

模擬孔食付近のひずみ分布の数値解析

1080496 橋本 明彦

高知工科大学工学部社会システム工学科

機械加工によって孔食を模擬した試験片の伸びのメカニズム解明のために、三次元非線形解析によって模擬孔食周辺のひずみ分布を詳細に調べた。

実験と解析で降伏荷重はよく一致し、また孔食付近のひずみ分布もほぼ満足できる一致を見た。また孔食から離れるに従って端部で大きな値を取る滑らかな応力分布となることを明らかにした。これが、限定された点で見たときに応力の逆転が生じる理由である。

Key Words : 孔食、降伏、三次元解析、非線形

1. はじめに

現在、腐食により、多くの鋼構造物が耐久性や安全性に悩まされている。適切なメンテナンスを行えば半永久的に供用できるが、十分なメンテナンスが行われておらず、また、腐食した鋼構造物の保有性能、残存耐力を詳細に評価する方法も確立されていない。

腐食鋼板の引張り強度に関して、谷口は人工的に腐食させた鋼板を引張ると腐食進行につれて降伏応力が低下すると報告している。また、そのメカニズムを解明するため、くぼみを設けた試験片の引張試験（以下、孔食模擬引張試験）と解析ソフトでの数値解析を行っている。その結果、降伏がある程度進行するとくぼみから 10mm のラインでは中心域で応力が高い分布に対し、20mm のラインでは 10mm ラインと全く逆の応力分布が発生するという応力の逆転現象が起きており、この結果が見かけ上の降伏応力の低下のメカニズムではないかと報告している。¹⁾しかし、引張試験の詳細なデータも少なく、数値解析は二次元解析で行っており定量的な一致は見られていない。

本研究では三次元非線形数値解析によって模擬孔食周辺でのひずみ分布を詳細に調べる。また、比較のために再実験を行い、両者の結果の比較から解析の精度を検証する。

2. 材料モデル

SS400鋼を想定し、降伏応力は 250N/mm^2 とした。応力-ひずみ関係は一次勾配 $250/1250 \times 10^{-6}\text{N/mm}^2$ 、二次勾配 $20/18750 \times 10^{-6}\text{N/mm}^2$ のBi-linearで定義した。（図2-1）。

