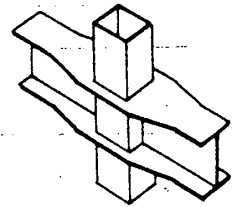


鋼管柱をもつ骨組のエネルギー吸収  
— 漸増荷重時のエネルギー計算 —

X4. 数値解析 Y3. 柱, はり接合部 Z1. エネルギー吸収量  
Y6. ラーメン

正金眞 ○ 山 成 量\*\*  
岡 金 谷 弘\*

はじめに、外ダイアフラム補強接合部 (Fig. 1) を持つ鋼管骨組では、接合部局部変形が生ずることが知られている。大きい外力が骨組に作用して骨組の部材は塑性領域に達すると、塑性ひずみエネルギーが消費される。本論では接合部変形の変形エネルギーが骨組の全エネルギーに与える寄与を明らかにするための算出法を示し、計算例を示す。



構成部材の復元力特性、総ての部材の変形成分に対して Fig. 2 に示す bi-linear の復元力特性を仮定する。Fig. 2 に示すように部材の復元力は、完全弾性体 (1 点鎖線) と完全弾塑性体 (破線) の重ね合わせで得られる。この復元力に対応する部材の力学的モデルは Fig. 3 のように表わすことができる。<sup>(1)</sup> ここで完全弾性体を E 材、完全弾塑性体を EP 材と呼ぶことにする。以下、骨組構成部材について弾塑性ひずみエネルギーを上述の仮定によって導く。

Fig. 1 Connection

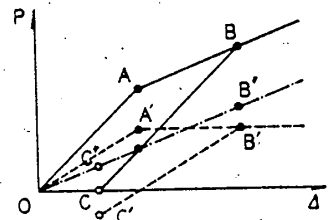


Fig. 2 P-Δ relationship

1) 線材の曲げひずみエネルギー (bW)

骨組の柱、はり材の両端に作用する曲げモーメントは時計回り方向を正とする。こゝでのエネルギー算出はヒンジ法による解に対して行うものとし、かつひずみの戻りはないものとする。E 材と EP 材の材端回転角の関係は、

$$E\theta_{ij} = EP\theta_{ij} = \theta_{ij}, \quad E\theta_{ji} = EP\theta_{ji} = \theta_{ji} \quad (1)$$

である。ただし、 $i, j$  は部材端番号を表わす。

弾性域における E 材と EP 材の部材力は剛性に比例して分配されるから、

$$EM_{ij} = p \cdot M_{ij}, \quad EP M_{ij} = g \cdot M_{ij}, \quad EM_{ji} = p \cdot M_{ji}, \quad EP M_{ji} = g \cdot M_{ji} \quad (2)$$

ただし、 $p + g = 1$

$$\theta_{ij} = \frac{p M_{ij} l}{3 E I} - \frac{p M_{ji} l}{6 E I}, \quad \theta_{ji} = -\frac{p M_{ij} l}{6 E I} + \frac{p M_{ji} l}{3 E I} \quad (3)$$

ここに、 $E I$  は E 材の断面 2 次モーメント ( $E I = p \cdot I$ )、 $E$  はヤング係数、 $l$  は材長。

また、EP 材の i 端のみが降伏した場合、EP 材の i 端には塑性モーメント  $g \cdot M_p$  を越える応力は生じることはない。従って両端の変形は次式で与えられる。

$$\theta_{ij} = \frac{(M_{ij} - g \cdot M_p) l}{3 E I} - \frac{p M_{ji} l}{6 E I}, \quad \theta_{ji} = -\frac{(M_{ij} - g \cdot M_p) l}{6 E I} + \frac{p M_{ji} l}{3 E I} \quad (4)$$

同様に j 端のみが降伏した場合の材端回転角は

$$\theta_{ij} = \frac{p M_{ij} l}{3 E I} - \frac{(M_{ji} - g \cdot M_p) l}{6 E I}, \quad \theta_{ji} = -\frac{p M_{ij} l}{6 E I} + \frac{(M_{ji} - g \cdot M_p) l}{3 E I} \quad (5)$$

となる。

両端が降伏した場合は次式となる。

$$\theta_{ij} = \frac{(M_{ij} - g \cdot M_p) l}{3 E I} - \frac{(M_{ji} - g \cdot M_p) l}{6 E I}, \quad \theta_{ji} = -\frac{(M_{ij} - g \cdot M_p) l}{6 E I} + \frac{(M_{ji} - g \cdot M_p) l}{3 E I} \quad (6)$$

