

名古屋大学 学生員〇水野克彦

名古屋大学 正員 宇佐美勉

1. まえがき 本報告は、横拘束のない鋼骨組構造物に対する設計レベルでの種々の解析手法の背景を整理し、鉛直力と水平力を受ける平面骨組構造物に対する終局強度相関曲線を求め、厳密解との比較を通してそれぞれの解析方法の精度を検討する。用いる条件として、(1)柱には中間荷重がない、(2)平面長方形ラーメン、(3)等断面柱ラーメン、(4)局部座屈を考えない、(5)弾性解析、などを設定する。

2. 種々の解析方法の基本的考え方（図1、表1参照） 横拘束のない骨組み構造物では軸圧縮力による付加曲げモーメントの影響を考慮しなければならない。この影響には、作用点移動のない場合の影響と移動のある場合の影響があるが、前者を $P-\delta$ 効果、後者を $P-\Delta$ 効果と区別することにする。

(1) 有効座屈長を用いた解析方法：柱の軸圧縮強度 P_u 及びオイラー座屈強度 P_E を有効座屈長の概念を用いて両端ピンの柱の強度に置き換えて計算する方法である。AISC²⁾の方法では、 $P-\delta$ 効果は増幅係数 $1/(1-P/P_E)$ を用い、 $P-\Delta$ 効果は補正係数 C_m を0.85におくことによって近似的に考慮している。有効座屈長はノモグラムから求められる。我が国の道路橋示方書¹⁾では $P-\delta$ 効果はAISCと同様の式で考慮されているが $P-\Delta$ 効果は考慮されていない。LRFD³⁾の方法では、各床レベルで仮の横拘束した骨組（ブレースした骨組）に生ずる曲げモーメントを M_{nt} 、横拘束がない骨組みに水平力のみが作用したときの曲げモーメントを

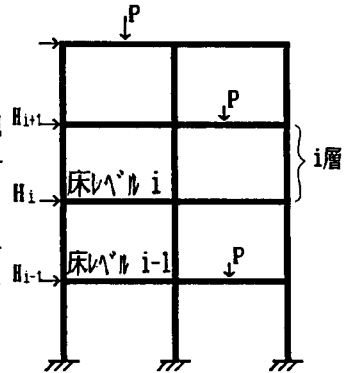


図1 横拘束のない骨組

表1 簡易解析方法の比較

M_{it} とし、それぞれを $P-\delta$ 効果、 $P-\Delta$ 効果を考慮した増幅係数 B_1 (≥ 1)、 B_2 を乗じて補正する。ここで、 ΣP = 対象とする層の柱に作用する軸圧縮力の総和、 ΣP_E = 対象とする層の柱のオイラー座屈荷重の和、 ΣH = 対象とする層より上の床レベルに作用する

解析方法		P-Δ効果の考慮	強度相関式
有効座屈長を用いる方法	AISC	モーメントの補正係数 C_m で $P-\Delta$ 効果を考慮。	$\frac{P}{P_u} + \frac{C_m M}{(1 - \frac{P}{P_E}) M_u} = 1.0$ $\frac{P}{P_u} + \frac{M}{M_u} = 1.0, M_u \leq M_p, M_u = 1.18 M_p$ $C_m = 0.85, M_u = M_p, M_u = 1.18 M_p$
	JSHB	考慮しない。	AISCと同じ式を用いる、ただし、 $C_m = 0.6 + 0.4 M_2 / M_1 \geq 0.4$ $M_u = M_p, M_u = M_p$
	LR	$M = B_1 M_{nt} + M_2 M_{it}$ $B_1 = \frac{C_m}{1 - P/P_E} \geq 1$	$\frac{P}{P_u} + \frac{8M}{9M_p} = 1.0, \frac{P}{P_u} \geq 0.2$ $\frac{P}{2P_u} + \frac{M}{M_p} = 1.0, \frac{P}{P_u} < 0.2$
	FD	$B_2 = 1 / (1 - (\Sigma P / \Sigma P_E) \psi / \Sigma H)$ 又は $B_2 = 1 / (1 - \Sigma P / \Sigma P_E)$	
P-Δ法	SSRC	$V_i = (\Sigma P) \psi$ $H_i' = H_i + (V_{i-1} - V_i)$	AISCと同じ式、ただし C_m は JSHB の式を用いる。
	EC	方法1 $Q_i = \Sigma H + (\Sigma P)(\psi + 1.2\psi)$ $H_i' = Q_{i-1} - Q_i$ 方法2 $(\Sigma P / \Sigma P_E \leq 0.25)$ $Q_i = \frac{\Sigma H + (\Sigma P) \psi}{1 - \Sigma P / \Sigma P_E}$ $H_i' = Q_{i-1} - Q_i$	$\frac{P}{P_u} + \frac{C_m M}{(1 - \frac{P}{P_E} \frac{P_u}{P_y})} = 1.0$
	中井・瀧道	$H_i' = \frac{H_i + (\Sigma P) \psi}{1 - \Sigma P / \Sigma P_E}$	断面の塑性化条件式（式は省略）

る水平力の総和、 ψ = 対象とする層の部材回転角であり、 C_m は JSHB の式と同一である。 ΣP_E の算定には AISC のノモグラムを利用する。(2) $P-\Delta$ 法： $P-\Delta$ 効果による付加的モーメントを換算水平力とし各

