

1. 緒言 著者らは先にくり返し荷重を受ける連続ばりの弾塑性解析について報告したが、本研究はこれに引き続き一定軸力とくり返し曲げを受けるラーメンの弾塑性挙動を究明せんとするものである。

既にかかる理論的および実験的研究は、羽倉¹⁾および五十嵐²⁾および若林・野中・松井氏³⁾などにより行われており、なかでも羽倉氏の論文は除荷時の応力度分布決定法に除荷弾性域という概念を導入した異色ある研究といえるが、他面曲率が軸力と曲げモーメントの関数として解析的に与えられないという難点を有している。

上記既往諸研究とは異なり、本研究は、まずBilinear型のくり返し応力-歪関係をもデル化することにより、曲率を曲げモーメントと軸力の関数として一般表示することに成功し、次いでこれを用いて一定軸力とくり返し水平荷重を受けるBeam-Columnの弾塑性挙動の解明を行ない、さらにくり返し荷重を受ける部材の弾塑性たわみ角式を誘導するとともにかかる部材をもつラーメンの弾塑性解析法の確立を企図するものである。

なお本論文では次のごとき仮定を用いる。

- (i) 応力-歪関係はBilinear型とする。 (ii) 断面は変形後も常に平面を保持する。 (iii) 変形は微小とする。

2. 応力-歪関係の一般表示

全てのくり返し応力状態を包含する σ - ϵ 関係を図-1のごとき平行四辺形ABCDにもデル化すれば、これら直線AB, BC, CD, DAに対応する σ - ϵ 関係式はそれぞれ次式のごとく表わされる。

(1) Step 1 (AB部) $\sigma = \mu E(\epsilon - \epsilon_y) + \sigma_y = \mu E[\epsilon - (\epsilon_y - \sigma_y/\mu E)]$, $\epsilon_y \leq \epsilon \leq \epsilon_0$ (1)

ただし, $\epsilon_y = \epsilon_a + 2\epsilon_y$, $\sigma_y = \sigma_a + 2\sigma_y$, ϵ_a, σ_a : A点の歪および応力, ϵ_0, σ_0 : D点の歪および応力

(2) Step 2 (BC部) $\sigma = E(\epsilon - \epsilon_0) + \sigma_0 = E[\epsilon - (\epsilon_0 - \sigma_0/E)]$, $\epsilon_0 \leq \epsilon \leq \epsilon_y$ (2)

ただし, $\epsilon_y = \epsilon_0 - 2\epsilon_y$, $\sigma_y = \sigma_0 - 2\sigma_y$, ϵ_0, σ_0 : B点の歪および応力, ϵ_y, σ_y : C点の歪および応力

(3) Step 3 (CD部) $\sigma = \mu E(\epsilon - \epsilon_y) + \sigma_y = \mu E[\epsilon - (\epsilon_y - \sigma_y/\mu E)]$, $\epsilon_a \leq \epsilon \leq \epsilon_y$ (3)

(4) Step 4 (DA部) $\sigma = E(\epsilon - \epsilon_a) + \sigma_a = E[\epsilon - (\epsilon_a - \sigma_a/E)]$, $\epsilon_a \leq \epsilon \leq \epsilon_y$ (4)

ここで式(1)~式(4)を次式のごとく一般表示し、ただ係数内容のみを変化させることにする。

すなわち, $\sigma = \bar{\mu} E[\epsilon - \bar{\epsilon}]$ (5)

ただし係数 $\bar{\mu}$ および $\bar{\epsilon}$ は表-1に示すごとき内容となる。

3. 曲げモーメントと軸力に対する曲率の関係

一定軸力 N とくり返し曲げモーメント M を受ける矩形断面の応力分布は、負荷、除荷、再負荷時の弾性および弾塑性状態に応じて各種の様相を呈するが、一般にこれら応力分布を直接求めることは困難である。しかし、仕意の応力状態 N および M に対応する歪分布に着目し、引張側および圧縮側の最外縁歪を ϵ

