

工形はりの塑性曲げ解析

広島大学 ○ 松尾 彰
同 橘 代 仁 朗

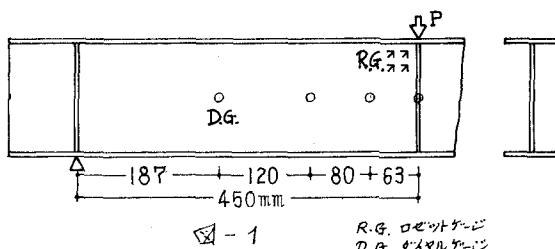
1. まえがき

有限要素法は、構造解析の分野において有力な手法の一つであり、その信頼性も高く評価されている。また、電子計算機の大型化、高速化等に伴いそれは更に改良され設計にも応用されるまでになった。しかしながら、有限要素法も万能とはいえず、それを実用に供する際には、細心の注意が必要である。本研究では、平板よりなる部材(図-1の如く中央集中荷重を受けるH形鋼はりとした。)を次の2点に注目し、その部材の弾塑性状態を解析し、実験結果との比較によりその有用性を調べてみる。 1. フランジ、スチフナ類のモデル化の方法について 2. 繰り返し変形荷重の場合の弾塑性解析における材料剛性マトリックスの評価について。

2. 解析について

2.1 解析の概要

解析は通常の変位法に、荷重漸増法を用いて行う。図-1に示すH形鋼について、ウェブは平面応力状態にあるとして三角形平板要素にて分割し、フランジおよびスチフナは、



1) 軸力のみに抵抗する棒要素 2) 軸力と曲げに抵抗する棒要素 3) フランジ、スチフナ幅を板厚とする三角形平板要素の3種類にモデル化した。また、繰り返し変形荷重を加える場合は、1)を採用した。

2.2 降伏条件および塑性化の判定

三角形平板要素は延性に富んだ材料で、Von Mises の降伏条件に従うものとする。また、曲げと軸力が同時に表われる2)の場合については、次式を降伏相関曲線とする。

$$H = \left(\frac{F_x}{F_{ox}} \right)^2 + \frac{M_z}{M_{oz}} - 1 = 0$$

F_{ox} : 全断面降伏力
 M_{oz} : 全塑性モーメント

また、各要素が次に塑性化するのに必要な荷重倍率の主なものは以下の式で与えられる。

(三角形平板要素)

$$r_1 = \frac{I + \sqrt{I^2 + 4(\Delta \bar{\sigma}_{ij}) \cdot (\bar{\sigma}_y^2 - \bar{\sigma}^2)}}{2(\Delta \bar{\sigma}_{ij})^2}$$

ここに、 $I = (\Delta \bar{\sigma}_{ij})^2 - 2\bar{\sigma}\Delta\bar{\sigma} - (\Delta\bar{\sigma})^2$

(軸力と曲げを受ける棒要素)

$$r_2 = \frac{-I + \sqrt{I^2 + 4\left(\frac{\Delta F_x}{F_{ox}}\right) \cdot (1-h)}}{\left(\frac{\Delta F_x}{F_{ox}}\right)}$$

ここに、 $I = \left(\frac{F_x \cdot \Delta F_x}{F_{ox}}\right) + \left(\frac{\Delta M_z}{M_{oz}}\right)$
 $h = \left(\frac{M_z}{M_{oz}}\right) + \left(\frac{F_x}{F_{ox}}\right)$

これら r_1, r_2 のうち、最小のものが次に塑性化すると考えられる。

2.3 各要素の剛性マトリックス

各要素の剛性マトリックスを表-1に示す。ただし、漸増荷重を受ける場合の材料の剛性マトリッ

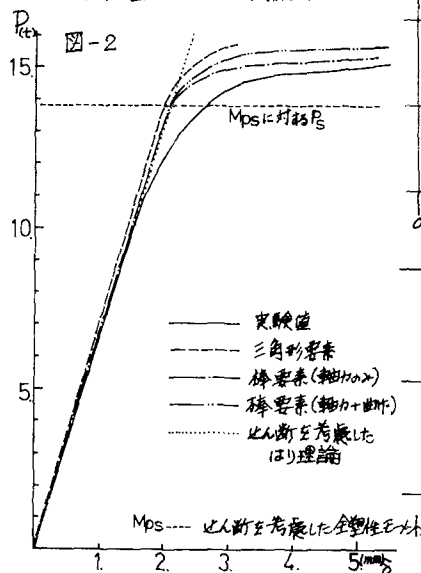
クス D_p は、等方性材料の仮定のもとに山田博士が導いたものを用いた。また、繰り返し変荷重を受ける場合には、更に、Prager の移動硬化法則に Ziegler が修正を加えたものを用いて Bauschinger 効果を考慮した解析を行い比較した。

