

衝撃を受けた2, 3のはりの塑性変形に関する一考察 (第2報)

最上幸夫*・呉誠雄**

A Study on the Plastic Deformations of Some Beams under
Impulsive Loading (2nd Report)

Sachio MOGAMI and Kazuo KURE

Abstract

In the first report the writers studied about the plastic deformations of steel beams, viz cantilever, simple and fixed beams, when the concentrated impulse acted on the tip or the middle points, and showed the calculated values according to our proposed theoretical formulas were quite in good agreement with the experimental results. So we extended the above method to the case when the impulse acted on the arbitrary points of beams and confirmed the possibility of applying this method in such cases. More details are described in this paper.

1. 緒言

著者らは第1報において、片持ちばり、単純ばりおよび両端固定ばりがそれぞれその先端および中点に集中衝撃を受けた場合の鋼製はりの塑性変形について若干の実験的ならびに理論的考察を行ない、2, 3の簡単な仮定を設けることによって導かれた算式が実験結果とかなり良い一致を示すことを報告したが、前回のものは衝撃が特定の位置に作用する場合であるから、上述の論旨をさらに一般化して集中衝撃がはりの任意点に作用した場合の塑性変形について考察を進めた。地震、台風、津波など1種の衝撃現象を伴う場合の構造物の変形や破壊に関する研究は今後ますます重要視されねばならない研究課題と考えられるが、まずその手始めとして簡単なはり構造のかなり大きい集中衝撃に対する塑性変形や破壊の問題をとりあげたのである。

本文においては鋼製はりを対象として、かなり大きい集中衝撃がはりの任意点に作用した場合の塑性変形について実験的ならびに理論的考察を行ない、誘導した算式による計算値と実験値とを比較し、その妥当性について検討した結果、算式はほぼ適用し得ることが確認された。以下その内容について報告する。

2. 実験の概要

実験はほぼ前回と同様の要領で行なった。すなわち実験に使用した鋼製はりは、 0.95×0.95 cmの正方形断面である。今回はただ集中衝撃の作用点が異なるだけである。任意点としては実験の都合上、片持ちばりではスパン中点、単純ばりおよび両端固定ばりでは、スパンの1/4点(1端より)とし、これらの位置に集中衝撃を加えて、はりの塑性変形状態を測定した。集中衝撃としては、前回同様に落錘重量4.6, 9.5および14.5kgの3種類の鋼製おもりを使用し、落高は20, 30, 40および50cmの4種類とした。同一状態の実験は経費や労力の関係から3回行なって、はなはだしい相違のない場合は一応これらの平均値を採って実験結果を整理した。

3. 解析ならびに実験結果との比較

3.1 片持ちばりの場合

Fig. 1に示すごとく、片持ちばりの任意点に集中衝撃が作用した場合のはりの鉛直塑性たわみについて考える。この場合衝撃体の質量 M がはりの単位長さ当たりの質量に比べてはるかに大きい場合、すなわちはりの質量の影響を無視し得るときは、単に固定端から衝撃点までの距離をスパン長とした片持ちばりとして取り扱えばよい。はりの質量を無視できない場合は前回

* 土木工学教室

** 大学院工学研究科土木工学専攻

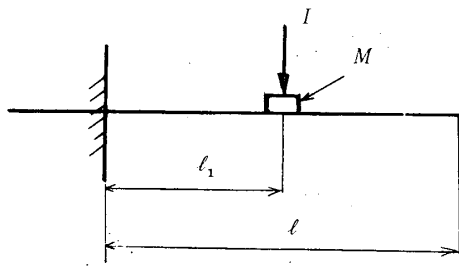


Fig.1 Cantilever beam under impulse

同様の方法を適用し、次式によって計算を行なえばよい。

$$G = M + 1/3 \cdot ml \tag{1}$$

$$v_0 = I/G \tag{2}$$

$$t_f = \frac{Il_1}{M_0} \left\{ 1 + \frac{P}{P+I} \left(\frac{v_0}{2Dl_1} \right)^{1/P} \right\} \tag{3}$$

$$\delta = 1/2 \cdot v_0 t_f \tag{4}$$

ここに、 M ：衝撃体の質量、 m ：はりの単位長さ当たりの質量、 v_0 ：衝撃点の鉛直下方への初速度、 I ：衝撃量（ $=Mv$ 、 v ：落体衝突時の速度、 $v = \sqrt{2gh}$ 、 g ：重力の加速度、 h ：落高）、 t_f ：衝撃瞬間からはりの塑性変形が停止するまでの時間、 M_0 ：はりの静的全塑性モーメント、 P 、 D ：材料によって決まる定数で鋼材では、 $P=5$ 、 $D=40.4\text{sec}^{-1}$ 、 δ ：衝撃点における鉛直塑性たわみ。