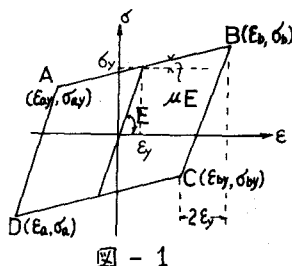


表-1

	$\bar{\mu}$	$\bar{\epsilon}$
Step1 ($\epsilon_y \leq \epsilon \leq \epsilon_0$)	μ	$\epsilon_y - \sigma_y/\mu E$
Step2 ($\epsilon_0 \leq \epsilon \leq \epsilon_y$)	1	$\epsilon_0 - \sigma_0/E$
Step3 ($\epsilon_a \leq \epsilon \leq \epsilon_y$)	μ	$\epsilon_y - \sigma_y/\mu E$
Step4 ($\epsilon_a \leq \epsilon \leq \epsilon_y$)	1	$\epsilon_a - \sigma_a/E$
$\sigma_y = \mu E(\epsilon_y - \epsilon_y) + \sigma_y$ $\sigma_0 = E(\epsilon_0 - \epsilon_y) + \sigma_y$		
$\sigma_a = \mu E(\epsilon_a - \epsilon_y) + \sigma_y$ $\sigma_y = E(\epsilon_y - \epsilon_a) + \sigma_a$		

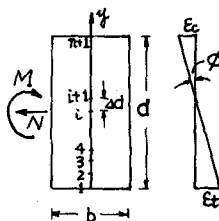


図-2

れもれ $\varepsilon_c(>0)$ および $\varepsilon_c(<0)$ とすれば、その歪分布は仮定(4)の平面保持の法則に基づいて図-2のごとくなり、したがって断面内の任意の高さ y における歪 ε は次式のごとく表わされる。

$$\varepsilon = y/d \cdot (\varepsilon_c - \varepsilon_s) + \varepsilon_s \quad \text{--- (6)}$$

よって、式(6)を式(5)に代入すれば断面内の任意の高さにおける σ は次式のごとくえられることとなる。

$$\sigma = \mu E (\varepsilon - \bar{\varepsilon}) = \mu E [y/d (\varepsilon_c - \varepsilon_s) + \varepsilon_s - \bar{\varepsilon}] \quad \text{--- (7)}$$

次いで内力と外力の釣合より任意の応力状態における M および N は式(7)を用いて次式のごとく算定される。

$$\left. \begin{aligned} N &= \int_A \sigma dA = \int_A \mu E [y/d (\varepsilon_c - \varepsilon_s) + \varepsilon_s - \bar{\varepsilon}] dA \\ M - N d/2 &= \int_A \sigma y dA = \int_A \mu E [y/d (\varepsilon_c - \varepsilon_s) + \varepsilon_s - \bar{\varepsilon}] y dA \end{aligned} \right\} \quad \text{--- (8)}$$

式(8)の積分は、 μ , E は断面内の各点で異なる値となるゆえ、その積分値を近似的に求める必要があり、したがって断面を n 等分すれば、台形公式より式(8)は下記の式(9)になる。

$$\left. \begin{aligned} N &= E \delta \cdot d/2 [a_1 \varepsilon_c + a_2 \varepsilon_s - a_3 \bar{\varepsilon}_y] \\ M - N d/2 &= E \delta \cdot d \cdot d/6 [c_1 \varepsilon_c - c_2 \varepsilon_s + c_3 \bar{\varepsilon}_y] \end{aligned} \right\} \quad \text{--- (9)}$$

$$\begin{aligned} \text{ここに } a_1 &= \sum_{i=1}^n \left\{ \bar{\mu}_i (1 - y_i/d) + \bar{\mu}_{in} (1 - y_{in}/d) \right\}, a_2 = \sum_{i=1}^n \left\{ \bar{\mu}_i y_i/d + \bar{\mu}_{in} y_{in}/d \right\}, a_3 = \sum_{i=1}^n \left\{ \bar{\mu}_i \bar{\varepsilon}_i/\bar{\varepsilon}_y + \bar{\mu}_{in} \bar{\varepsilon}_{in}/\bar{\varepsilon}_y \right\}, \\ c_1 &= \sum_{i=1}^n \left\{ \bar{\mu}_i (2y_i/d + y_{in}/d) (1 - y_i/d) + \bar{\mu}_{in} (y_i/d + 2y_{in}/d) (1 - y_{in}/d) \right\}, c_2 = \sum_{i=1}^n \left\{ \bar{\mu}_i (2y_i/d + y_{in}/d) y_i/d + \bar{\mu}_{in} (y_i/d + 2y_{in}/d) y_{in}/d \right\}, \\ c_3 &= \sum_{i=1}^n \left\{ \bar{\mu}_i (2y_i/d + y_{in}/d) \bar{\varepsilon}_i/\bar{\varepsilon}_y + \bar{\mu}_{in} (y_i/d + 2y_{in}/d) \bar{\varepsilon}_{in}/\bar{\varepsilon}_y \right\}, y_i = (i-1) \Delta d, \Delta d = d/n \end{aligned}$$

