

I-115 P-△法及び有効座屈長法による 鋼ラーメン構造物の最小重量設計

○ 日本道路公団 正員 天雲宏樹
大成建設 韓笑菲
名古屋大学工学部 正員 宇佐美勉

1. 緒言: この論文は、部材の長さ方向に断面が階段状に変化する変断面ラーメン(1層および2層の1スパンラーメン)について、有効座屈長法およびP-△法の両方法¹⁾を用いて最小重量設計を実施して、設計断面の比較を行ったものである。断面は、無補剛正方形箱形断面を用い、部材軸方向に幅及び厚さの両方が変化する場合、および、幅は一定で厚さのみ変化する場合の2つのケースを考えている。また、P-△法では、文献1)で提案された初期部材回転角を用いる。

2. 最適設計の定式化: 図1に示すような各要素*i*で、幅 b_i 、厚さ t_i 、断面積 A_i 、長さ l_i ($i=1, \dots, n$)の薄肉正方形箱型断面ラーメン構造物を考える。また、その要素が属する部材(柱、または、はり)の長さを L とする。このような骨組構造物全体の重量を最小にする最適化は文献1), 2)に従って次のように定式化される。ただし、以下の記述では、各要素を表す下添え字*i*は省略し、 $b_i \rightarrow b$, $t_i \rightarrow t$ などと表す。ここで、各部材(柱、または、はり)についての平均値を表す場合は、記号の上に一をつけて区別する(たとえば、 $\bar{r}$ など)。

目的関数: $F = \sum_{i=1}^n A_i l_i \rightarrow \text{最小化}(n:\text{要素数})$, 設計変数: $\{X\} = \{b_1, b_2, \dots, b_n, t_1, t_2, \dots, t_n\}$ (1)(2)

以下の制約条件は各要素に適用する。ただし、G(2)については、各要素を含む部材に適用する。

$$G(1) = R/1.2 - 1.0 \leq 0 \quad (3)$$

$$G(2) = (KL/r)/120 - 1.0 \leq 0 \quad (4)$$

$$G(3) = 0.8/t - 1.0 \leq 0 \quad (5)$$

$$G(4) = \frac{N}{Q_N} + \frac{M_0}{Q_B M_y} - 1.0 \leq 0 \quad G(5) = \frac{N}{N_u} + \frac{M_0 C_m}{Q_B M_y (1 - N/P_E)} - 1.0 \leq 0 \quad (6)(7)$$

ただし、P-△法ではG(5)は用いない。ここで、 Q は圧縮強度の低減係数、 Q_B は曲げ強度の低減係数、 N_u は中心軸圧縮強度、で以下の式で表される。

$$\bar{\lambda}' = \sqrt{Q \bar{\lambda}}, C_m = 0.85, Q = 0.7/R \leq 1.0, Q_B = (5Q + 3)/8 \leq 1.0$$

$$N_u = Q N_y \quad (\bar{\lambda}' \leq 0.2)$$

$$= (1.109 - 0.545 \bar{\lambda}') Q N_y \quad (0.2 < \bar{\lambda}' \leq 1.0)$$

$$= Q N_y / (0.773 + \bar{\lambda}'^2) \quad (1.0 < \bar{\lambda}') \quad (8) \sim (12)$$

G(1)は幅厚比制限で、G(2)、G(3)は現行道路橋示方書の制限である。ただし、G(2)の L は部材長、 r は各部材について各要素の平均値をとる。有効座屈長係数 K の値は、各部材について、平均断面より求める。式(1)~(20)に用いられた記号は; $A = 4bt$ =断面積、 L =部材長、 $r = b/\sqrt{6}$ =各部材の平均断面二次半径(b は各部材について各要素の幅の平均値)、である。 N =各要素に働く軸圧縮力、 M_0 =各要素の両端の曲げモーメントのうち絶対値の大きい方の値、である。また、初期部材回転角については、本論文では、文献1)で提案した有効座屈長法とP-△法より求められる強度がほぼ等しくなる条件より求められた式を採用している。

3. 最適計算結果: 設計ケースに、1層ラーメン構造

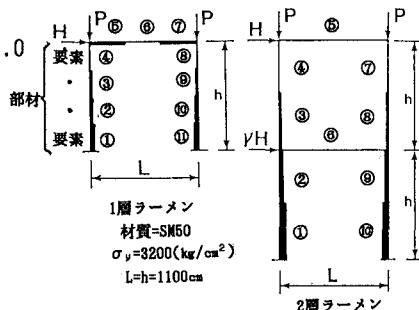


図1 最適設計を行うラーメン構造物

表1 荷重ケース

荷重 ケース	一層 ラーメン		二層 ラーメン		
	P (ton)	H (ton)	P (ton)	H (ton)	r
(1)	0.0	95.0	0.0	60.0	0.0
(2)	200.0	80.0	250.0	50.0	0.0
(3)	400.0	80.0	400.0	40.0	0.0
(4)	800.0	70.0	600.0	30.0	0.0
(5)	800.0	60.0	800.0	20.0	0.0
(6)	1100.0	40.0	900.0	10.0	0.0
(7)	1200.0	20.0	1050.0	0.0	0.0
(8)	1400.0	0.0	400.0	40.0	0.5
(9)	----	----	400.0	40.0	1.0

