

PS I - 1

繰り返し荷重を受ける薄板集成部材の弾塑性有限変位解析

早稲田大学理工学部	正 員	○ 依田照彦
早稲田大学理工学部	正 員	平嶋政治
早稲田大学理工学部	正 員	末武義崇

1. まえがき

土木構造物は通常、種々の繰り返し荷重を供用期間中に受ける。このため、繰り返し载荷毎に塑性域が進展し、構造物としての耐荷力が変化することも予想される。繰り返し载荷による構造物の耐荷力特性に関しては、実験的な研究が多く見受けられるが、解析的な研究は少ない。たとえば、薄板集成部材であるI型断面曲線桁の耐荷力特性に着目すると、その耐荷力に至るまでの挙動については明らかにされつつある^{1), 2)}。しかしながら、繰り返し曲げ荷重を受けるI型断面曲線桁の弾塑性有限変位挙動や耐荷力特性を、数値解析的に検討した研究は、これまでのところほとんど見られない。本報告は、垂直補剛材によって挟まれたI形断面曲線桁の一区間を、薄板集成部材とみなして取り出し、これに繰り返し曲げ荷重を载荷させることにより弾塑性有限変位解析を実施し、桁の挙動及び耐荷力の変化について調べたものである。

2. 解析手法および解析モデル

本報告では、幾何学的非線形性及び材料非線形性の両者を考慮した、Hermannの混合型有限要素法を用いて弾塑性有限変位解析を行った。非線形計算にあたっては、弧長増分法と修正 Newton-Raphson 法とを組合わせて収束計算を行った。収束計算については、不平衡力が与えられた増分荷重の0.1%未満になるまで実施した。なお、塑性域の板厚方向への広がりやを評価するために各要素を9層に分割した。

解析対象としたモデルは、図1のようなI形断面曲線桁の1区間である。桁の寸法は、曲率パラメータ $Z = 7.15$; $Z = h^2 \sqrt{1 - \nu^2} / R t_w$ 、ウェブの幅厚比 $h / t_w = 150$ 、アスペクト比 $R \theta / h = 1.0$ 、フランジの幅厚比 $b / t_f = 12$ である。鋼材はSS41を想定し、初期降伏応力 $\sigma_y = 2400 [\text{kg/cm}^2]$ 、Young率 $E = 2.1 \times 10^6 [\text{kg/cm}^2]$ 、Poisson比 $\nu = 0.3$ とし、単軸状態の応力-ひずみ関係として、降伏後平坦な領域を経てひずみ硬化を生ずる、tri-linearなモデルを考えた。また、残留応力を考慮したモデルについても同様の解析を行った。残留応力のレベルは、引張応力が降伏応力に等しく、圧縮応力が降伏応力の2分の1に等しいとし、分布形状として自己平衡条件を満たす矩形分布を仮定した。荷重はフランジ部で一様分布、ウェブ部で線形分布する応力を与え曲げを作用させた。载荷方法は、各繰り返し毎に最高荷重を求め、その直前から荷重を反転させ、一旦荷重レベルを零付近に戻した後に再び载荷するものとした。なお、負荷及び除荷の判定に関し、荷重を増加させる際には降伏曲面と応力点との位置関係によって判定を行い、荷重を減ずる際には降伏曲面の法線ベクトルと応力増分との内積の符号によって判定を行うこととした。

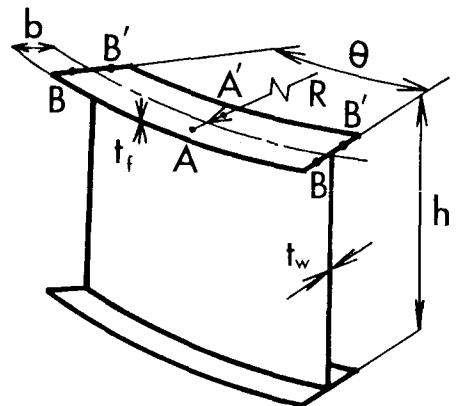


図1. 解析モデル

3. 結果及び考察

図2に圧縮フランジ中央辺の回転挙動の解析結果を示す。図は縦軸にパネル端部に作用する曲げ荷重を降伏モーメントで割って無次元化した量を、横軸に圧縮フランジ中央辺(A-A'辺)の回転角をそれぞれとって図示してある。図2より繰り返し回数の増加に伴い変形径路に差異が生じ、残留変形が発生するようすがわかる。耐荷力すなわち最高荷