2.3 解析に用いた材料の機械的性質

解析および実験に用いた素材の機械的性質を表-2に示す。

3. 解析結果及び実験結果との比較 3.1 漸増荷重の場合

各解析法による荷重-変位曲線と実験結果と共に図-2に示す。これによれば、弾性域においては、どの解析法についても実験結果と良く合っているようである。また弾塑性域においてもやや高めではあるが比較的実験値に近い傾向を示しているといえよう。図-3は、試験体の



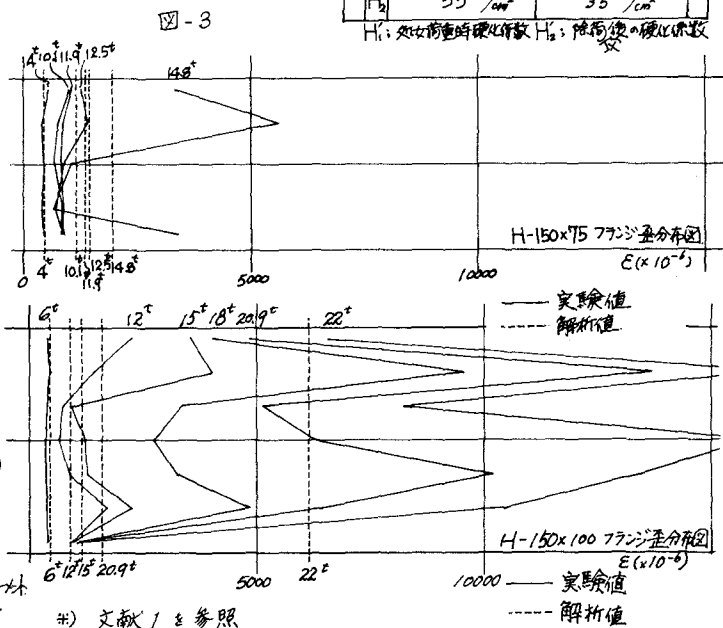
	三角形要素 $[K] = A + ([N]^T [D] [N])$	棒要素 $[K] = [T]^T [\tilde{K}] [T]$
弾性状態	$[D_e] = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & & \\ & \text{S.Y.M.} & \\ \nu & & 1 \\ & & & \frac{1+\nu}{2} \end{bmatrix}$	$[\tilde{K}_e] = \begin{bmatrix} AE/L & 12EX/3 & 0 & 0 \\ 0 & -6EX/3 & 4EX & 0 \\ 0 & 0 & 0 & AE/L \\ -AE/L & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -12EX/3 & 6EX/3 & 0 \\ 0 & 6EX/3 & -2EX/3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 6EX/3 & 4EX \end{bmatrix}$ S.Y.M.
塑性状態	$[D_p] = \frac{E}{Q} \begin{bmatrix} Q_y^* + 2P & & \\ -Q_x^* Q_y^* + 2UP, Q_x^* + 2P & & \\ -\frac{Q_y^* + UP}{1+\nu}, -\frac{Q_x^* + UP}{1+\nu}, \frac{R}{2(1+\nu)}, \frac{2H(1+\nu)^2}{9E} \end{bmatrix}$	$[\tilde{K}_p] = [\tilde{K}_e] ([I] - \begin{bmatrix} \phi_1 & 0 \\ 0 & \phi_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{DRM}_{12} \\ \text{DRM}_{21} \end{bmatrix})$
塑性状態 (移動硬化)	$[D_p] = \frac{1}{P} \begin{bmatrix} \frac{2(1+\nu)S_1^2 + 9Q_y^*}{D}, \frac{2(1+\nu)}{E} \text{ S.Y.M.} \\ \frac{2(1+\nu)Q_y^*}{D}, \frac{2(1+\nu)S_1^2 + 9Q_y^*}{D}, \frac{2(1+\nu)}{E} \\ \frac{3(S_1 + UP)}{D}, \frac{3(S_1 + UP)}{D}, \frac{Q}{D}, \frac{1+\nu}{E} \end{bmatrix}$	

表-1

表-2

	H-150x75	H-150x100
新増荷重		
E	2130 %cm ²	
Q	348 %cm ²	
H	30 %cm ²	
E _s	0.0218	
解荷重		
E	2130 %cm ²	2180 %cm ²
Q	348 %cm ²	3.52
H	15 %cm ²	15 %cm ²
H ₂	35 %cm ²	35 %cm ²