物について幅は部材ごとに変化し厚さは要素ごとに变化する設計ケース（a），幅も厚さも要素ごとに变化する設計ケース(b)，同じく2層ラーメン構造物についても，幅は部材ごとに变化し厚さは要素ごとに变化する設計ケース(c)，幅も厚さも要素ごとに变化する設計変数(d)の4ケースを考え，表1の各荷重ケースの荷重を載荷した時の最適化計算を行った．図2に設計ケース(a)，(b)について，有効座屈長法およびP- Δ 法を用いて最適設計を行った際の，各要素の断面の幅厚比パラメータRのグラフを例として示す．

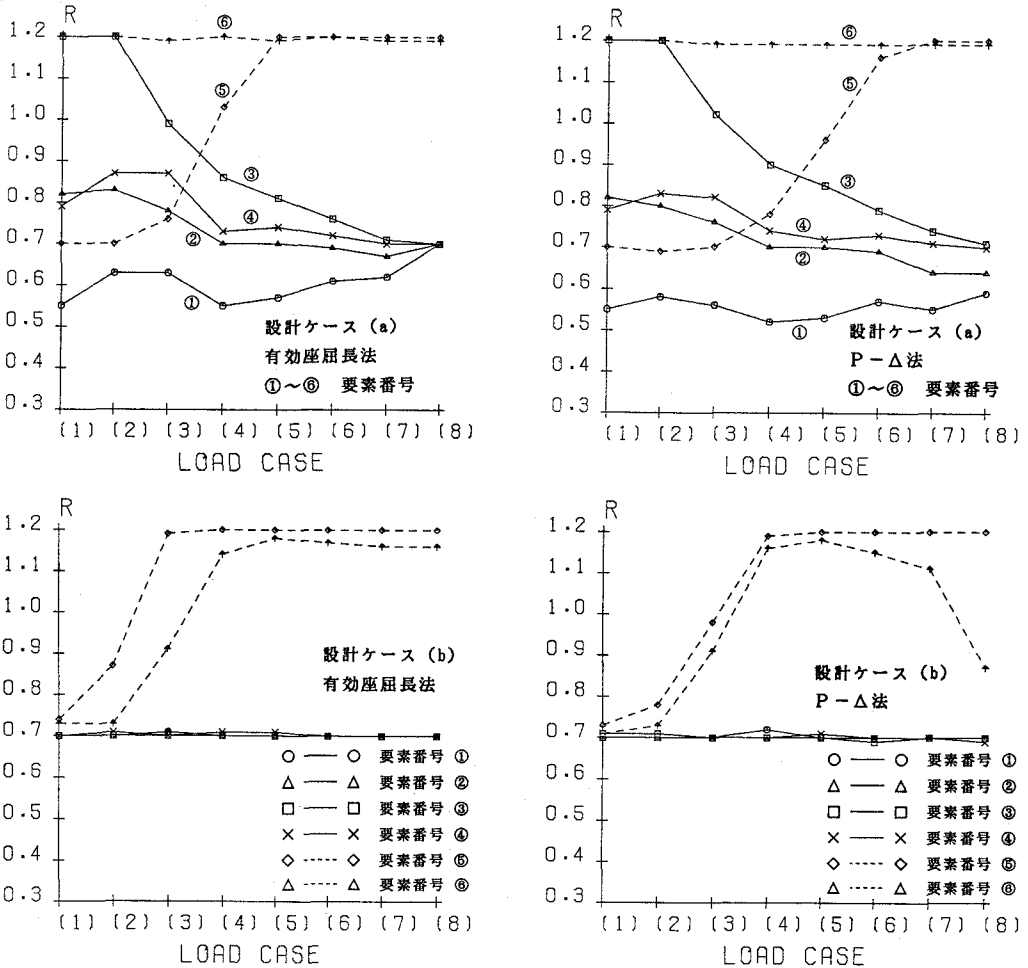


図2 最適設計された断面の幅厚比パラメータ

図2より次のような事が言える。(1)有効座屈長法とP- Δ 法では，ほぼ同一の結果が得られた。(2)設計ケース(a)では，水平荷重に対して鉛直荷重が卓越してくると，柱の各要素とも幅厚比パラメータは限界幅厚比の0.7に近づいてくるが，設計ケース(b)では，荷重ケースに関係なく0.7近くを示している。(3)設計ケース(a)について，鉛直荷重だけを受けるとき，有効座屈長法を用いると柱の各要素とも幅厚比パラメータが0.7の等断面になるが，P- Δ 法を用いると初期部材回転角が存在するため等断面にならない。

4. 結言： P- Δ 法及び有効座屈長法による局部座屈を考慮したラーメン構造物の極限強度評価式に基づいて最適設計を行い，その考察を行った．さらに詳しい考察については，講演当日に述べる．

《参考文献》 1) 宇佐美勉ら，土木学会論文集，第402号，1989年4月． 2) 宇佐美勉，構造工学論文集，Vol.36 A, 1990年3月．