

当て板とき裂部ボルト締め併用のストップホールの応力集中低減効果

関西大学 学生会員 ○玉利 仁, 政家 諒, 正会員 石川 敏之
 横河ブリッジホールディングス 正会員 清川 昇悟
 横河ブリッジ 中辻 亘

1. はじめに

疲労き裂の応急的な補修工法である、き裂先端にドリル孔を設けるストップホール工法では、き裂長さが長くなるとストップホールの応力集中が高くなるため、き裂が再発生する恐れがある。そのため、ストップホールに高力ボルトを締め付ける工法があり、ストップホールボルト締め工法と呼ばれている。ストップホールの施工後は、恒久対策として高力ボルトを用いて当て板補修されることが一般的である。このような高力ボルトによる当て板補修はストップホールの応力集中を低減できることが明らかになっている¹⁾が、当て板補修を施したストップホールからき裂が再発生したケース²⁾も報告されている。

他方、ストップホール工法との併用として、き裂部を直接ボルト締めする工法が提案されている³⁾。これまでの研究で、き裂部ボルト締め工法とストップホールボルト締め工法を併用することによって、ストップホールボルト締め工法と比較してストップホールの応力集中が低減することが引張試験と曲げ試験により明らかにされている。当て板補修を施したストップホールに対しても、き裂部をボルト締めすることにより、ストップホールの応力集中を低減できる可能性がある。

本研究では、高力ボルトによる当て板補修とき裂部ボルト締め工法を併用することによる、ストップホールの応力集中低減効果を一軸引張試験と有限要素解析により明らかにする。

2. 試験体

試験体は図-1 に示す様に、ストップホールだけの試験体 SH、当て板補修を施した試験体 PA、当て板補修とき裂部ボルト締め併用した試験体 PA+CB、当て板補修とストップホールボルト締め併用した試験体 PA+SHB を用意した。本研究では主板き裂の両端にストップホールを設けている。試験体は主板に SM490YA (板厚 12mm, $\sigma_Y=442\text{N/mm}^2$)、当て板に SM490YB (板厚 9mm,

$\sigma_Y=393\text{N/mm}^2$)を用いた。主板および当て板の接合面にはサンドブラスト処理を施しており、主板の算術平均粗さ R_a は 10.2~12.4 μm 、当て板は 9.1~12.7 μm であった。試験体の接合はトルシア型高力ボルト S10T(M20)を用いた。ボルトを締め付けてから 1 週間以上経過してから引張試験を行った。

ひずみゲージはストップホール壁板厚中央に貼付けた。き裂を模擬したスリットの幅は、ストップホールに貼付けたひずみゲージのリード線を配線するために、4mm とした。試験体 PA では当て板に $\phi 5\text{mm}$ の孔を設けてリード線を配線している。試験体 PA+CB, PA+SHB では座金に幅 4mm、深さ 2.5mm の溝を設けてリード線を配線した。

3. 試験結果

図-2 に引張荷重を主板の断面積(=1800 mm^2)で除した公称応力 σ_{sn} とストップホール壁板厚中央のひずみ ε の関係を示す。ストップホール壁の板厚中央のひずみは左右の平均を示している。

本研究で提案したき裂部にボルト締めを施した試験体 PA+CB と、当て板補修とストップホールボルト締め併用した試験体 PA+SHB のストップホール壁のひずみは同程度であった。本試験条件において、き裂部に 1 本ボルトを締め付けるき裂部ボルト締め工法は、ストップホールにボルトを 2 本締め付けるストップホールボルト締め工法と同等の応力低減効果が得られた。

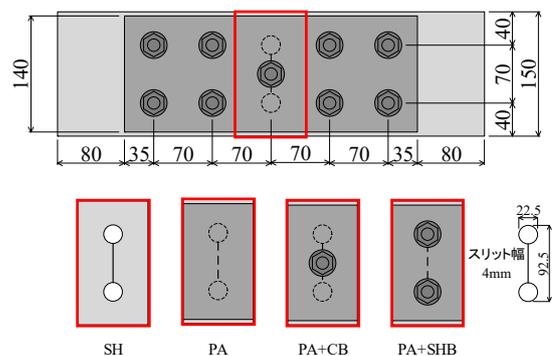


図-1 試験体(平面図, 単位: mm)

