

川田工業(株)	正員	○木村 公男
東北大学工学部	正員	倉西 茂
東北大学工学部	正員	伊藤 悦久

1 まえがき

実際のトラス構造物においては、各部材は格点で剛結されているために、端部で拘束を受ける。しかしながら圧縮部材の強度や性状に対する端部拘束の影響に関しては、系統的な研究が少なく、解明すべき点が多く残されている。そこで本研究では、剛結トラスを数値解析して、端部で拘束を受けるトラス弦材(圧縮弦材)の強度と、その性状を調べた。さらに、このような弦材の強度に及ぼす初期たわみの影響についても検討した。

2 解析方法

構造解析は、幾何学的非線形性を考慮して有限要素法を用いて行なった。また、材料は完全弾塑性体と仮定しこれらの非線形性は、荷重増分法により区分的に線形化した。この線形化によって生ずる誤差は、残差不平衡力を逐次載荷することにより修正して解析を進めた。

3 解析モデル

解析したトラスは、図-1に示すような、平行弦ワーレントラスで、格間長 l は10m、トラス高 H は7.14m(斜材取り付け角度 θ は55°)である。この図に示したような6パネルの

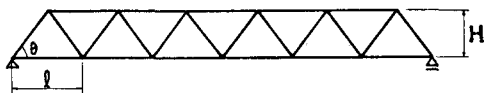


図-1

トラスのほか、5パネルのものも解析している。荷重は等分布荷重を加えた。部材断面は、弦材と圧縮を受ける斜材に対しては箱形を、引張斜材に対してはH形を用いた。使用鋼材の降伏応力度 σ_y は2200 kg/cm^2 、ヤング率 E は $2.1 \times 10^6 \text{ kg}/\text{cm}^2$ と仮定した。残留応力は台形分布を仮定し、圧縮残留応力の大きさを σ_{rc} は $0.4\sigma_y$ とした。

以上のようなトラスの弦材と斜材の細長比をそれぞれ変えて解析を行ない、弦材の強度と性状を検討した。すなわち、弦材は、細長比パラメーター λ_0 が0.62, 0.81, 0.99の3種類に対して、斜材は、細長比パラメーター λ_0 が約1.1, 1.4, 1.7の3組について解析した。

4 解析結果および考察

(1) 弦材の強度 —— 6パネルのトラスで最大の軸力を受ける、中央上弦材の強度について検討する。図-2は、横軸に弦材の細長比パラメーター(降伏応力を使って無次元化した細長比) λ_0 をとり、縦軸に降伏軸力 P_y で無次元化した弦材の最大軸力 P_{max} をよって描いたグラフである。斜材の細長比パラメーター λ_0 ごと、6パネルトラスの中央上弦材の強度を示している。比較のため、弦材を両端ヒンジの柱として、同様の残留応力と部材長の $1/1000$ の初期たわみを与えて計算した強度も破線で示してある。この図から、弦材の強度は、両端ヒンジの柱の強度に較べてかなり大きく、特に細長比の大きな弦材の強度増加が著しいことがわかる。トラス部材は、端部で隣接部材によって変形に対する拘束を受けるため、弦材の強度も大きくなるものと思われる。また、斜材の細長比が変化しても、弦材の強度はほとんど変わらず、弦材強度に対する斜材剛度の影響は非常に小さい。

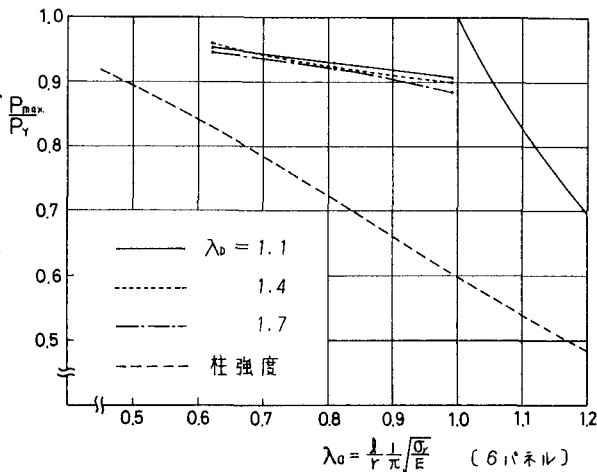


図-2 弦材強度

うである。

(2) 弦材の受ける端部拘束 — トラスの上弦材は、軸力の小さなうはトラスの全体的変形による端部の強制回転、すなわち2次応力を受けるが、軸力が増大し弦材自身のたわみが大きくなってくると、連結している部材によって変形に対する拘束を受けるようになるものと考えられる。図-3は、6パネルトラスの中央上弦材について、端部拘束の状態を調べたものである。縦軸に降伏軸力 P_y で無次元化した作用軸力 P 、横軸に降伏曲げモーメント M_y で無次元化した端部モーメント M をとり、3種類の弦材に対して、 P - M 関係を示したものである。端部モーメント M の(-)は2次応力、(+)は変形拘束に対応する。

