

異種材料の接合部を考慮した強度評価

Strength prediction of dissimilar materials considering joint region

杉山裕文¹⁾ 野村友貴²⁾ 岡澤重信³⁾

Hirofumi Sugiyama, Tomoki Nomura and Shigenobu Okazawa

¹⁾博(工)山梨大学 総合研究部 工学域 助教 (〒400-8511 山梨県甲府市武田 4-3-11, E-mail: hiroyfumis@yamanashi.ac.jp)

²⁾山梨大学 工学部機械工学科 (〒400-8511 山梨県甲府市武田 4-3-11)

³⁾博(工)山梨大学 総合研究部 工学域 教授 (〒400-8511 山梨県甲府市武田 4-3-11, E-mail: sokazawa@yamanashi.ac.jp)

This paper proposes a numerical simulation method that considers the joint region using a damage model and numerical techniques for dissimilar materials structures. The damage model is based on one parameter damage model based on damage mechanics and can deal with the softening behavior of the adhesion region. Furthermore, numerical techniques express the crack propagation. Finally, the representative numerical example shows that the novel method is verified.

Key Words : Dissimilar materials, Damage model, Crack propagation

1. はじめに

輸送機器において環境負荷低減に向けた取り組みが様々行われている。その中でも、異種材料を用いることで軽量化や強度向上が期待されている。そのため、接合された部材の強度評価が重要となる。接着接合の評価としては、対象物をそのまま評価する場合や現象を簡略化した強度試験や規格に沿った試験が行われている[1][2]。しかし、簡略化した実験だけでは接合部の状態により接着面積が異なることなどを観察することが難しい場合がある。そのため、実験で得られた知見だけでなく数値シミュレーションを活用した現象の評価が行われている[3]。

そこで、本研究では、異種材料と接合部をモデル化しつつ、破壊基準を設けた強度評価シミュレーションを行う。構成方程式について説明した後、数値解析例を示し提案手法の有効性を確認する。

(1) 構成方程式

ここでは損傷を考慮した構成方程式について説明する。使用する損傷モデルはスカラー型の1変数損傷モデルある[4][5][6]。

$$\sigma = (1 - D) \mathbf{C} : \boldsymbol{\epsilon} \quad (1)$$

ここで、 D は損傷変数、 \mathbf{C} は損傷を含まない健全な材料の弾性テンソルである。さらに、損傷とともになうエネルギー解放率 Y を以下のように定義する。

$$Y = -\frac{(1 + \nu)q^2}{3E(1 - D)^2} - \frac{(1 - 2\nu)p^2}{2E(1 - D)^2} \quad (2)$$

ここで、 E , ν はそれぞれヤング率とポアソン比である。

損傷変数を考慮した等方硬化型の降伏関数は次式のように表せる。

$$f = \frac{q}{1 - D} - \sigma_y(R) - \sigma_{y0} \quad (3)$$

ここで、 q は相当応力、 σ_y は等方硬化における硬化曲線、 R は等方硬化を表すスカラー型の内部、 σ_{y0} は初期降伏応力である。また、硬化曲線として Voce 型硬化則を用いる。

$$\sigma_y(R) = HR + (\sigma_\infty - \sigma_{y0})(1 - \exp[-hR]) \quad (4)$$

ここで、 H は硬化係数、 σ_∞ は、塑性変形が十分に大きくなった際の降伏応力、 h は、非線形加工硬化の感度を表している。

2. 突合せ継ぎ手解析

突合せ継ぎ手を対象とした解析モデルによる検証を行う。図 1 に示したように、解析モデルは被接合材および接合部の 3 部材で構成される。対称性を考慮した 1/2 モデルを採用し、強制変位を与えた。被着材と接合部の材料パラメータを表 1 に示す。平板の高さは 1 [mm]、幅 0.5 [mm]、接合部の厚さを 0.1 [mm] とした。解析条件は、損傷モデルのみとき裂の発生基準を 2 パターンの設定した場合について比較する。得られた荷重変位関係を図 2 に示す。図 2 中の黒い実線はき裂が発生し

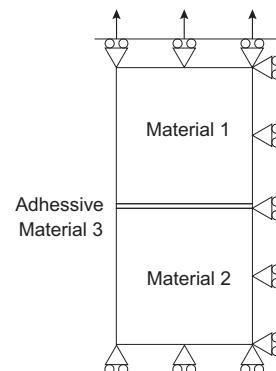


図-1 Butt joint

表-1 Parameters

	Plastics	Steel	Adhesive
Young modulus [GPa]	9.87	210	3.14
Poisson's ratio	0.377	0.3	0.37
Yield stress [MPa]	38	200	40
Parameter H [MPa]	98.7	200	314
Parameter σ_∞ [MPa]	100	400	60
Parameter h	100	1	1
S	1	1	1
r [MPa]	0.5	3.0	0.3

