

溶接ルートを起点とする疲労き裂に対するストップホールの影響

瀧上工業株式会社 正会員 ○櫻井 勇太 岐阜大学 正会員 木下 幸治
芝浦工業大学 正会員 穴見 健吾

1. 背景・目的

鋼橋に生じた疲労き裂の補修工法としてストップホール法がある。この工法はき裂先端にストップホール（以下、SH）と呼ばれる円孔を設けることで、き裂進展の停留に効果が期待できる工法である¹⁾。既往の研究において、荷重伝達十字溶接継手の溶接止端を起点とする疲労き裂に対して、き裂先端を確実に除去できる範囲で SH 中心を溶接止端からずらすことで応力集中係数を低減できることが示されている²⁾。一方、荷重伝達十字溶接継手に生じる疲労き裂には溶接内部のルート部を起点とするルートき裂がある。ルートき裂は主に鈑桁の垂直補剛材上端の溶接部などに生じやすく、止端き裂と同様にき裂先端に SH を施工した事例がある。しかし、SH 法によるルートき裂の補修効果を検討した事例は少ない。本研究では、荷重伝達十字溶接継手のルートき裂に対する SH 法による応力分布および応力集中係数の影響について、き裂・SH の有無、SH ルート部の曲率半径、SH のずれをパラメータとして有限要素法により検討した結果を述べる。

2. 有限要素解析

図-1 に解析モデルの形状、表-1 に解析パラメータ一覧を示す。解析コードは Abaqus6.14 を用いた。解析モデルは文献 2) において、実橋梁を想定して作成した実物大の幅の広いモデルと同様の寸法（長さ、長さ：2000mm）とし、鋼材の板厚は 9mm、立て板高さは 50mm とした。溶接脚長は文献 3) に示された疲労破壊起点の条件式より、9mm の板厚に対してルート破壊となる脚長 6mm でモデル化した。弾性係数は $2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 、ポアソン比は 0.3 とし、解析モデルの対称性から 1/2 モデルで片端側を完全固定として反対側に荷重を与え、線形解析を実施した。SH およびき裂近傍はメッシュサイズ 0.5mm の三角形に分割した。本モデルの立て板と主板的接触部には 1mm の隙間を設け、荷重伝達十字溶接継手のルートギャップをモ

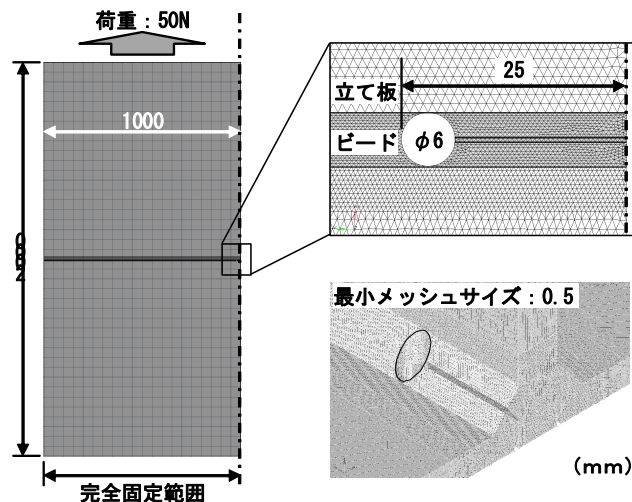


図-1 解析モデルの一例

表-1 解析パラメータ一覧

Case	ルート側の曲率半径 (mm)	SHのずれ (mm)	き裂の有無	SHの有無	備考
1	—	—	なし	なし	き裂なし
2	—	—	あり	なし	き裂あり (SHなし)
3	3R (円孔 φ6)	—		あり	—
4	0R (直角)	—			—
5	1R	—			—
6	2R	—			—
7	4.5R (円孔 φ9)	—			—
8	6R (円孔 φ12)	—			—
9	3R (円孔)	3			—
10	3R (円孔)	5			—

デル化した。なお、1mm の隙間は道路橋示方書における部材の密着度の最大許容値である。さらにルートき裂のモデルとして、文献 4) で荷重伝達十字溶接継手の疲労試験体に生じたルートき裂を参考に溶接ルートからのど厚方向に延びる隙間 1mm のき裂をモデル化した。解析パラメータは SH による影響を確認するため、き裂の有無および SH の有無、ルート側の曲率半径、SH のずれについて条件が異なるモデルを作成し、解析結果からそれぞれの影響を考察する。

3. 解析結果

有限要素解析の結果より、Case1～3 のルート部および止端部、SH 部の応力集中係数を比較したグラフを図-2 示す。図より、き裂のない Case1 からき裂のみ (SH なし) の Case2 ではルート部、止端部ともに応

