

徳島大学工学部

正会員 木野戸 重信

徳島大学工学部

正会員 児嶋 弘行

徳島大学工業短期大学部

正会員 平尾 潔

1. まえがき 本研究は、動的、および静的荷重を受ける平面骨組を対象として、Ramberg-Osgoodの $M-\phi$ (曲げと曲率)、および、 $N-\epsilon$ (軸力と軸ひずみ) 関係式を用い、塑性域の揺がり、なうびに、曲げと軸力との降伏相関関係を考慮した場合の一弾塑性解析について研究し、その解析プログラムを作成し、2,3の数値計算を行ない、簡単な考察を加えたものである。

2. 解析上の仮定 本研究で設けた仮定は次のようである。1). 材料のひずみ硬化は無視する。2). 非弾性断面における M と ϕ 、および、 N と ϵ との関係は、式(1),(2)で表わされるものとする。3). 部材は一樣断面を有する直線部材とし、その断面形は矩形、あるいは、I型とする。4). 降伏条件式は文献(2)と同様なものを用い、曲げと軸力との組合せだけと考慮する。5). 荷重はすべて節点に作用する節点荷重とし、任意の微小荷重増分 dP に対する材端力増分 dS と材端変位増分 $d\delta$ との間には線形関係が成立する。6). 動的応答解析では加速度が線形的に変化するものとみなし、線形加速度法を用いる。7). 骨組の質量はすべて節点に集中するものとする。

3. Ramberg-Osgoodの $M-\phi$ 、および、 $N-\epsilon$ 関係 RambergとOsgoodは、非弾性断面における $M-\phi$ 、および、 $N-\epsilon$ 関係とFig.1に示すような曲線で表わすことを提案した。Fig.1の負荷過程(loading)、および、除荷過程(unloading)における $M-\phi$ 、および、 $N-\epsilon$ 関係は、それぞれ式(1),(2)のように表わされる。

$$\left. \begin{aligned} \phi &= \frac{M}{EI} \left(1 + a \left| \frac{M}{M_p} \right|^{r-1} \right) \\ \epsilon &= \frac{N}{EA} \left(1 + a' \left| \frac{N}{N_p} \right|^{r'-1} \right) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \phi &= \phi_0 + \frac{M-M_0}{EI} \left(1 + a \left| \frac{M-M_0}{M_p-M_0} \right|^{r-1} \right) \\ \epsilon &= \epsilon_0 + \frac{N-N_0}{EA} \left(1 + a' \left| \frac{N-N_0}{N_p-N_0} \right|^{r'-1} \right) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ここで、 M_p, N_p は曲げと軸力との降伏相関関係を考慮した場合の塑性モーメント、および、塑性軸力、 E は弾性係数、 I は断面2次モーメント、 A は断面積、 a と M_0 、および、 ϵ_0 と N_0 はそれぞれ弾性復活が起った時の ϕ と M 、および、 ϵ と N の値を示し、 a と r 、および、 a' と r' は断面形によって異なる正の定数である。なお、これらの a と r 、および、 a' と r' は解析に先立って決定しておく必要があり、弾性断面では、 $a = a' = 0$ である。

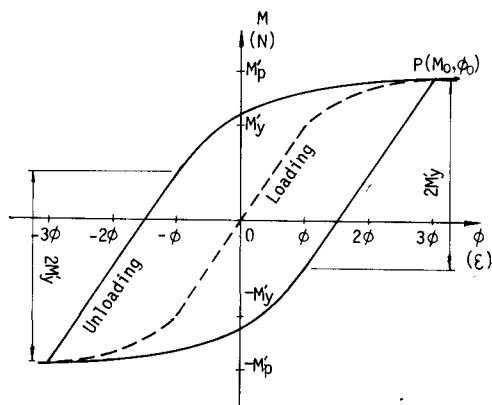


Fig.1

4. 基本式 弾性端部材、および、弾塑性端部材に対する変形法の基本式は、文献(1)に示したように、モールの定理に式(1),(2)を代入し、直接積分することにより、材端変位 δ ($\delta_s, \delta_e, \theta$) が材端力 S (N, Q, M) の関数として表わされ、これを材端力で偏微分することにより、求めることができる。又、曲げと軸力との降伏相関関係を考慮し、塑性流動理論を導入した場合の降伏端部材の基本式は、文献(2)と同様に導かれるが、これらの詳細については、文献(1),(2)を参照されたい。なお、これら各部材の増分形の基本式を用いれば、動的解析における骨組全体の運動方程式は、式(3)のように表わされる。

$$M d\ddot{u}_t + C d\dot{u}_t + K d u_t = dP_t \quad (3)$$

ここで、 M, C および K_t は、質量、減衰、および接線剛性マトリックス、 $d\ddot{u}_i, d\dot{u}_i, du_i$ および dP_i は、それぞれ、加速度、速度、変位、および外力ベクトルである。又、静的解析におけるつり合い方程式は、式(3)において、 $M=C=0$ とすればよい。なお、本解析で動的解析を行なう場合は、文献3)と同様に線形加速度法を用いた。

