K5-65

スポット溶接継手の損傷評価

Damage Evaluation of Spot-Welded Joints

○浦邉拓実 [1]，土岐和也 [1]，大橋雅樹 [2]，松園俊介 [2]，冨岡昇 [3]，岡部顕史 [3]
*Urabe Takumi[1], Doki Kazuya[1], Ohashi Masaki[2], Matsuzono Shunsuke[2], Tomioka Noboru[3], Okabe Akifumi[3]

To research fatigue life prediction based on damage mechanics for the spot-welded joints, static tensile test of the cold-rolled steel sheet used in vehicle body was conducted and the damage variable D was determined measuring the change in its Young's modulus. Then, the damage variable of spot-welded joints under static tensile was calculated using the change in the apparent Young's modulus obtained from the measured value of the strain gage attached to the spot weld. Using the similar method, it has been trying to find the fatigue damage variable of spot-welded joints. The damage variables of base metal and spot-welded joints under static tensile could be determined but could not be determined in fatigue of spot-welded joints.

1. 緒　言

自動車車体は薄板スポット溶接構造体とみなすことができ，その疲労耐久性はスポット溶接部の耐久性に支配されている．このことから，車体の疲労耐久性を確保するために，スポット溶接部の疲労寿命特性やその評価法が重要となるが，岡部ら [1)]は弾性力学の板理論により解析したナゲット端に発生する最大主応力である公称構造応力を用いれば，板厚やナゲット径等の継手寸法や負荷形式が異なっても，定振幅荷重の疲労寿命を統一的に整理することを示し，公称構造応力で疲労寿命を予測することが可能であるとしている．しかしながら，公称構造応力で予測できる寿命は基本的には疲労亀裂発生寿命である．しかし，スポット溶接継手では亀裂進展寿命が支配的である場合もあり，負荷形式によって両者の寿命比が異なることがある．公称構造応力でも工学的には精度良い疲労寿命予測ができるが，更なる精度向上を計るには，亀裂発生寿命から進展寿命まで統一的に評価できる手法が望まれる．

連続体損傷力学 [2)]では，材料の損傷状態を損傷変数で表し，損傷の生成・成長過程を損傷変数の発展式として定式化し，亀裂の発生・成長・破断に至るまで統一的に評価できる．損傷力学を適用することで，スポット溶接継手の疲労亀裂の発生から成長そして破断に至るまでの寿命を一貫して予測することが可能と考えられる．

本研究では，損傷力学によるスポット溶接の疲労寿命を予測するための基礎研究として，自動車車体に使用されている冷間圧延鋼板の静的引張試験を実施し，ヤング率の変化を計測し，損傷変数を求める．次に，この手法をスポット溶接継手に適用し，母材と同様に損傷変数が得られるかその可能性を探る．最後に、スポット溶接継手の疲労試験を実施し，継手の損傷を表す手法について検討を試みた．

2. 静的引張による弾塑性損傷

2.1 母材の損傷

損傷力学では，材料に引張負荷をかけると，内部に微視的亀裂や空洞などが発生成長し損傷を受けるが，その損傷状態を表す損傷変数は材料のヤング率の変化によって表せる．損傷を受ける前のヤング率をE_0，損傷を受けたときのヤング率をEとすると，損傷変数Dは，

$$D = 1 - \frac{E}{E_0} \tag{1}$$

となる．

JIS Z 2241 に準じて，板厚 1.2 ㎜の冷間圧延鋼板 SPCE を用いて試験片を作成し，静的負荷徐荷の引張試験を行った．得られた応力ひずみ線図を図 1 に示す．徐荷過程からヤング率と塑性ひずみの関係を求めたのが図 2 である．ヤング率は塑性ひずみが約 2000μ までは一定値を保つが，それ以降は材料の損傷の増大に伴い低下する．これを式(1)に代入して求めた損傷変数Dを図 3 に示す．塑性ひずみが約 2000μ で損傷が開始し，塑性ひずみの増大に伴い損傷変数は単調に増加する．

2.2 スポット溶接継手の損傷

スポット溶接継手の試験片を図 4 に示す．材質は 2.1 の母材試験片と同じである．この試験片で疲労試験を行った結果，圧痕表面に添付したひずみゲージの出力値はナゲット端に疲労亀裂が発生すると著しく変化した．スポット溶接継手の疲労損傷と圧痕のひずみには密接な関係があると考えられることから，圧痕にひずみゲージを添付し，母材試験と同様に，スポット溶接継手の静的引張負荷徐荷試験を実施した．得られた荷重ひずみ曲線より，荷重を