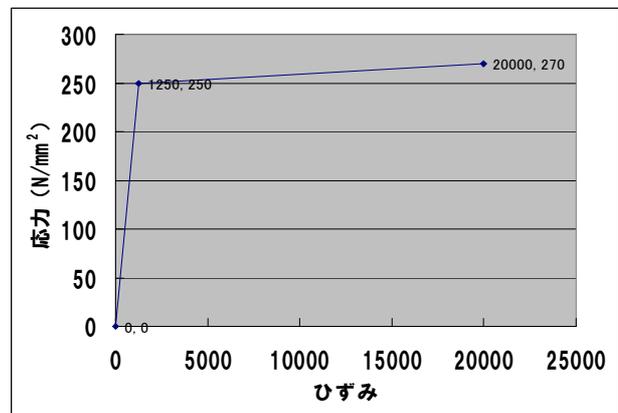


図2-1 Bi-linearのグラフ

3. モデリング

三次元の八節点六面体のソリッド要素で孔食模擬試験片のモデルを作製した。モデルの形状及び寸法は図3-1に示す。

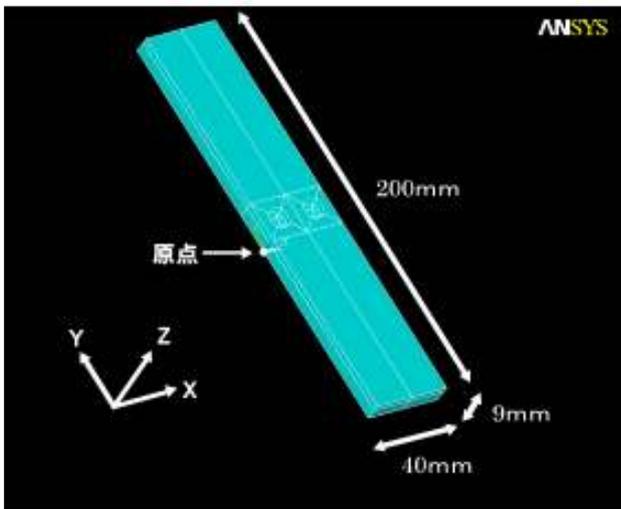


図3-1 モデルの形状と寸法

4. メッシング

応力集中の大きいくぼみ付近ではメッシュを細かく、離れた場所は粗く分割を行った(図4-1)。

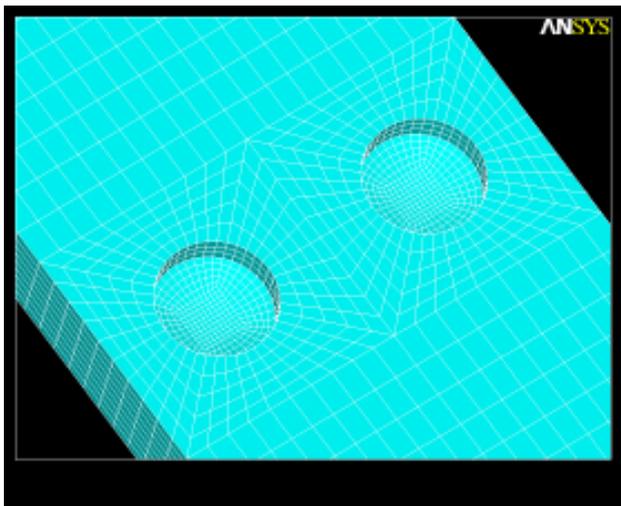


図4-1 くぼみ付近のメッシュ

5. 境界条件

モデルに載荷する荷重は、当初、面荷重による定義で行っていたが、解析結果が収束しなかったため、ひずみ制御による解析に変更した。拘束条件については、Y軸座標値110mmに位置するX-Z断面を完全に拘束、Y軸座標値-90mmに位置するX-Z断面のZ軸方向のみを拘束し、Y軸方向に強制変位を載荷して解析を行った。

6. 解析結果と実験値の比較

6.1 降伏荷重の比較

強制変位0.4mmまで0.05mmピッチで載荷、それ以降は強制変位2.0mmまで0.1mmピッチで計24パタ

ーンの解析を行った。各解析結果で得られた変位と荷重を図6-1に示す。

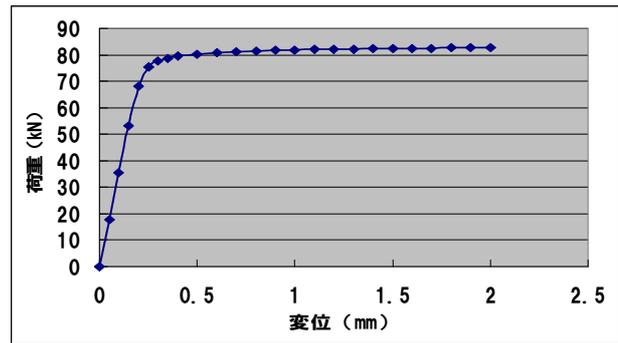


図6-1 変位-荷重曲線(解析)

孔食模擬引張試験から得られた変位と荷重の関係を図6-2に示す。試験片の固定方法に問題があり、荷重載荷初期の3mmほどは、試験片を固定するチャックがすべりを起こした、しかし、この試験は降伏点を調べるためのものであることから、ここでは修正してない図を示す。

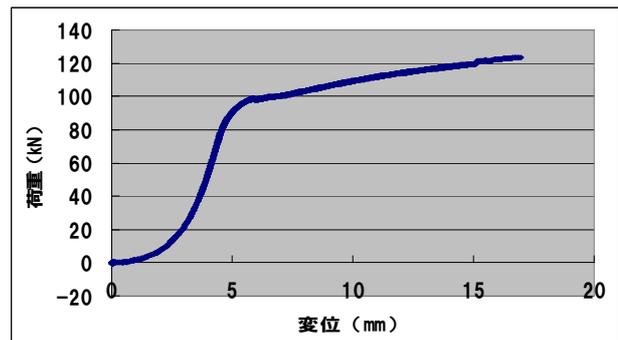


図6-2 変位-荷重曲線(実験)

