

き裂部ボルト締めによるストップホールの応力集中の低減効果

関西大学 正会員 ○石川 敏之, 学生員 八重垣 諒太
横河ブリッジ 正会員 清川 昇悟, 中辻 亘

1. はじめに

疲労き裂の応急対策であるき裂先端をドリル孔で除去するストップホール工法では、き裂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、き裂が再発する恐れがある。ストップホールの応力集中を低減させる方法として、ストップホールのボルト締めや当て板接合がある。また、ストップホールの応力集中が高くなる要因であるき裂部の開口の抑制として、き裂部の ICR 処理が提案されている¹⁾。本研究では、き裂部の開口を抑制する方法として、き裂部を直接ボルト締めする工法を提案し、その効果を引張試験によって明らかにする。

2. 試験体

本研究で用いた試験体を図-1 に示す。板幅 150mm, 板厚 12mm の鋼板(SM400)の中央部にエッジクラックを模したスリットを設け、その先端にφ18mm のストップホールを設けている。スリットとストップホールを合わせた欠損長さは 100mm である。スリット部のボルト締め位置は、試験体 SH+B35, SH+B70 に対してそれぞれストップホール中心から 35, 70mm とした。試験体はそれぞれ 2 体準備した。比較のためにストップホールのみの試験体 SH も 1 体準備した。き裂部のボルト締めには、M16 の高力ボルト(F10T)を用いた。ボルト接合面は、グラインダー処理し、#100 のサンドペーパーで目粗し($R_a=0.84\sim1.25\mu\text{m}$)した。高力ボルトは設計軸力 106kN の 1 割増しで締付け、1 週間後に載荷試験を実施した。クリップゲージによる開口変位とひずみの計測位置(表裏)も図-1 に示している。ストップホール壁中央にもひずみゲージ(ゲージ長 1mm)を貼りつけた。2 体の試験体の内、1 体の試験体ではストップホール縁近傍に 5 連の応力集中ゲージ(ゲージ長 1mm, ストップホール縁から第 1 ひずみゲージまでの距離 4mm)を貼りつけ、もう 1 体には、単軸のひずみゲージ(ストップホール縁から 2mm)を貼り付けた。ストップホール壁中央に貼り付けたひずみの値が降伏ひずみ($\varepsilon_Y=1,515\mu$)の 2 倍程度に達するか、高力ボルトがすべった段階で載荷試験を終了した。

3. 試験結果

載荷荷重 P を断面欠損がない一般部の断面積 A で除して与えた作用応力 σ とクリップゲージで計測した試験体側面のスリットの開口変位 δ の関係を図-2 に示す。ストップホールのみの試験体 SH では、 $\sigma=20\text{N/mm}^2$ に達する前に、ストップホール壁中央のひずみが $3,000\mu$ を超えたので試験を終了した。ストップホール中央から 35mm の位置のスリット部をボルト締めした試験体 SH+B35 では、明確なすべりが確認されなかったが、 $\sigma=40\text{N/mm}^2$ を超えたあたりで、ストップホール壁中央のひずみが $3,000\mu$ に達したので試験を終了した。ストップホール中央から 70mm の位置のスリット部をボルト締めした試験体 SH+B70 では、2 体とも明確なすべりが確認されたので試験を終了した。図-2 から試験体 SH+B30, SH+B70 とともに、ストップホールのみの試験体 SH と比べて P - δ 関係の傾きが大きくなっている。したがって、スリット部をボルト締めすることにより、試験体側面のスリットの開口変位が抑制されている。

