

I-21

剛体-バネモデルによる
骨組構造の解析について

三菱自動車工業(株)	正 員	安念秀剛
北海道大学工学部	正 員	佐藤浩一
北海道大学工学部	正 員	林川俊郎
北海道大学工学部	正 員	小幡卓司
北海道大学工学部	正 員	平沢秀之

1. はじめに

塑性解析は、骨組構造をはじめ、薄肉構造、地盤、コンクリート構造などの幅広い分野において利用されている。特に、有限要素法によるその解析は、今日、最も一般的なものとなっている。

最近では、塑性力学の進歩にともない構造体の非線形挙動を扱った構造解析が行われるようになってきている。このような流れの中で、川井^{1), 2)}は、固体が载荷の極限においては、いくつかのブロックからなるリンク機構を形成して剛体運動を起こし、不安定になっていく実験的事実に着目して、1976年に有限個の剛体ブロックを分布バネで結合した「剛体-バネモデル」と称する離散系力学モデルを発表した。これが、RBSM (Rigid-Bodies Spring Model)と呼ばれている。

骨組構造の一般的な解析方法として3次元梁要素モデルによる有限要素解析があるが、本論文は、剛体-バネモデル3次元12自由度梁要素および2次元6自由度梁要素による骨組構造(格子桁)の塑性解析を行い、塑性ヒンジ法による有限要素解析の解析結果と比較し、検討するものである。

2. 解析手法

ここでは、面外荷重を受ける2次元梁要素の場合の解析手法について述べる。計算の便宜上、以下の事を仮定する(Fig. 1)。

1) 梁要素の断面の中心線(図心線)は直線である。 2) 断面形状は一樣で変形しない。 3) 図心軸にZ軸をとる。 4) 自由度は要素重心にとる。

この場合の剛体-バネモデルの剛体変位は、

$$(v_1, \theta_1, \chi_1 | v_2, \theta_2, \chi_2) \quad \dots(1)$$

で与えられ、それに対する応力は、

$$(Y_1, L_1, N_1 | Y_2, L_2, N_2) \quad \dots(2)$$

である(Fig. 2)。

また、2要素間にはZ軸方向(部材軸方向)の変位wに抵抗するバネと、X軸、Y軸方向(部材軸直角方向)の変位u、vに抵抗するバネがあり、この3種類の分布バネにより連結されていると考える。剛体-バネモデルの場合、バネが降伏するとその境界辺ですべりが生じると考える。なお、本解析においては荷重増分法(山田^{4), 5)}の方法)を用いた。また、破壊条件式としてVon Misesの条件を用いた。

3. 両端固定梁の数値計算例

格子桁の解析を行うにあたり、両端固定梁をFig. 3のように梁要素として、また、同じ両端固定梁をFig. 4のように平面要素として、RBSMとFEMで解析し、「梁要素のRBSM」による極限荷重値を、「平面要素のRBSM」による極限荷重値と比較してみる。

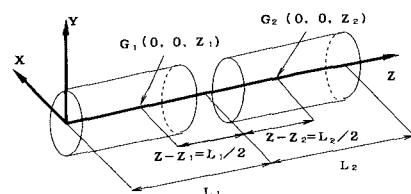


Fig. 1 面外荷重を受ける2次元梁要素

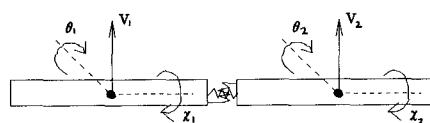


Fig. 2 梁要素の剛体変位とバネ

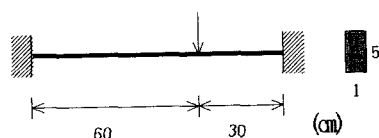


Fig. 3 両端固定梁(梁要素として)

荷重と載荷点変位との関係をFig. 5に示す。「梁要素のRBSM」による極限荷重値は、「平面要素のRBSM」による極限荷重値とほぼ同じになることがわかった(Fig. 5)。これが確認されることにより、骨組構造(格子桁)の極限解析を、「梁要素のRBSM」のプログラムにより行うことができる。

4. 格子桁の数値計算例

Fig. 6のような、主桁3本、横桁4本の格子桁の中央に鉛直方向下向き(Y軸負の方向)の荷重を載荷し、RBSMにより極限荷重とバネのすべり(塑性化)の進展を追跡する。また、同様に、FEM(塑性ヒンジ法)により極限荷重と塑性ヒンジの発生を追跡する。

