

東京大学 学生員 安保 秀範 大林組 正員 沢田 浩一
 東京大学 正員 長谷川彰夫 東京大学 正員 西野 文雄

1. まえがき 従来、各種鋼構造示方書における圧縮部材の設計では、構成板要素の幅厚比を制限することにより、局部座屈を許さないという条件のもとで、全体座屈に対する照差のみを行っている場合が多い。ところが、最近、局部座屈を認めた上で、局部座屈と全体座屈の連成強度をもとに、圧縮部材の設計を考えようとする動きがある。現行の道路橋示方書¹⁾の連成強度式を用いる限り、局部座屈を認めても設計の効率化を期待することは難しい²⁾。しかし、一方で、その連成強度式自身、力学的に十分検証されているものとは言い難い。そこで、ここでは局部座屈が生じ得る板要素から成る柱の強度、変形特性を、有効幅の概念を用いて局部座屈の影響を考慮し、柱の非弾性有限変位解析を行うことにより求めた。その結果をもとに、道路橋示方書の連成強度との比較をした。

2. 局部座屈と全体座屈の相関を考慮した柱の解析

- (1) 局部座屈が生じない柱の解析：柱の非弾性有限変位解析を梁柱の剛性行列とNewton-Raphson法を組み合わせた有限要素法によって行なった。材料は完全弾塑性体とし、ひずみの逆転を考慮しない（したがって厳密には非線形弾性有限変位解析となる）。柱の初期たわみは $L/1000$ の半波正弦波とし、残留応力は考慮しない。
- (2) 局部座屈が生じる柱の解析：局部座屈が生じる柱の解析も、局部座屈が生じない柱の解析と基本的には変わらない。すなわち、局部座屈が生じる構成板要素の断面が、応力の関数である有効断面に減少すると考えることによって、局部座屈の影響を考慮し、解析を行なった。
- (3) 道路橋示方書の連成強度：道路橋示方書による柱の局部座屈と全体座屈の連成強度は、全体座屈に対する強度を（局部座屈に対する強度／降伏応力）倍して求めている。

3. 有効幅理論 有効幅としては、応力による有効幅と剛性による有効幅が考えられる。

- (1) 応力による有効幅：純圧縮を受ける板が、Fig.1(a)に示すような応力状態の時、応力による有効幅 b_{e1} は、

$$b_{e1} = \frac{1}{\sigma_e} \int_0^b \sigma_x dy$$

として与えられる(Fig.1(b))。この有効幅には、von Karman、Winter、Lindの有効幅などがある。本解析ではLindの有効幅を採用した³⁾。

- (2) 剛性による有効幅：柱の局部座屈の全体座屈に対する影響は構成板要素の応力負担というよりも、剛性低下の影響を敏感に受けると考えられる。また、剛性の顕著な低下を伴う耐荷力の上昇は現実の設計で期待しがたい場合も多い。そこで、ここでは、剛性の変化による有効幅の概念も考えてみる。Fig.2(a)に示すような荷重 P によって圧縮される板を考える。応力 σ と軸方向ひずみ ϵ の関係は、ほぼ、Fig.2(b)に示すようになると考えられる。剛性による有効幅 b_{e2} は、

$$b_{e2} = \frac{E(\epsilon)}{E_e} \cdot b$$

となる。本解析では、四辺単純支持の正方形板の座屈後の軸

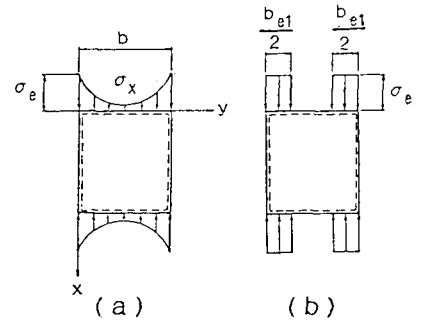


Fig.1 応力による有効幅の概念

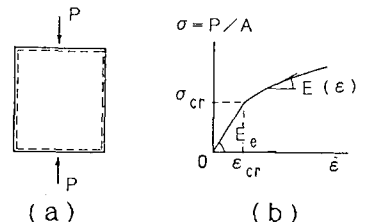


Fig.2 剛性による有効幅の概念

方向剛性が座屈前のほぼ1/2 になることから⁴⁾、座屈後の剛性による有効幅として一定値の1/2bを採用した。

4. 数値解析例 SS41 ($\sigma_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$) の正方形箱形断面の柱について数値解析を行なった。幅厚比は、局部座屈が生じる幅厚比 $b/t=60, 80$ と局部座屈が生ない幅厚比について行なった。