式(1)~(4)を用いた計算値と実験値を比較すれば、Table 1のごとくである。

Table 1 Comparison of calculated values with measured ones (Cantilever beams) h : Drop height (cm), W : Drop weight (kg) Plastic deformations (unit: cm), () : Calculated values

$W \setminus h$	20	30	40	50
4.6	0.86 (1.06)	1.55 (1.57)	2.06 (2.08)	2.62 (2.58)
9.5	2.41 (2.23)	3.37 (3.28)	4.48 (4.33)	5.56 (5.40)
14.5	3.54 (3.40)	5.22 (5.03)	6.78 (6.68)	8.73 (8.26)

ただし、鋼材の引張り試験の結果から $M_0=589.45$ kg·cm なる値を計算に使用した。Table 1を参照すれば、計算値と実験値はかなり良い一致を示してお

り、最も大きい食い違いで25%程度、またほとんど一致しているものもあることから考えて、上記の算式はほぼ適用して差支えないであろう。ただ上例では、計算値が実験値よりも一般に小さ目な値を示し、やや危険側の値であることに留意すべきである。

3.2 単純ばりの場合

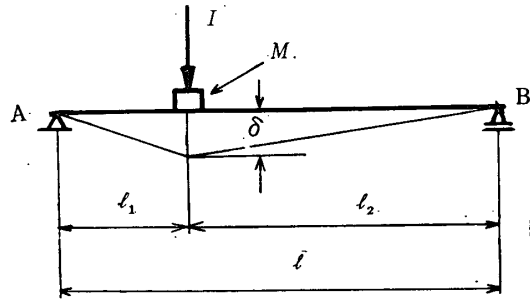


Fig.2 Simple beam under impulse

Fig. 2の状態を参照すれば、この場合は衝撃量および衝撃質量を2つの部分に分けて考えればよい。すなわち、 l_1 および l_2 区間に作用するものをそれぞれ I_1 および I_2 、 M_1 および M_2 とすれば、これらの間には、つぎの関係が成立しなければならない。

$$\left. \begin{aligned} I_1 + I_2 &= I, & M_1 + M_2 &= M \\ v_0 &= I_1/G_1 = I_2/G_2 = I/G \\ G &= M + 1/3 \cdot ml, & G_1 &= M_1 + 1/3 \cdot ml_1, \\ G_2 &= M_2 + 1/3 \cdot ml_2 \end{aligned} \right\} \tag{5}$$

ここに、 I ：集中衝撃量、その他の記号は片持ちばりの場合と同様である。つぎに動的降伏モーメント M_d と静的降伏モーメント M_0 との関係は前回同様に次式を仮定する。

$$M_d = M_0 \left[1 + (v_0/2Dl)^{1/P} \right] \tag{6}$$

式(5)、(6)の関係を用いて前回と同様に取り扱えば、つぎの諸式が得られる。

$$\begin{aligned} t_f &= \frac{Il_1}{M_0} \left\{ 1 + \frac{P}{P+I} \left(\frac{v_0}{2Dl_1} \right)^{1/P} \right\} \\ &= \frac{I_2 l_2}{M_0} \left\{ 1 + \frac{P}{P+I} \left(\frac{v_0}{2Dl_2} \right)^{1/P} \right\} \end{aligned} \tag{7}$$

$$\delta = 1/2 \cdot v_0 t_f \tag{8}$$

また式(1)および(3)より、

$$I_1 = \frac{I}{\left(1 + \frac{l_1}{l_2} \left\{ 1 + \frac{P}{P+I} \left(\frac{v_0}{2Dl_2} \right)^{1/P} \right\} \right)} \tag{9}$$

となるから、式(9)より I_1 の値が求まり、これを式(7)に代入して t_f の値が決まるから、式(8)によって所要の値が計算される。式(7)~(9)による計算値と実験値を比較すれば、Table 2 のようになる。

Table 2 Comparison of calculated values with measured ones (Simple beams)
Signs and Unit : Same as Table 1

h	20	30	40	50
4.6	0.54 (0.81)	1.02 (1.20)	1.25 (1.59)	1.84 (1.97)
9.5	1.55 (1.70)	2.52 (2.52)	3.44 (3.31)	4.38 (4.14)
14.5	2.84 (2.60)	3.82 (3.84)	5.25 (5.11)	6.75 (6.32)