H₁: 止人荷重時の硬化係数 H₂: 解荷重時の硬化係数



*) 文献1を参照

フランジにおける歪分布図である。それによれば、 $H-150 \times 75$ の歪分布は高荷重においても比較的一様であった。以上のことから、細幅のフランジに単に軸力のみ分担させるようモデル化して解析しても、差支えないであろうと推察される。

3.2 繰返し変形荷重の場合 $H-150 \times 75$ および $H-150 \times 100$ の試験体について荷重-中央部変位曲線を図-4に示す。両試験体とも、除荷した後、等方硬化による解析値がやや高めに出ていた。これは、等方硬化法則に基づく解析がBauschinger効果を表わすことが難かしいことから予想できることであろう。また図-5には、各荷重段階におけるH形はりのねわみ形を実験値とともに示した。図心は、はり中央部の変位を他の変位を正規化して示している。それによれば、最終的な段階においても、両試験体ともに移動硬化法則に基づくものは、実験結果のねわみ形を比較的良好にあらわしているといえよう。図-6は、各解析により求めた応力に、実験においてロゼットゲージより両硬化法則に基づいて求めた応力を比較して示した。これによれば、応力は、必ずしも同一経路をたどって戻っている訳ではなく、一方向の加工硬化の影響が完全に表われているとはいえないようである。

4. 結び 本論文は、平面板より組立てられ部材(H形鋼)を、フランジ、スチフナ等を、3種類のモデルに置換して解析を行い、実験値と比較した。その結果、比較的簡単な軸力部材への置換でも、比較的良い結果を得た。また、同様な2種の部材に中央集中荷重が正負変形に加わる場合について、等方硬化法則と、移動硬化法則とに基づく解析を行い実験と比較し、解析法の特徴を比較した。