キーワード ストップホール, 高力ボルト, 応力集中

連絡先 〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35 TEL 06-6368-0926

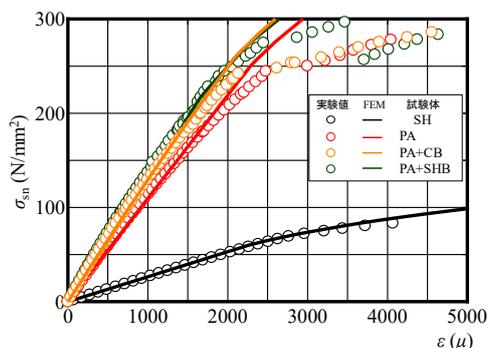


図-2 公称応力とストップホール壁板厚中央のひずみの関係

4. 解析概要

汎用の有限要素解析プログラム Marc を用いて、試験体の弾塑性有限変位解析を実施した。解析モデルの一例を図-3 に示す。また、解析モデルの境界条件と要素分割も図-3 に示している。解析モデルは対称性を考慮して 1/8 モデルとした。着目点であるストップホール周辺の最小要素メッシュ分割を 0.5mm とした。き裂全長さ l_c は 92.5mm、き裂幅は 4mm とした。解析条件として、主板と当て板の接合面、当て板と座金の接合面の摩擦係数を 0.6、それ以外の摩擦係数は 0.001 とした。実験で用いた高力ボルト S10T(M20)の頭部は、解析モデルでは円柱形でモデル化した。また、ボルトは 2 行×2 列、ボルト孔のサイズは $\phi 22.5$ とした。ボルト軸力は、設計軸力(165kN)となるように強制変位を与えた。各部材の材料定数は、弾性係数 $E=200\text{kN/mm}^2$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ 、主板と当て板の降伏応力を試験体と同値、ボルトと座金の降伏応力を $\sigma_y=1000\text{N/mm}^2$ とした。载荷荷重は、ボルト軸力導入後、一般部の主板に等分布応力を与えた。

5. 解析結果

図-2 に公称応力 σ_{sn} とストップホール壁板厚中央のひずみ ε の解析値も示している。解析結果の $\sigma_{sn}-\varepsilon$ 関係は、試験結果と同様な傾向を示した。図-2 より $\sigma_{sn}-\varepsilon$ が線形範囲では、実験値は解析値が概ね一致しており、き裂部ボルト締めをした際のストップホールの応力低減効果が再現できている。

6. パラメトリック解析

主板の幅が大きくなればストップホールの応力集中がある一定に収束する。文献 1) を参考に、ストップホールの応力集中の値が収束する主板の大きさとして、主板幅を当て板幅+3000mm、主板長さを当て板長さ+1000mm とした。これにより主板サイズの影響に関して安全側の評価になることが明らかにされている。パラメトリック解析では、き裂部をボルト締めする位置

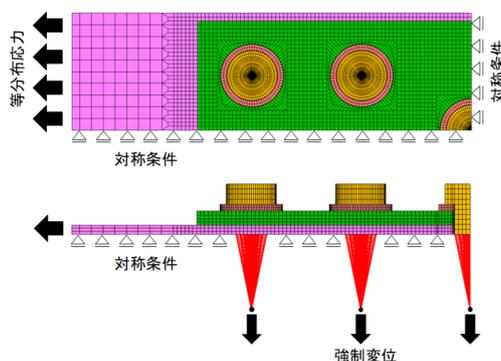


図-3 解析モデルの一例(当て板補修+き裂部ボルト締め)

表-1 ストップホールの応力集中係数 α_{SH}

α_{SH}	6.59	2.39	2.28	2.04	1.98	2.05

とその本数を変化させた。また、ストップホールボルト締めの解析も実施した。その他の条件は 4 章と同様にした。この解析モデルでは、ボルトゲージは 70mm、縁端距離は 35mm、ボルトは 3 行×2 列、ボルトピッチは 70mm、き裂全長さは 162.5mm とした。

ストップホールの応力集中係数 α_{SH} は、公称応力 $\sigma_{sn}=50\text{N/mm}^2$ 時のストップホール応力 σ_{SH} を公称応力で除した値とした。なお、 σ_{SH} は、ボルト軸力導入直後をゼロとして差分をとったストップホール壁中央の応力で整理している。

解析結果から算出した応力集中係数 α_{SH} を表-1 に示す。表-1 から、き裂が長い場合、き裂中央のみにボルト締めした場合は、ストップホールボルト締めよりも応力集中低減効果は小さくなるが、ストップホールボルト締めと併用することで、応力集中をさらに低減できることがわかる。

7. まとめ

本研究では、ストップホールを有するき裂に対して、当て板補修とき裂部ボルト締りを併用することを提案した。そして、一軸引張試験と有限要素解析から、ストップホールの応力集中の低減効果を示した。

参考文献

- 1) 清川昇悟, 館石和雄, 判治剛, 清水優, 中山裕哉: 当て板によるストップホール部の応力集中低減効果, 構造工学論文集, Vol. 64A, pp. 435-444, 2018.
- 2) 石丸浩司, 増田高志, 佐々木靖彦, 小西拓洋, 澁谷敦: 鋼橋の橋脚隅角部・桁端切欠き部・支承受台部の疲労損傷に対する大規模対策, 土木学会第 58 回年次学術講演会概要集第 1 部, 第 58 巻, I-545, pp. 1089-1090, 2003.
- 3) 石川敏之, 清川昇悟, 中辻亘: き裂部をボルト締めしたストップホールの板曲げ疲労強度, 構造工学論文集, Vol. 66A, pp. 586-595, 2020