

鉛直荷重を受ける鋼薄肉ラーメンの耐荷力算定法について

大阪市立大学工学部 正員 中井 博
 大阪市立大学工学部 正員 酒造 敏廣
 川崎重工業株式会社 正員 ○大垣 賀津雄

1. まえがき

薄肉の鋼箱形断面部材からなるラーメン構造物を設計する際、現行の道路橋示方書¹⁾(JSHB)では、有効座屈長を用いた設計法が示されている。ところが、有限変位の影響が無視できないスレンダーなラーメンや、変断面部材からなる特殊な形状のラーメンに対する耐荷力の算定法は詳しく示されていない。今回、鉛直荷重のみを受けるラーメンの耐荷力の近似算定法として、一次理論を用いたP- δ 法(以下、修正P- δ 法という)を検討し、それによる解析結果と弾塑性有限変位理論に基づいた解析²⁾(F.E.M.)結果、および、その他の耐荷力算定法との比較を通じて、この近似計算法の妥当性について考察するものである。

2. 修正P- δ 法による耐荷力の近似計算法(1) 換算水平荷重 Q_r の導入

まず、図-1(a)に示す門形ラーメンの耐荷力算定法としては弾性一次理論を適用するが、P- δ 効果を考慮するため、同図(b)に示すような換算水平荷重 $Q=P\psi_0$ を仮定する。ここに、 ψ_0 は柱の部材回転角で、初期不整およびP- δ 効果による耐荷力低下に対応するものである。

これを、図-2に示す一般的なラーメンの第 r 階層目に拡張すると、次式が得られる。

$$Q_r = \Sigma P_r \psi_0 / \{1 - (\Sigma P_r) / P_{0,r}\} \quad \dots(1)$$

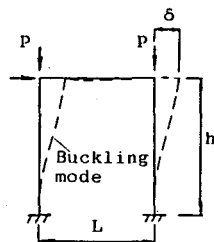
ここに、 $P_{0,r}$: ラーメンの各階層の柱の弾性座屈荷重、

ΣP_r : ラーメンの第 r 階層上に作用する鉛直荷重の総和。

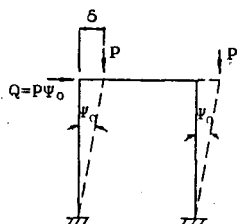
また、上式中の弾性座屈荷重 $P_{0,r}$ は有効座屈長が定めれば容易に求められるが、変断面部材や複雑な形式のラーメンに対しても有効座屈長が容易に求めることができるCRC³⁾の設計ガイドに示されたノモグラフを用いた。

(2) 初期部材回転角 ψ_0 の取り方

式(1)に含まれる ψ_0 は、柱の初期たわみに起因するものであるが、本近似計算法は一次理論に基づいているため、柱の初期たわみだけでなく残留応力やP- δ 効果などの非線形性も考慮する必要がある。そこで、初期たわみ、残留応力およびP- δ 効果の耐荷力に対する影響を調べ、その結果から $\psi_0=1/150$ を仮定した。



(a) 鉛直荷重を受ける
1層門形ラーメン



(b) 初期部材回転角 ψ_0 と
等価換算水平荷重 Q

図-1 鉛直荷重を受ける1層門形
ラーメンの解析モデル

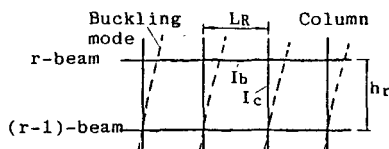


図-2 多層ラーメンの第 r 階層目

ちなみに、1層門形ラーメンの柱の細長比パラメーター $\bar{\lambda}_y$ を種々変化させ、修正P- δ 法のF.E.M.に対する誤差 Δ を次式から求めた。

$$\Delta = \{1 - (P_{cr})_M / (P_{cr})_F\} \times 100, (\%) \cdots (2)$$

ここに、 $(P_{cr})_M$ ：修正P- δ 法による限界強度、 $(P_{cr})_F$ ：F.E.M.解析による限界強度。

ψ_0 と誤差 Δ の関係を図-3に示すが、 $\psi_0=1/150$ のとき、誤差 Δ は6%以内にあり、しかも安全側の値を与えることがわかる。

(3) 限界強度の求め方

鉛直荷重 P_r と上式の換算水平せん断力 Q_r とをラーメンの各層に作用させて弾性一次解析を行い、圧縮と曲げとが作用する部材断面の終局状態を、文献4)に示された箱形断面の終局強度相関曲線から求めた。そして、このときの鉛直荷重をラーメンの限界荷重とした。

