

平面ラーメンの終局限界状態設計法について

大阪大学工学部 正 員 西村宣男

(株)大林組

正 員 〇島谷竜一

大阪大学大学院

学生員

黄 元燮

1. はじめに ラーメン構造物の設計法としては有効長係数法と弾性2次解析法が用いられている。まず一般的な荷重状態におけるラーメン構造物の極限強度を弾塑性有限変位解析によって求め上記の2つの設計法の問題点を明らかにし、それを改善するための設計法と極限状態における作用部材力を的確に算定する方法を提案する。

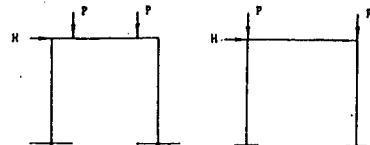


図 - 1 荷重状態

2. 極限強度特性 解析対象モデルは、図-1に示す水平荷重H、および鉛直荷重Pを受ける2ヒンジ門形ラーメンおよび固定門形ラーメンとする。部材は溶接集成箱形断面とし、板要素の局部座屈は生じないものとする。部材の基準断面および残留応力の断面内の分布形を図-2に示す。断面性能は以下の通りである。

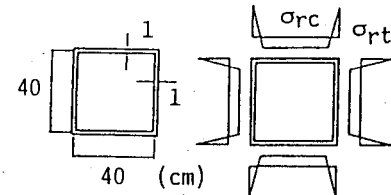
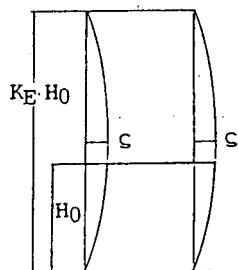


図 - 2 解析断面と残留応力分布

$N_V = 384.0 \text{ ton}$, $M_V = 49.98 \text{ tm}$, $M_p = 57.61 \text{ tm}$, $I = 0.00042693 \text{ m}^4$

また弾塑性有限変位解析においては部材初期不整として箱形断面材の圧縮残留応力として $\sigma_{rc}/\sigma_V = 0.12^{1)}$ を用いる。初期たわみは $\delta_{max}/\delta_0 = 0.296$ ($\delta_0 = 0.001$)¹⁾ のsine波形の初期たわみを考慮し、ラーメンの弾性座屈モード形状にしたがって初期不整を与える(図-3)。弾性2次解析においては残留応力を含んだ等価側方初期水平変位量としてEUROCODE-3の推奨値²⁾を用いる。柱の細長比は柱頭鉛直荷重を受けるラーメンの弾性有効座屈長係数 K_E を用いて計算した細長比パラメーターが $\lambda = 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$ になるように選んだ。



$$\lambda = \sqrt{P_V / (\pi^2 E I / (K_E \cdot H)^2)}$$

水平荷重Hは、 $H = \alpha \cdot P$ とし、鉛直荷重と水平荷重を比例負荷として極限強度を求めた。ラーメンが鉛直荷重Pのみを受ける場合の弾塑性解析による極限值 P_u 、水平荷重のみを受ける場合の極限值 H_u で無次元化して示す。

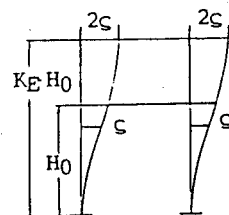


図 - 3 初期不整

3. 極限強度の評価法 剛節骨組構造の設計法は大別して2つの方法がある。

(1) わが国の道路橋示方書に代表される「有効長係数法」

長所: 微小変位弾性1次プログラムが利用できる。

短所: 断面力が正確ではない。また柱基本強度との関連が明確である。

照査法: 現在の道路橋示方書での限界強度の計算では以下の耐力式を用いている。

$$\text{座屈式: } \frac{N_1}{N_u} + \frac{M_1}{M_u} \cdot \frac{C_m}{1 - N_1 / N_E} < 1, \text{ 応力式: } \frac{N_1}{N_{u1}} + \frac{M_1}{M_u} \cdot \frac{1}{1 - N_1 / N_E} < 1$$

ここに $C_m = 0.6 + 0.4(M_2/M_1) > 0.4$ ($-1 < M_2/M_1 < 1$)、 N_{u1} : N_V (極限軸力)、 M_u : M_V (弾性降伏モーメント) N_u : 道示による有効長さ係数 $k=3.5$ (ヒンジ)、 1.5 (固定) と道示の柱基本強度より求めた強度。

(2) EUROCODEに代表される「弾性2次解析法(P- δ 法)」

長所: 断面力が1次解析よりも正確である。短所: 一般構造物に対して材料学的非線形を考慮するための初期変位量の算定が難しい。また柱基本強度との対応が明確ではない。

