

# I-56 塑性設計上からみたせん断変形についての一考察

石川工業高等専門学校 正会員 ○出村 禧典  
金沢大学工学部 正会員 小堀 爲雄

## 1. まえがき

昨年度の年次講演会において、「衝撃によるはりの塑性変形におよぼすせん断変形の影響について」という題目で、せん断変形や回転慣性の影響を考慮に入れた Timoshenko 理論による衝撃を受けたはりの弾塑性応答の解析方法について述べ、その方法を用いることによ、て行、た、る、の計算結果から塑性設計法で構造物を設計する際に、スパン長の短いはりではせん断変形の影響を考慮する必要が生じてくることを報告した。今回は、載荷する衝撃荷重を rectangular pulse に統一し、スパン長を桁高との比、腹板をフランジ幅との比によって表わすことにより、単純支持はりと同端固定はりの比較を容易に行なえるようにし、またより広範なはりについてもせん断変形の影響が分かるように試みた。そして、その結果を塑性設計上の観点から考察した。

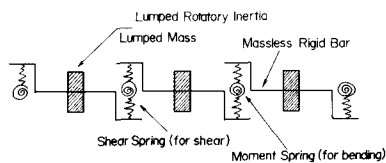


FIG.1 Timoshenko Model

なお、研究方法は前回同様、Timoshenko 理論を適用できるように連続したはりを分割することによってモデル化した Timoshenko model (FIG. 1 参照) による計算結果と、せん断変形や回転慣性の影響を無視している Euler 理論を適用できるようにした Euler model による結果とを比較することとする。モデルによる解析方法に関しては、前回の講演概要集を参照されたし。

## 2. 計算に用いた諸条件

(i) 計算に使用したはりの断面は FIG. 2 に示すもので、JIS 43192 に定められている H 形鋼を取り出したものである。従、て、一般の土木・建築構造物に広く採用されているものである。なお、図中の  $\bar{h}$ 、 $\bar{w}$  はそれぞれスパン長、腹板厚に関するパラメータを示すものであり以後スパン長、腹板厚は  $\bar{h}$ 、 $\bar{w}$  で表わすこととする。

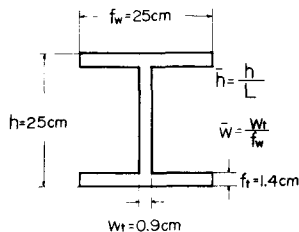


FIG.2 Cross-section

(ii) はりに作用させる衝撃力は FIG. 3 に示すような一定荷重を等分布に載荷し、最大たわみ  $Y_m$  が生じた後取り除いた rectangular pulse である。普通考えられている衝撃力にはその他 triangular-pulse や half-sine pulse があるが、これらの衝撃力は載荷時間  $\lambda$  の他 pulse の形状によって最大たわみが異なってくる。図中に示されている  $\bar{p}$  は衝撃荷重強度  $P_0$  と静的に計算した弾性限界荷重  $P_y$  との比によって表わすもので、このように rectangular pulse では静的な基準量との対応も容易になる。

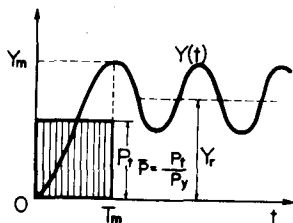


FIG.3

(iii) Timoshenko model に使用した interaction curve は FIG. 4 に示されるものである。図中の  $M$ 、 $S$  は曲げモーメント、せん断力、 $M_y$ 、 $S_y$  は降伏モーメント、降伏せん断力をそれぞれ示す。

(iv) Euler model における  $M-\alpha$  ( $\alpha$  は moment spring の変形)

の関係をFig.5に示す。これは、Timoshenko modelにおいてせん断力による変形を受け持つshear springの変形 $\beta$ を無視した場合の関係である。

(Ⅴ) その他の計算に用いたinput-dataをTABLE-1に示す。

| TABLE-1 input data         |                           |
|----------------------------|---------------------------|
| 弾性係数(E)                    | せん断弾性係数(G)                |
| 2100000 Kg/cm <sup>2</sup> | 810000 Kg/cm <sup>2</sup> |
| 鋼材の単位体積重量( $\gamma$ )      | 加速度(g)                    |
| 0.00785 Kg/cm <sup>3</sup> | 980 cm/sec <sup>2</sup>   |
| 降伏曲げ応力度( $\sigma_y$ )      | 降伏せん断応力度( $\tau_y$ )      |
| 2320 Kg/cm <sup>2</sup>    | 1265 Kg/cm <sup>2</sup>   |

