

I - 1 非線形解析への return mapping 手法の導入について

東北学院大学工学部 学生員 ○黒木誠一郎
東北学院大学工学部 正会員 中沢 正利

1 研究目的

非線形構造解析には、主に R_{min} 法と呼ばれる手法が用いられている。 R_{min} 法とは、与えようとする増分荷重のうち、各要素が降伏するまでの比率を R とし、この R を解析対象の全要素に対して計算し、全ての R の中で最も小さい R の値を見つけ、その値を R_{min} とする。この R_{min} を増分荷重に乘じ、増分荷重を低減する手法である。これによって、各要素の弾性状態と塑性状態を明確に区別することが可能となるが、その一方、塑性域に移行した後の解析の増分ステップも低減されてしまうため、解析が殆ど進まず、また正確な値を求めようとすると、1 増分荷重を微小にしなければならないために、かなりの時間を要するという弱点を持っている。このような弱点を持たない、 R_{min} 法に代わる手法に return-mapping 手法と呼ばれる解析手法が存在する。

本研究は、この return-mapping 手法を適用するアルゴリズムを開発し、さらにポイド損傷理論に対して、このアルゴリズムを組み込むことが出来るかの検討を行なうことを目的とする。

2 解析方法

解析対象は、図-1に示している三次元モデルである。このモデルは、ヤング率 $2.1 \times 10^5 \text{MPa}$ 、ポアソン比 0.3、降伏応力度 235MPa の鋼の立方体である。27 要素に分割し、底面に存在する全節点を固定して、図に示されているように引張荷重を作用させている。比較対象として、 R_{min} 法によって同様の解析を行なう。この際、ポイドを考慮する場合およびポイドを考慮しない場合の2通りに対しての解析を行なう。

モデルの対称性より、 R_{min} 法と return-mapping 手法の各々によって得られる、節点 1,2 の荷重-変位曲線と、要素番号 11,12 の、 y 方向の応力-ひずみ関係を描く。

return-mapping 手法による解析では、荷重分割数として、20,50,80 分割の3通りを用意し、ポイドを考慮する場合は、初期ポイド体積分率を 1,5,10% の3通り用意してそれぞれ解析を行なう。

3 解析結果

以下に解析結果を示すが、return-mapping 手法によって得られる結果は、図を見やすくするために、荷重分割数 50 の場合のみを取り上げて図に示してある。

3.1 荷重変位曲線

ポイドを考慮しない場合および考慮する場合の節点 1,2 の荷重-変位曲線を、それぞれ図-2,3,4に示す。図-3,4の図中に示されている % は、初期ポイド体積分率を表している。この荷重-変位曲線は y 軸方向の変位を表している。縦軸は、作用荷重で累積荷重を除して無次元化し、横軸は y 軸方向の変位を、生じる最大の変位で除して無次元化している。これらの図より、ポイドを考慮するしないにかかわらず、return-mapping 手法によって得られる荷重-変位曲線は、 R_{min} 法によって得られる曲線と一致していることが分かる。

3.2 応力-ひずみ曲線

ポイドを考慮しない場合および考慮する場合の、要素 11,12 における y 軸方向の応力-ひずみ曲線を、それぞれ図-5,6,7,8に示す。これらの図より、ポイド体積分率が高くなるほど、 R_{min} 法によって得られる結果との差が大きくなっていくことが分かる。

4 結論

- (1) ポイドを考慮しない場合は、分割数が少なくても R_{min} 法による結果とほぼ一致するため、ポイドを考慮しない場合に限っては有効な手法といえる。
- (2) ポイド体積分率が 1% 以下の場合のみ、return-mapping 手法は R_{min} 法による結果と一致することが確認できる。
- (3) ポイド損傷理論に return-mapping 手法を適用することは、ポイド体積分率が 1% 以下のように制限されるため、現在のところ実際の解析に用いることは難しい。

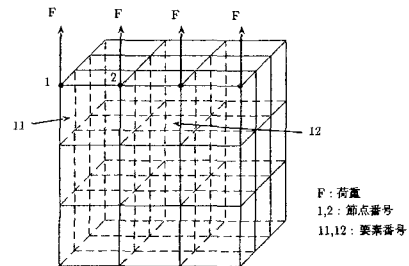


図-1 解析モデル (要素数 27, 節点数 64)

