

I-41 ラーメン構造の変形性状によらずの硬化の影響

金沢大学 正 喜内 敏
" " 吉田 博
石川高等 " 〇年村 昭英

1. はじめに

塑性設計法による鋼構造物の設計に際しては、その構造物が耐え得ることゝする最大荷重と最大荷重下における変形を検討する必要があるが、同時に、最大荷重に達した後挙動についても、設計に際して検討されなければならない。

一般に用いられる構造用鋼材として軟鋼においては、 σ_y が降伏点 σ_{yk} の $\sim 1/4$ 倍に達すると σ_y の硬化の現象が生じて、降伏応力以上の応力が増加する現象がある。この σ_y の硬化現象を考慮すると鋼構造物の変形は弾性範囲では荷重と変形とは比例的に増加するが、 σ_y が硬化現象の一部が塑性領域に入り、塑性ヒンジが生ずるのであるが、変形はある程度まで増加すると σ_y の硬化の現象が起って、さらに構造物の耐荷力を増すものと思われる。そして、最終的には構造物の局部変形が構造物全体として変形、すなわち圧縮材の不安定現象等により崩壊に至るであろう。

σ_y の硬化の影響を考慮して、構造物の弾塑性挙動を解析した研究は数多く見受けられる。特に連続はりおよび両端固定はりを用いて σ_y の硬化の役割について研究を行なった。Lag, M. G. and Smith, P. P. のもの、I型断面およびH型断面を用いて実験を行なった、Hrennikoff, A. D. の研究、山形ラーメンについて実験を行なった、Horne, M. R. and Chin, M. W. の研究、偏心圧縮柱について理論的、実験的に検討を行なった、草間の研究等がある。これらの研究においては、いずれも σ_y の硬化は構造物の耐荷力、すなわち変形性状に影響を及ぼすとしてゐる。これらの結果より、Lehigh 大学の Fritz 研究所では、構造物の耐荷力は σ_y の硬化の影響により、 σ_y の硬化を考慮しないものより 1.15 倍になると考えてよいとしている。

本研究においては、ラーメン構造の σ_y の硬化の影響を考慮することによりどのような変形挙動を示すかについて知るため、最も簡単な四ノコを示すようなラーメン構造について、抗弯の軸力 N を、 σ_y を変化させて検討を行なった。図-1 骨組の寸法

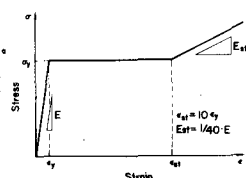
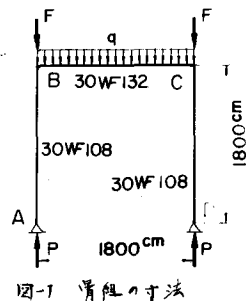


図-2 理想応力-ひずり関係

- ラーメン構造の変形挙動を検討するにあたり、次のような仮定をした。
- ラーメン構造に用いられる鋼構造用材材の σ_y - σ の関係は図-2に示すような理想化された関係にあるものとする。すなわち、

$$\sigma_y = 2500 \text{ kg/cm}^2 \quad E = 2100000 \text{ kg/cm}^2$$
- 断面形状は弾性変形においては、同じ断面形状を保つものとする。
- 残留応力の大きさ、分布は図-3に示す通りであり、部材については一様に分布するものとする。
- 柱の変形挙動を求めるにあたり、すなわち軸力 N が作用して曲げモーメント M が作用するものと

ある。

5). 骨組は初期は無載荷状態では弾性であり、骨組中の任意の位置で一度降伏が始まると、その位置でのひずみは連続して増加する、すなわち、ひずみの反転は無いものとする。

6). 骨組の初期変形は無いものとする。

7). 荷重と変形とは同一平面内に作用する

3. 曲げモーメントと曲率の関係

部材の応力-ひずみの関係は図-2のように仮定されたとする。一般に軟鋼においてひずみ硬化に入るひずみの入き量は降伏ひずみ ϵ_y の約8~14倍であるが、本研究においては10倍とする。またひずみ硬化後の弾性係数は $E_{st} = 1/40 \cdot E$ とする。そして、初期応力 σ_0 は圧縮成形による理想化された図-3によるものを用いる。

