

1-3 衝撃を受けた長方形はりの変形について

山口大学工学部 正 員 最上幸夫

山口大学大学院 学生員 〇小島一広

1. はじめに

各種材料が衝撃を受けた場合の破壊や塑性変形といった現象は、工学的立場から、材料の動力学的特性として、今後、十分究明されねばならない重要な課題の一つである。塑性変形においては、弾性変形と異なり大きなエネルギーが消費されるので、塑性をもつということは、衝撃を受ける構造物にとって、危険な瞬間的破壊に対する安全弁ともなるのである。本研究は、衝撃による塑性変形問題解決のアプローチの第1歩として、最も基本的なはり構造形式の衝撃による塑性変形の現象をとりあげ、両端固定はりについて、簡単な算式を提案し、その妥当性と適用範囲とを調べたものである。

2. 実験概要

はり材料としては、十分延性に富む軟鋼を使用し、正方形断面 ($0.95\text{cm} \times 0.95\text{cm}$) のものを採用した。また、はりに加える衝撃としては、鋼製おもり、約 7.5kg 、 10kg 、 12.5kg 、 15kg の4種類について、おりの落下高を $30\text{cm} \sim 70\text{cm}$ の間で 10cm おきに5段階に分けて、誘導レールに添わせて自然落下させた。各荷重、各落下高においてスパン長は、 $60\text{cm} \sim 100\text{cm}$ まで 10cm おきに5種類変え、同一スパンについてはさらにはりを取り換えて5回以上同一実験を繰り返した。上下の値を除外し、中の3つの値を平均することにより鋼種、太さおよび材質のバラツキに対応した。なお、同一条件で実験が容易に、繰り返しの行える様にはりの両端はそれぞれコンクリートブロックに埋め込まれた状態で締めつけて、固定端とした。また、ブロックにはL形鋼でわくを作り、固定端条件が完全になる様にとめた。

3. ひずみ速度の影響を考慮した理論式の誘導

解析に先立ち主な仮定を述べると次のとおりである

- 1° はりは十分剛性に富んでいて完全剛塑性理論が適用できるものとする
- 2° 軸降伏応力および剪断降伏応力の影響は無視し、はりは動的塑性モーメントにより変形するものとする
- 3° 変形時間は微小であるから、衝撃点の鉛直方向たわみ速度は近似的に、停止するまで直線変化とするものとする。また、この間にはり衝撃体ははりに向き合っており、はりとはり一体となって運動するものとする。
- 4° 幾何学的変形の影響を無視し、自由度1の変形モードを採用する

<記号の説明>

i : 単位長さ当たりの衝撃量 ($= \frac{m_0}{a} v$)

M_0 : 静的全塑性モーメント

M_d : 動的全塑性モーメント

$\dot{y}$: たわみ速度

m_0 : 衝撃体の質量 (また $m_0' = \frac{m_0}{a}$)

m : はりの単位長さ当たりの質量

D, P : 材料による定数 (軟鋼の場合 $D=40.4$, $P=5$)

t_f : 変形に要した時間

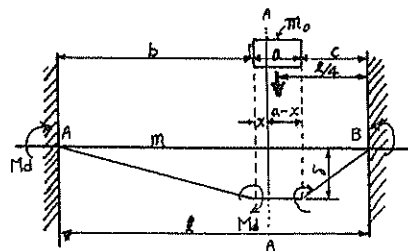


図-1 衝撃負荷によるはりの変形

図-1は任意点 ($\frac{l}{4}$ 点) に等分布衝撃が作用した場合のはりの変形状態を示したものである。A-A断面の左側部分に

$$\text{ついて考えるとき, } i x - \frac{2}{b} \int_0^x M d\alpha = (m_0' + m) x \dot{y} + \frac{1}{b} \int_0^b m x \dot{y} d\alpha \quad (1)$$

$$\text{ここで, } M d = M_0 \left[1 + \left(\frac{\dot{y}}{2 D b} \right)^{\frac{1}{p}} \right], \quad \dot{y} = V_0 \left(1 - \frac{x}{x_f} \right) \quad (2)$$

