

41. 粒子法を用いた構造体の破壊シミュレーション

05168081 藤井千也
指導教員 藤井大地 教授

粒子法 MPS 法 破壊解析 脆性破壊

1. 緒言

近年、計算技術の発達に伴い、非線形解析や破壊解析などに対する要求が高まっている。一般的には、有限要素法などのメッシュを用いる計算手法が使われてきたが、有限変形解析においてはメッシュの歪みによる精度の悪化、亀裂進展解析においてはメッシュの再生成など、メッシュの存在に由来する種々の問題を考慮する必要がある。また、不連続体となるような破壊解析は非常に困難である。

一方、メッシュに依存しないメッシュフリー法とメッシュを用いない粒子法の研究も盛んに行われている。

粒子法の1つであるMPS法は有限変形解析のようにメッシュの歪みを気にすることなく解析を行うことができ、亀裂進展解析や自由表面を含む問題においての適用も容易であり、モデル生成の労力を削減できる。それらの利点から、MPS法は有限要素法では基本的に解析が困難な問題に有効である。

本研究室における既往の研究では、破壊時に粒子が拡散する問題があった。本研究では、そのプログラムの破壊アルゴリズムを修正し、建築構造を対象として、片持ち梁、単純梁、ラーメン構造の破壊シミュレーションを行う。

2. MPS法による破壊解析の定式化

2.1 陽解法による動的弾性解析

MPS法はベクトル解析における微分演算子に対応する粒子間相互作用モデルを用いて連続体の支配方程式を離散化するものである。本研究では陽解法による時間積分法を用いて動的弾性解析を行う。

2.2 破壊の条件

破壊は、粒子間距離が変化してある値を超えたら粒子間で相互作用しないようにすることでモデル化している。初期の粒子配置で互いに近傍と判定された2粒子の距離が L^0 であるとし、現在の粒子配置では L^k に変化したとする。そして、次式の条件を満たしたら破壊されたと判定する。

$$\left| \frac{L^k - L^0}{L^0} \right| > \varepsilon_{\max} \quad (1)$$

この特性を応力とひずみの関係で表すと、ひずみが ε_{\max}

までは弾性体としてふるまい、ひずみが ε_{\max} に達した時点で破壊が生じる。塑性領域がないので脆性破壊が生じたことに相当する。

3. 解析例

鉛直荷重を P_y 、水平荷重を P_x と表記する。図2、4などの色は、Von Mises 応力分布を表している。

3.1 片持ち梁の破壊解析

図1、3は片持ち梁の解析モデルである。解析条件は粒子間距離 $0.02m$ 、公称ひずみ 0.01 、ヤング率 $205GPa$ 、ポアソン比 0.16 でそれぞれの荷重を $2.448MN \cdot 1.06MN$ とする。

図2は根本から破壊している。図4は根本から破壊し、次に根本より少し離れた位置で破壊している。寸法が長くなると根本以外も破壊していることがわかる。

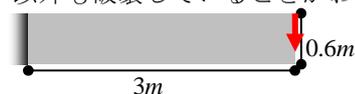


図1 解析モデル (片持ち梁 1)

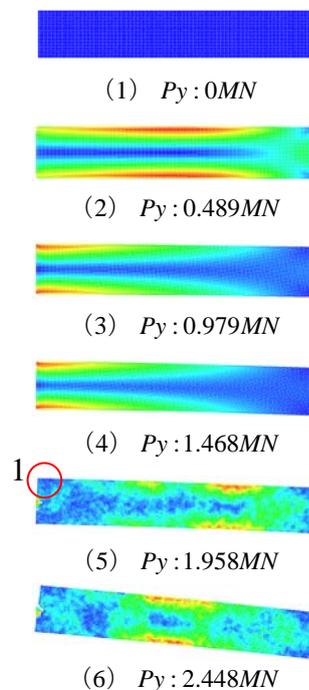


図2 解析例 (片持ち梁 1)

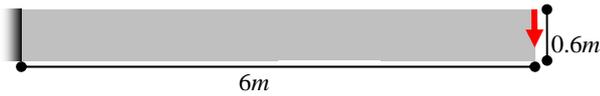


図 3 解析例 (片持ち梁 2)

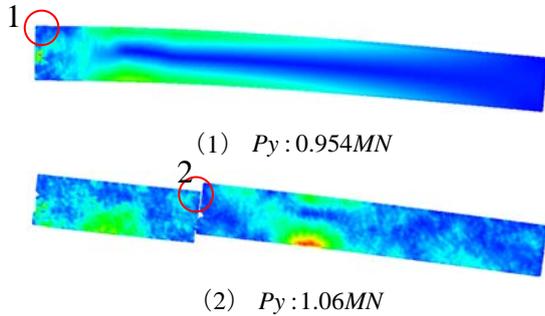


図 4 解析例 (片持ち梁 2)