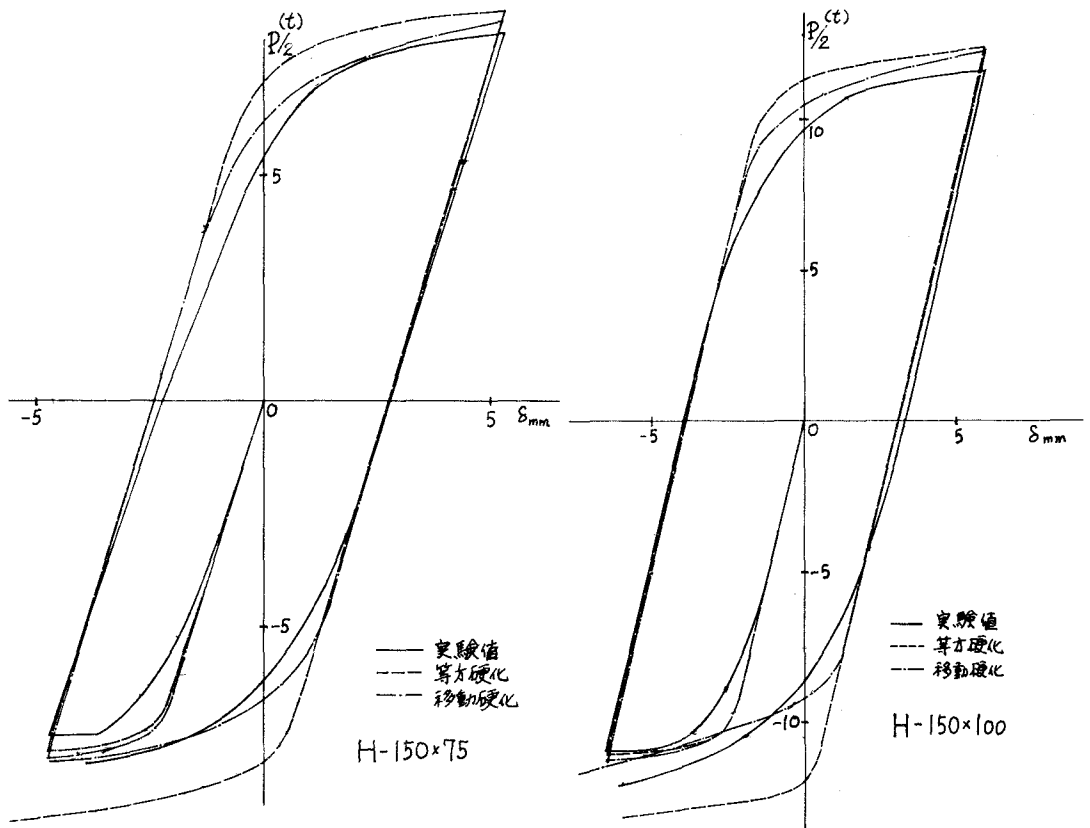


図-4

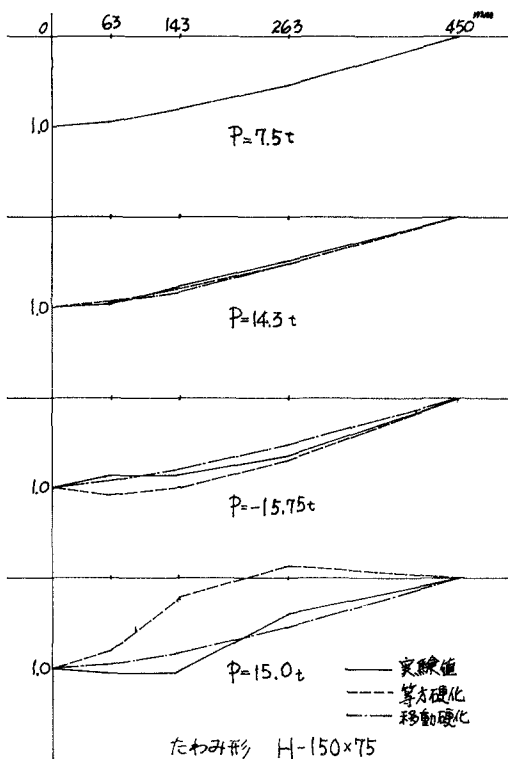


図-5 (a)

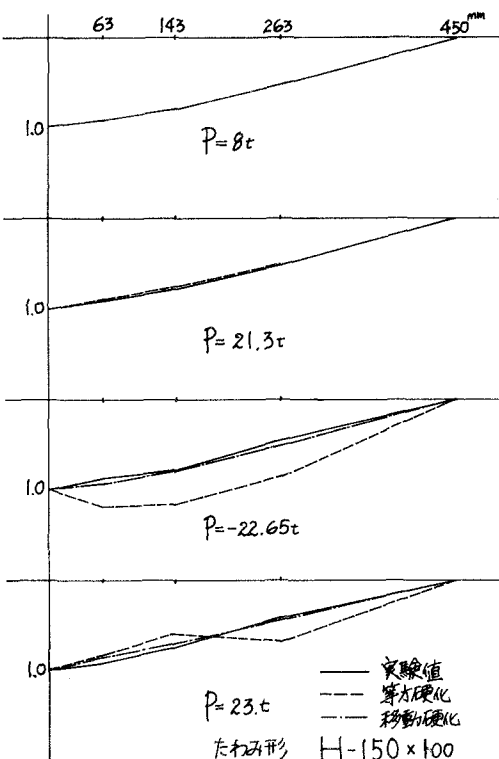


図-5 (b)

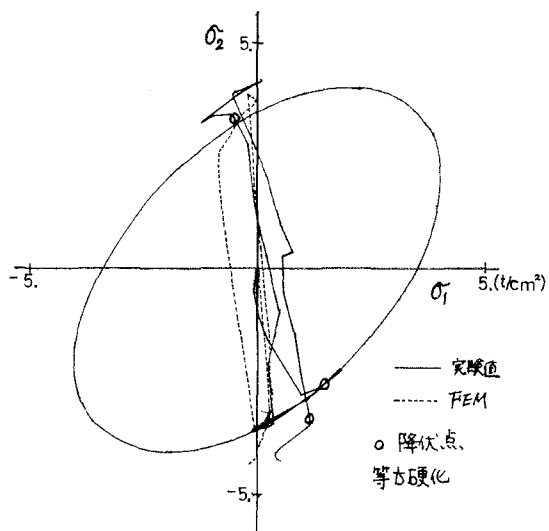


図-6 (a)

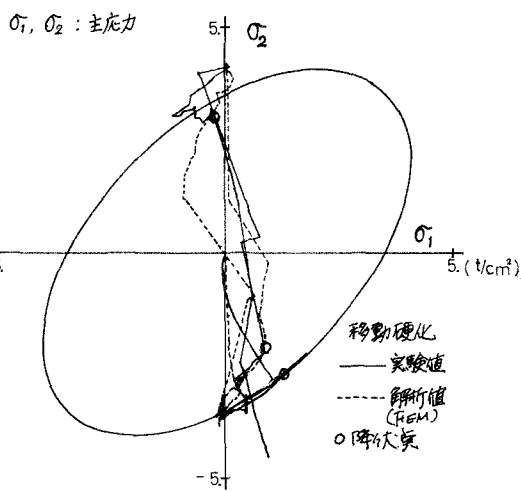


図-6 (b)

(文献)

1. 川端, 松尾, 標代: 有限要素法による形鋼はりの弾塑性曲げに関する解析法, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭. 47. 10
2. 松尾, 標代: 繰返し荷重を受ける平面板の履歴特性解析について, 同上