(1) 局部座屈が生じない場合：Fig.3に細長比と、本解析及び道路橋示方書による耐力の関係を示す。本解析による耐力と道路橋示方書による耐力の差は、残留応力の考慮の有無に原因すると思われる。

(2) 局部座屈が生じる場合 ($b/t=60$)：細長比とそれぞれの耐力の関係を示す。耐力と剛性による有効幅を用いた耐力では、非弾性座屈する細長比の小さい領域でかなりの差が生じた。本解析に比べ道路橋示方書の耐力はかなり安全側である。これは、道路橋示方書では、局部座屈に対する耐力 σ_1 を、 $\sigma_1 / \sigma_y = 0.5 / (\text{等価幅厚比})^2$ としていることや、(1)と同じ理由等が考えられる。

(3) 局部座屈が生じる場合 ($b/t=80$)：Fig.5に細長比とそれぞれの耐力の関係を示す。耐力と剛性による有効幅を用いた耐力には、あまり差が生じなかった。これは、かなり幅厚比が大きいため、耐力による有効幅が、ほぼ剛性による有効幅1/2bまで低下したためである。道路橋示方書の耐力は、本解析に比べさらに安全側となった。

Fig.6に、変形特性を示す例として、本解析で得られた代表的な荷重・中央変位曲線を示す。耐力による有効幅を用いた場合、荷重・変位曲線はなめらかであるが、剛性による有効幅を用いた場合、局部座屈が起きたところで急激に変位が増大した。このことは、柱の設計における安全性の照査を、耐力のみに着目して行うことが必ずしも十分でないことを示唆し、注意を喚起する。

5. まとめ 局部座屈が生じる板要素から成る柱の強度、変形特性を、耐力及び剛性による有効幅を用いて非弾性有限変位解析を行うことにより求めた。いずれの有効幅を用いても、本解析に比べ道路橋示方書による耐力は、幅厚比が大きい領域でかなり安全側になった。

参考文献 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説、1980年 2) 安保・長谷川・西野：鋼柱の設計の最適化に及ぼす局部座屈の影響、土木学会年次講演会、1983年 3) 長谷川・宇佐美：鋼板要素の座屈後における有効幅理論の適用、土木学会論文報告集、第315号、1981年 4) 古識・山本：弾性安定論、共立出版株式会社、1958年

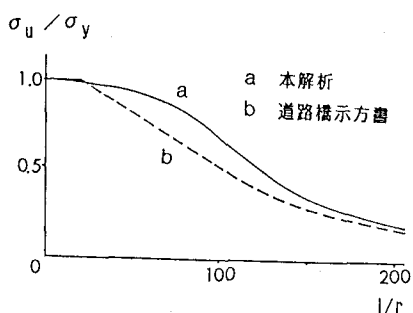


Fig. 3 耐力力曲線 (局部座屈が生じない場合)

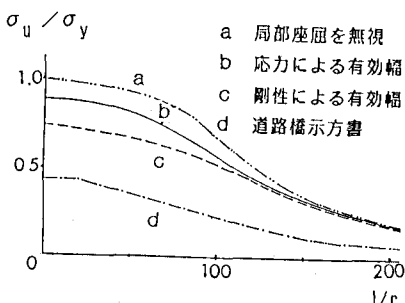


Fig. 4 耐力力曲線 ($b/t=60$)

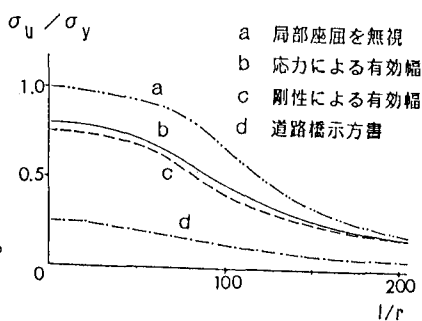


Fig. 5 耐力力曲線 ($b/t=80$)

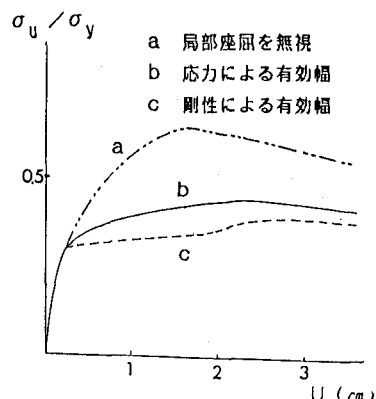


Fig. 6 荷重・変位曲線 ($l/r=104, b/t=80$)