ここで式(9)を ε_c , ε_s について連立に解けば次式がえられる。

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_c &= (e_n M/M_y - e_s N/N_y - e) \bar{\varepsilon}_y \\ \varepsilon_s &= (-f_n M/M_y + f_s N/N_y + f) \bar{\varepsilon}_y \end{aligned} \right\} \quad \text{--- (10)}$$

ただし $a_c = a_1 c_2 - a_2 c_1$, $e_n = d/\Delta d \cdot a_2/a_c$, $e_s = d/\Delta d \cdot (3a_2 - 2c_2)/a_c$, $e = (a_2 c_3 - a_3 c_2)/a_c$,

$$f_n = d/\Delta d \cdot a_1/a_c, f_s = d/\Delta d \cdot (3a_1 - 2c_1)/a_c, f = (a_1 c_3 - a_3 c_1)/a_c, N_y = \delta_y \delta d, M_y = \delta_y \delta^2 d/6$$

一方、曲率 ϕ は図-2の歪分布より $\phi = (\varepsilon_c - \varepsilon_s)/d$ となるゆえ、これに式(10)を代入すれば結局所要の M と N の関数として次式のごとく誘導される。

$$\phi = (g_n M/M_y - g_s N/N_y - g) \phi_y \quad \text{--- (11)}$$

$$\text{ここに } g_n = (e_n + f_n)/2, g_s = (e_s + f_s)/2, g = (e + f)/2, \phi_y = 2\bar{\varepsilon}_y/d$$

さらに上式を文献(1)と同じく次式のごとく一般表示し、以後の解初に簡便なるしめる。

$$\phi = \bar{\varepsilon}/EI (M - \bar{M}) \quad \text{--- (12)}$$

ただし $\bar{\varepsilon} = g_n$, $\bar{M} = (g_s N/N_y + g) M_y/g_n$

式(12)の演算ではアータとして M , N を手えるが、当初 $\bar{\varepsilon}$, $\bar{M}$ に含まれる $\bar{\mu}$, $\bar{\varepsilon}$ が未知なるゆえ、まず除荷または再負荷直前時の曲げモーメント M_0 に対応する $\bar{\mu}$, $\bar{\varepsilon}$ を第1次近似値として用い、以後式(4), 式(10), 表-1を用うくり返し試算により、 $\bar{\varepsilon}$, $\bar{M}$ を決定することになる。

4. 一定軸力とくり返し水平力を受けるBeam-Columnの弾塑性解析

図-3に示すごとくBeam-ColumnのB端に一定軸力 P とくり返し水平力 δP が作用するときの弾塑性解析を行なえば以下のごとくである。

まずスパン l を n 等分すれば、第 i 夾の曲げモーメント M_i は次式で表わされる。

$$M_i = -[\delta P (l - i \Delta l) + P (\delta - \delta_i^2)] \quad \Delta l = l/n \quad \text{--- (13)}$$

次に第 i 夾の第 $(i-1)$ 夾に対する相対たわみ δ_i は中-法公式および式(12), (13)を用い

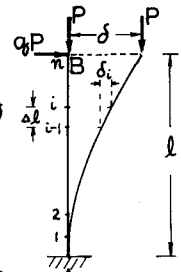


図-3

て次式のごとく求められる。

$$\delta_i = -1/2 \alpha l^2 \phi_i - \alpha l^2 \sum \phi_j \\ = 1/2 \alpha l^2 \bar{\kappa}_i / EI [g p (l - \alpha l) + p (\delta - \sum \delta_j) + M_i] - \alpha l^2 \sum \phi_j \quad (14)$$

一方、B端での水平変位 δ は $\delta = \sum \delta_i$ となるゆえこれに式(14)を代入して δ について解けば結局所要の水平力係数 δ が次式のごとくえられる。

$$\delta = \frac{\delta [1 - 1/2 (\alpha l)^2 p l^2 / EI \sum_{i=1}^n (-1)^{i-1} \bar{\kappa}_{(n+1-i)} Y_n^{(n+1-i)}] - 1/2 (\alpha l)^2 p l^2 / EI \sum_{i=1}^n (-1)^i \bar{\kappa}_{(n+1-i)} Y_n^{(n+1-i)} M_{(n+1-i)} / p}{1/2 (\alpha l)^2 p l^2 / EI \sum_{i=1}^n (-1)^{i-1} \bar{\kappa}_{(n+1-i)} Y_n^{(n+1-i)} \{l - (n+1-i) \alpha l\}} \quad (15)$$

$$\text{ここに } Y_n^{(n+1-i)} = 1/2 (\alpha l)^2 p l^2 / EI \sum_{j=1}^n (-1)^{j-1} (2j-1) \bar{\kappa}_{(n+1-j)} Y_{(n-j)}^{(n+1-j)} + (-1)^{i-1} (2i-1) \quad (15)$$

