

立体ラーメンの非弾性応答解析に関する基礎的研究

阿南工業高等専門学校 正員 ○笹田 修司
徳島大学工業短期大学部 正員 平尾 潔

1. まえがき

構造物の耐震安全性を解析的に評価する場合には、構造材料の降伏現象と同時に、構造物ならびに 入力地震の3次元的な挙動を考慮した応答解析が必要となる。しかし、現時点では、①解析法が非常に複雑になること、②解析に高速で大型の計算機を必要とすること、などから、これらの3次元的な挙動を その妥当性に対する十分な検証なしに、便宜上、2次元的な挙動に置き換えた平面解析によって、近似的に評価している。それゆえ、構造物の耐震安全性を、現在のような2次元的な応答解析から評価するとすれば、その妥当性の検証ならびに、3次元的な立体応答との相違点を明確にしておく必要がある。そこで、本研究では、剛心と重心の一致しない立体ラーメンを対象として、2, 3の数値計算を行ない、2次元応答(平面解析)と3次元応答(立体解析)における最大応答値の相違について、若干の比較検討を行なった。

2. 解析法の概要

非弾性応答解析を実施するにあたって、本研究では、部材の降伏は、材端のみに集中して生じ、その際の材端の曲げモーメント M と回転角 θ の関係は、図1に示すような、バイリニア型の復元力特性を有するものとした。また、この場合の降伏条件式については、近似的に、日本建築学会で提案されている軸力による影響を考慮した塑性条件式と弾性限界式との平均を降伏条件式として用い、バイリニア型の復元力特性に起因するひずみ硬化の影響については、降伏条件式の移動硬化の法則に準じて、原点移動型として対応した。具体的には、断面の主軸を図2に示すように、 y 軸(弱軸)、 z 軸(強軸)とし、 y 軸、 z 軸まわりの曲げモーメントを M_y, M_z 、軸力を N として、次式のような降伏条件式を用いた。

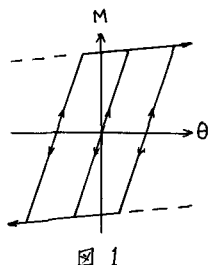


図 1

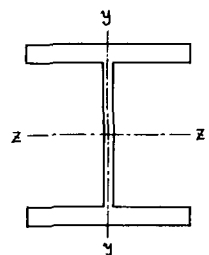


図 2

$$F_y = \left\{ \left| \frac{N - N_0}{N_Y} \right| + \left| \frac{M_y - M_{y0}}{M_{py}} \right| + \left| \frac{M_z - M_{z0}}{M_{pz}} \right| + \left| \frac{M_y - M_{y0}}{M_{pcy}} \right| + \left(\frac{M_z - M_{z0}}{M_{pcz}} \right)^2 \right\} / 2 = 1 \quad (1)$$

ただし、 N_Y : 降伏軸力、 M_{py}, M_{pz} : 降伏モーメント、 M_{pcy}, M_{pcz} : 軸方向力による低減を考慮した塑性モーメント、 N_0, M_{y0}, M_{z0} : 移動硬化における降伏条件式の原点、であり、 M_{pcy}, M_{pcz} は、次式のようなのである。

$$\left. \begin{aligned} \frac{|N|}{N_Y} \leq \frac{A_w}{A} \text{ のとき } M_{pcy} &= M_{py}, \quad \frac{|N|}{N_Y} > \frac{A_w}{A} \text{ のとき } M_{pcy} = \left\{ 1 - \left(\frac{|N| - N_{wY}}{N_Y - N_{wY}} \right)^2 \right\} M_{py} \\ \frac{|N|}{N_Y} \leq \frac{A_w}{2A} \text{ のとき } M_{pcz} &= M_{pz}, \quad \frac{|N|}{N_Y} > \frac{A_w}{2A} \text{ のとき } M_{pcz} = 1.14 \left(1 - \frac{|N|}{N_Y} \right) M_{pz} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ただし、 M_{py}, M_{pz} : 全塑性モーメント、 N_{wY} : ウェブの降伏軸力、 A : 断面積、 A_w : ウェブ断面積である。

運動方程式については、静的縮合により、3軸まわりの回転を消去して、並進3方向のみについて立て、減衰項は、剛性比例型とした。運動方程式の解法については、増分法により、線形加速度法を用いて、数値積分を行なった。その際の時間間隔としては、対象とするラーメンの最小固有周期の1/20程度を目安として、入力加速度記録の時間間隔が、整

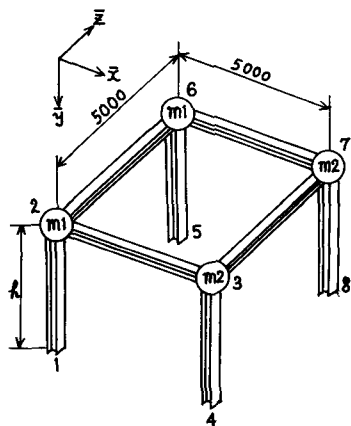


図 3

数等分されるようにし、剛性に変更のあるような時間、すなわち、降伏あるいは除荷を生ずる直前の時間では、適宜、降伏条件式をある誤差内で満足するように時間間隔を小さくして解析した。

