

I-55

連成座屈を考慮した薄肉箱形断面柱の耐荷力特性について

新日本製鐵(株) 正員 原田直樹 大阪市立大学 正員 中井 博
 大阪市立大学 正員 北田俊行 川崎重工業(株) 正員 國廣昌史

1. まえがき 本研究では、薄肉箱形断面部材の全体座屈と部材を構成する板パネルの局部座屈との連成座屈現象、および終局強度特性について明らかにするため、薄肉箱形断面部材のすべてを有限板要素で集成した解析モデルを対象にして、弾塑性有限変位解析(以下、連成解析という)を行った。なお、解析には、汎用解析プログラムABAQUSを用いた。

2. 解析モデルの寸法諸元と初期不整 図-1には、対象とした両端ピンの薄肉箱形断面柱の解析モデルを示す。箱形断面としての幅厚比パラメータ $R_{tw}^{(1)}$ を0.564、0.793、および1.104とし、それぞれに対し細長比パラメータ λ を0.788と1.299とに変化させて解析を行った。また、解析モデルは、たわみ波形、および載荷荷重の対称性を利用し、軸方向、および断面方向に関して対象部材の1/2部分とした。要素分割数は、試算により終局強度が精度よく求められる最小の分割数とした。その際、柱部材を構成する板パネルの局部座屈変形の顕著な発生が予想される柱中央付近では要素分割を比較的細かく、また局部座屈変形が僅少と考えられる領域になるにしたがい要素分割を少なくし、自由度の低減を図った。

解析モデルに導入した初期不整として、まず残留応力は、板パネルの縦方向のみに矩形で自己平衡となるように分布するものとした。その際、圧縮残留応力度を $\sigma_{rc} = -0.3\sigma_y$ 、また引張残留応力度を $\sigma_{rt} = \sigma_y$ とした。つぎに初期たわみ波形は、図-1に示したように、

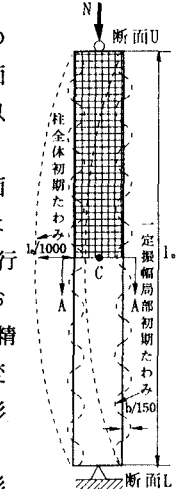
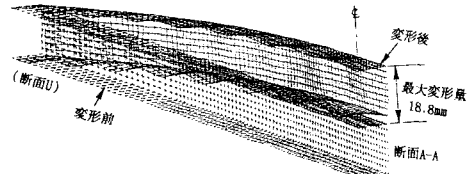


図-1 薄肉箱形断面柱の解析モデル

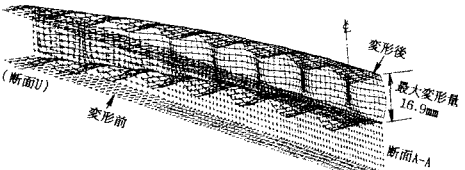
板パネルの局部的な初期たわみ波形と柱としての全体的な初期たわみ波形との重ね合わせとした。とくに、局部的な初期たわみ波形は、文献1)で用いられている無補剛箱形断面短柱の初期たわみ波形と同じ波形が柱の軸方向全体に連続的に分布するものとした(以下、一定振幅局部初期たわみという)。また、初期たわみの最大値は、道路橋示方書で規定されている製作誤差の許容値とした。

3. 解析結果 図-2~3には、終局状態における変形モードの代表例を示す。これらの図より、 $\lambda=0.788$ と小さい場合、柱としての全体座屈よりもむしろ、構成板パネルの局部座屈変形がかなり卓越し、終局状態に至っていることがわかる。逆に、 $\lambda=1.299$ と大きい場合、局部座屈よりもむしろ全体座屈変位が卓越し、終局状態に至っていることがわかる。

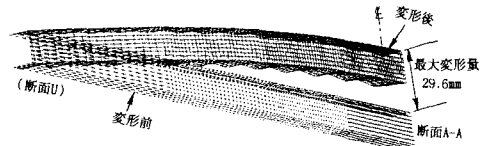
図-4には、作用軸方向圧縮力と柱の中央断面のたわみとの関係を示す。図中には、局部座屈を考えない骨組解析²⁾の結果も併せて示す。同図より、以下のことがわかる。まず、文献3)による実験的研究と同様に、 R_{tw} の大小にかかわらず、薄肉箱形断面柱は、かなりの変形性能を有していることがわかる。つぎに、骨組解析結果と連成解析結果とを比較すれば、連成解析結果は、 λ の大小にかかわらず、 R_{tw} が大きくなるほど一様な終局強度の低下が見受けられる。これは、以下の理由によると考えられる。すなわち、道路橋示方書の板パネ



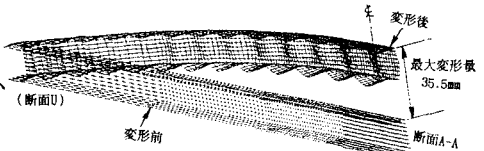
(a) 解析モデルN-1($R_{tw}=0.623, R_t=0.474, R_w=0.564$)



(b) 解析モデルN-3($R_{tw}=1.237, R_t=0.928, R_w=1.104$)
 図-2 終局状態における変形モード: $\lambda=0.788$ の場合



(a) 解析モデルN-4($R_{tw}=0.623, R_t=0.474, R_w=0.564$)