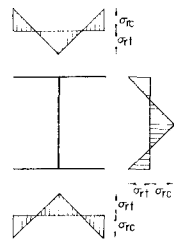
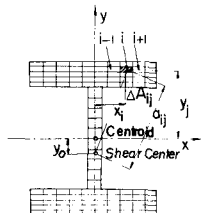


図-2 理想線形応力



残留応力 σ_0 はひずみ硬化を考慮して、柱部材として用いるH形鋼のJOWF 図-4 H形鋼の算定方法108の曲げモーメントと曲率の関係は、軸力 P/P_y の0.1, 0.2, 0.3, 0.4に対しては図-5に示す。

はり部材に用いられるH形鋼のJOWF 132の曲げモーメントと曲率の関係は図-6に示される。

すなわち、積分に際しては図-4に示すように断面の分割を行う。

4. 柱およびはりの弾塑性挙動

ラーメン構造の柱は軸力と曲げモーメントを同時に受けるので、柱は一併として挙動を求めた。

柱にわける曲線の算定は数値積分法により、まず図-7に示す軸力 P 、端部でのねじり角 $\bar{\theta}_0$ の値を定め、つぎに P が作用する中心軸の長さ ϕ によって P_1 を定める。変形の微小部分 ϕ_i 内のねじり形状を内訳に仮定し、高次の項を無視すれば図-7より次式が得られる。”

$$\bar{v}_1 = P_1 \bar{\theta}_0 - \frac{P_1^2 \phi_1}{\Sigma} \quad (1)$$

$$\bar{\theta}_1 = \bar{\theta}_0 - P_1 \phi_1 \quad (2)$$

一般に

$$\bar{v}_i = \bar{v}_{i-1} + P_i \bar{\theta}_{i-1} - \frac{P_i^2 \phi_i}{\Sigma} \quad (3)$$

$$\bar{\theta}_i = \bar{\theta}_{i-1} - P_i \phi_i \quad (4)$$

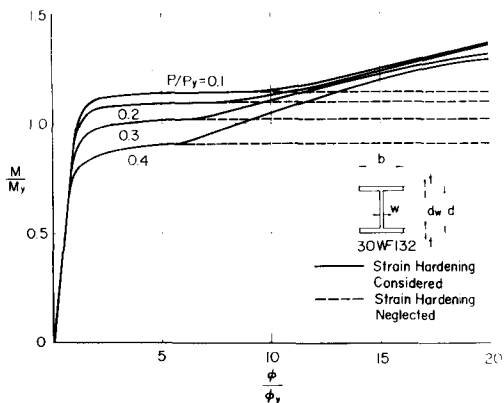


図-5 柱部材の曲げモーメント-曲率の関係

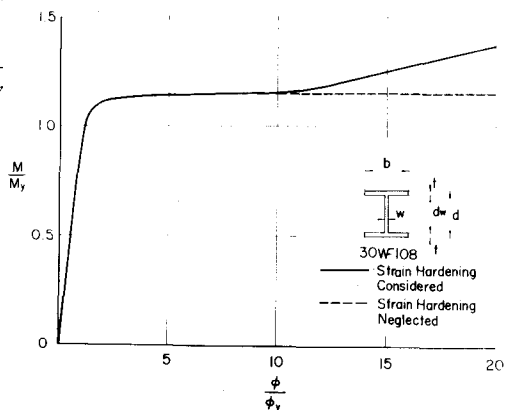


図-6 はり部材の曲げモーメント-曲率の関係

と表わされ、積分は $\bar{\theta} = 0$ とするで行く。

式(1)~(4)の右辺の曲率 ϕ は後部部分の平均モーメントを用いて $M-P$ 曲線から近似的に求め、この平均モーメントは図-7から

$$M_{m1} = \frac{P\bar{\theta}_0 P_1}{Z} \quad (5)$$

$$M_{mi} = M_{mi-1} + \frac{P\bar{\theta}_i \phi_i}{Z} \quad (6)$$

である。

これより、ある位置 i における軸力 P と $\bar{\theta}_0$ の値に対して一つの柱曲り曲線を得ることはできる。すなわち、 $\bar{\theta} = 0$ になる以前の曲線 $M-P$ 曲線部分で M と P の値を求め、その後 $M-P$ 曲線から計算することによって意味がある。ただし、 α の硬化を考慮する場合に $\bar{\theta} = 0$ になる位置で積分を行うと、柱曲り曲線を得る。