いま上記誘導の式(15)を用い、 $\delta_y = 3.3 \text{ cm}$, $E = 2.1 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$, 断面高さスパン比 $d/l = 0.1$, 軸力比 $N/N_y = 0.1$, $\sigma - \varepsilon$ の勾配比 $\mu = 0.3$ の場合について数値計算を行なう。図-4はたわみ δ を $\pm 4 \delta_y$ (δ_y : 固定端降伏時のたわみ)まで負荷と除荷をくり返し、最後に $5 \delta_y$ まで再負荷したときの $\delta - \delta$ 関係線である。

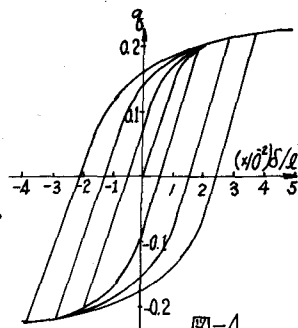


図-4

5. 一定軸力とくり返し曲げを受ける部材の弾塑性たわみ角式の誘導

図-5に示すごとく弾塑性部材ABを考え、4.と同様に部材を n 等分すれば、まず第 i 点での曲げモーメントは次式のごとく表わされる。

$$M_i = M_{AB} (1 - \alpha l / l) - M_{BA} \alpha l / l + P (\sum \delta_j - R_i \alpha l) \quad (16)$$

次いで、第 i 点の第 $(i-1)$ 点に対する相対たわみ δ_i および第 i 点のたわみ角 θ_i を $\phi - \psi$ 法公式より求めればそれぞれ次式のごとくえられる。

$$\delta_i = -1/2 \alpha l^2 \phi_i - \alpha l^2 \sum \phi_j + \alpha l \theta_A \\ \theta_i = -\alpha l \sum \phi_j + \theta_A \quad \text{ただし } \theta_A \text{ は A 端のたわみ角}$$

一方、B端でのたわみ δ およびたわみ角 θ_B は $\delta = R l = \sum \delta_i$ および $\theta_B = -\alpha l \sum \phi_j + \theta_A$ となるゆえ、これらに式(16), (17)を代入すれば δ および θ_B をそれぞれ次式のごとく求められる。

$$\delta = R l = l^2 / EI [M_{AB} \lambda_{AB} - M_{BA} \lambda_{BA} - R p l \lambda_N - M_y \lambda_M] + l \theta_A \lambda_\theta \\ \theta_B = l / EI [M_{AB} \lambda_{AB} - M_{BA} \lambda_{BA} - R p l \lambda_N - M_y \lambda_M] + \theta_A \lambda_\theta \quad (18)$$

ただし $\lambda_{AB} = 1/2 (\alpha l)^2 \sum_{i=1}^n (-1)^{i-1} \bar{\kappa}_{(n+1-i)} Y_n^{(n+1-i)} \{1 - (n+1-i) \alpha l / l\}$, $\lambda_{BA} = \lambda_N = 1/2 (\alpha l)^2 \sum_{i=1}^n (-1)^i \bar{\kappa}_{(n+1-i)} Y_n^{(n+1-i)} (n+1-i) \alpha l / l$,

$\lambda_M = 1/2 (\alpha l)^2 \sum_{i=1}^n (-1)^i \bar{\kappa}_{(n+1-i)} Y_n^{(n+1-i)} M_{(n+1-i)} / M_y$, $\lambda_\theta = \alpha l / l [n - 1/2 (\alpha l)^2 p l^2 / EI \sum_{i=1}^n (-1)^i \bar{\kappa}_{(n+1-i)} Y_n^{(n+1-i)} \{2(n-i) + 1\} \tau_i]$,

