

鉄骨ラーメンの終局耐力と座屈

東京工業大学助教授 藤 本 盛 久

鉄骨ラーメンの終局耐力の算定については、W. Prager¹⁾、J. F. Baker²⁾、L. S. Beadle³⁾等を始めとして多くの研究がなされているが、各部材に生じている軸力が、ラーメンの終局耐力にどのように影響するかについては殆んど研究されていない。

本研究は、現在建築物の設計に採用されている程度の、水平荷重と鉛直荷重を考慮して設計される鉄骨ラーメンに対して、終局耐力に及ぼす座屈の影響を論じたものである。

1. 解 析

従来このような鉄骨ラーメンの座屈の影響は、一般に Euler 理論としての取扱い（図-1，aのような）によつて安定限界を求め、これを一つの基準として設計に導入していたのであるが、正しくは、直接骨組に曲げを生ぜしめている荷重と関連させて、いわゆる弾塑性ラーメンとして（図-1，bのような）論じなければならないのである。このような見地から、先ず、実際に考えられるような

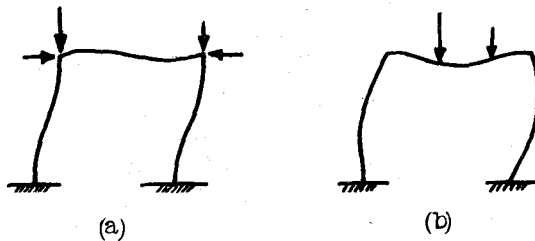


図 - 1

ラーメン二三を想定して、若干の仮定を設けて解析を簡単化し、各部材に生ずる軸力と変形とによつて付加される曲げモーメントをも考慮して荷重が終局荷重に至るまでの変形、応力状況を明らかにし、終局耐力と座屈との関係を追及してみた。

仮定：

解析に当つては下記事項を仮定した。

(i) 材料の応力度歪度曲線は理想塑性性を仮定し、降伏点応力度 σ_r は S S 4 1 で通常考えられる 3200 kg/cm^2 とした。

(ii) 仮定(i)を用いて求められた曲げモーメント (M)、軸方向応力度 (σ_c)、曲率 ($1/\rho$) との関係は図-2 に抽象化して示したように実際は点線で示したような曲線であるが、解析を簡単にするため二つの直線でおきかえる。この仮定は断面が通常鉄骨構造で用いられるような I 形断面ならば、結果にはそれ程大きな誤差はないものとする。

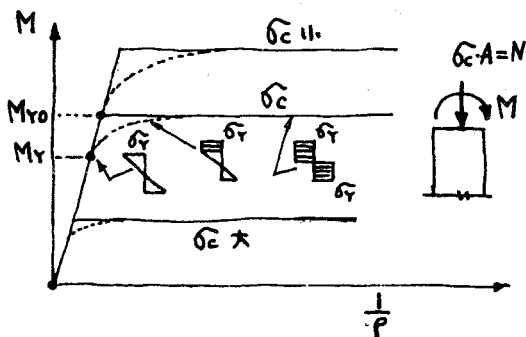


図 - 2

(iii) 部材に元撓みはなく、横断面も一定とする。

(iv) 振りを伴う横座屈は、細長比が比較的小さい場合に重要となるが、この研究では取扱わない。断面の局部座屈についても同様である。

想定したラーメン：

図-3、4、5に示したラーメンについて解析を行つた。

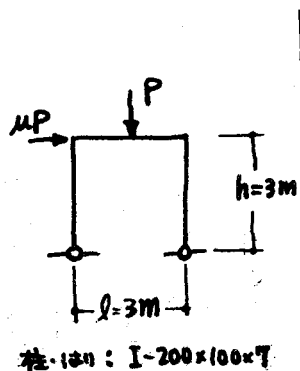


図 - 3

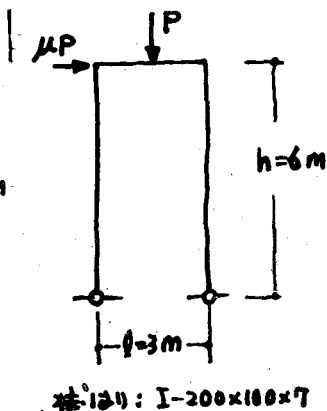


図 - 4

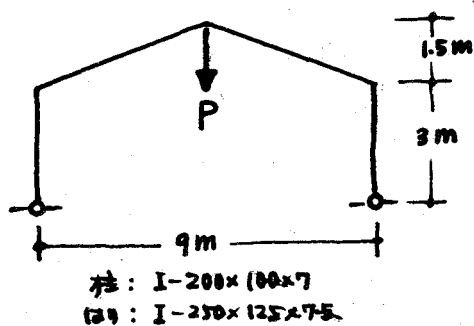


図 - 5

なお、I-200×100×7、I-250×125×7.5の降伏モーメント M_r 、全塑性モーメント M_{ro} と σ_c との関係(図-2参照)は表-1のようである。

