

九州大学工学部 学生員 森 望

九州大学工学部 正会員 今井富士夫

九州大学工学部 正会員 木田 俊昭

1. まえがき 薄肉曲線桁の崩壊特性に関する研究は、有限差分法による Heins らのもの¹⁾があるが、そこでは、終局耐力と崩壊形式の相関性についてのみ言及しており、変形に関する考察が行われていない。著者らは、崩壊形式と終局耐力および終局変形の3者から、曲線桁の崩壊挙動特性を統一的に明らかにすることを試みており、文献2)においては開断面を有する曲線桁について言及した。そこで、ここでは、薄肉開断面を有する曲線桁の崩壊挙動特性について論ずることにする。

2. 解析手法 本法は、塑性ヒンジ理論を導入した変形法に基づく解析法であり、部材要素の解析には通常の弾性理論が適用できる。その影響を考慮した薄肉曲線部材の弾性有限要素モデルは、すでに薄木ら³⁾によって提案されており、ここでは、その面外問題部分のみを活用した。なお、塑性ヒンジによる不連続変形量の解式への導入を簡単にするために、ここでは、変形を相対変形と剛体変形に分離して考える。すなわち、節点力と節点接線角の関係式、および変形の適合条件式は、

$$\dot{M} = k \dot{\psi} \quad (1) \quad \dot{\psi} = A \dot{u} - A_p \dot{\lambda} \quad (2)$$

ここに、 $\dot{M} = \{\dot{M}_T \quad \dot{M}_w/R\}^T$, $\dot{\psi} = \{\dot{\psi}_m \quad \dot{\psi}_t \quad \dot{\psi}_w\}^T$, $\dot{u} = \{\dot{\theta}_m \quad \dot{\theta}_t \quad \dot{\phi} R \quad \Delta/R\}^T$, M : 曲げモーメント, T : ねじりモーメント, M_w : 曲げねじりモーメント, R : 部材半径, ψ : 節点力に対応する接線角, θ_m : たわみ角, θ_t : ねじり角, ϕ : ねじり率, Δ : 鉛直変位, ドットは増分を示す記号, $A_p \dot{\lambda}$ は塑性流れ理論より定まる不連続角である。また、力のつり合い式は反傾関係より、さらに、降伏条件は塑性流れ理論から、

$$\dot{P} = A \dot{M} \quad (3) \quad 0 = A_p^T \dot{M} \quad (4)$$

ここに、 $\dot{P} = \{\dot{M}_T, 0, \dot{P}_R\}^T$ で表される外力である。

式(1)~(4)を用いて薄肉曲線部材の弾・塑性剛性方程式が誘導できる。

また、降伏条件式は、Mises の降伏条件式 $F = (M/M_p)^2 + (T/T_p)^2 - 1$ を用いた。ここに、 M_p , T_p は、それぞれ、完全塑性曲げモーメント、完全塑性ねじりモーメントである。

3. 解析パラメータ 薄肉開断面曲線桁の崩壊挙動特性に影響を及ぼす因子としては、耐力問題では、 T_p および M_p 、変形問題では、曲げ剛性 EI 、ねじり剛性 GJ および曲げねじり剛性 EC_w の5つが考えられる。塑性ヒンジ理論の仮定として、局部座屈や横たおれ座屈は生じないとしているため、ここで取扱った断面は、建築学会の塑性設計指針に定められている規準を採用してモデル化した。このような断面の各因子を算定し、 T_p/M_p を基準値にして各因子間の相関性をあらかじめ求めた。

さらに、曲線桁の半径 R と開角 ψ との関係については、文献4)を参考にして、薄肉開断面曲線桁の限界値が、図-1に示すように与えられた。なお、対象とした断面は2軸対称I形断面であり、各剛性値は、直線桁としての剛性値を準用した。また、I形断面の T_p/M_p は、0.012~0.013であった。

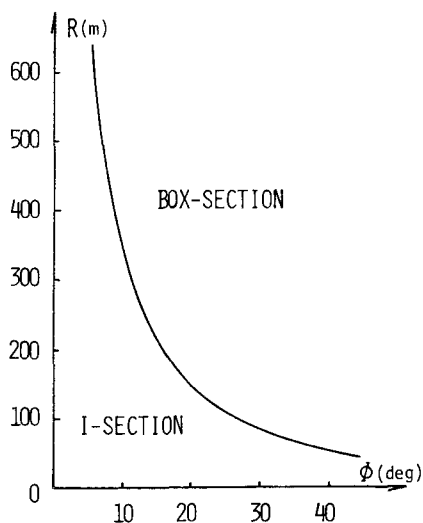


図-1 Box-I 限界曲線

4. 解析結果および考察 ここでは、両端固定支持条件のもとでスパン中央に鉛直集中荷重を受ける単一曲線桁（図-2・a）について解析を行った。

その結果、崩壊形式は、図-2・b、-2・c に示すような3ヒンジ、4ヒンジ崩壊を呈した。

直線桁の崩壊挙動が比較的簡単に求められることに着目して、本解析で与えられた単一曲線桁の解（終局耐力 $(P_u)_c$ 、中央点の終局たわみ $(\Delta u)_c$ ）と曲線桁と同一諸元を有する直線桁の解（それぞれ $(P_u)_s$ 、 $(\Delta u)_s$ ）との対応関係（ $\bar{P}_u = (P_u)_c / (P_u)_s$ 、 $\bar{\Delta}u = (\Delta u)_c / (\Delta u)_s$ ）を図にまとめ、比較のために、 $EI/GJ = 2.0$ の箱型断面を有する曲線桁の解²⁾（図-3、～-5 中の破線）も同時に示した。