$\lambda_{AB} = \alpha l / l \sum_{i=1}^n (-1)^i \bar{\kappa}_{(n+1-i)} S_n^{(n+1-i)} \{1 - (n+1-i) \alpha l / l\}$, $\lambda_{BA} = \lambda_N = \alpha l / l \sum_{i=1}^n (-1)^i \bar{\kappa}_{(n+1-i)} S_n^{(n+1-i)} (n+1-i) \alpha l / l$, $\lambda_M = \alpha l / l \sum_{i=1}^n (-1)^i \bar{\kappa}_{(n+1-i)} S_n^{(n+1-i)} M_{(n+1-i)} / M_y$, $\lambda_\theta = \{1 - p l^2 / EI (\alpha l)^2 \sum_{i=1}^n \tau_i \tau_i\}$, $Y_n^{(n+1-i)} = 1/2 (\alpha l)^2 p l^2 / EI \sum_{j=1}^n (-1)^{j-1} (2j-1) \bar{\kappa}_{(n+1-j)} Y_{(n-j)}^{(n+1-j)} + (-1)^{i-1} (2i-1)$,

$S_n^{(n+1-i)} = 1/2 (\alpha l)^2 p l^2 / EI \sum_{j=1}^n (-1)^{j-1} \bar{\kappa}_{(n+1-j)} Y_{(n-j)}^{(n+1-j)} + (-1)^{i-1}$, $\tau_i = -1/2 (\alpha l)^2 p l^2 / EI \sum_{j=1}^n (2j-1) \bar{\kappa}_{(n+1-j)} \tau_{(n-j)} + i - 1$

式(18)を M_{AB} , M_{BA} について連立に解けば、結局所要の弾塑性たわみ角式が次式のごとく誘導される。

$$M_{AB} = EI / l \{ \alpha_{AB} \theta_A + \beta_{AB} \theta_B + \gamma_{AB} R \} + \sum_{i=1}^n M_y \\ M_{BA} = EI / l \{ \beta_{BA} \theta_A + \alpha_{BA} \theta_B + \gamma_{BA} R \} + \sum_{i=1}^n M_y \quad (19)$$

ここに $\lambda_N = \lambda_{AB} \lambda_{BA} - \lambda_{BA} \lambda_{AB}$, $\alpha_{AB} = -(\lambda_\theta \lambda_{BA} - \lambda_\theta \lambda_{AB}) / \lambda_N$, $\beta_{AB} = -\lambda_M \lambda_N$, $\gamma_{AB} = \{ \lambda_M (1 + p l^2 / EI \lambda_N) - \lambda_M p l^2 / EI \lambda_N \} / \lambda_N$,

$\gamma_{BA} = (\lambda_M \lambda_{BA} - \lambda_M \lambda_{AB}) / \lambda_N$, $\beta_{BA} = -(\lambda_\theta \lambda_{AB} - \lambda_\theta \lambda_{BA}) / \lambda_N$, $\alpha_{BA} = -\lambda_M \lambda_N$, $\gamma_{BA} = \{ \lambda_M (1 + p l^2 / EI \lambda_N) - \lambda_M p l^2 / EI \lambda_N \} / \lambda_N$, $\lambda_{AB} = (\lambda_M \lambda_{BA} - \lambda_M \lambda_{AB}) / \lambda_N$

6. くり返し荷重を受けるラーメンの弾塑性解析法

上記誘導の弾塑性たわみ角式を用いてのくり返し荷重を受けるラーメンの弾塑性解析法は通常の弾性座屈角法と類似であり、以下算符例について解説することとする。

図-6に示すごとき内型ラーメンに一定軸力 P およびくり返し水平力 $2\delta P$ が作用するときのためみ δ と水平力係数 γ との関係を求めれば次のごとくである。

ラーメンの構造形式が対称で荷重条件が逆対称であることを考慮すれば、まず端モーメント式(式(1))より次のごとく式(20)が得られる。

$$\begin{aligned} \text{AB材: } & \left. \begin{aligned} M_{AB} &= EI/l (\beta_{AB} \theta_B + \gamma_{AB} \delta/l) + \gamma_{AB} M_y \\ M_{BA} &= EI/l (\alpha_{BA} \theta_B + \gamma_{BA} \delta/l) + \gamma_{BA} M_y \end{aligned} \right\} \text{--- (20)} \\ \text{BC材: } & M_{BC} = M_{CB} = EI/l (\alpha_{BC} + \beta_{BC}) \theta_B + \gamma_{BC} M_y \end{aligned}$$