照査法: 弾性2次解析用のプログラムを作成し、断面の初期降伏点で照査する。

4. 照査結果 弾塑性有限変位解析による極限強度と2つの設計法による強度を比較して図-4に示す。

(1) 道路橋示方書は全体強度において柱脚ヒンジモデル、柱脚固定モデルともに、非常に控え目な評価と

なっている。これは以下の理由によると考えられる。

1. 有効長係数を安全側に評価している。2. 柱の基本強度が控え目である。
3. 曲げ強度を降伏モーメント M_y としている。

またモーメント修正係数が単純はり一柱部材のものであるのも問題である。

(2) 弾性2次理論法による強度では、構造物は断面の一部が弾性降伏に達しても全体の強度は余力があるので弾性2次解析による強度は弾塑性解析による強度よりも低い。また弾性理論であるために、横荷重が卓越してもモーメントが M_y 以上にはならないので横荷重が卓越する領域ではひかえめな評価となる。また全体の強度相関の形状もモーメントが卓越するにつれて外側に膨らむ傾向のある弾塑性解析とは異なっており直線的である。ここでは有効長係数法に対して以下の改良を提案する。

1. 有効長係数を固有値解析による弾性の有効長係数とする
2. 軸圧縮強度として文献¹⁾による基本強度曲線を採用する
3. 曲げの極限強度を M_p とする。
4. 門型ラーメンの場合においてはモーメント修正係数を、横荷重による部材のswayを考慮してヒンジで0.85、固定で0.7とする。

提案強度曲線を実線で図-4に示す。

5. 作用モーメントの評価法

有効座屈長法では、座屈照査式で限界状態が規定される場合、曲げモーメントを過小に評価する傾向がある。よってこのような場合は限界状態の作用モーメントの計算法を提案する。

1. 求められた荷重強度の限界値 P_{cr} から線形の軸力を求める。
2. 限界状態に達するときは、断面が軸力を考慮した全塑性状態になっているから、ここで用いたBOX断面では次式を満足する³⁾。

$$(1) N/N_y < 0.5 \text{ のとき} \quad (2) N/N_y > 0.5 \text{ のとき}$$

$$\frac{M}{M_p} = 1 - \frac{4}{3} \left(\frac{N}{N_y} \right)^2 \quad \frac{M}{M_p} = \frac{4}{3} \left(1 - \frac{N}{N_y} \right)$$

Nに線形軸力を代入することによって作用モーメントが計算できる。

ヒンジラーメンの場合についてモーメントの計算結果を以下の表に示す。

最大のモーメントは、水平荷重の作用する側の反対側の隅角部に生じる。

表-1

作用モーメント
の評価

(P/Pu)/(H/Hu)		5.0	2.0	1.0	0.5	0.2	
$\lambda=0.4$	軸力	厳密解	315.0	258.0	213.0	148.0	74.8
		提案法	305.8	242.2	178.5	120.0	64.8
	t-ポイント	厳密解	13.3	24.8	33.0	48.8	54.5
		提案法	15.8	28.4	41.0	50.1	55.4
$\lambda=1.0$	軸力	厳密解	221.8	175.4	135.8	92.0	48.8
		提案法	218.8	173.5	134.4	90.5	50.35
	t-ポイント	厳密解	28.0	37.7	48.1	52.2	58.1
		提案法	33.1	41.9	48.2	52.8	58.3

単位: ton

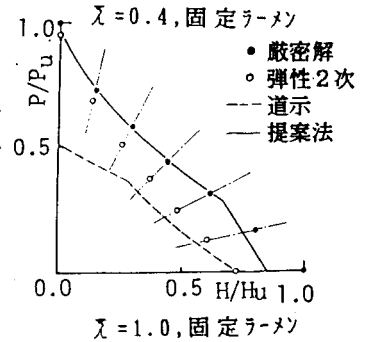
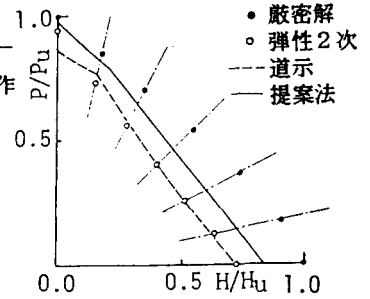
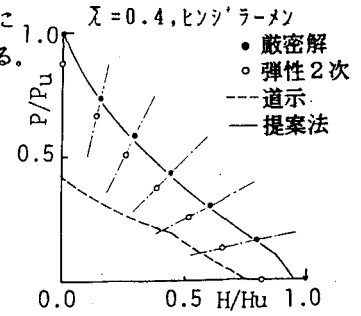
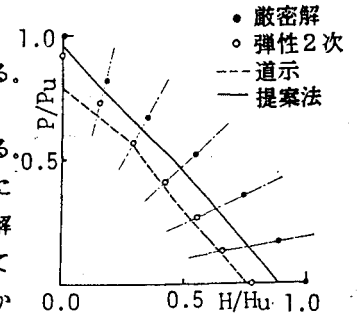


図-4 極限強度評価

はり中間に鉛直荷重が作用する場合については、紙面の都合で講演当日申し上げる。

参考文献: 1) 文部省科学研究費補助金 総合研究A研究グループ, 1989, 鋼構造物の極限強度の統一評価に関するシンポジウム, 資料集 pp4-12.

2) EUROCODE 3: Common Unified Code of Practice for Steel Structures, 1983.

3) 日本建築学会: 鋼構造塑性設計指針, 1975.