本研究に用いる柱部材の境界条件は表-1に示す通りであるから、図-8の関係から求められ柱曲り曲線より部材長 H の点における曲り角 θ_H とする回転角を差引いた θ_i が得られ、求める θ_i は

$$\theta_i = \bar{\theta}_i - \bar{\theta}_H/H \quad (7)$$

である。

そこで数値積分によって求められ、柱曲り曲線から $M_0 = P\bar{\theta}_H$ と θ_H を求め、プロットすれば、この求められ曲線が柱の終端モーメント回転角曲線である。

はり曲りモーメント-回転角曲線は部材 α の硬化を無視した場合と考慮した場合の $M-P$ 曲線を数値積分することにより求められ、それぞれ、勾配 ϕ があるスパン中央から仮定した中央の曲りモーメントを用いて積分を開始し、はり長 L に沿って全積分長 $L/2$ になるまで続け、終端の回転角 θ と曲りモーメントを求めた。

5. ラーメンの変形性状

ラーメン構造として単純な図-1のような一層一スパン対称門型ラーメンで柱部材は $30WF108$ 、はり材は $30WF102$ からなっている。ラーメンの高さ、幅共に $18m$ である。作用する荷重は、はりに作用する q と柱の上部に作用する F の集中荷重 F とである。又 F の集中荷重は各々 q に比例するものとして $F=1.25q$, $0.75q$, $0.5q$ と決定した。この場合柱の軸力 P は $P = qL(F+1/2)$ である。

部材断面 α の特性値 Z は前記中心線に

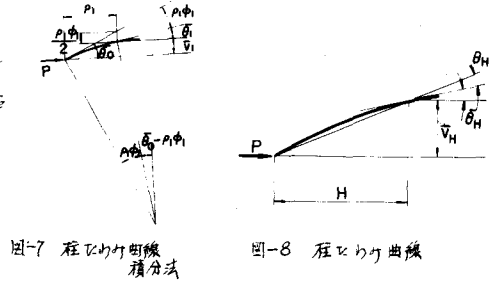


図-7 柱曲り曲線積分法

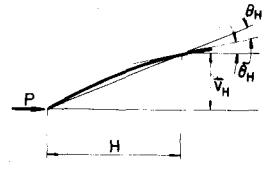


図-8 柱曲り曲線

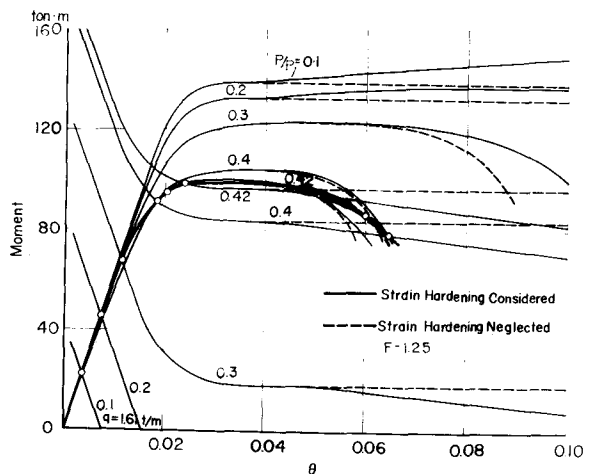


図-9 骨組の節点における曲りモーメントのつり合いと変形適合 ($F=1.25$)

静定構造である。不静定力として隅部部が
曲げモーメント M_B を受ける。各々4点でこの方
法で、はり荷重-変形関係を求めた。(図-9
~11の細線参照) ラーメンの適合条件
を満足する点 K は、 $M_{BA} = M_{BC}$ 、 $\theta_{BA} = \theta_{BC}$
が成り立つ点から、任意の点 K を
与え、はり長 AM の曲線 A を求める
点 K において、両方の条件を満足することに
する。(図-9 ~ 11の太線参照) 太線はラー
メン構造の端部モーメント-変形曲線を示して
いるが、これらの値から容易に荷重変形関係
を求めることができる。