床に作用させ、弾性1次解析により各柱に作用する軸圧縮力と材端モーメントを求め、部材及び断面の強度相関式より骨組の強度を求める方法である。この方法では、相関式中の P_u 、 P_E の有効座屈長はすべて1.0と置く。SSRC²⁾の方法では、対象とする層 i の軸圧縮力による付加的せん断力 V_i を仮定した部材回転角 ψ より求め、床レベル i に作用させるべき換算水平力 H_i' を求める。ここに、 H_i は床レベル i に作用している水平荷重(外力)である。 ψ は未知であるため繰返し計算が必要である。相関式中の補正係数 C_m は支点移動のないはり一柱に対する式として道示と同じ式を用いる。ECCS⁴⁾の方法は基本的にはSSRCの方法と同じであるが、初期不整としての初期部材回転角 ψ_0 を考慮し、さらに軸圧縮力による柱の剛性低下を考慮するため係数1.2を ψ に乘じている。 Q_i は層 i の全層せん断力である。 ψ_0 を無視し、係数1.2を1.0に置き換えればこの方法の H_i' はSSRCの H_i' と同じであることが分かる。 $\Sigma P / \Sigma P_E$ が0.25以下の場合には繰返し計算の不用な方法2が利用できる。 Q_i の分母の式はLRFDの B_2 の式と同じであり $P-\Delta$ 効果による増幅係数である。この係数はAISCのノモグラムからも求められるが、簡単に計算できる公式が用意されている。中井・酒造の方法⁵⁾はECCSの方法2と類似しているが、初期部材回転角 ψ_0 による層せん断力(ΣP) ψ_0 そのものを各床レベルに水平力として作用させている。相関式は断面の塑性化条件式のみを用いる。

3. 厳密解との比較 図2のそう図に示すような鉛直力と水平力を受ける門形ラーメンの強度相関図を種々の解析法より求め厳密解と比較する。骨組は幅680mm、板厚20mmの溶接集成正方形箱形断面とし、柱、はりの長さは同一とする。材質はSM50とし、柱の有効座屈長 $K=1.16$ (厳密値)として求めた細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ を0.6および0.9とした。厳密解は文献6)に示した方法(但し、局部座屈は考えない)により求めた。残留応力分布は矩形分布とし、最大圧縮残留応力の50%とした。得られた結果を図2に示す。ここで $H_0=4M_p/h$ は単純塑性理論による崩壊水平力である。 P_0 の式として、AISCは塑性設計(PART II)の式、SSRCはSSRCのNo.2曲線、ECCSはECCSのb曲線を用いた。これらの図より、(1)AISCとLRFDはほぼ同一の結果を与え精度が非常によい、(2)JSHBはかなり安全側にある、(3) $P-\Delta$ 法はいずれも同じような結果を与え精度がよいが、中井・酒造の方法は特に精度がよい、(4)SSRCとECCSは $\bar{\lambda}=0.9$ の時多少危険側になる場合がある、ことなどが分かる。JSHBの式がかなり安全側にある理由として、(1)有効座屈長が厳密でない(この骨組では $K=1.5$ となり正解値の1.16よりかなり大きい)、(2) $P-\Delta$ 効果が考慮されていない、(3)曲げ強度が降伏強度である、などが挙げられる。これらの点を改善し、より精度の良い修正基準式については別報7)で述べる。

参考文献 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説、1980；2) SSRC Guide, 1976；3) W.F.Chen, E.M.Lui: Engineering Journal, 1985；4) U.Vogel: Stability of Metal Structures, Paris, 1983；5) 中井・酒造；土木学会論文集，第380号/I7，1986；6) 寺尾・宇佐美，土木学会中部支部研究発表会，1987；7) 垣内・宇佐美；第42回土木学会講演会，1987

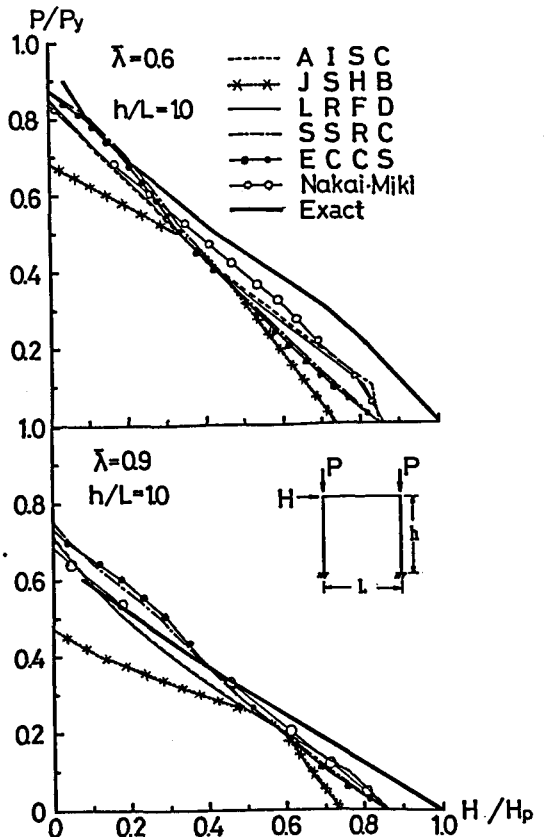


図2 厳密解との比較