

矩形ラーメンの構造耐荷力について

法政大学 正会員 阿井 正博* / 松井 智
政策研究大学院大学 フェロー 西野 文雄

1. はじめに . 矩形ラーメンでは、一様荷重を基本として、はりによって弾性拘束された柱の部材座屈強度を表現する“構造単位”が示されており¹⁾、その値は、AISC のノモグラフ²⁾にほぼ一致する。しかし、例えば 側拘束されないときの有効長が過大であるとの指摘も実設計の場にはあり³⁾、偏載荷重による実際の構造座屈との整合性が、さらに明確にされる必要がある。

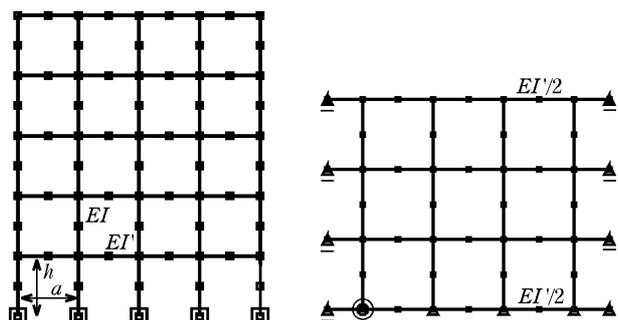


図-1 単純ラーメンと格子内柱モデル

2. 側拘束がないときの構造座屈 . 単純ラーメンの柱 / はりの曲げ剛性、部材長を $EI, h/EI, a$ とし、基本特性をみるために 中間層中央部の構造単位“格子内柱”のみから成る図-1の構造モデルを考える(最上,下のはりの曲げ剛性は $EI/2$)。

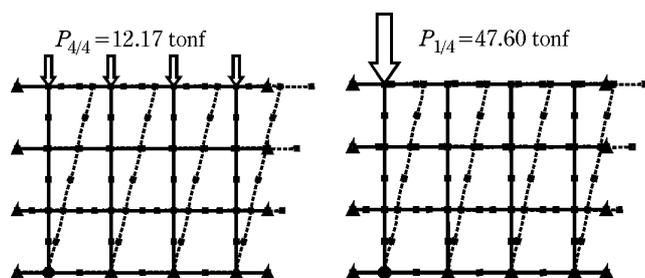


図-2 側拘束がないときの座屈

$EI=EI'=2.678 \times 10^5$, $h=a=500$. (tonf, cm)において、4柱載荷で $P_{4/4}=12.17$ tonf, 1柱載荷では $P_{1/4}=47.60$ の座屈荷重となり、その他 $P_{2/4}=24.20$, $P_{3/4}=16.21$ 等も得られた⁴⁾。この4柱構造で注目されることは、どの載荷パターンであっても、座屈時の荷重和が、構造単位“格子内柱”¹⁾の座屈軸力 $P_0=12.18$ tonf の4倍に十分近いことであり、座屈モードもほとんど変わらない(図-2)。曲げ剛性に対し

キーワード: 矩形ラーメン, 側拘束, 座屈, 耐荷力

*連絡先: 〒184-8584 小金井市梶野町 3-7-2

Tel 042-387-6277 / Fax " -6124

て伸び剛性は極めて大きく、横振りモードでの節点水平変位が、はり方向にほぼ同じ大きさに保持されることによって、側拘束のない矩形ラーメンの座屈は、層単位で生じると考えられ、そのとき層の荷重和は、分布形によらず一定値に近くなる。

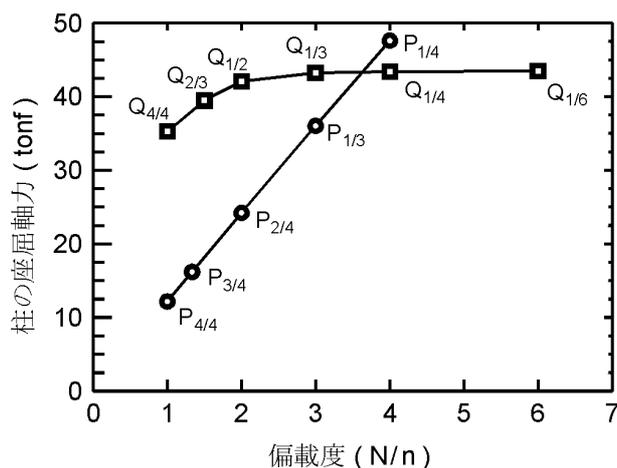


図-3 柱当りの座屈軸力 (格子内柱モデル)