Table 2 を参照すると、この場合もかなり良い一致が見られ、両者の食い違いは大体10%内におさまっているようである。

3.3 両端固定ばりの場合

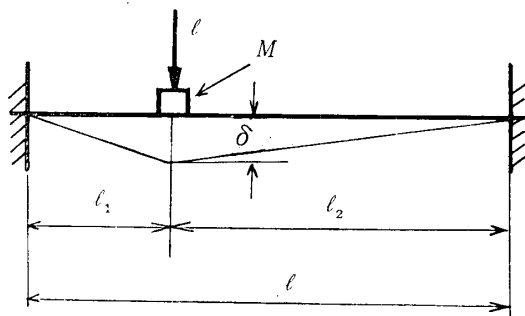


Fig.3 Fixed beam under impulse

Fig. 3 に示す両端固定ばりの場合は理論上は単純ばりの場合の $1/2$ となる。すなわち、式(7)の代わりに、

$$t_f = \frac{I_1 l_1}{2M_0} \frac{I}{\left\{ 1 + \frac{P}{P+I} \left(\frac{v_0}{2DI_1} \right)^{1/P} \right\}}$$

$$= \frac{I_2 l_2}{2M_0} \frac{I}{\left\{ 1 + \frac{P}{P+I} \left(\frac{v_0}{2DI_2} \right)^{1/P} \right\}} \quad (10)$$

を用いれば、その他の諸式は単純ばりの場合と全く同様である。結局単純ばりの場合の計算値の $1/2$ となる。本式による計算値と実験値を比較すれば、Table 3 のようである。

Table 3 を参照すれば、 $W=4.6\text{kg}$, $h=20\text{cm}$ の場合 (衝撃量の最も小さい場合) を除けば、計算値と実験値はかなり良い一致を示すものといえる。

また一方はほぼ同様な実験を行なった別の実験結果と

本計算式による計算値とを比較した結果を Fig. 4, Fig. 5 に示す。

Table 3 Comparison of calculated values with measured ones (Fixed beams)
Signs and Unit : Same as Table 1

h	20	30	40	50
4.6	0.25 (0.40)	0.45 (0.60)	0.75 (0.79)	0.91 (0.99)
9.5	0.82 (0.85)	1.23 (1.26)	1.47 (1.65)	1.77 (2.07)
14.5	1.34 (1.30)	2.08 (1.92)	2.54 (2.56)	3.05 (3.16)

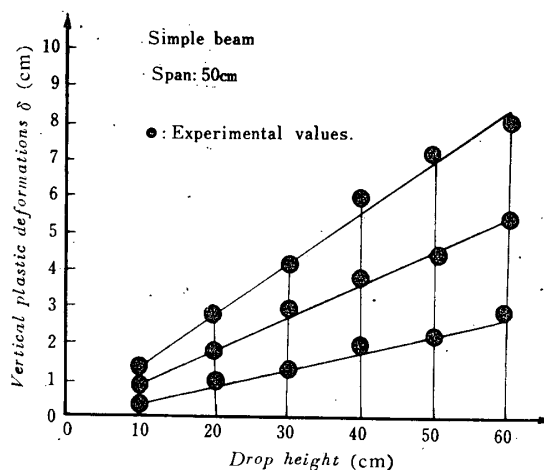


Fig.4 Comparison of calculated values with measured ones

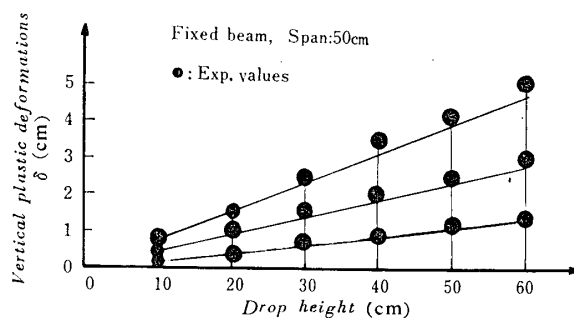


Fig.5 Comparison of calculated values with measured ones

4. 結 言

著者らは前回の報告においては、集中衝撃が片持ちばりではその先端に、単純ばりおよび両端固定ばりではスパン中点に作用する場合の塑性変形について実験的ならびに理論的考察を行ない、比較的単純な仮定のもとに導かれた算式がかなり良い精度で実験値と一致

することを示したが、本文においては、上記の算式を拡張して、集中衝撃がはりの任意点に作用する場合に適用し、その妥当性について検討を行なったのであるが、その結果は Table 1～Table 3, Fig. 4 および Fig. 5 に見られるように、任意点の場合においても、ほぼ満足し得る結果が得られた。もちろん厳密な意味では不十分な点も認められるが、できるだけ単純化した取り扱いとしては、ほぼ十分な成果をえたもの

と考えられる。したがって今後本計算法のさらに複雑な構造への適用性について、さらに検討を進めていく予定である。

参 考 文 献

- 1) 最上幸夫, 阪本紀博: 山口大学工学部研究報告, 20, 231 (1969)

(昭和45年8月29日受理)