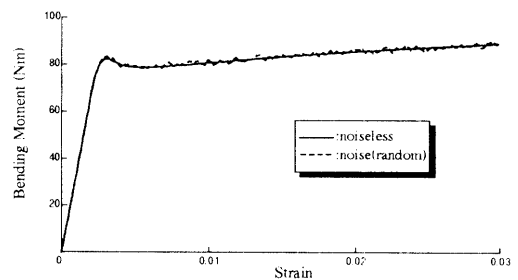


Fig.7 Bending moment-strain curve

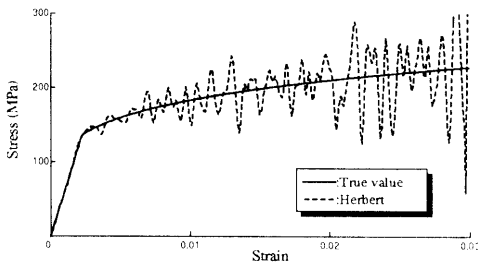


Fig.4 Stress-strain curve with eq.(2)

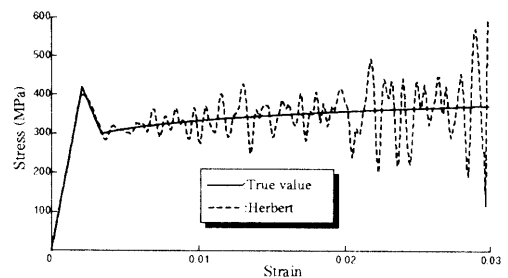


Fig.8 Stress-strain curve with eq.(2).

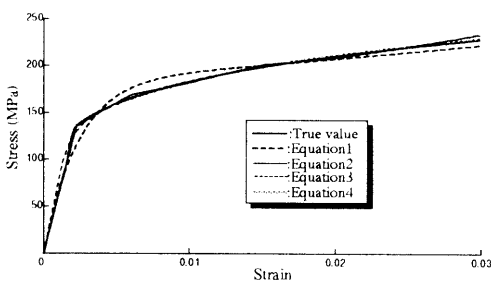


Fig.5 Stress-strain curve by direct estimation of Fig.4

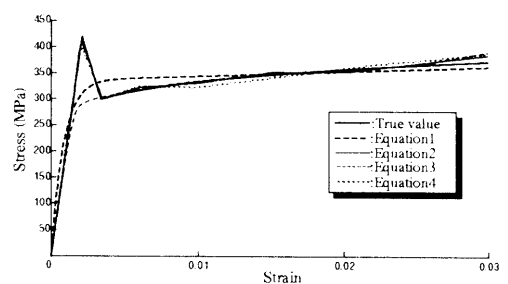


Fig.9 Stress-strain curve by direct estimation of Fig.8.

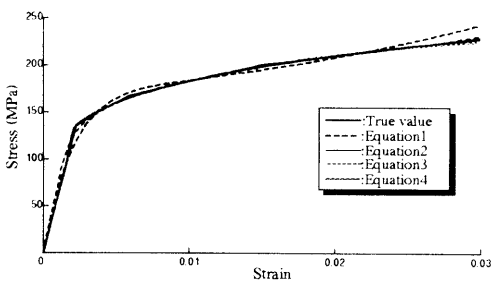


Fig.6 Stress-strain curve by present method.

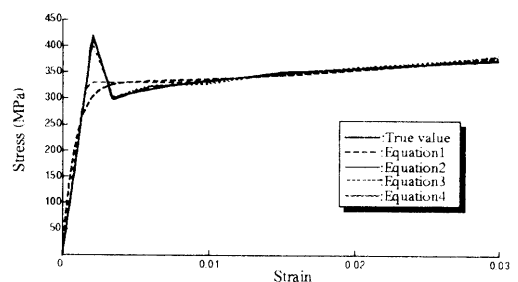


Fig.10 Stress-strain curve by present method.