無次元化 y 軸方向荷重

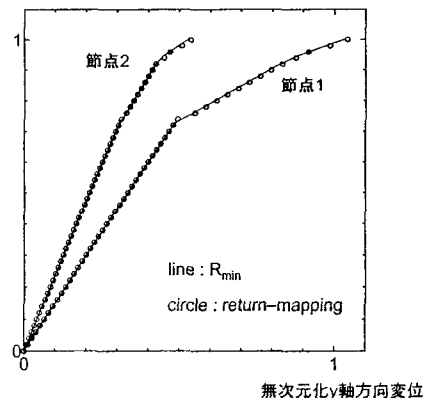


図-2 ポイドを考慮しない場合の荷重-変位曲線

無次元化y方向荷重

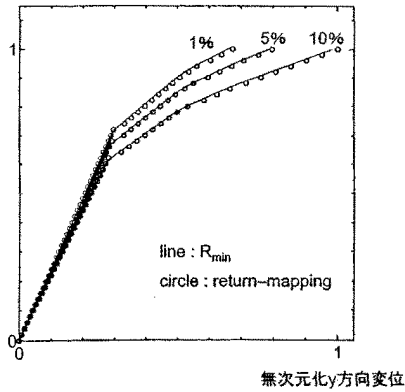


図-3 ボイドを考慮した場合の荷重—変位曲線 (節点 1)

無次元化y軸方向荷重

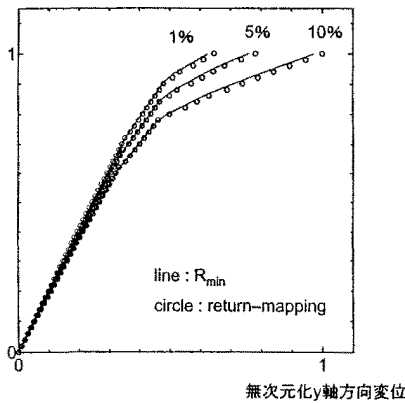


図-4 ボイドを考慮した場合の荷重—変位曲線 (節点 2)

stress [MPa]

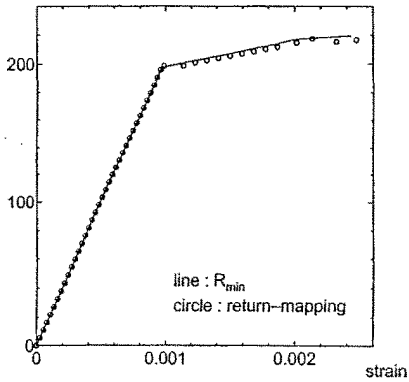


図-5 ボイドを考慮しない場合の応力—ひずみ曲線 (要素 11)

stress [MPa]

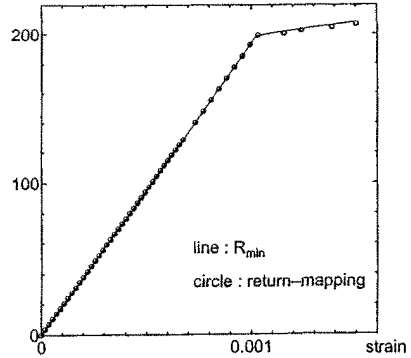


図-6 ボイドを考慮しない場合の応力—ひずみ曲線 (要素 12)

stress [MPa]

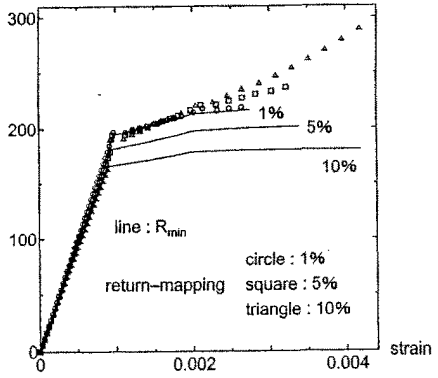


図-7 ボイドを考慮した場合の応力—ひずみ曲線 (要素 11)

stress [MPa]

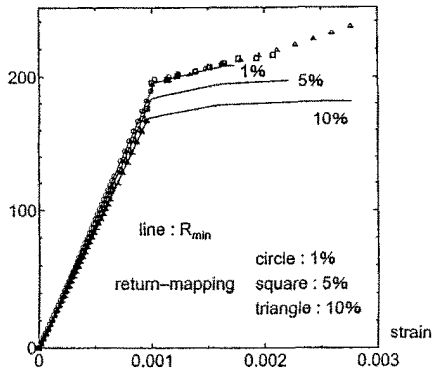


図-8 ボイドを考慮した場合の応力—ひずみ曲線 (要素 12)