

徳島大学工学部

正会員・成行 義文

徳島大学工業短期大学部

正会員 平尾 繁

徳島大学工学部

正会員 児嶋 弘行

1. まえがき

本研究では、文献1)および3)の解析法のもとに、幾何的ならびに材料の両非線形性を考慮した平面骨組の静的な弾塑性繰返し挙動の解析方法について研究し、その解析プログラムを作成して、2・3の骨組に対する数値計算結果のもとに、2で述べるような種々の幾何的および材料の非線形要素が骨組の繰返し挙動に及ぼす影響について、簡単な考察を加えんとしたものである。

2. 非線形要素

本解析に含まれる非線形要素のうち、幾何的非線形性を示すものとして(図-1参照)、(1)骨組の原形と釣合い形とのずれ(座標系 x_0 と x との相違)。(2)軸力による2次的な曲げ(N - η 、安定関数)。(3)部材の回転に伴う2次的な軸方向変形($\Delta l = l_0 - l$ と $\Delta l' = \delta s_i - \delta s_j$ との差)。(4)部材の湾曲に伴う軸方向変形(弦長 $\bar{l}$ と弧長 $\bar{l}$ との差、湾曲関数)。(5)2次的な部材回転角($R = \sin^{-1}\{(\delta \eta_i - \delta \eta_j)/l_0\}$ と $R = (\delta \eta_i - \delta \eta_j)/l$ との差)を考慮し、材料の非線形性を示すものとして、(6)弾塑性断面における断面力(曲げモーメント M と軸力 N)と断面変形(曲率 ϕ と軸方向ひずみ ϵ)との関係(M - N - ϕ - ϵ 関係)。また、この(6)に関連したものとして、(7)降伏相関関係(M と N)、および、塑性流動則(flow law)の導入に伴う塑性断面(全断面が塑性)における断面力と塑性変形との関係。(8)ひずみ硬化。(9)残留応力。を考慮している。

3. 変形法の基本式

誘導方法は、文献1)と同様であるので、ここでは結果のみを示す。

図-1の材端部材力 $S^* = \{N, M_i, M_j\}^T$ と材端変形 $U^* = \{u, \tau_i, \tau_j\}^T$ との関係は、式(1)のようである。 $S^* = \bar{K}^* \cdot U^* + C^*$ (1) ここで、

$$\bar{K}^* = \begin{bmatrix} EA/r l_0 & 0 & 0 \\ 0 & EIC_1/\beta l & -EIC_2/\beta l \\ 0 & -EIC_2/\beta l & EIC_1/\beta l \end{bmatrix}, \quad U = l_0 - l \\ \tau_i = \theta_i - R, \quad \tau_j = \theta_j - R$$

$C^* = \{-EA(U_b + U_r)/r l_0, -\alpha_i/\beta, -\alpha_j/\beta\}^T$ である。上式中、 E, A, I は、各々、弾性係数、断面積、断面2次モーメントを表わしており、 U_b は湾曲に伴う軸方向変形、 C_1, C_2 は安定関数である。また、 $\alpha_i, \alpha_j, \beta, r, U_r$ は、材料の非線形諸量

であり、これらに関しては、文献3)をご参照願いたい。なお、塑性流動則を導入した場合の塑性端要素に対する基本式も、その誘導方法は少し複雑となるが、式(1)と同形となる。また、材端部材力増分 $dS^* = \{dN, dM_i, dM_j\}^T$ と、材端変形増分 $dU^* = \{du, d\tau_i, d\tau_j\}^T$ との関係は、式(2)のようである。 $dS^* = \bar{K}^* \cdot dU^*$ (2) つぎに、図-1の基準座標系 $x-y$ に対する基本式は、式(3)、(4)のように表わされる。 $\bar{S} = R \cdot S$ (3), $\bar{dS} = \bar{K} \cdot d\bar{U}$ (4) ここで、 $S = B \cdot S^*, dS = \bar{K}^* \cdot dU, dU = \{d\delta s_i, d\delta \eta_i, d\theta_i, d\delta s_j, d\delta \eta_j, d\theta_j\}^T, dS = \{dN_i, dQ_{ij}, dM_{ij}, dN_j, dQ_{ji}, dM_{ji}\}^T, \bar{S} = \{P_{xi}, P_{yi}, M_{xi}, P_{xj}, P_{yj}, M_{xj}\}^T, d\bar{S} = \{dP_{xi}, dP_{yi}, dM_{xi}, dP_{xj}, dP_{yj}, dM_{xj}\}^T$ である。また、骨組全体の増分釣合方程式は、式(5)のように表わされる。 $AP = K \cdot dU$ (5)