また、 N 柱中 n 本の同一荷重に対して

$$\text{偏載度: } \alpha = \frac{N}{n} \quad (1)$$

とすれば、柱当りの座屈荷重は、 $\alpha=0$ を通る直線の上にほぼ位置する(図-3)。

3. 側拘束されたときの構造座屈 . 格子内柱の同じモデルのはり材端を、側拘束に対応して、回転拘束鉛直口ローラに変更した(図-4)。この“格子内柱”単位の座屈軸力 $Q_0=35.27$ tonf は、無側拘束の P_0 より3倍程度大きく、一様荷重での座屈荷重 $Q_{4/4}$ は Q_0 に一致する。剛比 ($=EIh/EIa$)=1のこの場合で、1点載荷では $Q_{1/4}=43.40$ となり、一様載荷からの上昇率は1.23倍でしかない。他にパネル数を変えたモデルより $Q_{2/3}=39.49$, $Q_{1/2}=42.09$, $Q_{1/3}=43.24$, $Q_{1/6}=43.48$ tonf が得られた。

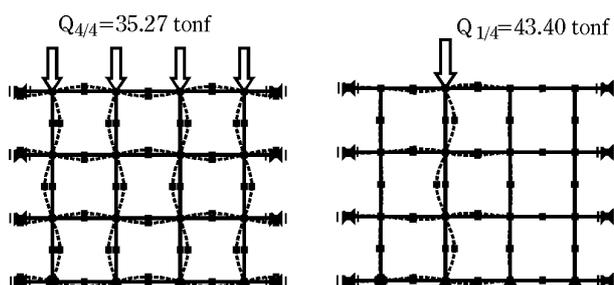


図-4 側拘束されたときの座屈

側拘束があれば、節点の座屈並進変位は生ぜず、節点の回転変位を介してのみ座屈変形が伝わるが、部材を経る中でその曲げ変形は顕著に吸収される。図-4の1点载荷にみるように、载荷柱に隣接する柱までは、はりを介して幾分の変形が生じるが、それより以遠の柱にはほとんど伝わらない。偏載荷重に対して、座屈はその局所まわりに限定され、それらの部材を変形させるに足る荷重値で座屈が生じることになる。したがって、一様座屈荷重からの格段の荷重増加はない。

偏載度 に対する以上の $Q_{n/N}$ の分布も、図-3に示している。このとき、 $\alpha=3$ 以上で座屈荷重はほぼ一定となり、偏載の効果は 実用上 3柱程度($N=3$)に対して考えれば十分といえる。すなわち、多柱の実構造であっても、その中で最も不利な連続する3本柱において座屈を評価すればよい。1

3の座屈荷重に対して、多項式近似($\alpha=3$ で頂点)を考えると、指数 $\alpha=3$ が適当であり、一様载荷での $Q_{3/3}$ と1点载荷での $Q_{1/3}$ を用いて

$$Q(\alpha) = Q_{1/3} - (Q_{1/3} - Q_{3/3}) \left(\frac{3-\alpha}{2} \right)^3 \quad (2)$$

と表わされる。

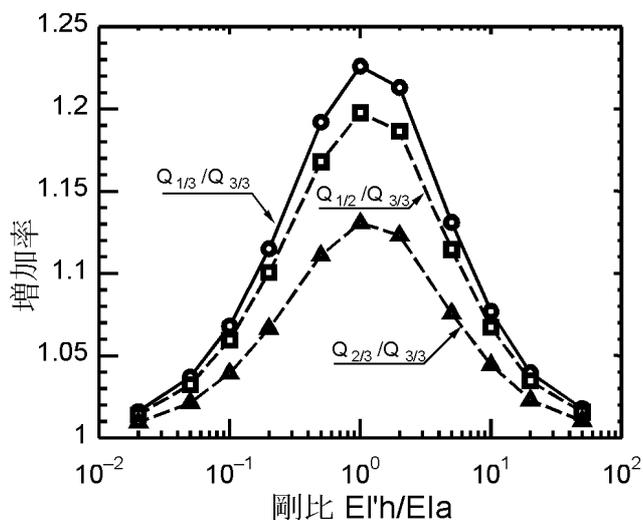


図-5 座屈軸力の増加率 (側拘束モデル)