作用応力 σ とストップホール壁中央のひずみ ε の関

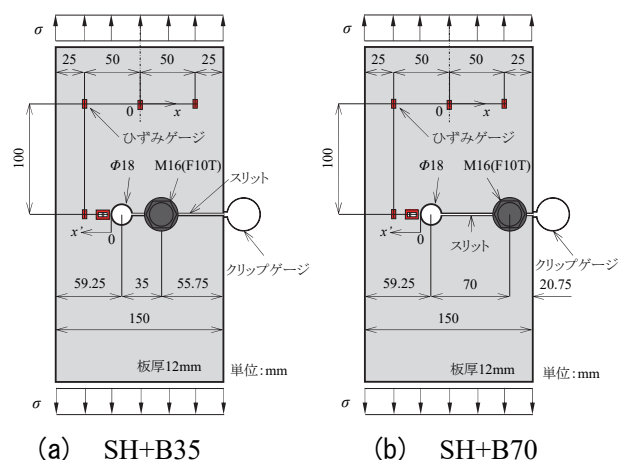


図-1 試験体

キーワード ストップホール, き裂部ボルト締め, 応力集中, すべり

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

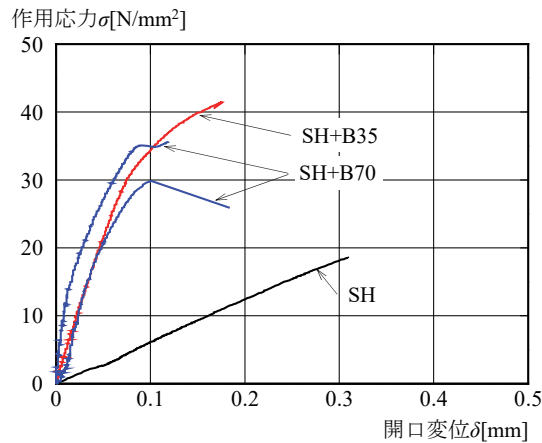


図-2 作用応力と開口変位の関係

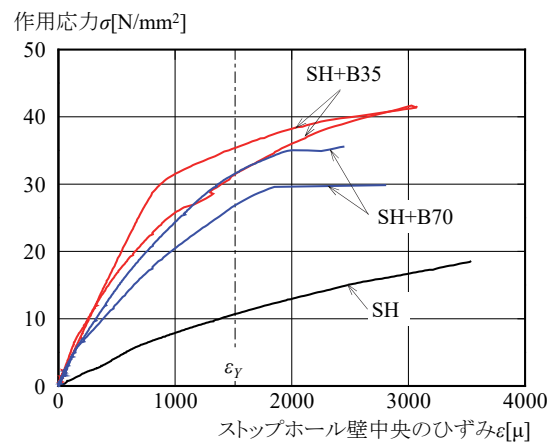


図-3 作用応力とストップホール壁中央のひずみの関係

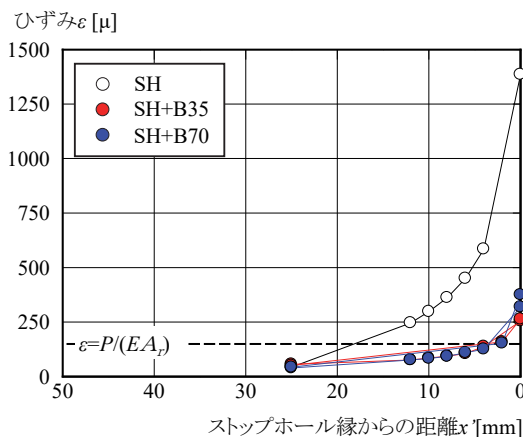


図-4 スリット部のリガメント断面のひずみ分布

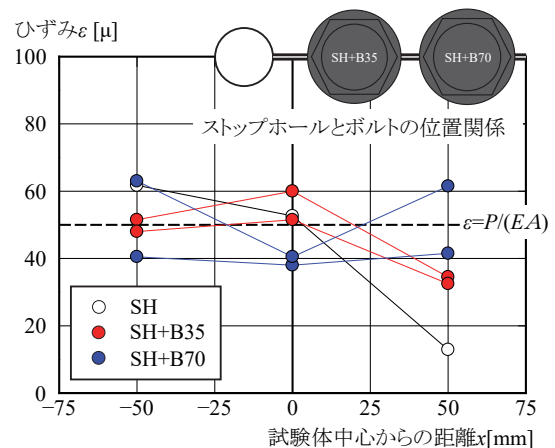


図-5 一般部のひずみ分布

係を図-3 に示す. この図から, スリット部をボルト締めすることによりストップホール壁中央のひずみが大幅に低減できることがわかる. また試験体 SH+B70 ではボルトのすべりが生じた際にひずみが急激に増加している. 図-2 では, 試験体 SH+B35 に対して明確なすべりが見られなかったが, 作用応力 σ とストップホール壁中央のひずみ ε の関係では $\sigma=30\text{N/mm}^2$ 程度で変曲点が見られた. 本研究で用いた試験体では, 载荷軸中心(試験体中心)とスリット部のリガメント断面中心がずれているため面内曲げモーメントが生じる. したがって, 試験体 SH+B35 においても, 面内曲げモーメントの影響で $\sigma=30\text{N/mm}^2$ 以降に徐々にすべりが生じたと考えられる.

作用応力 $\sigma=10\text{N/mm}^2$ の際の, スリット部のリガメント断面のひずみ分布および一般部のひずみ分布を図-4, 5 に示す. それぞれの図には, 载荷荷重 P をリガメント部の断面積 A_r と鋼のヤング係数 E で除して与えたひずみ $\varepsilon=P/(EA_r)$ および P を一般部の断面積 A と E で除して与えたひずみ $\varepsilon=P/(EA)$ も破線で示している. 図-4 より, スリット部をボルト締めすることによりストップホール近傍のひずみが大幅に低減できることがわかる. また, 図-5 から, 試験体 SH と比べて, スリット部をボルト締めした試験体では, スリット部側($x=50\text{mm}$)のひずみの値が大きくなっており, 締付けたボルトを介して応力が伝達され, 面内曲げモーメントが小さくなったと考える.

4. まとめ

本研究では, ストップホールの応力集中を低減させるために, き裂部を直接ボルト締めする工法を提案し, 引張試験によって, 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が大幅に低減できることを示した. ただし, 本研究で用いた試験体では, 作用応力が 30N/mm^2 程度でボルトのすべりが生じた.

参考文献 1) 石川敏之, 松本理佐, 服部篤史, 河野広隆, 山田健太郎: き裂表面閉口によるストップホール縁の応力集中の低減, 材料, 第 62 巻, 第 1 号, pp.33-38, 2013.