3 数値計算例

解析の対象とした立体ラーメンは、図3に示したような形状のものであり、解析は、最初に、静的解析により、各質点の重量に対する死荷重応力を求め、次いで、EL-CENTRO 1940 NS成分を、最大加速度400 gal、継続時間20秒として、 $\bar{x}$ 方向に入力して、非弾性応答解析を行ない種々の最大応答値を求めた。詳細については、講演会当日発表するが、ここでは、その一部として、表1に示す

表 1

	部材断面	質点重量
柱	H-250×250×9×14	m1 3ton
はり	H-350×175×7×11	m2 3ton~5.5ton

$R=3500$

ような、断面および質点重量で解析した結果を図4~図6に示す。図4および図5は、 $\bar{x}$ 方向の最大応答水平変位および最大応答せん断力の立体解析で得られた結果(添字S)と平面解析で得られた結果(添字P)を比で比較したものであり、図6は、立体解析で得られた $\bar{x}$ 方向と $\bar{y}$ 方向の最大応答水平変位の比を示したものである。ここで、偏心比 $\bar{e}_x$ は、 $\bar{e}_x = e_x / i$ で表わされるもので、 $\bar{x}$ 方向の偏心距離 e_x および回転半径 i は、式(3)のようである。

$$\left. \begin{aligned} e_x &= \sum K_{\bar{x}} l_{\bar{x}} / \sum K_{\bar{x}} \\ i &= \sqrt{I / m} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ただし、 $l_{\bar{x}}$ は、 $\bar{x}$ 方向剛性 $K_{\bar{x}}$ の重心を原点とする重心座標系の位置であり、 $\bar{x}$ 方向剛性 $K_{\bar{x}}$ は、柱の断面2次モーメントで近似した。

また、表3は、表2に示すような断面および質点重量のラーメンを対象として、 $\bar{x}$ 方向および $\bar{y}$ 方向に、EL-CENTRO 1940 EW成分およびNS成分を、2方向入力した最大応答水平変位を示したものである。

4. まとめ

本研究では、偏心している立体ラーメンに対して、

地震荷重に対する応答を、立体解析ならびに平面解析

を行ない比較した。その結果、対称な立体骨組が対称軸に沿って、1方向入力を受ける場合の弾性および非弾性解析、ならびに水平2方向入力を受ける場合の弾性解析では、平面応答の重ね合せにより立体応答が得られる。しかし、それ以外の場合は、各最大応答値に差が生じ、重ね合せは成り立たなくなり、正確には、立体解析を行なう必要のあることが明らかとなった。

参考文献

- 1) 日本建築学会：鋼構造塑性設計指針，技報堂，1975，1945~59
- 2) 柴田明徳：最新耐震構造解析，森北，1981，pp265~272

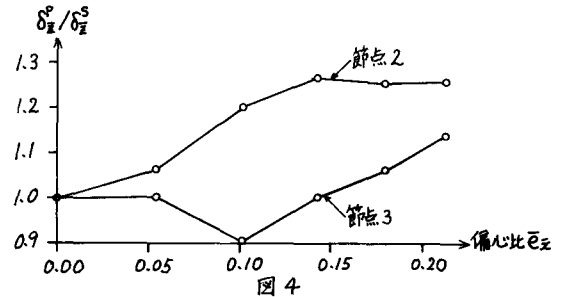


図 4

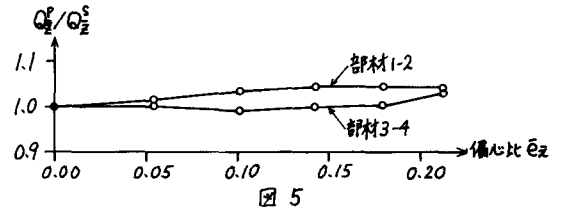


図 5

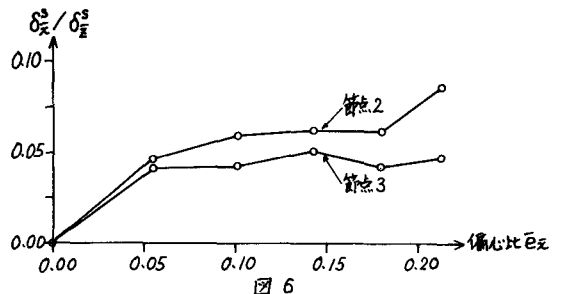


図 6

表 2

	部材断面	質点重量
柱	H-300×300×10×15	m1 5ton
はり	H-350×175×7×11	m2 5ton

$R=4000$

表 3

最大応答水平変位 (cm)	弾性解析		非弾性解析	
	$\bar{x}$ 方向	$\bar{y}$ 方向	$\bar{x}$ 方向	$\bar{y}$ 方向
節点2				
立体	0.743	2.338	0.747	1.852
平面	0.743	2.338	0.743	1.906
節点3				
立体	0.743	2.338	0.747	1.808
平面	0.743	2.338	0.743	1.906