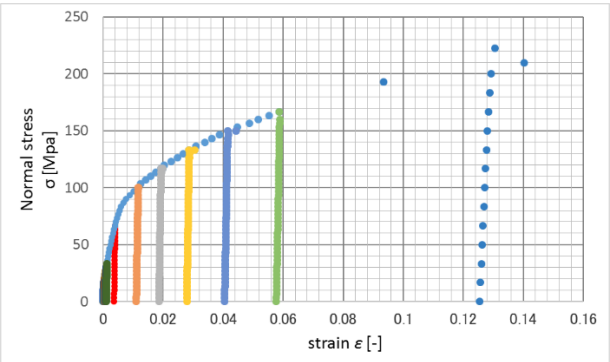

Fig.1 Stress-strain curve of base material

1:日大理工・学部・機械　　2:日大理工・院(前)・機械　　3:日大理工・教員・機械

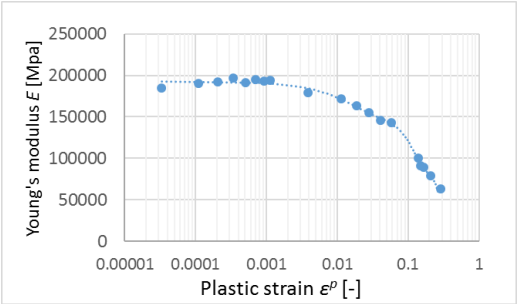

Fig.2 Relationship of plastic strain and Young's modulus

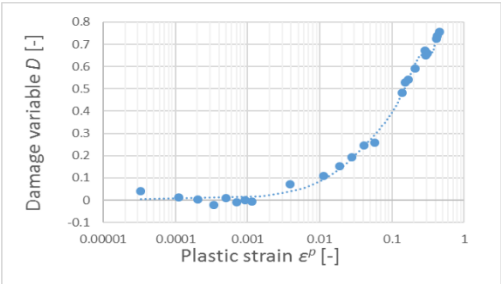

Fig.3 Relationship of plastic strain and damage variable

試験片断面積で除して公称応力を求め，応力ひずみ曲線に変換して見かけのヤング率を求めた．その結果を図 5 に示す．また，この結果と式(1)より損傷変数を求めたのが図 6 である．母材と同様に，見かけのヤング率の変化から損傷変数を求めることができ，スポット溶接継手では，圧痕表面の塑性ひずみが 350μ 付近で継手の損傷が始まることが分かる．

3. スポット溶接継手の疲労損傷

図 4 のスポット溶接継手の繰り返しせん断荷重を負荷し手疲労試験を行い，圧痕表面に添付したひずみゲージの値から見かけのヤング率を求め，損傷変数を計算した結果を図 7 に示す．

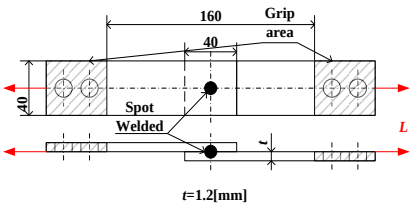

Fig.4 Spot-welded specimens under tensile shear

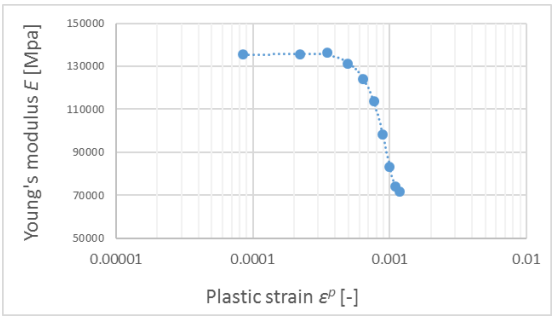

Fig.5 Relationship of plastic strain and Young's modulus for spot-welded joints

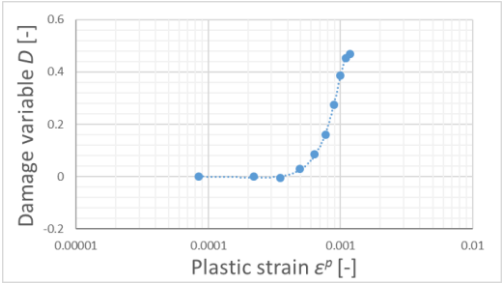

Fig.6 Relationship of plastic strain and damage variable for spot-welded joints

繰り返し数 80,000 回で損傷変数は負の側に大きく変化し始め，その後正側に反転する．これは，ナゲット端に亀裂が発生するまでは，ナゲットに引張荷重が作用するが，亀裂発生後は圧縮荷重が支配的になるためであると考えられる．スポット溶接継手の疲労試験ではナゲットに作用する負荷形式が亀裂の進展とともに変化する為に，見かけのヤング率からは損傷変数を求めることに無理があると考えられ，損傷変数を求める別の方法を考えることが必要である．

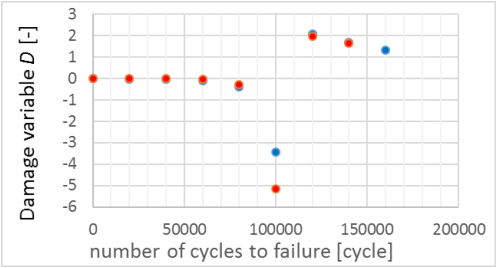

Fig.7 Relationship of number of cycles to failure and damage variable

4. 結　言

連続体損傷力学によるスポット溶接継手の疲労寿命予測をするために，その基礎研究として損傷変数Dを実験的に求める方法について検討した．

(1) 静的引張による母材の損傷変数はそのヤング率の変化を求めることで得ることができる．冷間圧延鋼板では約 2000μ の塑性ひずみで損傷が開始する．

(2) スポット溶接継手の静的引張負荷による損傷変数は，その圧痕のひずみから得られた見かけのヤング率の変化によって求められる．

(3) スポット溶接継手の疲労損傷変数は，見かけのヤング率の変化から求めることは困難で，別の方法を考えることが必要である．

参考文献

1) Okabe, A., Tomioka, N., Kaneko, T., A Method of Calculating Nominal Structural Stress of Spot Welding Structure, Transactions of JSAE, Vol.36, No.6, pp.145-150 (2005)

2) 村上澄男　連続体損傷力学　損傷・破壊解析の連続体力学的方法　森北出版株式会社　2008 年 第 1 章(pp.2)，第 3 章(pp.59-63)