

203 構造用部材の変形・破壊における熱発生・伝ば解析

Thermal analysis of deformation and fracture in structural members

正 坂本 英俊 (熊本大工) 準 石 健 (熊本大工)
 ○学 川村 祐介 (熊本大工) 熊谷 大輔 (日本圧着端子 (株))
 山本 光治 (熊本大工)

Hidetoshi SAKAMOTO, Kumamoto University, 2-39-1 Kurokami Kumamoto 860-8555,
 Jian SHI, Yusuke KAWAMURA, Daisuke KUMAGAI and Mitsuharu YAMAMOTO

1. 緒言

部材の変形・破壊挙動を評価する項目としてひずみ、変位、CODなど様々な物が挙げられ、これらの値は変形過程における塑性域の有無及び大きさ、広がりに関する重要なパラメータである。また、部材の変形に伴う熱エネルギー発生、伝ばの空間的な分布を赤外線映像装置により測定する評価法の研究は、非接触にマクロ領域の変形挙動を評価する手法として計測機器の性能向上につれて盛んに行われるようになってきた。

本研究では、負荷速度依存性を有する構造用部材の変形・破壊挙動の評価としてき裂を有する平板に単軸引張り荷重を加えた場合の変形およびき裂進展過程を実験的・解析的に明らかにした。部材にある限度以上の負荷を加えると塑性変形が生じる。その際発生する塑性ひずみエネルギーの大部分が部材内部で起こる摩擦により熱に変換されることに着目し、変形中の部材の表面温度を調べた。粘塑性理論に基づく変形解析と非定常熱伝導解析を連動させ部材変形時の温度上昇分布を計算し、塑性変形熱による変形評価について検討を行った。

2. 実験

2.1 材料特性試験

本研究では、供試材として工業用純チタンを用い、単軸引張り試験を行った。純チタンの機械的性質を調べるために材料特性試験を行い、降伏応力・縦弾性係数・ポアソン比・応力-ひずみ線図を求めた。また、供試材は常温において塑性域で顕著な粘性を示すため、その負荷速度依存性を検討するため5種類の負荷速度(0.05, 0.5, 5, 50, 500 mm/min)で引張り試験を行った (Fig.1)。

各種機械的性質は、負荷速度の最も小さい0.05 mm/minを準静的とみなしそれぞれの係数を算出した。また、FEM解析時に必要な応力-塑性ひずみ線図をSWIFTの式で近似した。用いた式を(1)に示す。

$$\sigma^* = a(b \times \epsilon^{\nu p})^\alpha \quad (1)$$

ここで、 $a = 565$, $b = 2.12 \times 10^{-3}$, $\alpha = 0.143$
 $\epsilon^{\nu p}$: 粘塑性ひずみ

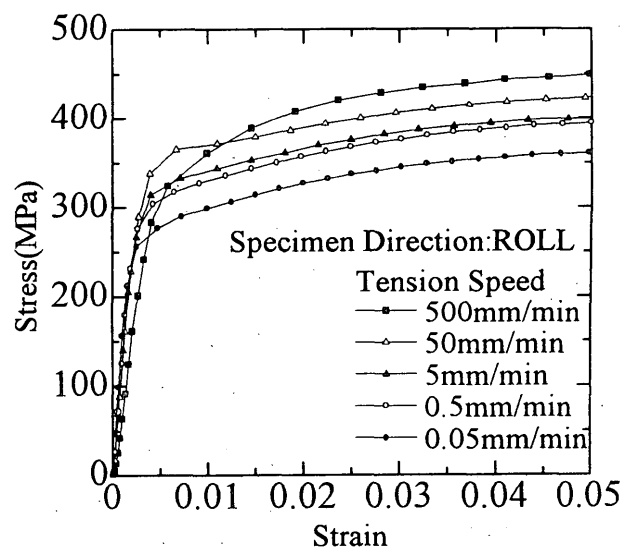


Fig.1 Stress-strain curves

2.2 中央き裂材の引張り挙動

工業用純チタンの平板(45 mm × 230 mm, t = 3 mm)にワイヤー放電加工機を用いて中央き裂(0.3 × 11.0 mm)を作成し、その応力集中部における変形、破壊挙動を調べるために、供試材の負荷速度依存性を考慮して5 mmおよび50 mm/minの2種類の負荷速度において単軸引張り試験を行った。

き裂先端近傍の応力集中部に注目するため、CCDカメラによる観察測定とき裂先端近傍のひずみゲージ測定を行い、塑性域の進展、き裂開口およびき裂発生・進展に注目した。また、熱電対により局所的な温度変化を、赤外線映像装置により広範囲な温度分布をそれぞれ測定し、塑性変形領域についての検討を行った。

3. 塑性発熱・熱伝導シミュレーション

赤外線サーモグラフィ法によって測定された塑性変形およびき裂進展時の発熱およびその熱分布と変形破壊挙動との関係を明らかにするために、弾粘塑性変形解析および変

形による発熱とその非定常熱伝導解析を組み合わせたFEMシミュレーション解析を行った。本解析では弾性領域で熱弾性効果を、塑性域ではひずみ速度依存性を考慮した Perzyna の粘塑性理論を採用した。塑性変形によって生じた塑性ひずみエネルギーは100%熱に変換されると仮定した。また、解析は実験で得られた変位時間関係に基づいて変位制御で行なわれた。