B点の節点方程式 $M_{BA} + M_{BC} = 0$ および層方程式 $M_{AB} + M_{BA} = -2Pl - P\delta$ に式(20)を代入のうえ、 θ_B , γ について連立に解けば、節点の θ_B および γ がそれぞれ次のごとくえられる。

$$\begin{aligned} \theta_B &= -\{ \gamma_{BA} \delta/l + (\gamma_{AB} + \gamma_{BA}) M_y / EI l / (\alpha_{BA} + \alpha_{BC} + \beta_{BC}) \} \\ \gamma &= -\{ EI/l \{ (\beta_{AB} + \alpha_{BA}) \theta_B + (\gamma_{AB} + \gamma_{BA}) \delta/l \} + (\gamma_{AB} + \gamma_{BA}) M_y + P\delta \} / Pl \} \end{aligned} \quad \text{--- (21)}$$

式(20)の演算法を述べれば以下のごとくである。

- (1) まずデータとして N/N_y , σ_y , d/l , μ を与えて弾性解析を行なえば、A端の曲げモーメントの絶対値が最大であることが分るゆえ、初期降伏荷重係数 γ_0 および δ のときのためみ δ_0 が初期降伏の条件 $|M_A| = (1 - N/N_y) M_y$ を用いて求められる。
- (2) 次にためみ δ を δ_0 ($> \delta_0$) に増加させた状態に移行し、 δ_0 に対する γ_0 を引き続き M_{AB}, M_{BA}, M_{BC} を弾性的に算出決定する。
- (3) ここで与えた $\gamma_0, M_{AB}, M_{BA}, M_{BC}$ を用いて任意点の曲げモーメント M_i を式(16)より算出し、これに対応する σ_i および M_i を3.で述べた方法により決定する。
- (4) (3)の操作を $i=1$ から順次行ない、ためみ角式の係数 $\beta_{AB}, \gamma_{AB}, \beta_{BA}, \gamma_{BA}, \alpha_{BA}, \gamma_{BA}, \alpha_{BC}, \beta_{BC}, \gamma_{BC}$ を算定し、これを式(21)に代入すれば節点の θ_B および γ をえ、引き続き式(20)より M_{AB}, M_{BA}, M_{BC} を算出する。
- (5) (2)で仮定した γ と(4)で与えた γ とが一致しなければ、再び(2), (4)の操作をくり返し、 γ が収斂するまで行なう。
- (6) さらに δ を増加させて $\delta_1, \delta_2, \dots$ 上記(4)~(5)の操作をくり返し、さらに除荷および再負荷の場合も同様の手法で行えば、以上の(1)~(6)を $\pm 4\delta_0$ まで負荷と除荷をくり返し演算すれば $\gamma-\delta$ 曲線がえられる。

7. 結言

本法によって一定軸力とくり返し荷重を受けるラーメンの弾塑性挙動が歪硬化の影響をも考慮して解明されることとなるが、さらに認めるべき特色として、第1にBilinear型のくり返し応力-歪関係を平行四辺形にモデル化することにより、M- ϕ 関係式を解析的に一般表示可能ならしめたことであり、第2はこのM- ϕ 関係式を用いてくり返し荷重を受ける部材の弾塑性ためみ角式を誘導した点である。

なお本法によればくり返し荷重を受けるアーチおよび山形ラーメンの弾塑性解析も可能となり、その適用範囲は極めて広汎な一般解法といえる。

参考文献 1) 山崎石川 松隈: くり返し荷重を受ける連続梁の弾塑性解析, 土木学会第23回年次学術講演概要, 昭和43年10月

2) 藤本 利雄: 繰返し荷重を受ける鉄骨断面の弾塑性解析に関する研究, 第1, 2, 3, 4, 5報, 建築学会論報, 第117, 121, 122, 124, 133号, 昭和40.11, 41.3, 4, 6, 42.3, 繰返し荷重をうける鋼構造物の歪硬化モデルを用いた弾塑性解析, 建築学会論報, 第145号, 昭和43

年3月, 3) Igarashi, Toga, Takada and Koyanagi: Plastic Behavior of Steel Frames under Cyclic Loadings, Trans. A.I.J. No. 130,

Dec. 1966 4) Wakahayashi, Monoh, and Matsui: An Experimental Study on the Inelastic Behavior of Steel Frames Subjected to Vertical and Horizontal Loading, Bull. Div. Prev. Inst. Kyoto Univ., Vol. 17, Part 2, No. 117, July, 1967