表-1. M_r 、 M_{ro} の値 (I-200×100×7、I-250×125×7.5)

σ_c (kg/cm ²)	0	500	1000	1500	2000	2500	3000
$(M_r/Eh^3) \cdot 10^5$	3.987	3.359	2.731	2.122	1.491	0.886	0.239
$(M_{ro}/Eh^3) \cdot 10^5$	4.533	4.350	3.798	2.977	2.124	1.250	0.350

(註) E: ヤング係数、 h: I形鋼のせい

解析の方法と結果：

解析は座屈撓角法の形式によつて行つた。解析の結果は表-2に示した。

考察：

座屈の影響が相当にあるのではないと思われる。図-4、図-5のラーメンに対しても、表-2から明らかなように、通常の単純理論による崩壊荷重と、軸力の影響を考慮した場合の崩壊荷重

表-2 解析の結果

ラーメン	(図-3)		(図-4)		(図-5)
	P一定、 μ 増大	μ 一定、P増大	P一定、 μ 増大	μ 一定、P増大	P増大
荷 重	P = 6.58 ton (長期許容荷重)	$\mu = 0.2$ (基準法の震度)	P = 5.12 ton ($\mu = 0.2$ としたときの短期許容荷重)	$\mu = 0.2$ (基準法の震度)	
崩壊荷重	$\mu = 0.74$	P = 14.0 ton	$\mu = 0.45$	P = 9.9 ton	P = 11.5 ton
単純理論 崩壊荷重	$\mu = 0.77$	P = 14.5 ton	$\mu = 0.50$	P = 11.3 ton	P = 11.7 ton
座屈荷重*	185.3 ton		53.5 ton		165.1 ton

* (図-3)、(図-4)の場合に対しては両柱頭に軸力を作用させて求めた値

(図-5)の場合に対してはPを増大させて行つたときに対称変形から非対称変形にラーメンが移行する時のPの値

とはそれ程差はなく、その差はせいぜい10%程度である。従がつて、通常我々が取扱うような鉄骨ラーメンでは、終局耐力に及ぼす座屈の影響は先ず無いものと考えて差支えないようである。また、座屈荷重は、実際的には何等の関連もないようである。

このように座屈の影響が殆んどないということは、座屈にとって重要な要素である軸方向力が、骨組に曲げを生ぜしめている荷重によつて間接に生じていること、したがつてラーメン部材の断面は、主として、曲げの影響をより多くうけて設計される場合が多いため、断面が比較的大きくなり、全体として座屈の影響をうけにくいためである。

2. Baker, Beadle. 仲²⁾ の実験

以上のように、解析によれば、鉄骨ラーメンの終局耐力に対して座屈の影響はそれ程顕著ではないという結果がえられたのであるが、実験的にはどうであろうか、

図-6、7はそれぞれBakerとBeadleが行つた実験の結果を示したものであるが、何れも単純・性理論による終局耐力と実験値とはよく一致しており、座屈の影響は殆んどみとめられない。また、仲は図-8に示したラーメンについて詳細な実験を行つているが、之も理論と実験はよく一致しており、解析の結果と同様に、実験の結果からも通常の鉄骨ラーメンに於いては座屈の影響は無視して差支えないものと思われる。