(2)式を(1)式に代入して、整理し、

$$x=0 \text{ とおけば } V_0 = \frac{i x}{(m_0' + m) x + \frac{1}{2} m b}, \quad x = x_f \text{ で, } x_f = \frac{i b x}{2 M_0 \left[1 + \left(\frac{V_0}{2 D b} \right)^{\frac{1}{p}} \frac{p}{p+1} \right]} \quad (3)$$

$$\text{よって, 求める塑性変形量 } \delta_L \text{ は, } \delta_L = \int_0^{x_f} \dot{y} d\alpha = \frac{1}{2} V_0 x_f \quad (4)$$

として表わされる。ここで, $\alpha = \frac{x^2}{m_0' M_0}$, $\beta = \frac{m}{m_0'}$ のパラメーターを用いて $\frac{\delta}{x}$ を表わすと、

$$\frac{\delta}{x} = \frac{b}{2 \ell} \frac{x^2}{a^2} \left\{ \frac{x}{a} + \left(\frac{x}{a} + \frac{b}{2a} \right) \frac{\ell}{a \beta} \right\}^{-1} \left(1 + \frac{1}{p+1} \left\{ \frac{\sqrt{2 g h}}{2 D b \left(1 + \left(1 + \frac{b}{2x} \right) \frac{\ell}{a \beta} \right)} \right\}^{\frac{1}{p}} \right)^{-1} \quad (5)$$

A-A断面の右側部分についても、同様にして δ_R を求めるので、この δ_R と(4)式の δ_L とを等置して、この関係を満足する x の値を試算的に見出せば、この x の値により塑性変形量 δ の値も決定されることになる。

所が、実際、 x の値を $x = \frac{a b}{b + c}$ より求めて、この値により塑性変形量 δ の値も決定してもほとんど誤差はない計算に際してはこの x の算式を用い A-A 断面の左右どちらかの側について行えば、十分な近似解が得られるものと思う。

4. 結果と考察

実験値をプロットしていくと、その軌跡はロジスティック曲線に似た形を示す。この理由としては、衝撃量が小さい間は、加えられたエネルギーのうち最大弾性歪エネルギーの占める割合が、塑性変形に用いるエネルギーに比して相対的に大きく、また、衝撃量が大きくなって、変形が増大してくるとモーメントに加えて、剪断降伏応力および軸降伏応力などが影響し、相互に干渉し、ついに軸降伏応力の影響が変形を支配するようになるからと思われる。図-2 によると動的完全塑性モーメントにける考慮した理論式も実験値の接線として分離していくことがわかる。^{*}

5. 結言

図-2 に比較の一例を示す。提案した理論式は実験値とほぼ良好な一致を示した。前節で述べた様に、塑性変形に対して弾性変形がかなり大きく作用する場合、および軸力が支配的な場合にはこの算式の適用はかなりの誤差を生じるが、それ以外の場合においては十分な近似値を与えるものと思う。

参考文献

- 1) P. S. Symonds and S. R. Boslner
"Experimental and Theoretical Investigation of the Plastic Deformation of Cantilever Beams Subjected to Impulsive Loading"
- 2) 野中泰二郎「衝撃を受ける構造物の塑性変形」^{*} ; (モーメントだけの解は軸力および剪断力も含めた完全解の接線となる事が言われている。)

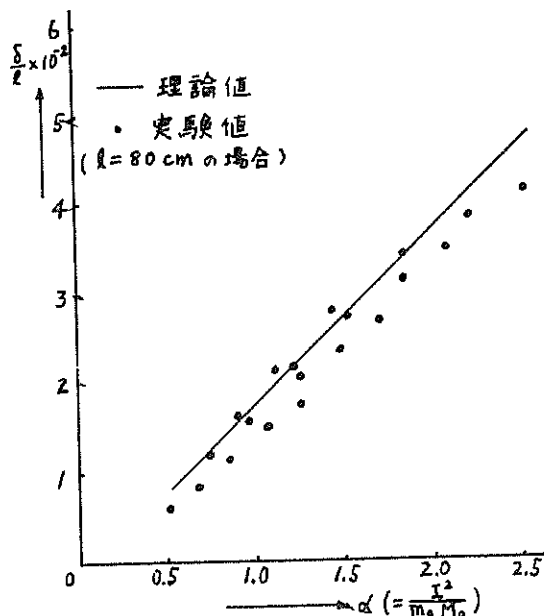


図-2 理論値と実験値との比較