4. 解析上の仮定・解析手順

これらに関しては、文献3)をご参照願いたい。

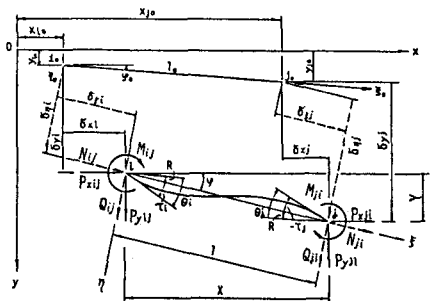


図-1

5. 計算例

単純梁、アーチ等に対する種々の計算結果を講演会当日 O.H.P. で紹介する予定であるが、ここでは、一例として、図-2~5に示すような計算例を紹介しておく。図-2は、矩形断面と有する単純梁に、一定軸力 P_c がかかっている場合の $P-\delta_1$ 曲線を示したものである。case A は、繰返し荷重 P の範囲が $+7.5(t) \sim -7.5(t)$ (以下、 $P = \pm 7.5t$ と表す。) の場合、case B は、 $P = \pm 7(t)$ の場合で、ともに、幾何的非線形性としては、2.で示した要素すべて (1)~(5)、また、材料の非線形性としては、2.(6)のみを考慮している。図-3は、非線形要素として、2.(6)のみを考慮し、幾何的非線形性は無視した場合 (case A) と、前述の図-2の case A (本図では case B) の場合との比較を行なったものである。図-4は、図-2、3と同様な単純梁を対象として、残留応力 $\delta_{cr} = 0$ (case A: 図-2の case B に相当)、 $\delta_{cr} = 0.2\delta_y$ (case B; ただし、 δ_y は降伏応力と表す。)、および、 $\delta_{cr} = 0.4\delta_y$ (case C) の各々の場合の比較を行なったものである。図-5は、図中にも示すような矩形断面と有する両端固定アーチを対象として、 $\delta_{cr} = 0.0$ (case A) の場合と、 $\delta_{cr} = 0.2\delta_y$ (case B) の場合の比較を行なったものである。(ただし、図-4、5の各 case とも、非線形要素としては、2.(1)~(5)、(6)、(9)と考慮している。)

6. むすび

本研究により、現在までに、つぎのようなことが明らかになった。材料および幾何的非線形性の両非線形性も考慮した解析を行った場合、前者のみも考慮した場合に比較して、大きな変位を示すが、 $P-\delta$ 関係の履歴曲線の示す傾向は、同様である。

7. 参考文献

- 1) 平尾・児嶋: 平面骨組の弾塑性解析における幾何的および材料の非線形性の影響について、土木学会第33回年次学術講演会講演概要集 I-18、2) T. Ohta and T. Yamasaki; Elasto-Plastic Analysis of Steel Structures considering the Effect of Residual Stress and Finite Deformation, Proc. of JSCE, No. 194, Oct. 1971 3) 成竹
- 平尾・児嶋: 繰返し荷重と受ける平面骨組の弾塑性挙動に関する基礎的研究、土木学会中国・四国支那第31回年次学術講演会講演概要集 I-17

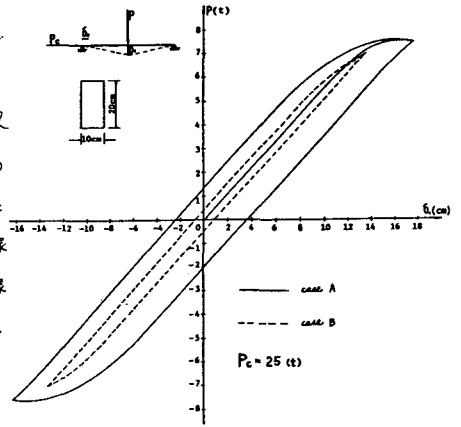


図-2

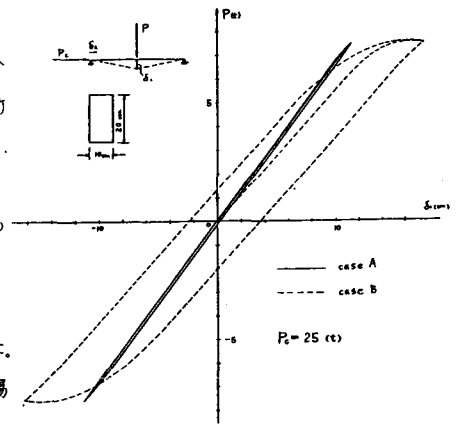


図-3

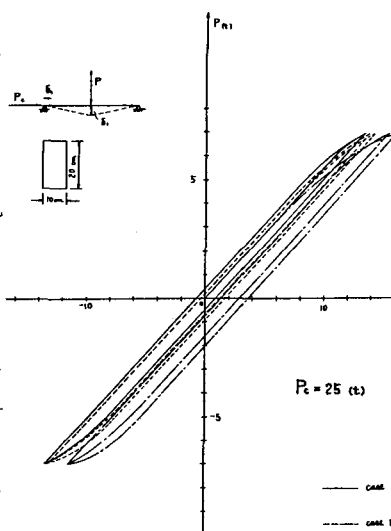


図-4

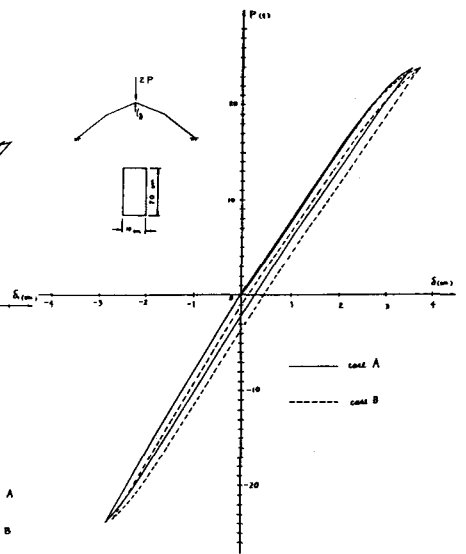


図-5