6. 考察および結論

本研究においてラーメン構造の解析には、
力のつり合い、変形適合、部材の M - θ 関係
を用いた。ひずみ硬化を考慮した場合と無視
した場合(図-9 $F=1.25$ の場合) 最大耐荷力
は柱の軸力 K において、 $P/P_y = 0.4$ 附近であり
その後耐荷力は急激に低下していった。すなわち、
ひずみ硬化を考慮した場合の方が耐荷力の低下は
緩やかである。図-10 $F=0.75$ の場合には最大
耐荷力は柱の軸力 K で $P/P_y = 0.32$ を少し越えて
いる。そして $F=0.5$ の場合には最大耐荷力は
 $P/P_y = 0.255$ 附近であり(図-11) から分かる
ようにひずみ硬化を考慮した場合は柱の軸力 K に
て $P/P_y = 0.005$ 程度増加している。以上のこ
とから柱頭に作用する力 F が小さくなるにつれて
最大耐荷力は増加すると共にひずみ硬化の影響が
顕著に現れるようである。

従来、ひずみ硬化の影響は構造物に有利に働くもの
と考えられていたが、ひずみ硬化の影響を一律
に考えるのは不合理であり、構造形式や荷重状態
に対して十分検討する必要があるように思われる。

7. 参考文献

- 1) Fritz Engineering Laboratory: "Plastic Design of Multi-Story Frames" Fritz Engineering Laboratory, Lehigh University
- 2) 草間孝志: "偏心圧縮柱の荷重-変形性状とひずみ硬化の影響" 土木学会論文報告集 第184号, pp1~10, 1970.12
- 3) Galambos, T.V.: "Structural Members and Frame" Prentice Hall, Inc., New Jersey 1968

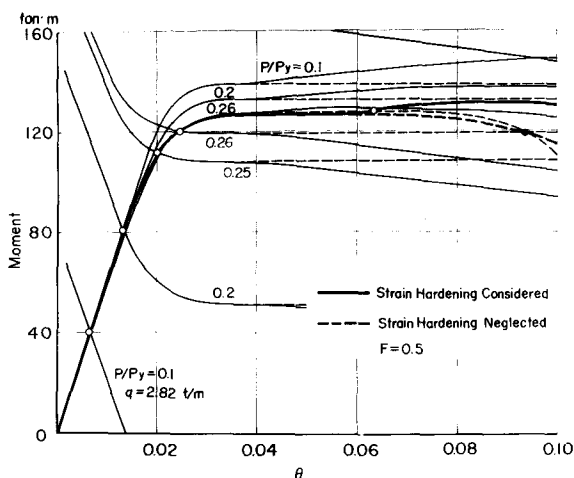


図-10 骨組の節点 K における曲げモーメントのつり合いと変形適合 ($F=0.75$)

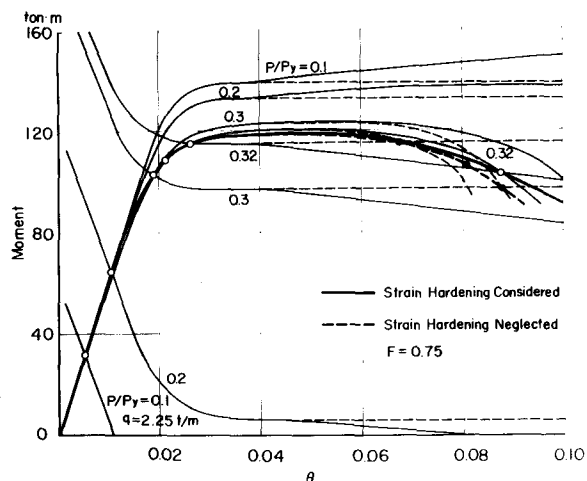


図-11 骨組の節点 K における曲げモーメントのつり合いと変形適合 ($F=0.5$)