

継手の疲労強度の簡便推定法に関する検討

トピー工業株式会社 正会員 ○林 健治
トピー工業株式会社 正会員 小野 昌二

1. はじめに

最近、鋼製橋脚隅角部や鋼床版の溶接部において、溶接きずを起点とした疲労き裂が多数検出されており、その補修・補強が重要な課題となっていることは周知のとおりである。既設鋼構造物の補修・補強を実施する上で、対象となっている溶接部の疲労強度を把握することは不可欠であり、疲労設計指針¹⁾に基づき、継手の疲労強度等級が規定されるが、既に疲労損傷を有する継手の等級を決定することは容易でない。特に、溶接きずや疲労き裂を溶接補修により完全に除去できない場合、同指針では、荷重条件等を適切に評価した疲労試験により疲労強度を確認するものとしているが、試験の実施は容易でない場合も想定される。

文献 2) では、継手の疲労強度評価の補助的手段として、破壊力学の手法を用いた疲労き裂進展解析法に基づく評価法を推奨している。疲労試験を行うよりは容易であるが、煩雑な数値解析が必要となる場合があり、実用的な観点から、より簡便な手法の提案が望まれている。

本報では、溶接きずや疲労き裂などの損傷を有する継手の疲労強度を簡便に推定する方法として、疲労強度が既知の継手の応力拡大係数と疲労強度が未知の継手の応力拡大係数を有限要素法を用いた数値解析により算出し、その相対比から未知の継手の疲労強度を算出する新たな簡便推定法を提案するものである。

2. 疲労強度の簡便推定法

継手の疲労強度に関する研究は、上述の破壊力学の手法を用いた疲労き裂進展解析法²⁾を除き、対象とする部位の最大応力に対応した応力集中係数に基づく研究が多い。周知のように、疲労強度減少係数は、応力集中係数がほぼ2までは鋼種に関係なく一対一対応するので、継手の応力集中係数を評価することにより、母材の疲労強度から継手の疲労強度を算出することができる。しかし、2を超えると、両係数の間に対応関係が成立せず、応力集中係数を用いて継手の疲労強度を推定することはできない。溶接継手については、溶接止端部の局所的な応力あるいはひずみの集中を扱うことを避け、構造的要因のみによる応力集中を考慮したホットスポット応力に基づく疲労寿命の評価法が展開されているが、一意的に決定されない曖昧な部分があり、継手の疲労強度を推定する指標として用いることは容易でない²⁾。

一方、村上³⁾は、疲労強度に及ぼす微小きずの形状と寸法の影響を検討し、疲労強度がき裂伝播停留限界であることを考慮して、微小き裂や微小きずを含む部材の疲労強度を下限界応力拡大係数範囲により予測できることを明らかにした。次いで、材質パラメータであるビッカース硬さと、き裂やきずの寸法と形状を表すパラメータであるき裂やきずを最大主応力方向に投影した面積の平方根を用いて、下限界応力拡大係数範囲を推定できることを明らかにした。これらの結果より、下限界応力拡大係数範囲を介して、疲労強度をビッカース硬さと微小きずの投影面積の平方根から推定できるものとし、種々の検討を行っている。また、寺崎ら⁴⁾は、村上の研究成果を活用し、溶接継手の疲労強度を応力拡大係数により推定できることを明らかにした。

村上³⁾と寺崎ら⁴⁾の研究成果より、継手の疲労強度 σ_f は、微小き裂を有する継手の応力拡大係数 K と、母材の疲労強度 σ_{f0} 及び微小き裂を有する母材の応力拡大係数 K_0 から予測できるものとする。すなわち、

$$\sigma_f \cdot K = \sigma_{f0} \cdot K_0 = \text{一定} \quad (1)$$

が成立するものとする。上式を用い、数値解析等により K と K_0 を算出することによって継手の疲労強度 σ_f を評価することができる ($\sigma_f = \sigma_{f0} \cdot K_0 / K$, σ_{f0} : 母材の疲労強度、例えば、A等級 190Mpa)。

混合モード下では、開口モードの K を K_1 、面内せん断モードの K を K_2 、面外せん断モードの K を K_3 とし、

キーワード 疲労強度、推定法、応力拡大係数、破壊力学、継手、鋼構造物

連絡先 〒441-8510 愛知県豊橋市明海町1番地 トピー工業(株) 鉄構事業部 技術部 TEL0532-25-1111

エネルギー解放率が一定であると仮定すると、混合モードのKは次式で与えられる。

$$K^2 = K_1^2 + K_2^2 + K_3^2 / (1 - \nu) = \text{一定} \quad (2)$$

ここに、 ν はポアソン比を表す。

微小き裂を有する継手や母材の応力拡大係数Kと K_0 の算出には、FEMと破壊力学の手法（応力法、変位法、接続外挿法、特異要素法、仮想き裂進展法、経路独立J積分法等）の適用が不可欠であるが、式（1）から明らかなように、比較的簡便に継手の疲労強度 σ_f を算出することができ、また、式（2）を用いて、容易に混合モードへの拡張を計ることができる。