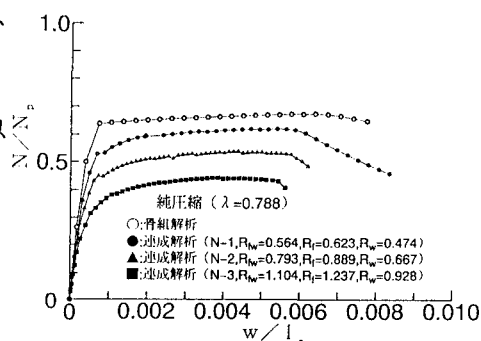


(b) 解析モデルN-6($R_{tw}=1.237, R_t=0.928, R_w=1.104$)
 図-3 終局状態における変形モード: $\lambda=1.299$ の場合

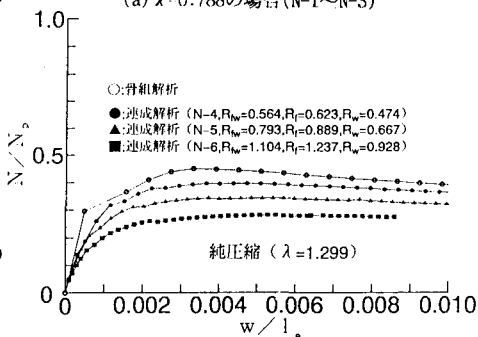
ルの耐荷力曲線は、残留応力を考慮した固有値問題とみなし、弾塑性分岐座屈強度として定められている。この耐荷力曲線を用いて、解析モデルN-3 ($R_{tw}=1.104$, $R_t=1.237$, $R_w=0.928$) のフランジの弾塑性分岐座屈応力 σ_{cr} を求めると、以下の値となる。

$$\sigma_{cr} / \sigma_y = 0.49 / 1.237^2 = 0.320 \quad \dots\dots (1)$$

これに対して、一定振幅局部初期たわみを導入した解析モデルN-3の連成解析結果は、0.280となり、上式の値より若干低い。しかし、初期たわみの影響を考えると、両者はほぼ一致しているものと考えられる。したがって、解析モデルN-3の終局強度は、板パネルの分岐座屈問題としての局部座屈でほぼ決まっていると考えることができる。板パネルが座屈しても柱としての座屈が起こらなければ、板パネルは後座屈領域に入り、さらなる圧縮力に耐えることができる。しかし、解析モデルN-3は、 $\lambda=1.299$ とかなり大きく、板パネルが座屈すると、板パネルの面内剛性が著しく低下する（弾性領域における板の分岐座屈であれば、面内剛性は1/2に低下する）。そのために λ がさらに大きくなって全体座屈が発生し、解析モデルは終局状態に至ったと考えられる。



(a) $\lambda=0.788$ の場合 (N-1~N-3)



(b) $\lambda=1.299$ の場合 (N-4~N-6)

図-4 作用軸方向圧縮力と中央断面のたわみとの関係

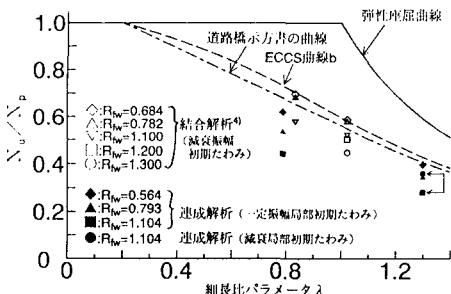


図-5 終局軸方向圧縮力と細長比パラメータとの関係

そこで、本解析結果の妥当性について検討するため、文献4)で用いられている初期たわみ波形とほぼ同様な初期たわみ波形を導入した場合の解析も行った。すなわち、文献4)においては、柱部材を構成する板パネルの局部座屈変形が卓越する柱の中央部分には板要素、また局部座屈の影響が僅少であると考えられる領域には梁・柱要素を用いた解析を行っている。その際、板パネルには軸方向に減衰する5半波の初期たわみ波形を導入している（以下、減衰局部初期たわみ、また文献4)の解析法を結合解析という）。本解析結果と文献4)の解析結果との比較を、図-5に示す。同図より、 R_{tw} 、あるいは λ が必ずしも一致しておらず、一対一の比較はできないが、柱中央に減衰局部初期たわみを導入した本解析結果は、文献4)の結合解析結果と比較するとほぼ妥当な解が得られているのがわかる。したがって、柱全体に一定振幅局部初期たわみを導入した本解析結果は、十分な妥当性があると考えられる。なお、本解析結果において、減衰局部初期たわみの場合は一定振幅局部初期たわみの場合に比して30.7%も耐荷力が上昇した。

4. まとめ 今後、薄肉箱形断面柱の終局強度特性に関する研究を行う上で、文献4)のような減衰局部初期たわみモードを用いるのか、本解析のような一定振幅局部初期たわみモードを用いるのか、あるいはもう少し実際の初期たわみモードを用いるのかなどについて、十分な検討が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 北田俊行・中井 博・國廣昌史・原田直樹：圧縮と曲げとを受ける無補剛・補剛箱形断面の終局強度相関曲線に関する研究、構造工学論文集、土木学会、Vol. 40A、1994年3月、(掲載予定)
- 2) 北田俊行・大南亮一・丹生光則・田中克弘：ケーブルを用いた鋼橋の耐荷力解析プログラムの開発、構造工学における数値解析法シンポジウム論文集、Vol. 13、pp. 89~94、1989年7月
- 3) 宇佐美勉・福本嘯士・青木徹彦：溶接箱形断面柱の局部座屈と全体座屈の連成強度に関する実験的研究、土木学会論文報告集、第308号、pp. 47~58、1981年4月
- 4) 西村宣男・小松定夫・西出俊亮・西村良司：局部座屈を考慮した鋼箱形断面柱の設計公式、構造工学論文集、土木学会、Vol. 33A、pp. 171~182、1987年3月