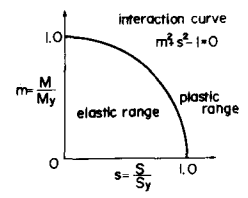


FIG. 4 Interaction Curve

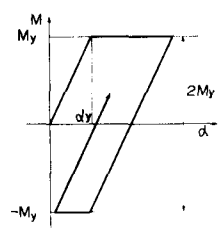


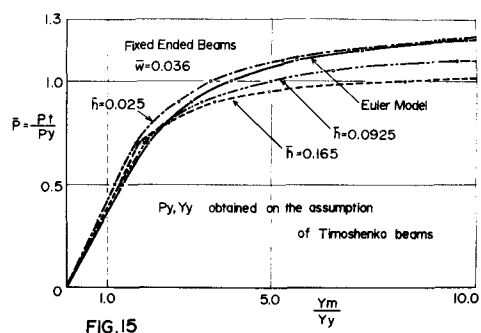
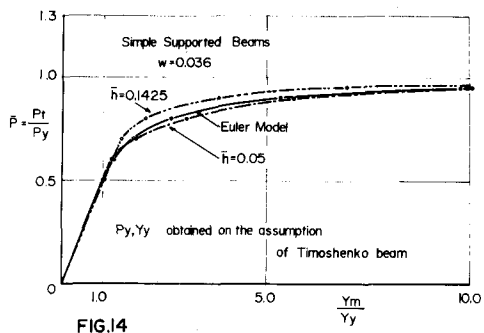
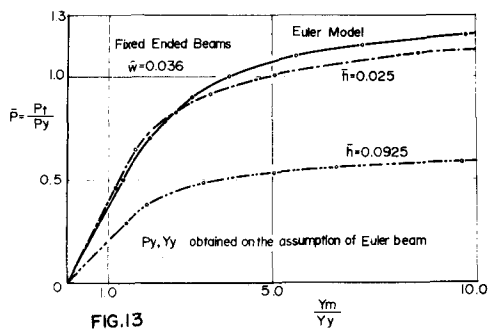
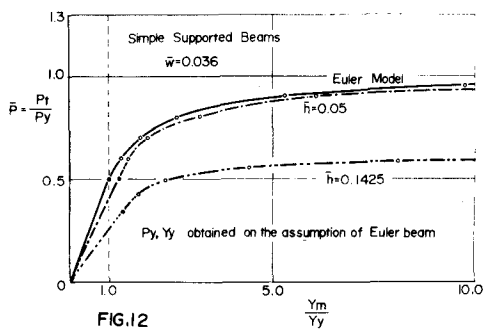
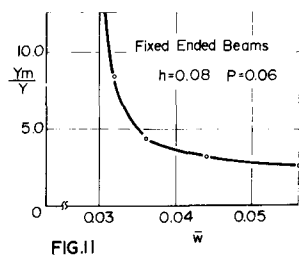
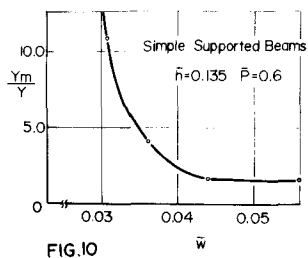
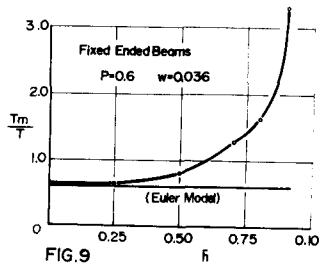
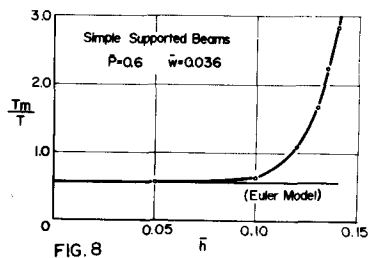
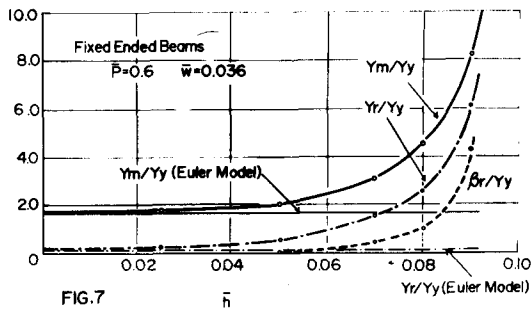
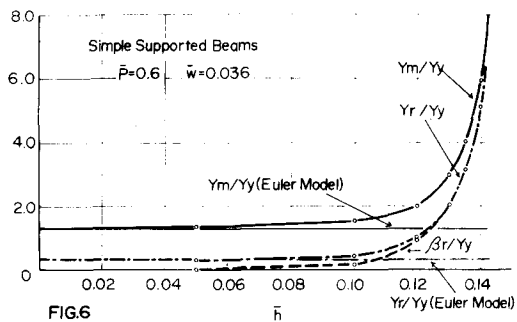
FIG. 5 M-d