$Q_{3/3}$ は構造単位の座屈軸力 Q_0 に等しく、それに対する $Q_{1/3}$ は、はり/柱の剛比 によって変わる。剛比範囲 10^{-2} から 10^2 の格子内柱モデルでの数値解析の結果、図-5の $Q_{1/3}/Q_{3/3}$ の増加率が得られた。剛比が大きい場合と小さい場合の両方で、隣接の柱への変形の伝達は少なくなり、座屈軸力の増加は小さくなる。図中の破線は、この $Q_{1/3}$ に対して式(2)を適用して算定した $Q_{1/2}$ と $Q_{2/3}$ の増加率である。この図-5と式(2)を用いて、座屈荷重をある程度推定することができる。

4. 構造座屈の2つの基本形 . 矩形ラーメンの座屈は、側拘束の有無によって大別されているが、それらの特性は前述のように異なる。

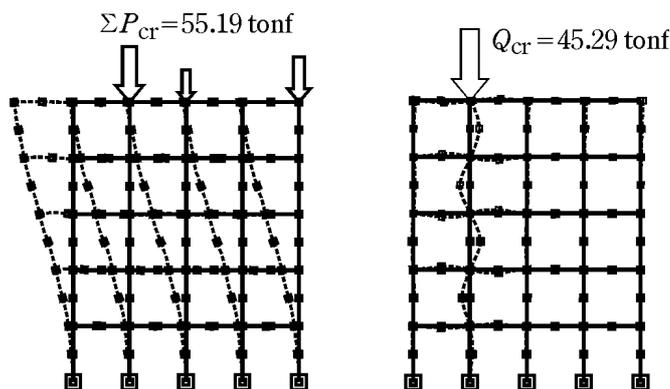


図-6 異なる偏載荷重による全体座屈

図-6は、無側拘束の矩形ラーメンであっても、荷重の偏載によって いずれの座屈も生じ得ることを表わしている。前記と同じパネル幅高さ/断面を用いており、横振りモードに対して、最上層の側縁柱、中間柱の“構造単位”軸力強度は 12.18, 15.60、中間層で8.37, 12.18、最下層では12.92, 15.81 であり、それらの和として、層の座屈強度は

最上層 : $12.18 \times 2 + 15.60 \times 3 = 71.16$

中間層 : $8.37 \times 2 + 12.18 \times 3 = 53.28$

最下層 : $12.92 \times 2 + 15.81 \times 3 = 73.27$ (tonf)

と評価できる。側拘束型モードでは、中央部の最上、中間、最下の柱強度は 44.89, 35.26, 53.94 であり、 $\alpha=3$ の偏載では割増係数 1.23 を乗じた 55.21, 43.37, 66.35 が柱当りの軸力強度と考えられる。

図の1柱载荷では、層の軸力和が上記 53.28 となる前に、柱の軸力が 43.37 に達して側拘束型の座屈が先行して生じている。他方の3柱载荷は 3 : 1 : 2 の荷重比であり、荷重和が 53.28 となった時点で、軸力最大値は 27.59 であり、横振り座屈が生じることになる。なお、数値計算結果の 55.19 と 45.29 は、強度評価の 53.28 および 43.37 より数%大きいのが、これは、注目の層 / 柱を剛性の大きい上下の層 / 柱が弾性拘束する効果による。

矩形ラーメンでは、横振り座屈に対して

[層の耐力] = [含まれる構造単位の強度の和]
側拘束型座屈に対しては

[柱の耐力] = [構造単位の強度]

× [偏載による割増係数]

と基本的には評価できるものと考えられる。

<参考文献> 1) Nishino, Ai, Tamura and Imai, *Struct. Eng. / Earthq. Eng.*, JSCE, Vol.16, No.2, Oct. 1999. / 2) *Load & Resistance Factor Design*, AISC, Vol.1, Part 6, 1994. / 3) Yura, *AISC Eng. Journal*, Vol.8, No.2, Apr. 1971. / 4) 阿井・西野, 土木学会論文報告集, No.304, 1980-12.