キーワード ストップホール法、疲労き裂、溶接ルート、応力集中係数、応力分布

連絡先 〒475-0826 愛知県半田市神明町一丁目 1 番地 瀧上工業株式会社 TEL 0569-89-2103

力集中係数が増加しており、Case2 のき裂先端に SH を施工した Case3 ではルート部の応力集中係数が低下しているため、ルートき裂への SH 施工によりルート部の応力集中低減の効果があるといえる。次に SH ルート部の曲率半径が異なる Case3~8 の各部位の応力集中係数を比較したグラフを図-3 に示す。図より、ルート部の応力集中係数は Case5 (1R) が最も高く、曲率半径が大きくなるにつれて低下する結果となった。Case4 (直角) に対して Case. 5 (1R) の応力集中係数が高い理由は解析モデルに 1mm のルートギャップを設けており、曲面形状が主板に至っていないためと考えられる。また、SH 径が異なる Case3, 7, 8 の応力分布の比較を図-4 に示す。図より、Case3 ($\phi 6$) ではルート部および止端部、SH 部で別々の応力集中部が存在しルート部の応力集中係数が最も高いのに対し、Case7 ($\phi 9$)、Case8 ($\phi 12$) ではルート部の応力集中係数が低下する結果となった。これは SH 部の応力集中が止端部に重畳し、応力集中係数が増加したためと考えられる。Case7, 8 のルート部の応力集中係数は同程度となっており、本研究のモデル形状においては $\phi 9$ 以上で SH 施工によるルート部の応力集中係数低減効果が収束すると思われる。次に、SH のずれ量の異なる Case3, 9, 10 の各部位の応力集中係数を比較したグラフを図-5 に、応力分布の比較を図-6 に示す。図より、Case3 (ずれなし) と Case9 (ずれ 3mm) の応力集中係数を比較するとルート部が低下しているのに対し、止端部、SH 部が増加した。Case9 と Case10 (ずれ 5mm) ではルート部は同程度であり、止端部、SH 部が低下する結果となった。さらに、それぞれの応力分布を比較すると Case9 において止端部と SH 部の応力集中部が重畳しているのに対し、Case10 では重畳が解消され、ルート部、止端部、SH 部の応力集中が別々に存在している。これより、SH のずれを大きくすることで各部位の疲労強度を別々に評価でき、疲労強度評価を基にそれぞれの部位に対して疲労強度向上対策を施すことができると考えられる。

謝辞：本研究は日本鉄鋼連盟鋼構造研究・教育助成事業として日本鋼構造協会に委託されている「公共の強靱化・長寿命化研究委員会」の「疲労強度研究部会」(部会主査 穴見健吾)における活動の一部として実施したものである。関係各位に深くお礼を申し上げる。

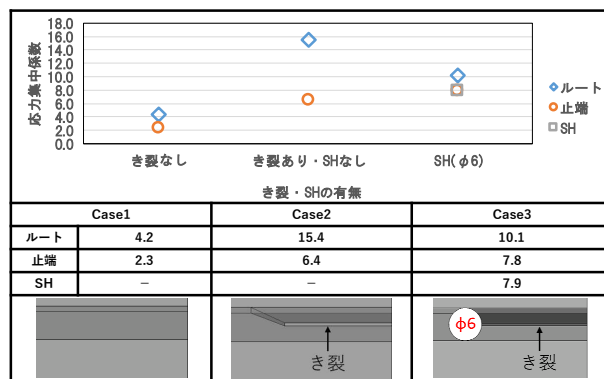


図-2 き裂・SHの有無と応力集中係数の関係

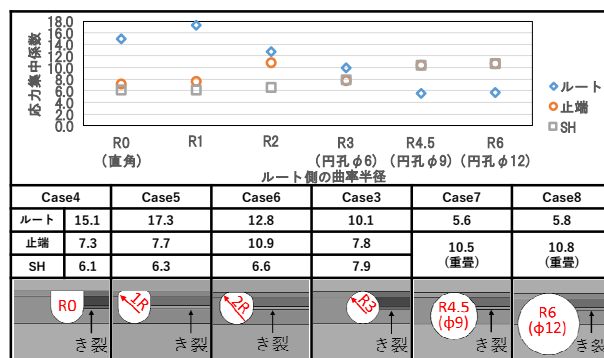


図-3 ルート部曲率半径と応力集中係数の関係

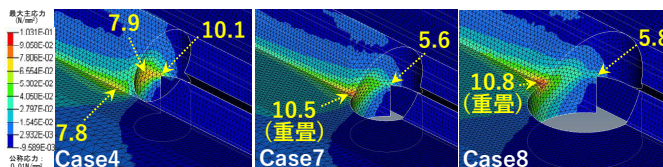


図-4 SH径と応力分布の関係

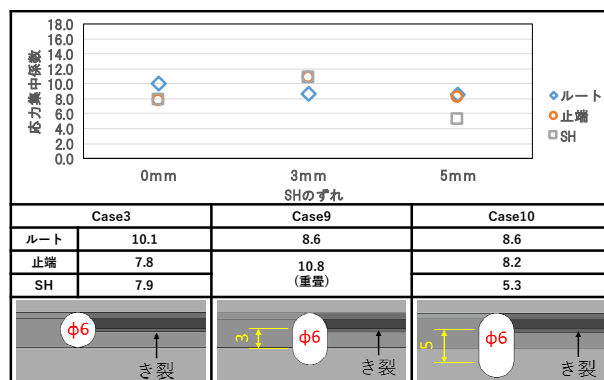


図-5 SHのずれと応力集中係数の関係

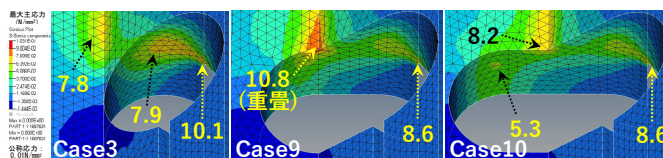


図-6 SHのずれと応力分布の関係

<参考文献>

- 1) 大倉一郎: 鋼橋の疲労, 東洋書店, pp. 34-35, 1994.
- 2) 鈴木元啓: 溶接止端部に生じた疲労き裂に対するストップホール法の補修効果, 土木学会第 73 回年次学術講演会, I-150, pp. 299-300, 2018.
- 3) 貝沼重信: 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/ I-54, pp. 313-318, 2001.
- 4) 穴見健吾: 引張と曲げを受ける荷重伝達型十字継手の疲労挙動, 構造工学論文集, Vol. 54A, pp. 695-702, 2008.