主桁、横桁ともにI型断面とし、断面諸元と材料定数は、 $I_x=67704[\text{cm}^4]$ 、 $I_y=7205[\text{cm}^4]$ 、 $I_{xy}=0[\text{cm}^4]$ 、 $I_p=74909[\text{cm}^4]$ 、 $J=103[\text{cm}^4]$ 、 $M_{yp}=7145445[\text{kgfcm}]$ (全塑性曲げモーメント)、 $T_{sp}=147578[\text{kgfcm}]$ (全塑性純ねじりモーメント)である。

RBSMでは、節点数66、要素数71。FEMでは節点数19、要素数24となる。境界条件は全て固定端とする。RBSMの境界条件の処理については、部材端に微小要素を設定しその要素について行うものとする。また、主桁と横桁の接合部においては、微小要素が3ないしは4突き合わされる形となる。極限荷重と載荷点変位との関係はFig. 7に示す。また、バネのすべりの発生(RBSM)と塑性ヒンジの発生(FEM)は、それぞれFig. 8、Fig. 9に示す。

5. おわりに

格子桁の極限解析を「剛体-バネモデル」と「塑性ヒンジ法による有限要素解析」で行った。RBSMによる極限荷重値とバネのすべりの発生は、有限要素解析による極限荷重値と塑性ヒンジの発生とほぼ同じであった。一般的に、この種の解析には有限要素解析が行われているが、本研究でのRBSMも十分適用できることがわかる。

〈参考文献〉

- 1)川井忠彦：離散化極限解析法概論、培風館、1991。
- 2)川井忠彦、竹内則雄：離散化極限解析プログラミング、培風館、1990。
- 3)竹内則雄：地盤力学における離散化極限解析、培風館、1991。
- 4)山田嘉昭：塑性、粘弾性、培風館、1980。
- 5)山田嘉昭：マトリックス法材料力学、培風館、1980。

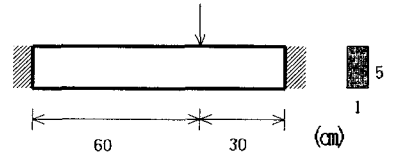


Fig. 4 両端固定梁(平面要素として)

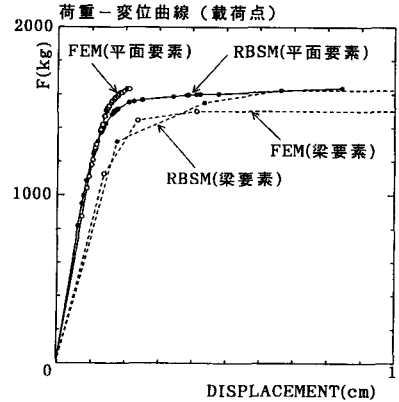


Fig. 5 載荷点における荷重-変位曲線
(梁要素と平面要素)

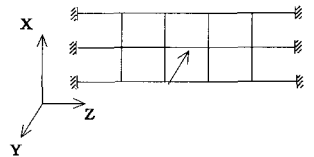


Fig. 6 格子桁(主桁3本、横桁4本)

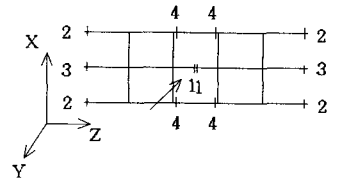


Fig. 8 バネのすべりの発生(RBSM)

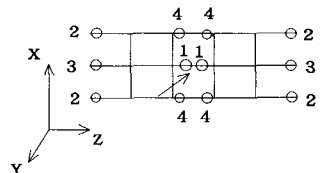


Fig. 9 塑性ヒンジの発生(FEM)

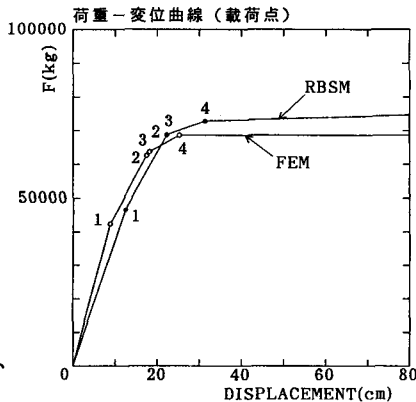


Fig. 7 載荷点の荷重-変位曲線
(RBSMとFEM)