図6-1と6-2を比較すると、降伏が始まる荷重が、数値解析では約70kNに対し、実験値は約80kNとなっている。この差は実際に実験で使用した試験片の降伏応力が、数値解析で定義した降伏応力より大きかったためである。解析で定義した降伏応力250N/mm²に対し、実験値では285N/mm²で約12%の誤差となる。降伏応力の相違を考慮すれば、実験と解析の降伏荷重はほぼ一致しているといえる。

6.2 ひずみ値の比較

ひずみ値の比較は、弾性域と塑性域の二つの領域で行った。弾性域では、数値解析で荷重35kN(変位=0.1mm)の時の結果と実験値で荷重40kNのときのひずみ値を、塑性域では数値解析の荷重55kN(変位=0.155mm)と実験値の荷重80kNのひずみ値を比較した。

数値解析と比較するひずみの値は実験でひずみゲージを設置した箇所にて極力近い節点で行った。実験でひずみゲージを設置した箇所と番号を、図

6-3に示す.

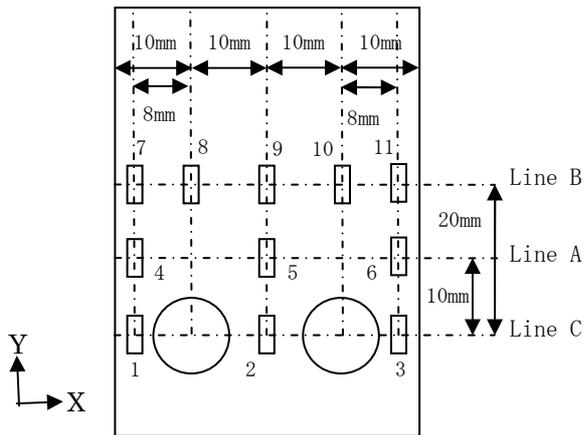


図6-3 ひずみゲージ設置図

ひずみ値分布の比較は、図6-3に示したひずみゲージ番号5のひずみ値を基準にしたひずみ比を用いて行った。すなわち、ひずみの絶対値ではなく、相対的な分布形状で、数値解析値と実験値の評価を行った。

弾性域における比較を各ラインごとにまとめたX方向座標とひずみ比の関係を図6-4から6-6に示す。図のY軸はひずみ比、X軸はLineAではゲージ番号5、LineBでは9、LineCでは2を原点としたX軸方向の座標(mm)である。

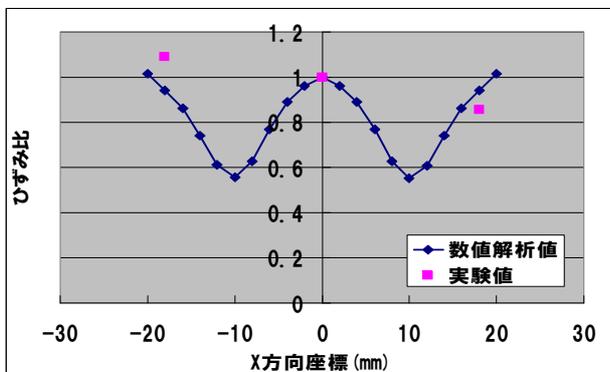


図6-4 LineA (変位=0.1mm)

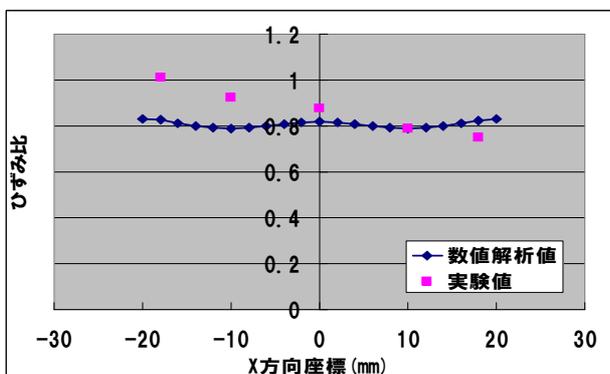


図6-5 LineB (変位=0.1mm)

