I-62　繰返し荷重をうける構造物の荷重－変形関係について

信州大学工学部　正員　草間　孝志
(株)宮地鉄工所　正員　○松沢　勝文

1．まえがき

繰返し荷重をうける構造物の変形について述べたもので，負荷履歴が与えられた構造物の変形を，M－φ関係を忠実に利用して計算した場合と，理想化したM－φ関係を用いて計算した場合について求め，両者の結果を比較検討した．

2．繰返し断面力をうけるときのM－P－φ関係

いま，ある断面がある任意の履歴のもとに，軸力P_*　曲げモーメントM_*　曲率ϕ_*　ひずみ分布ε_*　垂直応力度分布σ_*　の状態でつり合っており，つぎに，この状態から再負荷または除荷（以下単に除荷とよぶ）した軸力，曲げモーメントをP'，M'　とし，これにともなう曲率，ひずみ，垂直応力度分布の変化をϕ'，ε'，σ'とし，$p=P/P_y$，$m=M/M_y$，$\varphi=\phi/\phi_y$，$\alpha=\varepsilon/\varepsilon_y$　とおくと，除荷後では

$$p=p_*+p',\quad m=m_*+m',\quad \varphi=\varphi_*+\varphi',\quad \alpha=\alpha_*+\alpha',\quad \sigma/\sigma_y=\sigma_*/\sigma_y+\sigma'/\sigma_y \qquad (1)$$

となる．図－1に示すような一軸対称断面の高さHを$(2u+1)$等分し，幅Bを$(2v+1)$等分したij要素の履歴応力，履歴ひずみをσ_{*ij}，ε_{*ij}　とし，材料の応力－ひずみ関係をBi－linearと仮定すると，ij要素の$\sigma'_{ij}-\varepsilon'_{ij}$　関係は図－2に示すように，原点OをO'　に座標移動した応力－ひずみ関係を有する材料として取扱えばよい．簡単なため，i軸に関し履歴応力，履歴ひずみとも対称とし，曲げモーメントm'もj軸まわりにのみ作用するものとすると，曲率変化もj軸まわりのみを考えればよいから，$\mu=\phi_y h_1/\varepsilon_y$　とおくと，除荷ひずみ分布は

$$\alpha'_{ij}=\alpha'_{oo}+\mu\varphi' i \qquad (2)$$

で表わされる．軸力は図心Gに作用し，圧縮を正とすると，除荷時のつり合い条件式より

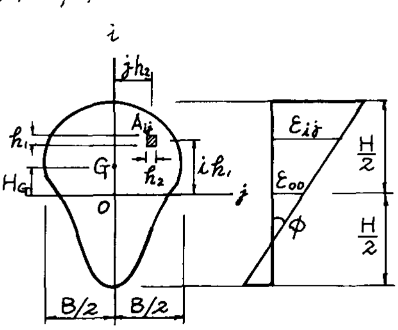
$$\left.\begin{aligned} p'&=[k_{st}+(1-k_{st})A_e]\alpha'_{oo}+\mu[\beta k_{st}+(1-k_{st})G_e]\varphi'+(1-k_{st})C_p \\ m'/\gamma&=[\beta k_{st}+(1-k_{st})G_e]\alpha'_{oo}+\mu[k_{st}/(\mu\gamma)+\beta^2 k_{st}+(1-k_{st})I_e]\varphi'+(1-k_{st})D_p-\beta p' \end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

を得る．ここに，$\beta=H_G/h_1$，$h_1=H/(2u+1)$，$\gamma=h_1/s$，s＝核半径

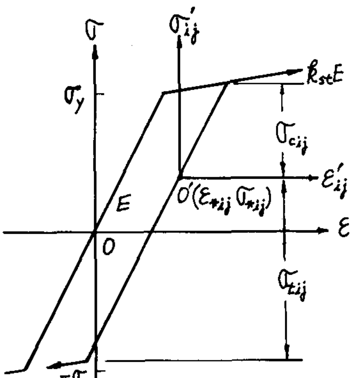
$A_e=-\alpha_{tij}\leq\alpha'_{ij}\leq\alpha_{cij}$　を満足する要素のa_{ij}の和，

$G_e=-\alpha_{tij}\leq\alpha'_{ij}\leq\alpha_{cij}$　を満足する要素の$a_{ij}i$の和，

$I_e=-\alpha_{tij}\leq\alpha'_{ij}\leq\alpha_{cij}$　を満足する要素の$a_{ij}i^2$の和，



図－1



図－2

C_p＝($\alpha'_{ij}>\alpha_{cij}$を満足する要素の$a_{ij}\frac{\sigma_{cij}}{\sigma_y}$の和)－($\alpha'_{ij}<-\alpha_{tij}$を満足する要素の$a_{ij}\frac{\sigma_{tij}}{\sigma_y}$の和)，

D_p＝($\alpha'_{ij}>\alpha_{cij}$を満足する要素の$a_{ij}\frac{\sigma_{cij}}{\sigma_y}i$の和)－($\alpha'_{ij}<-\alpha_{tij}$を満足する要素の$a_{ij}\frac{\sigma_{tij}}{\sigma_y}i$の和)，