以上から線材  $ij$  の曲げひずみエネルギーを降伏曲げひずみエネルギーで除して無次元化したものを  $w_{ij}$  とする。

$$w_{ij} = bW_{ij} / bW_p = \left[ \int_0^{\theta_{ij}} M_{ij} d\theta_{ij} + \int_0^{\theta_{ji}} M_{ji} d\theta_{ji} \right] / \frac{M_p^2 l}{6 E I} \quad (7)$$

式 (7) に式 (2) ~ (6) を代入して Table 1 の結果を得る。Table 1 は Fig. 4 のように 1 本の線材が吸収し得る空間で図示できる。 $w$  は無次元化曲げモーメント ( $M/M_p$ ) である。Fig. 4 には Fig. 5 に示す骨組のはり材の曲げひずみエネルギーの変化をも図示した。

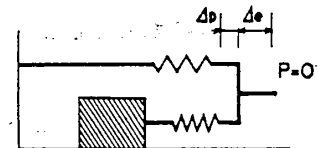
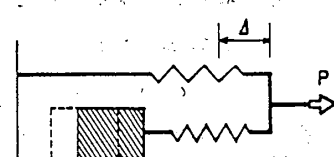
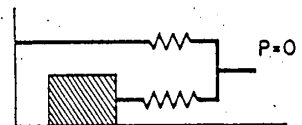


Fig. 3 Model of behavior

Table 1 Non-dimensional energy accumulated in a bending member

Case	Mode	$\bar{M}_i$	$\bar{M}_j$	$\bar{\theta}$	$\bar{U} (U_p/EI_p)$
1	L	$\bar{M}_i$	$\bar{M}_j$	$\frac{\bar{M}_i}{2EI} - \frac{\bar{M}_j}{2EI}$	$\bar{U}_1 = \frac{1}{2}(\bar{M}_i^2 + \bar{M}_j^2)$
	R	$\bar{M}_j$	$\bar{M}_i$	$-\frac{\bar{M}_j}{2EI} + \frac{\bar{M}_i}{2EI}$	
2	L	$\bar{M}_i - 3\bar{M}_p$	$\bar{M}_j$	$\frac{(\bar{M}_i - 3\bar{M}_p)}{3EI} - \frac{\bar{M}_j}{3EI}$	$\bar{U}_2 = \frac{1}{3}(\bar{M}_i^2 - 3\bar{M}_i\bar{M}_j + \bar{M}_j^2)$
	R	$\bar{M}_j$	$\bar{M}_i - 3\bar{M}_p$	$-\frac{\bar{M}_j}{3EI} + \frac{(\bar{M}_i - 3\bar{M}_p)}{3EI}$	
3	L	$\bar{M}_i$	$\bar{M}_j$	$\frac{\bar{M}_i}{2EI} - \frac{(\bar{M}_i + \bar{M}_j)}{6EI}$	$\bar{U}_3 = \frac{1}{6}(\bar{M}_i^2 + \bar{M}_j^2 + \bar{M}_i\bar{M}_j)$
	R	$\bar{M}_j$	$\bar{M}_i$	$-\frac{\bar{M}_j}{2EI} + \frac{(\bar{M}_i + \bar{M}_j)}{6EI}$	
4	L	$\bar{M}_i - 3\bar{M}_p$	$\bar{M}_j$	$\frac{(\bar{M}_i - 3\bar{M}_p)}{3EI} - \frac{(\bar{M}_i + \bar{M}_j)}{6EI}$	$\bar{U}_4 = \frac{1}{6}(\bar{M}_i^2 + \bar{M}_j^2 - \bar{M}_i\bar{M}_j)$
	R	$\bar{M}_j$	$\bar{M}_i - 3\bar{M}_p$	$-\frac{\bar{M}_j}{3EI} + \frac{(\bar{M}_i + \bar{M}_j)}{6EI}$	

Note:  $\bar{M}_i = M_i/EI_p$ ,  $\bar{M}_j = M_j/EI_p$ ,  $\bar{\theta} = \theta/EI_p$

2) 線材の軸ひずみエネルギー ( $nW$ )

線材  $ij$  に軸力  $N_{ij}$  が存在するときのひずみエネルギー  $nW_{ij}$  は

$$nW_{ij} = \int N_{ij} \cdot d\delta_{ij} \quad (8)$$

ただし、 $\delta_{ij}$  は線材  $ij$  の軸変形である。

3) 線材のせん断ひずみエネルギー ( $sW$ )