3.2 単純梁の破壊解析

図 5, 7 は単純梁の解析モデルである。解析条件は荷重がそれぞれ $5MN \cdot 4.94MN$ でそれ以外は片持ち梁と同じ条件とする。

図 6 は、ピンから破壊している。図 8 は、両端のピン部分から破壊し、次に荷重点が破壊し、最後にその中間が破壊している。寸法が長くなるとピンだけでなく、荷重点も破壊している。

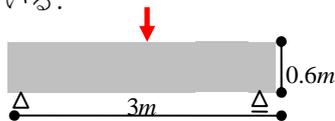


図 5 解析モデル (単純梁 1)

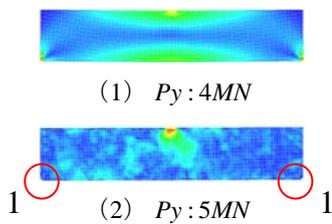


図 6 解析例 (単純梁 1)

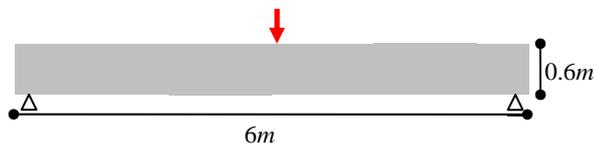


図 7 解析モデル (単純梁 2)

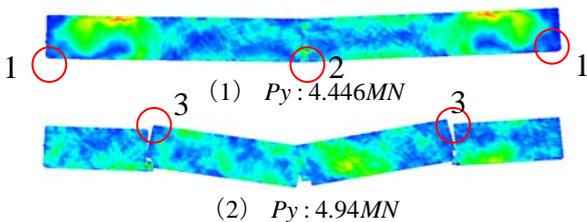
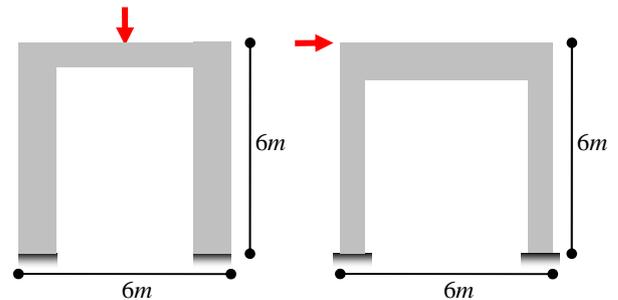


図 8 解析例 (単純梁 2)

3.3 ラーメン構造の破壊解析

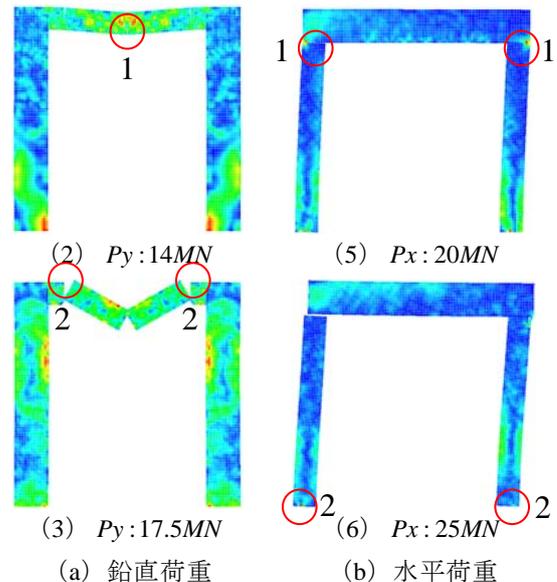
図 9 はラーメン構造の解析モデルである。解析条件は (a) が鉛直荷重 $17.5MN$ 、柱幅 $0.9m$ 、梁せい $0.6m$ で、(b) が水平荷重 $25MN$ 、柱幅 $0.6m$ 、梁せい $0.9m$ とし、粒子間距離 $0.06m$ でそれ以外は片持ち梁と同じ条件とする。

図 10 の (a) より梁破壊をしていることがわかる。図 10 の (b) より柱破壊をしていることがわかる。また、梁せいを大きくすると柱から破壊し、柱幅を大きくすると梁から破壊している。



(a) 鉛直荷重 (b) 水平荷重

図 9 解析モデル (ラーメン構造)



(a) 鉛直荷重 (b) 水平荷重

図 10 解析例 (ラーメン構造)

4. 結語

破壊時に粒子が拡散する問題はなくなった。また、そのプログラムを使用して片持ち梁、単純梁、ラーメンの破壊シミュレーションを行い、それらの破壊の挙動を検証することができた。

今後は、構造物の接触と弾塑性破壊を考慮できるプログラムへと改良し、建築分野における、有力なシミュレーションの方法となるよう、研究を進める必要がある。

参考文献

- 1) 越塚誠一：粒子法，丸善，2005
- 2) 鈴木克幸，長嶋利夫，萩原世也：メッシュフリー解析法，丸善，2006