解析した桁は、図-1 に示す I 形断面の限界半径を有するものと、実橋でよく用いられるスパン長 $L = 30\text{ m}$ の 2 種類である。

図-3 は、 $\bar{P}_u$ - ϕ 曲線を示したものであり、 $\bar{P}_u$ 値は半径 R と無関係であった。

図-4 は、図-1 の限界半径を有する桁の $\bar{\Delta}u$ - ϕ 曲線であり、図-5 は、 $L = 30\text{ m}$ の $\bar{\Delta}u$ - ϕ 曲線である。

これらの図から明らかなように、終局耐力は、曲げ崩壊（3 ヒンジ崩壊）の場合には、 ϕ の増大の如何を問わず、ほぼ直線桁のそれと一致する。しかしながら、ねじり崩壊（4 ヒンジ崩壊）の場合には、 ϕ の増大に伴い急激に減少している。

また、終局変位の $\bar{\Delta}u$ は、図-4 および図-5 の両者とも同様な傾向を示している。すなわち、 $\bar{\Delta}u$ は、 ϕ の増大に対して曲げ崩壊では増大していくが、ねじり崩壊に移行した直後では急減し、再び急増している。

さらに、 T_p/M_p は、 $\bar{P}_u$ にはほとんど影響していないが、 $\bar{\Delta}u$ に対してはその影響は大きい。

参考文献

- 1) Yoo, C.H. and Heins, C.P.; ASCE, ST4, 1972
- 2) Imai, F. and Ohta, T.; 30th Japan Natl. Congr. Appl. Mech, 1980
- 3) 藤木、稼農；土木学会論文報告集, No. 235, 1975
- 4) 小西；鋼橋・設計編Ⅱ, 丸善

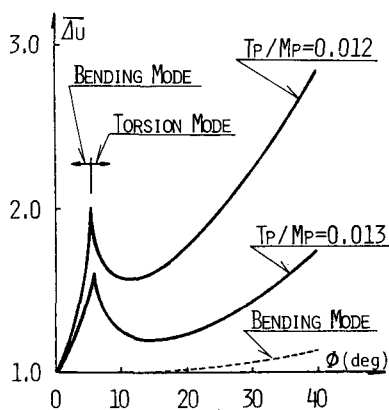


図-5 $\bar{\Delta}u$ - ϕ 曲線（スパン $L = 30\text{ m}$ ）

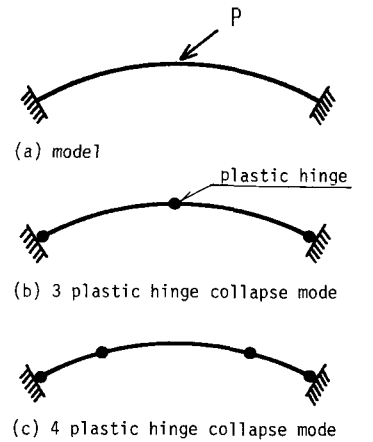


図-2 解析モデルおよび崩壊形式

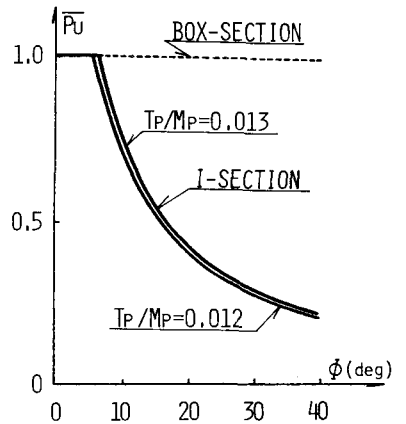


図-3 $\bar{P}_u$ - ϕ 曲線

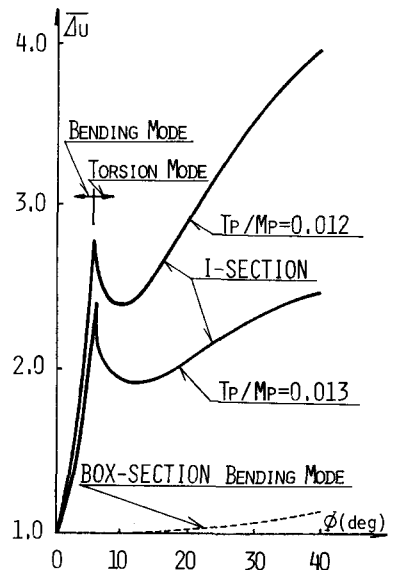


図-4 $\bar{\Delta}u$ - ϕ 曲線（半径；限界値）