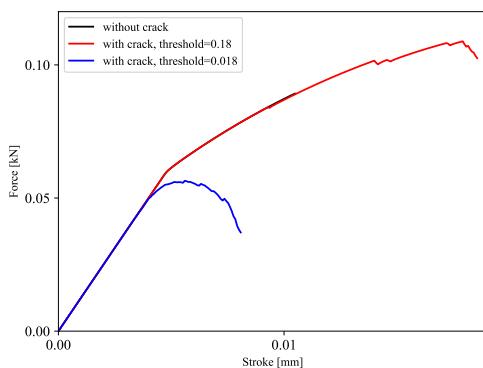


図-2 Force-Stroke curve of adhesive thickness 0.1 mm

ない場合の荷重変位関係を表している。また、赤い実線はき裂の発生基準を 0.18、青い実線は発生基準を 0.018 とした場合の荷重変位関係である。破壊基準を設定した結果より、き裂の発生により荷重が低下する挙動が表現できている。ただし、どちらの破壊基準を用いた場合も荷重が 0 まで落ちていないことより、破断までの挙動は表現できていないことがわかる。

続いて、図 3 より破壊基準 0.018 のき裂進展経路および応力分布の変化を確認する。図 3 は、き裂の発生直前、き裂の進展中およびき裂の進展が終了した状態の結果を示している。図より、最終ステップではき裂が概ね試験片を横断する状態まで進展し、接合部を分割するようにき裂進展経路が発現していることがわかる。Mises 応力分布に着目するとき裂の発生直前では、Material 2 と Material 3 の境界部分で応力が高くなっていることが確認できる。き裂が進展にあわせて応力集中部が移動しつつ、応力緩和している状態が確認できる。

しかしながら、き裂が接合部を完全に分離する状況を再現するまでにはいたっていない。最終ステップの応力分布を見ると高い応力値がき裂先端部以外にも確認できる。これは 1 本のき裂が進展するだけでなく複数のき裂が発生している可能性が考えられる。これらの結果より、提案手法で異種材料をの接合部までをモデル化した状態での強度評価が可能であることを示した。ただし、妥当性を担保するためにさらに検討が必要であることも確認できた。

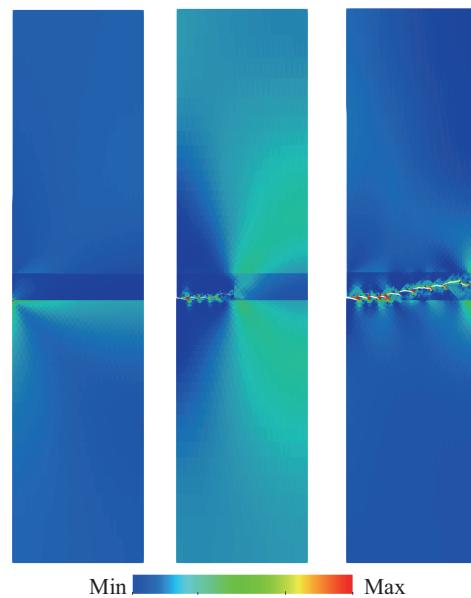


図-3 Crack propagation path and Mises stress distribution of joint thickness 0.1 mm

3.まとめ

本研究では、異種材料と接合部を考慮したモデル化しき裂進展解までを行う手法を示した。突合せ継ぎ手を対象として、いくつかの破壊基準を設定しき裂の発生とともに荷重変位関係の変化を確認した。また、き裂の進展とともに応力集中部の移動や応力緩和を可視化できることをしめした。

今後はさらに異なる接合方法を対象として検証を行い妥当性評価を進めていく。さらに、本手法は材料非線形のみを考慮した定式化となっているため、幾何学的非線形性を考慮するなど適用範囲の拡張を目指していきたい。

参考文献

- [1] 宮崎達二郎, 野田尚昭, 内木場卓巳, 李戎, 佐野義一, はく離強度の便利で正確な評価法の提案, 自動車技術会論文集, Vol. 45, No. 5, pp. 895–901, 2014.
- [2] 吉村彰紀, 複合材料構造接着接合部の破壊シミュレーション, 日本接着学会誌, Vol.50, 5, p.179, (2014).
- [3] 中野博子, 関口泰久, 沢俊行, 静的引張り荷重を受ける同種材料の非接着体によるスカーフ接着継手の三次元有限要素法応力解析と強度について, 日本接着学会誌, Vol. 49, 3, p. 7, 2013.
- [4] S. Murakami, "Continuum Damage Mechanics, A Continuum Mechanics Approach to the Analysis of Damage and Fracture", Springer, 2012.
- [5] J. Lemaitre: A continuous damage mechanics model for ductile fracture, *Journal of Engineering Materials and Technology*, Vol. 107, p.83, 1985.
- [6] E.A. de Souza Neto, D. Pric, D.R.J. Owen, "非線形有限要素法-弾塑性解析の理論と実践, 寺田 賢次郎監訳", 森北出版, 2012.