### 3. 計算結果

構造物にまれにしか作用しないような大きな衝撃力に対する設計法は、生じる応力が許容応力を越え変形が塑性領域に入っても、構造物の機能が消失するような大きな変形が生じなければ良いとする設計法、いわゆる塑性設計法が合理的であると考えられる。このような設計法では、衝撃力が構造物に与える弾塑性応答の中でも最大たわみや残留たわみが重要なものになってくる。そこで、本研究では構造物の基本構成部材である単純支持はりおよび両端固定はりの衝撃荷重強度( $\bar{P}$ )と最大たわみ( $Y_m/Y_y$ )の関係におよぼすせん断変形の影響の焦点を絞って計算を進めることとした。

(i) パラメーターの設定 スパン長の短い場合は、せん断力の曲げモーメントに対する割合が大きくなり、腹板厚が薄くなればせん断応力の曲げ応力に対する割合も大きくなる。よって、せん断変形の影響はスパン長や腹板厚によって異なり、パラメーターとしてスパン長に関するもの $\bar{H}$ 、腹板厚に関するもの $\bar{W}$ が考えられる。計算結果をFig.6~11に示す。図中の $Y_m$ は最大たわみ、 $Y_r$ は残留たわみ、 $\beta_r$ はせん断残留たわみである。計算結果をみまると、 $\bar{H}$ が大きくなるとともに急にせん断変形の影響が表われ、両端固定はりより単純支持はりに比べて小さい $\bar{H}$ で表われる。又、残留たわみは単純支持はりの場合ほとんどせん断残留たわみによって占められているが、両端固定はりの場合には一定量の曲げ変形の残留が残っている。このことは、両端固定はりでは変点において曲げモーメントとせん断力の相互作用が生じていることを示す。Fig.8,9は $T_m$ ( $Y_m$ の生じる時間)の変化を示しているが、せん断変形の影響が大きくなると載荷時間も大きくなることが分かる。Fig.10,11は腹板厚によるせん断変形の影響の変化を示したものである。一般のH形鋼では、だいたい $\bar{W} = 0.028 \sim 0.056$ くらいのものが使用されているが、単純支持はりでは $\bar{H} = 0.135$ 、両端固定はりでは $\bar{H} = 0.08$ で、 $\bar{W} = 0.03$ 付近でせん断変形の影響はきわめて大きくなっている。

(ii) 衝撃荷重強度( $\bar{P}$ )と最大たわみ( $Y_m/Y_y$ )の関係におよぼすせん断変形の影響 Fig.12,13は $\bar{H}$ による $\bar{P}-Y_m/Y_y$ の関係を表わしたものである。塗り潰した点は、はりの変形が塑性領域に入り始めたことを意味する。単純支持はりの場合の $\bar{H} = 0.05$ 、両端固定はりの $\bar{H} = 0.025$ は、上記の計算結果よりせん断変形の影響がほとんどみられないスパン長であり、 $\bar{H} = 0.1425$ 、 $\bar{H} = 0.0925$ はせん断変形の影響が非常に大きくなるスパン長である。なお、 $Y_y$ は弾性限界たわみを示し、 $P_y, Y_y$ は、はりをEuler beamとして計算したものである。計算結果をみまると、 $\bar{H}$ の小さい場合の $\bar{P}-Y_m/Y_y$ の関係は、Timoshenko modelによる結果とEuler modelによる結果とはほとんど