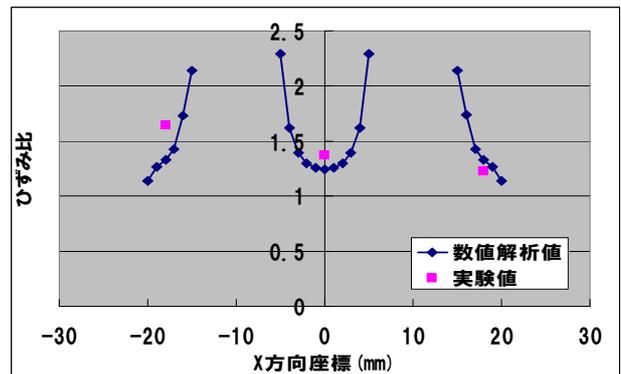


図6-6 LineC (変位=0.1mm)

図から、若干、実験値が左肩上がりの分布になっているが、これは実験中の試験片を拘束するチャックの滑りによって試験片に均等に力が加からなかったために起こったものである。このような実験誤差があるにも関わらず、解析値と実験値のひずみ比の差は大きい箇所でも0.2程度である。したがって、解析結果は実験と定量的にも一致しているといつてよいと考える。

塑性域におけるX方向座標とひずみ比の関係を図6-7から6-9に示す。

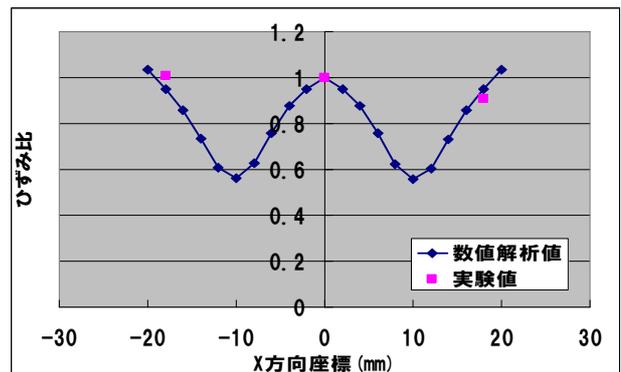


図6-7 LineA (変位=0.155mm)

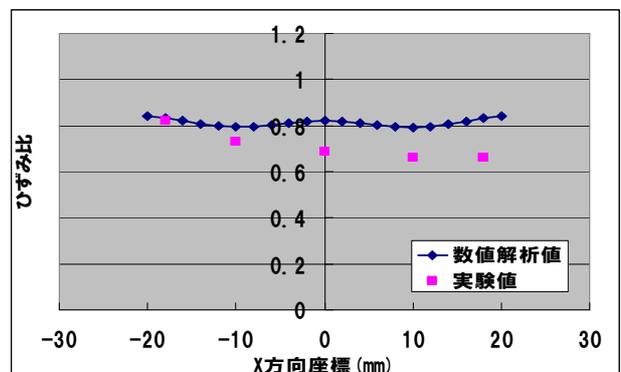


図6-8 LineB (変位=0.155mm)

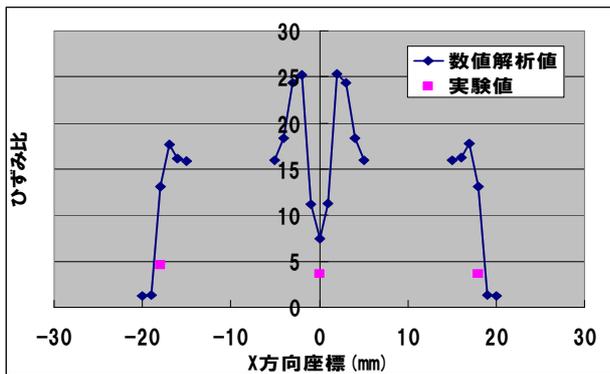


図6-9 LineC (変位=0.155mm)