いずれの場合も、作用軸力が小さい間は全体変形による端部の強制回転によって2次応力を受けていることがわかる。しかし、作用軸力が $P_y/2$ 程度を越えると、2次応力は減少し始め、細長比の大きなものから変形に対する拘束を受けるようになることが示されている。弦材は端部で拘束を受けている状態で崩壊に至っており、この拘束作用のため大きな強度を発揮するものと思われる。

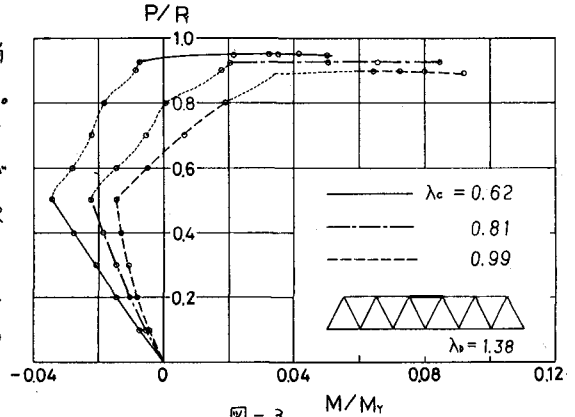


図-3

(3) 単一柱モデルによるシミュレーション —

弦材の受ける2次応力は、近似的に計算したトラスの全体的な曲げ変形による曲率から

$$M = \frac{r^2}{H/2} \cdot P$$

と表わされる。ここに、 r ：弦材の断面2次半径、 H ：トラス高、 P ：弦材に作用する軸力。

上式に従って、軸力 P を両端で $e = \frac{r^2}{H/2}$ だけ偏心させることにより2次応力をモデル化し、隣接部材による拘束の影響は両端にバネ定数 $k = \frac{3EI}{l}$ の回転バネを考慮して算出した柱モデルにより、弦材の性状をシミュレートした。

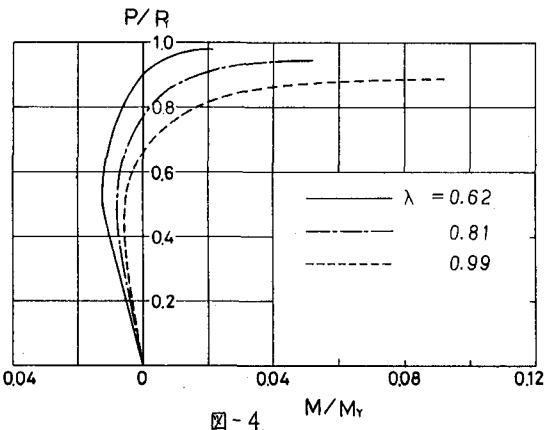


図-4

上述のモデルにより得られた P - M 関係のグラフを図-4に示す。図-3と比較すると、単一柱モデルの場合、最初から拘束が加わるために2次応力の値を過小評価するか、最大2次応力の生ずる軸力、拘束力が作用し始める軸力などはよく一致していることがわかる。

(4) 初期たわみの影響 — 中央上弦材は下向きに、その両側の弦材は上向きに部材長の $1/1000$ の初期たわみを有する場合の中央上弦材の強度を図-5に示す。弦材の細長比パラメータ λ_c に対して、弦材の強度をプロットしたものである。この図から、初期たわみの影響により弦材の強度が大きく低下することがわかる。また、斜材による拘束が相対的に増大するため、弦材強度に対する斜材剛度の影響が大きくなるようである。しかし、両端センジの柱の強度を下まることはないようである。

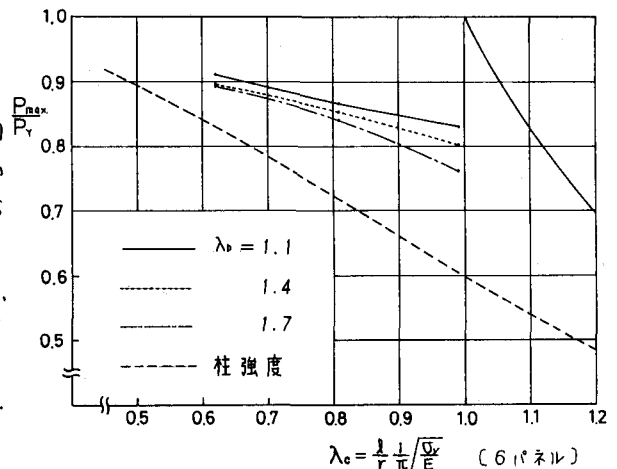


図-5 弦材強度