5. 解析手順 本解析の動的応答解析において、時間 t である部材に弾塑性端、あるいは、降伏端が発生し、さらに時間が増加して行くに、たまた、あるたな弾塑性端、あるいは、降伏端が発生するまでの間のある時間 Δt から t までの解析手順を示せば、つぎのようになる。

- 1). ある時間増分 Δt に対する材端力増分 $\Delta \delta_i$ 、および、材端変位増分 $\Delta \delta_i$ を求め、この時間増分内で、 $M-\phi$ 、および、 $N-\varepsilon$ 関係が弾性復活や再荷荷を生じているかを検討し、生じている場合は剛性行列を修正し解き直し、生じていない場合は、この時間 Δt に対する $\delta_i = \Sigma \Delta \delta_i$ 、 $\delta_i = \Sigma \Delta \delta_i$ を求め、2)の手順へ移る。
 - 2). この増分時間内に、あるたな弾塑性端、および、降伏端の発生の有無を検討し、発生しない場合は剛性行列を修正し、1)に戻る。発生する場合は、最小時間増分係数を用いてあるたな弾塑性端、および、降伏端の発生する時の時間、材端力、および、変位を求め、これらの部材の剛性行列を修正し、1)の手順へ移る。
- 以上、1)～2)の手順を、骨組が崩壊するか、時間 t が最大時間 t_{max} になるまで繰返す。なお、静的解析手順は、文献1)と同様であるので、ここでは省略する。

6. 解析結果、および、考察 Fig.3は、曲げと軸力との降伏相関関係を考慮した場合に、軸力が骨組の耐力に及ぼす影響を検討するために、Fig.2に示す矩形断面を有する門型ラーメンの柱頭にあらかじめ、定軸力 P_1 を $0.0 \sim 0.9N_p$ まで変化させて載荷させた解析結果である。Fig.3からわかるように、軸力の小さいうちは曲げと軸力との降伏相関関係を考慮してもあまり影響がないが、軸力が大きくなるにつれて、その影響は大きくなっている。又、Fig.4は、Fig.2に示す門型ラーメンが $P_1=10\text{ton}$ の矩型波の動的荷重を受ける場合にa)塑性域の広がり、b)曲げと軸力との降伏相関関係が、動的解析に及ぼす影響を調べた結果を示したもので、図においてCASE A₁; a), b)両方を考慮、CASE A₂; a)を考慮しb)を無視、CASE A₃; a)を無視しb)を考慮、CASE A₄; 弾性解析である。なお、本解析では、式(3)の減衰マトリックス $C=0$ として解析した。その他の解析結果は、講演会当日スライド等で紹介する予定である。

7. 参考文献 1)平尾、奥嶋、木野戸：Ramberg-Osgoodの $M-\phi$ 関係式を用いた平面骨組の一弾塑性解析；徳大工学部研究報告オス2号、1977年3月

2)岸、奥嶋、平尾；軸力の影響を考慮した平面剛、滑節構造物の一自動弾塑性解析、土木学会論文報告集オ202号、1972年6月。3)太田、今井、吉本；平面骨組構造物の静的、動的塑性曲げに対する数値解析法、土木学会論文報告集、オス39号、1975年7月

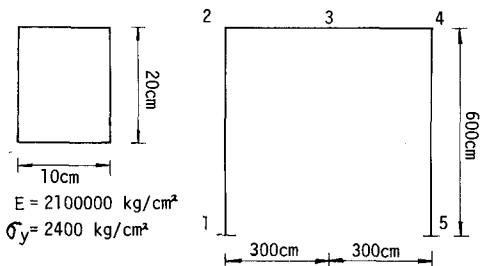


Fig. 2

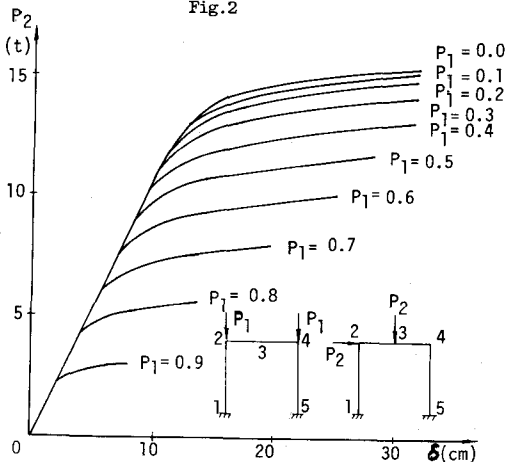


Fig. 3

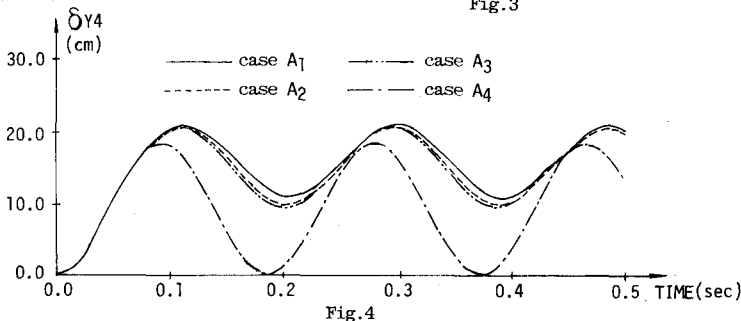


Fig. 4