以上のX方向座標とひずみ比の関係を比較すると、LineAとLineBは解析値と実験値ともにひずみ比の差はほとんどないと言ってもよい。LineCにおけるひずみ比は2倍、3倍の値になっているが、ひずみの値が急激に変化するこのラインにおいては全くの不整合とは言えないようにも思われる。

しかし、解析値と実験値の比較の整合性に関しては、まだデータ不足であり、評価できる段階ではない。X方向でこのような急激な変化が起きている原因を調べるため、LineCにおける数値解析の応力分布を図6-10に示す。

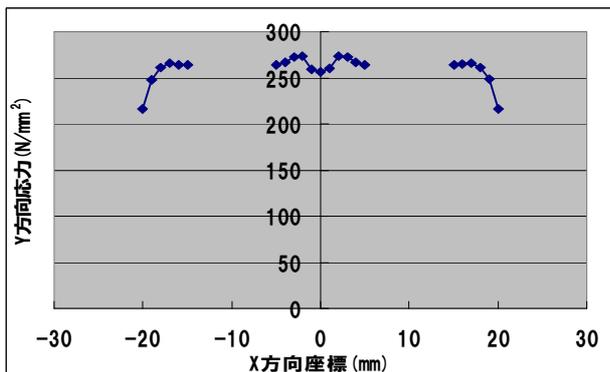


図6-10 応力分布(LineC)

以上の図から応力図では滑らかな曲線となっているが、応力が250N/mm²を超えるひずみの値が急激に上昇している。つまり、降伏点を越えてからヤング率が急激に低下するBi-linearで簡易的に応力-ひずみ曲線を定義したことが、このような結果となった理由と思われる。

6.3 模擬孔食付近の応力分布の比較

塑性域での評価は、定性的には問題のない結果であったため、谷口が報告している応力の逆転現象について、数値解析の結果を元に考察していく。

図6-12に強制変位1.0mmにおけるLineAとLineBの応力分布を示す。

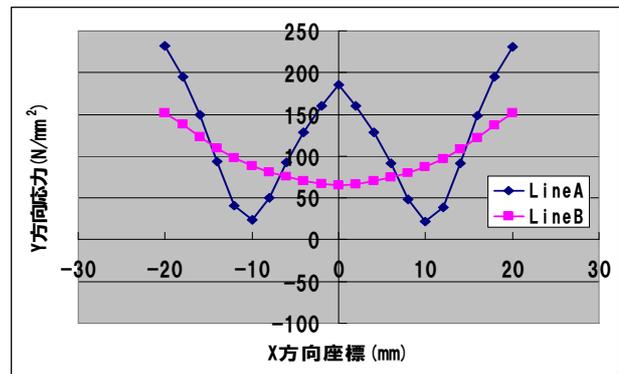


図6-12 応力分布

上の図から、応力の逆転は起こっておらず、LineA、LineBともに部材の端に応力が集中して、LineAでは孔食の上の場所では応力が低いということが分かった。つまり、孔食の影響を強く受けるLineAでは、図のような孔食の上で応力の低いW型の応力分布となり、孔食の影響が小さくなるにつれて、LineBのような滑らかな曲線に移行していくことがわかった。

なお、荷重を更に増すと、部分的に圧縮応力が算定された。これは、曲げの影響、もしくはポアソン比の関係ではないかと考えられるが、今回の研究では詳細は不明である。

7. 結論

- ・ 降伏荷重について、実験と数値解析で降伏応力の相違はあったものの、ある程度実験値を再現することができた。
- ・ 弾性域におけるひずみ分布は定量的かつ定性的に再現できたが、塑性域においては定量的な一致を評価するには、データ不足である。
- ・ 孔食から少し離れた場所では応力の逆転現象は起こっておらず、孔食の影響を強く受ける孔食付近では、孔食の上で応力の低いW型の応力分布となり、孔食の影響が小さくなるにつれて、滑らかな曲線に移行していく

8. 参考文献

- 1) 谷口津美：鋼板の孔食による降伏荷重の低下とそのメカニズム，2007-1，高知工科大学提出修士論文