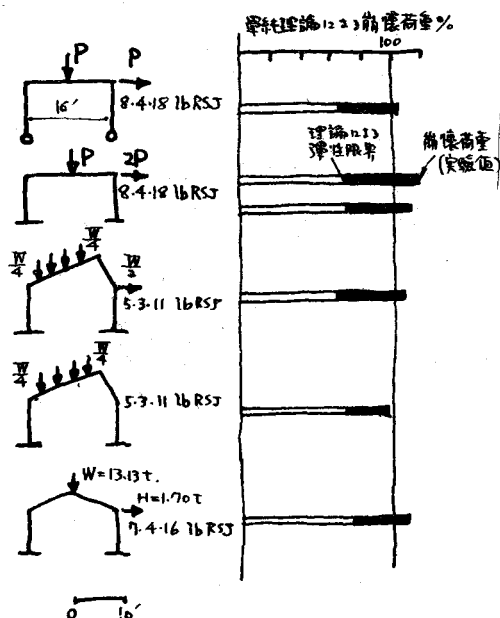


図-6 Baker の実験

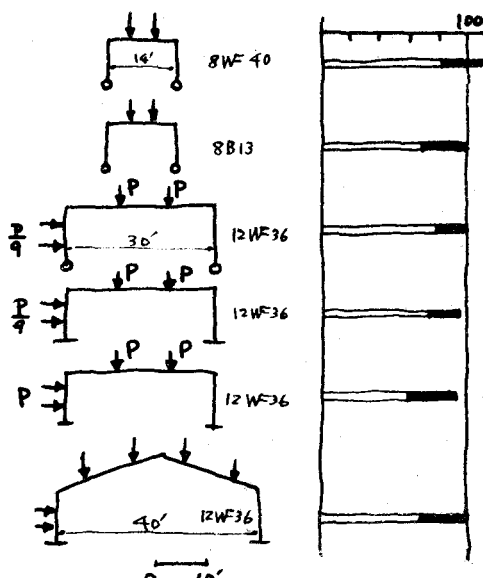


図-7 Beedle の実験

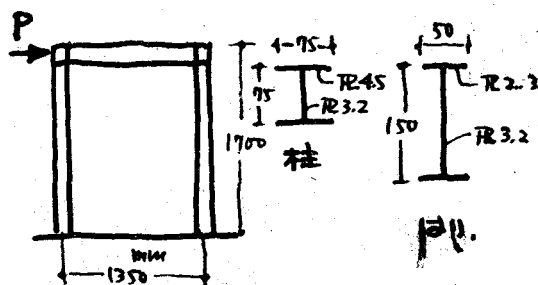


図-8 伸の実験

3. 一般的考察

荷重として、通常採用されている程度の水平荷重と鉛直荷重を考慮して設計される鉄骨ラーメンの終局荷重については、座屈の影響を無視しても差支えないという結論がえられたわけであるが、一般に自由に考えられるラーメンに対しては、この結論は、勿論適用できない。このような、一般ラーメンの座屈の影響を考慮した崩壊荷重を簡単に求める一般的な方法は、現在まだ見出されてはいない。この意味から Manchester の College of Technology の Dep. of Building and Structural Eng. で行っている一連の研究は非常に興味深い。之等の研究の結論は⁵⁾未だえられていないが、W. Merchant は、近似的な次の公式を提案している。

$$\frac{P_f}{P_c} + \frac{P_f}{P_r} = 1 \dots \dots (1)$$

P_f : 崩壊荷重

P_c : 座屈荷重 (Euler理論による)

P_r : 単純理論による崩壊荷重

例えば、いまこの式を図-4の μ 一定、 P 増大の場合に用いてみると、

$$P_c = 53.5 \text{ ton}, \quad P_r = 11.3 \text{ ton}$$

であるから

$$P_f = \frac{53.5 \times 11.3}{53.5 + 11.3} = 9.3 \text{ ton}$$

がえられ、座屈の影響を考慮して求めた解析結果の9.9 tonと比較的よく一致している。

しかしながら(1)式は、理論的ないみがあいまいであるだけでなく、荷重状態や、形の異なる鉄骨ラーメンすべてに対して適用するというわけにはゆかない。従がつて、この問題は理論的にも、実験的にも今後に残された問題であるが、現在、各国で多くの研究者が研究を重ねており、遠からず解決されるものと思う。

なお、元撓みや偏心のある圧縮部材、横荷重を同時にうける圧縮部材、横荷重を同時にうける圧縮部材等に対しては旧くから研究が進められており、部材の終局耐力に対して座屈の影響が極めて大きいことが明らかにされている。鉄骨ラーメンの中には、このような座屈の影響をうけやすい部材を組立てて作られた組立部材から構成されているものも多い。このようなラーメンの場合は、個材の座屈や、全体的な座屈がどのように終局耐力に影響してくるのか、なかなか興味深い問題であり、之について棚橋のすぐれた研究が見出せるが現在のところそれ等の一般的性状等については未だ解決されていない
6) 7) 8)

参考文献：

- 1) Greenberg, H.J., and W. Prager, Limit Design of Beams and Frames, Proc. A.S.C.E., 1951, Feb.
- 2) Baker, J.F., M.R. Horne, J. Heyman, The Steel Skelton, Vol. II. Cambridge Univ. Press. 1956.
- 3) Beedle, L.S., Plastic Design of Steel Frames, John-Wiley and Sons, 1958.
- 4) 仲威雄、久田俊彦、若林実、加藤勉、末松保美、鉄骨骨組の終局耐力に関する研究(その1、その2)、日本建築学会論文報告集、No. 57、第1部、昭和32年7月。
- 5) Marchant, W., The Failure load of Rigid Jointed Frameworks as Influenced by Stability, The Structural Eng. 1954, July.
- 6) 棚橋諒：不静定トラスト架構の安全耐力に関する考察

建築学会論文集、No.18, 1940.8

7) 棚橋諒：非一決変形をなす部材よりなる不静定架空の架構の力学汎論えの試み：建築学会論文集、22, 1941.9

8) 棚橋諒：終局状態における不静定架構、建築工学、1、1947.

以 上