3. 修正P- δ 法とJSHBおよび固有値解析との比較

つぎに、図-4に示す変断面部材からなる門形ラーメンのF.E.M.解析を行い、断面1と断面i($i=2\sim5$)の圧壊荷重比 P_{yi}/P_{y1} による誤差 Δ の変動を調べた。ここで、

限界強度の近似計算法としては、上記の修正P- δ 法のほかに、JSHB¹⁾による方法、および、固有値解析を利用した近似計算法も用いた。誤差 Δ と P_{yi}/P_{y1} との関係を、図-5にプロットする。

これらの図からわかるように、修正P- δ 法の誤差 Δ は、 P_{yi}/P_{y1} 値にかかわらず5%以内であり、F.E.M.に対して精度のよい値を与えている。一方、固有値解析を利用した近似計算法は、F.E.M.に対して8~20%のやや安全側の結果を与えることがわかる。また、JSHBの方法では、ラーメンの耐荷力を求める際、変断面性を十分に考慮できないため、 $\Delta=15\sim25\%$ 安全側となることがわかる。

4. あとがき

その他の解析結果の詳細については、学会当日報告する。

参考文献：1)道路橋示方書、昭和55年2月、2)Nakai, H., Miki, T. and Ohgaki, K: Memorirs of the Faculty of Eng., Osaka City Univ., Vol.26, Dec., 1985. 3)Johnston, B.G.: Column Research Council, Second Edition, 1966., 4) Nakai, H., Kitada, T. and Miki, T: Proc. of JSCE, Struct. Eng./Earthquake Eng., Vol.2, No.2, Oct. 1986, pp.311s~318s

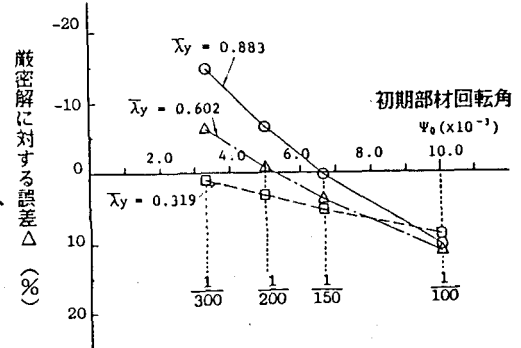


図-3 初期部材回転角 ψ_0 とF.E.M.解析に対する修正P- δ 法の限界強度の誤差 Δ との関係

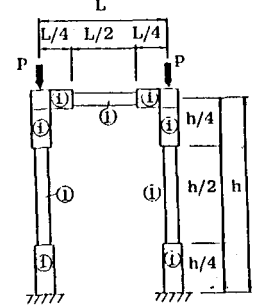


図-4 変断面部材からなる1層門形ラーメン

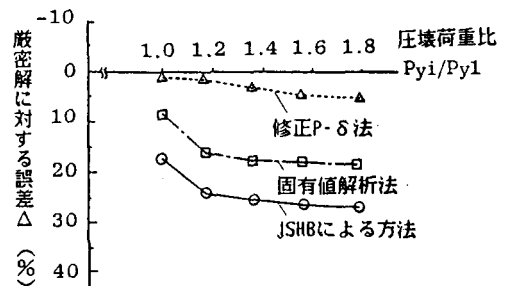


図-5 圧壊荷重比 P_{yi}/P_{y1} とF.E.M.解析に対する各種近似計算法の限界強度の誤差 Δ との関係