線材  $ij$  にせん断力  $Q_{ij}$  が存在するときのひずみエネルギー  $sW_{ij}$  は

$$sW_{ij} = \int Q_{ij} \cdot dV_{ij} \quad (9)$$

ただし、 $V_{ij}$  は材軸に直角方向に生ずる変形である。

4) 接合部パネルのせん断ひずみエネルギー ( $psW$ )

接合部パネル  $i$  ー  $n$  に作用するパネルせん断力  $psQ$  に対するせん断ひずみエネルギー  $psW_i$  は

$$psW_i = \int psQ_i \cdot D_i \cdot d\gamma_i \quad (10)$$

5) 接合部の局部変形エネルギー ( $plW$ )

局部変形  $\alpha_i$  をはりフランジのみの関数であるとする<sup>(2)</sup>

$$\alpha_i = f(P_i), \quad fP: \text{はりフランジカ} \quad (11)$$

従って、局部変形エネルギーは次式で与えられる。

$$plW_i = \int f P_i \cdot D_i \cdot d\alpha_i \quad (12)$$

以上、各部材の吸収エネルギーを得た。骨組全体の吸収エネルギー  $W$  は

$$W = \sum bW_{ij} + \sum nW_{ij} + \sum sW_{ij} + \sum psW_i + \sum plW_i \quad (13)$$

で求められる。

計算例. Table 2 の部材をもつ Fig. 5 の骨組を例題として、全体吸収エネルギーに対する各成分の寄与を求めると Fig. 6 のようになる。

結語. 骨組の部材と接合部の吸収エネルギーの計算法を示し、骨組中の全吸収エネルギーに対する各変形成分に対応したエネルギー分布を求めた。

—参考文献—

- (1) 武藤清: 耐震設計シリーズ / 応用編 構造物の動的設計, 丸善, 昭和52年1月
- (2) 山成實, 金谷弘: 骨組の弾塑性挙動に及ぼす局部変形の影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭56年9月

\* 神戸大学教授 工博, \*\* 同 大学院生

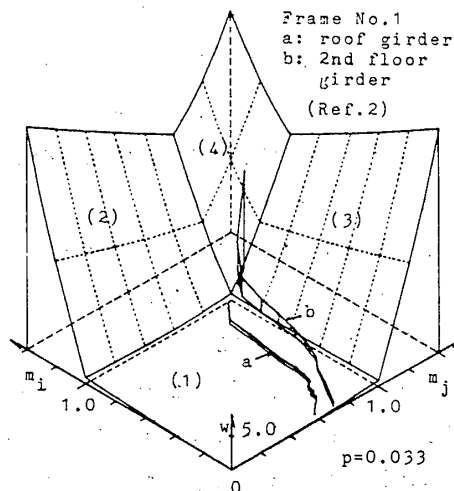


Fig. 4 Bending energy space

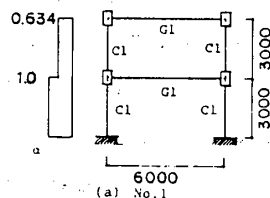


Fig. 5 Frame (a: base shear)

Table 2 Member list

Column (mm)		A (cm <sup>2</sup> )	I (cm <sup>4</sup> )	$\bar{v}_m$
C1	H-400x200x8x12	114.2	10810	2.01
C2	H-350x150x12	62.2	4020	2.01
Beam (mm)		A (cm <sup>2</sup> )	I (cm <sup>4</sup> )	$\bar{v}_m$
B1	H-400x200x8x12	84.2	24700	2.81
B2	H-296x199x8x12	101.2	21200	2.41

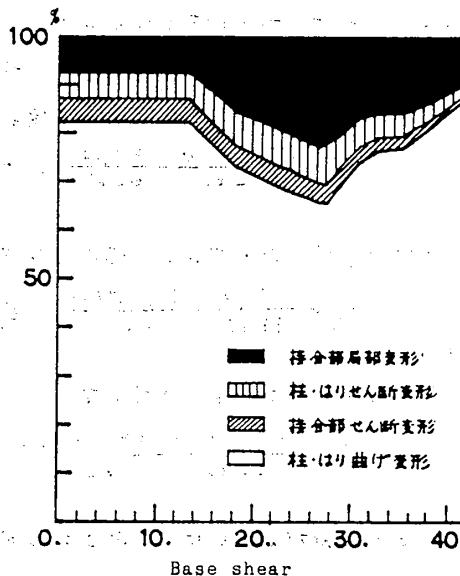


Fig. 6 Distribution of accumulated energy