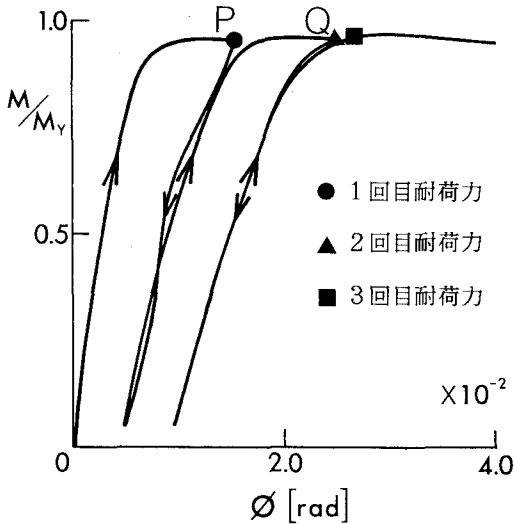


図2. 繰り返しによる圧縮フランジ
の回転挙動（残留応力なし）

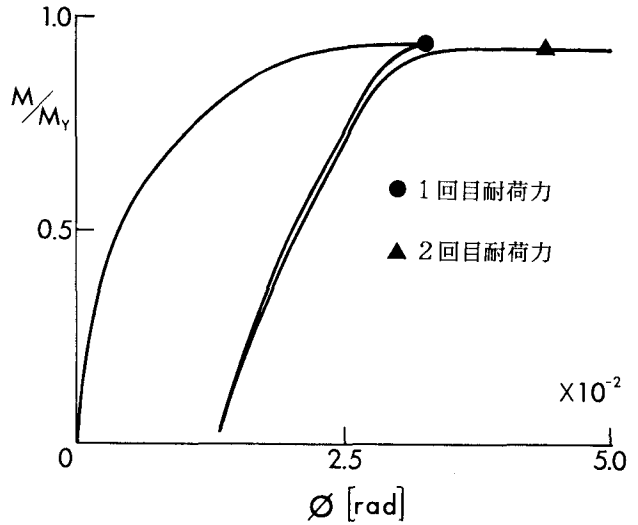


図3. 繰り返しによる圧縮フランジ
の回転挙動（残留応力あり）

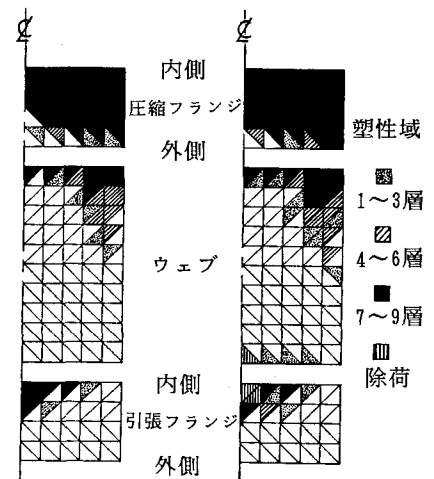
重については、繰り返し回数を増加させてもほとんど変化しないことがわかる。しかしながら、最高荷重のレベルにおける変位は、繰り返しを重ねるにつれて漸増しており、荷重を反転させた点以後の挙動は、必ずしも一致しない。次に、残留応力を考慮した場合、繰り返し载荷によってどのような変形挙動を示すかについて調べてみた。解析結果を図3に示す。図3も図2と同じく、縦軸に無次元化モーメントを、横軸に圧縮フランジ中央辺の回転角をそれぞれとって図示してある。図3より、残留応力を考慮した場合も変形径路に差異を生ずるものの、耐力力はほとんど変化しないことがわかる。一般に、金属材料で作られた試験片全体に、一様で均質な変形を加えたときに生じる変形径路は、途中で除荷を生じた場合でもほとんど変化しないとされている。これに対し、I型断面曲線桁のような薄板集成部材のように、変形や塑性域の進展が一様でないような構造物の場合には、今回の解析結果からも明らかなように、耐力力に変化は見られないものの、変形径路に若干の差異が認められる。塑性域の進展状況を図4に示す。図4は、図2に示した変形径路上の点P、Qに対応する塑性化状況である。図より、最高荷重レベルにおける塑性化状況は、荷重载荷を繰り返した後も、それほど大きく変化しないことがわかる。また、今回の数値計算を通じて、繰り返し荷重を受ける薄板集成部材の弾塑性有限変位解析に弧長増分法が非常に有効であることが確かめられた。

謝 辞

本研究の図の整理にあたり、大学院生の工藤、守田両氏の協力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 菅井・樋渡・倉西：曲げを受ける曲線I型プレートガーダーの弾塑性解析，土木学会第41回年次学術講演会講演概要集・I，pp. 165～166，1986-11.
- 2) 藤井・大村：曲げを受ける曲線I形桁の弾塑性断面変形挙動，構造工学論文集，vol.33A，pp. 83～92，1987-3.



(a)点P(図2) (b)点Q(図2)

図4. 塑性域の進展状況