一致しているが、 $\bar{H}$ が大きくなると、Timoshenko model による結果では小さい衝撃荷重強度 $\bar{P}$ で変形が塑性領域に入り無限大になる。このことはスパン長が短い限りでは、せん断変形の影響ではりが耐え得る衝撃荷重強度はかぎり減少することを示している。又、 $\bar{H}$ が小さい場合は両端固定はりでは単純支持はりより大きい $\bar{P}$ まで耐え得ることができるが、 $\bar{H}$ が大きくなると単純支持はりに近くなる。これはスパン長が短い場合、両端固定はりではせん断力の割合が大きい状態で降伏しせん断変形が変形の大きい部分を占める崩壊の形式が単純支持はりに接近してくるためと考えられる。

Fig. 14, 15はFig. 12, 13の計算結果のうちのTimoshenko modelの結果を、はりをTimoshenko beamとして計算した $P_y, Y_y$ を用いて整理したものである。この結果をみてみると、単純支持はりの場合 $\bar{H}$ の大きいものも小さいものもほとんどEuler modelの計算結果に一致する。しかし、両端固定はりの場合には $\bar{H}$ の小さい場合一致するが、 $\bar{H}$ が大きくなるとその結果は単純支持はりに近くなる。これも、前述のせん断変形が変形の大きな割合を占めていることを示している。以上のことから塑性設計上衝撃力を考慮する際、その衝撃力がrectangular pulseのように静的な基準量と対応できるものであるならば、その基準量をTimoshenko beamとして計算したものを使用すれば単純支持はりの場合はEuler modelによる結果を使用しても問題はないと考えられる。しかし、両端固定はりの場合は、それでも耐え得る衝撃力強度( $\bar{P}$ )は減少し、スパン長のかぎり短いものでは単純支持はりと同程度の衝撃荷重強度( $\bar{P}$ )になる。

#### 4. モデルの検討

モデルによって得られた計算結果の信用性の検討は、モデルの分割数 $N$ を次第に大きくすることにより計算結果が外見的な収束を示せば計算結果が信用に価すると判断した。検討の結果をFig. 16に示す。これを見ると分割数を大きくすると計算値は一定値に収束していく。又、これから分割数で計算結果の精度に大きく影響をおよぼし、21ぐらいの分割数の適用だと思われる。その他スパン長や時間増分も誤差に関係あると考え、Fig. 17, 18のような検討を行った。その結果、スパン長に関しては問題なく、時間増分もあり大きくあると応答に高次の振幅が生じるため収束計算が困難になるが、それより小さいものを使用すれば計算結果に影響を与えない。なお、Fig. 18の中の $T$ ははりの固有周期を示す。

#### 参考文献

- 1) 出村・小堀“衝撃によるはりの塑性変形におよぼすせん断変形の影響について”昭和45年土木学会年次講演会概要集
- 2) 田中尚著“構造物の極限解析”朝倉社
- 3) Robert K. Wen, ASCE, Nurel Beylerian' Elastic-Plastic Response of Timoshenko Beam S" ASCE, June, 1967

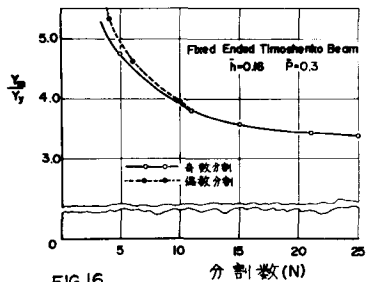


FIG.16

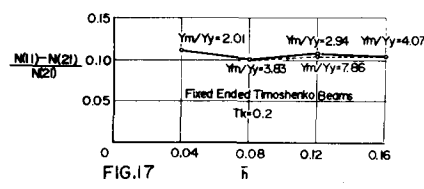


FIG.17

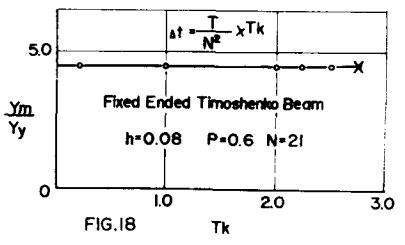


FIG.18