4. 結果および考察

き裂開口とともに変化する試験片表面の温度を調べるために熱電対で測定した結果を述べる。Fig.2は熱電対の取り付け位置を示す。Fig.3に負荷速度50mm/minの測定結果を示す。き裂進展方向にあるch.1が急激に温度が上昇しch.2, ch.4はch.3と比較して温度上昇が大きい。このことは、FEM解析において相当塑性ひずみ分布が、き裂先端から45度方向で高い値を示しており、この方向に塑性変形が広がっていることがわかる。

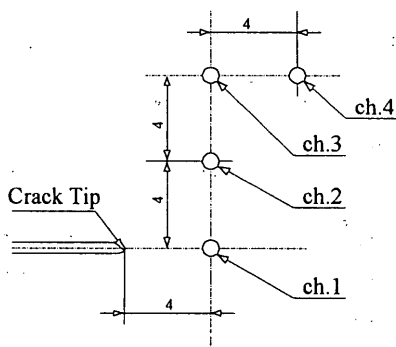


Fig.2 thermo-couple's point

次に赤外線映像装置によるき裂進展域における表面温度分布について検討する。Fig.4に50mm/minの赤外線映像装置による画像の1例を示す。き裂先端近傍部の高温部と斜め45度方向の温度上昇が観察できる。熱電対の測定結果と同様に、この方向がすべり面であるため部材内部での塑性ひずみが増大し、塑性ひずみエネルギーの熱変換が盛んに行われるため、局所的な温度上昇傾向が観察できる。

以上のことは負荷速度5mm/minにおいても同様にいえる。赤外線サーモグラフィ装置により得られた画像についてみると、50mm/minでは、局所的に高い温度上昇がみられるのに対して、5mm/minでは、広範囲にわたって、温度上昇がみられる。これは、50mm/minでは、塑性変形がき裂先端に局所的に起こっているのに対し、5mm/minでは、き裂近傍において、広い範囲にわたって塑性変形が起こっていることに起因する。

CCDカメラによるき裂近傍の映像より、き裂の広がりによって、き裂先端付近の塑性ひずみが集中する部分では板厚が薄くなるとともに表面の荒れが進行している様子が観察される。同様にFEM解析の形状も、き裂先端付近のメッシュ形状が初期状態に比べて大きく変形し、塑性変形が進行している様子がよくシミュレーションされている。

また、負荷速度の違いによる ϵ_y を比較すると、き裂先端近傍のひずみが5mm/minの方が50mm/minよりも大きくなっており、き裂先端から離れた部分でも若干大きなひずみの値を示す。

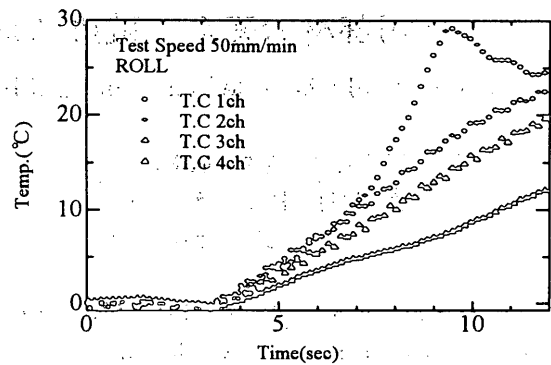
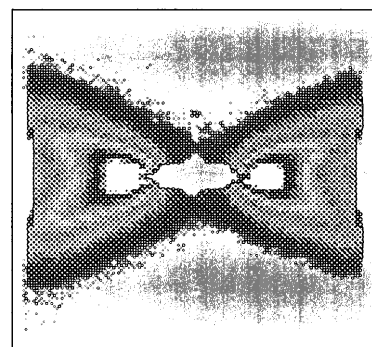
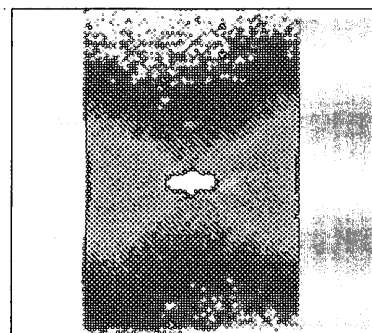


Fig.3 Temperature measured by thermocouples



test speed=50mm/min



test speed=5mm/min

Fig.4 temperature distribution

4. 結論

本研究では、中央き裂を有する工業用純チタンについて2種類の負荷速度で単軸引張り試験を行い、サーモグラフィ法による熱画像と変形破壊挙動の関係についてFEM解析を通して検討を行った。

(1) 塑性領域では、変形の速度が大きいほど部材表面の温度上昇が大きく、局所化する。

(2) 変形速度が小さい場合は、熱伝導の影響で変形領域と熱画像分布は一致しないが、変形速度が大きな場合は良い対応関係を示す。

(3) 実験と解析の熱画像を比較することにより、熱画像に対応したひずみ分布が得られる。