3. 数値実験に基づく推定法の妥当性の検証

上述の継手の疲労強度推定法の妥当性を検証するために、荷重伝達型十字すみ肉溶接継手のFEM解析を実施した⁵⁾。対象とした継手の形状・寸法を図-1に示す。解析モデルは対称性を考慮して、図-2に示すように1/4を要素分割した。微小き裂の挿入位置は、a)公称応力レベルと考えられる部位、b)溶接止端部、c)ルート部の3ケースとし、それぞれ単独で挿入された場合の応力拡大係数Kを接続外挿法により算出した。なお、a)とb)の解析を行う際には、ルート部は閉じたもの（剛結）として取り扱った。微小き裂として0.1mmのき裂を挿入³⁾し、要素の最小寸法を0.01mmとした。また、解析は平面ひずみとして取り扱い、c)に関しては面内せん断モードのKも併せて算出した。さらに、a)~c)のKを算出する上で、図-2に示すように、き裂近傍の要素分割を同じように行った⁴⁾。

a)~c)の応力拡大係数をそれぞれ K_a 、 K_b 、 K_c とし、対応する疲労強度を σ_a 、 σ_b 、 σ_c とする。また、 K_a と σ_a （=190Mpa）を基準として、データを整理する。結果は以下のと

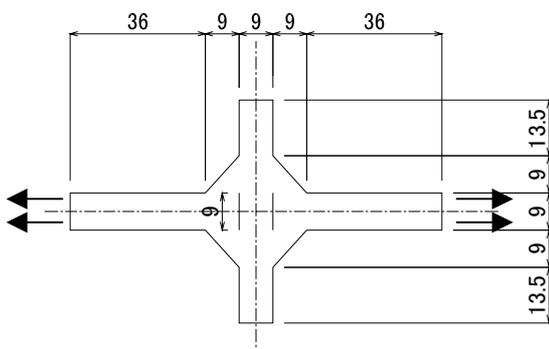


図-1 解析対象の形状と寸法

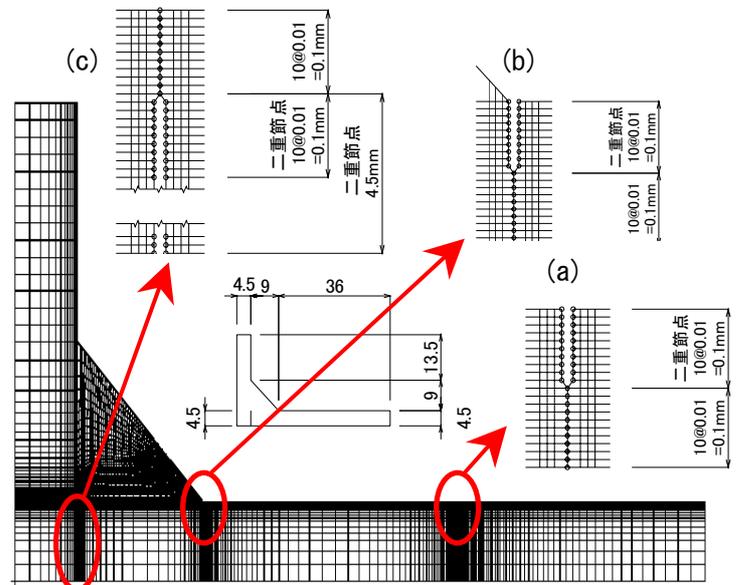


図-2 要素分割

おりである。 $K_a/K_b=2.28$ 、 $K_a/K_c=3.54$ （3.57：混合モードとした場合）、 $\sigma_b=83\text{Mpa}$ 、 $\sigma_c=54\text{Mpa}$ （53Mpa）となった。すなわち、a)をA等級とした場合、b)はE等級、c)はG等級と見なすことができる。b)については、ほぼ予想通りの結果を示し、本推定法が適用できるものと考えられる。ルート破壊⁵⁾となるc)については、H等級ではなく、G等級となっているが、本来、疲労強度は溶け込み深さに影響を受けることが予想されるので、より詳細な検討が必要と考えられる。

4. おわりに

本報では、継手の疲労強度を、微小き裂の応力拡大係数を用いて、母材の疲労強度から簡便に推定する方法を提案し、その妥当性を検証した。事例が少なく十分ではないが、本法の可能性を示すことができた。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：鋼道路橋の疲労設計指針、pp.9-24、2002
- 2) (社)日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説、pp.51-56、pp.249-259、pp.281-291、1993
- 3) 村上敬直：金属疲労 微小欠陥と介在物の影響、養賢堂、pp.33-72、1993
- 4) 寺崎、福田、北村、増本：溶込み不足つき角継手の疲労強度について、溶接学会論文集、Vol.19、No.3、pp.564-569、2001
- 5) 貝沼、森、一宮：荷重伝達型十字溶接継手の疲労破壊起点の評価方法の提案、土木学会論文集、No.668、pp.313-318、2001