$a_{ij}=A_{ij}/A$である．式(3)をα'_{oo}，φ'について解くと，α'_{oo}，φ'　は次の形で与えられる．

$$\alpha'_{oo}=A_1p'+B_1m'+C_1,\qquad \varphi'=A_2p'+B_2m'+C_2 \qquad (4)$$

式(1)，(2)，(4)より，断面力が繰返し作用するときの $M-P-\Phi$ 関係を得る。計算結果の一例を図－3，4に示した。図－3は $P=0.4P_y$ で，Mが $\pm 1.2M_y$ の繰返しの場合，図－4は $M=1.2M_y$ で P が $\pm 0.4P_y$ の繰返しの場合である。

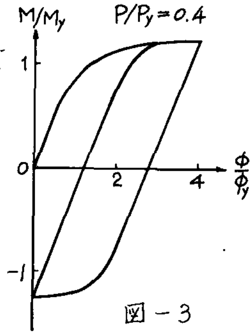
特別な場合として，全要素が弾性ならば

$$\alpha'_{oo}=p'-\mu\beta m',\quad \varphi'=m' \qquad (5)$$

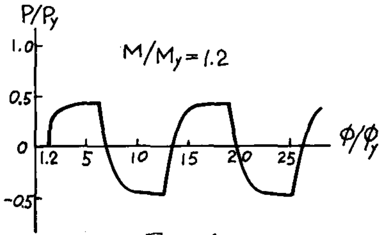
除荷時の弾性条件 $-\alpha_{cij}\le\alpha'_{ij}\le\alpha_{cij}$ より

$$-1-\sigma_{xij}/\sigma_y\le p'+\mu(i-\beta)m'\le 1-\sigma_{xij}/\sigma_y$$

を得る．上式を満足する領域を全要素について図示すると，除荷弾性域を表わす図－5の凸多角形ができる。



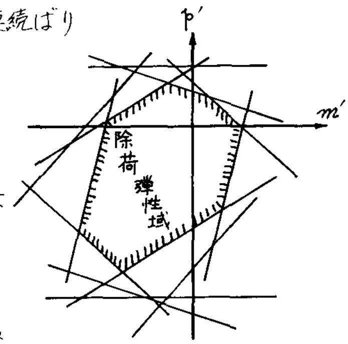
図－3



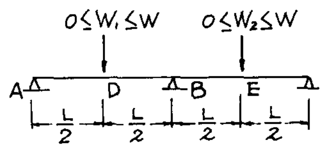
図－4

3．繰返し荷重をうける二径間連続ばり

図－6に示す連続ばりの変形について考える。断面が長方形断面とすると，この桁の単純崩壊荷重は $W_o=6M_p/L=9M_y/L$ で，変形硬化荷重は $W_s=5.05M_p/L=7.58M_y/L$ となる．M－Φ関係を用いて，忠実に変形を計算するには，点Aの反力とたわみ角を仮定し，Aより右に向って逐次たわみを計算する．そして，BC点のたわみ $\delta_B=\delta_C=0$ を満足する解を見出せばよい．計算結果の一例を図－7に示す．この図からもWが約 $7.6M_y/L$ で変形硬化することがわかり，$W_s=7.58M_y/L$ と一致している．図－8，9は理想化したM－Φ関係による解（点線）と，M－Φ関係を忠実に用いて計算した精解（実線）との比較を示す．図－8は変形硬化する例で，図－9は漸増崩壊する例である．変形硬化する場合でも，実線と点線とではかなりの差を認める。



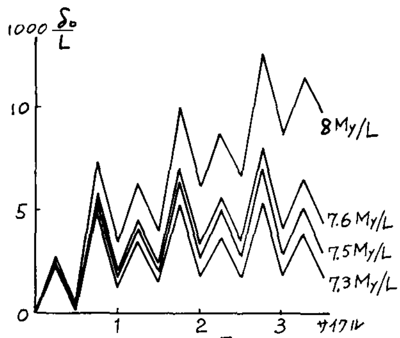
図－5



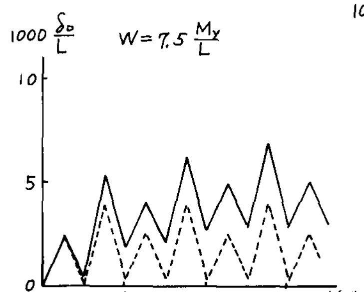
負荷過程

	W_1	W_2
1サイクル	0	0
	W	W
	0	0
	W	0
	0	0

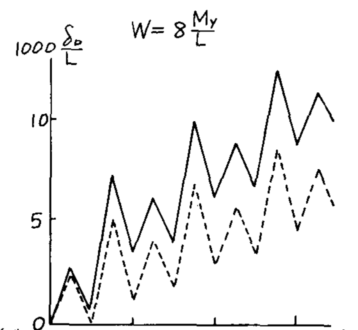
図－6



図－7



図－8



図－9

4．結び

I形断面では，これ程の差はないと考えられるが，変形を重視する必要のある構造物では，変形硬化荷重のみならず，変形に関する検討の必要性を感ずる．Meyerはひずみ硬化の影響について論じているが，(ASCE, Vol.98, No.ST1, Jan. 1972)，これについても今後検討したいと考えている。