き裂部ボルト締めによるストップホールの疲労強度向上効果

関西大学　正会員　○石川　敏之
横河ブリッジ　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．ストップホールをボルト締めする工法によってストップホールの疲労強度を向上させる技術もあるが，この工法でも，き裂が長くなるとストップホールの疲労強度の向上効果が低減する．これらに対して，筆者らは，ストップホールの応力集中を低減させる方法として，**図-1** に示す様に，ストップホールだけではなく，疲労き裂も高力ボルト締めする方法を提案してきた．これまでの研究で，き裂部をボルト締めすることによって，ストップホールの応力集中が低減することを静的試験で明らかにしている [1)]．また，提案工法とストップホールのボルト締めを併用することにより，ボルト締めストップホールと比べて，ストップホールの応力集中がより低減できることを明らかにしている．

本研究では，き裂部ボルト締めしたストップホールを有する試験体の板曲げ疲労試験を実施し，き裂部をボルト締めすることによるストップホールの疲労強度向上効果を明らかにする．

２．試験体

本研究で用いた試験体を**図-2** に示す．板幅 200mm，板厚 12mm の鋼板(SM400，SM490Y)の両縁からエッジクラックを模したスリット(長さ 55mm)を設け，その先端に φ18mm のストップホールを設けている．ストップホールのみ設けた試験体を試験体 SH と呼ぶ．ストップホールの中心から 35mm の位置のスリット部に，φ18mm の円孔を設け，ボルト締めした試験体を SH+B35 と呼ぶ．ボルト締めには，M16 のトルシア形高力ボルト(S10T)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した(Ra=0.47~0.71μm)．トルシア形高力ボルトを設計軸力 106kN の 6 割程度となる様にトルクレンチで 1 次締めを行った後，専用のシャーレンチによって軸力を導入した．また、供用下で施工されることが多い実橋での補修を考えて，軸力導入直後から疲労試験を実施した．

３．板曲げ疲労試験

本研究では，**図-3** に示す様に板曲げ振動疲労試験を用いて疲労試験を実施した．応力比は主板上面で R=0 程度となる様にコイルバネを押下げて調整した．ひずみゲージの位置を**図-2** に示している．ストップホール位置の公称応力範囲 $\Delta\sigma_n$ は，CH1 のひずみ範囲に鋼のヤング係数(E=200kN/mm^2)を乗じて，ストップホール位置まで外挿して算出した．CH1 の位置の応力は，構造力学で計算される応力とほぼ一致し，ストップホールとスリットによる断面欠損の影響を受けない位置である．

き裂を検出するために，ストップホールの縁から

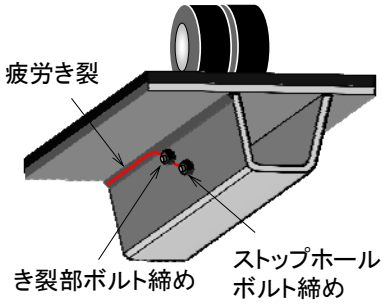


図-1　き裂部ボルト締めのイメージ

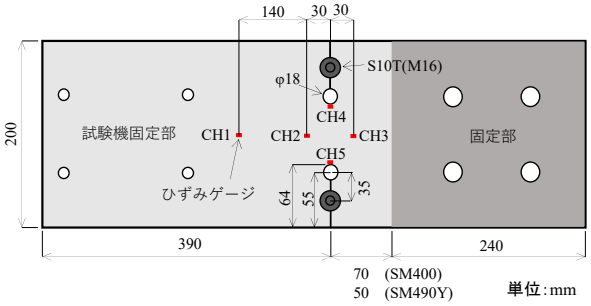


図-2　試験体 SH+B35

キーワード　ストップホール，き裂部ボルト締め，応力集中，疲労強度
連絡先　〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35 TEL.06-6368-0926

© Japan Society of Civil Engineers

1mm の位置に φ0.05mm の被覆銅線を接着し，疲労き裂の発生・進展により銅線が破断した際に試験機を停止するようにした．

３．試験結果

一例として，公称応力範囲 $\Delta\sigma_n$=150N/mm^2 に対して試験体 SH と SH+B35 のストップホール縁に貼付けた CH4 のひずみ範囲と繰返し回数 N の関係を**図-4** に示す．試験体 SH の疲労試験結果から，ストップホール縁から疲労き裂が発生すると，ひずみ範囲が低下していることがわかる．ストップホール縁から 1mm の位置に疲労き裂が進展した際，ひずみ範囲の低下は 5%程度であった．スリット部をボルト締めした試験体 SH+B35 では，試験体 SH と比べて，CH4 のひずみ範囲が 0.36 倍程度まで低下していることがわかる．

全ての試験体に対する，公称応力範囲 $\Delta\sigma_n$ と疲労寿命 N の関係を**図-5** に示す．図には，JSSC 疲労設計指針の疲労強度等級も示している．公称応力範囲で整理した S-N 関係では，試験体 SH+B35 の疲労寿命が，試験体 SH の疲労寿命よりも大幅に延命されていることがわかる．ただし，試験体 SH+B35 では，長寿命領域においてフレッティング破壊が生じた．フレッティング破壊の一例を**図-6** に示す．この図に示す様に，トルシア形高力ボルト頭部や，ボルト締め付け位置の主板にフレッティング破壊が見られた．

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，き裂部をボルト締めした試験体の板曲げ疲労試験を実施した．その結果，き裂部をボルト締めすることにより，ストップホール縁のひずみが大幅に低減し，公称応力範囲に対してストップホールの疲労寿命が大幅に向上した．ただし，き裂部をボルト締めした場合には，ボルトやその近傍の主板にフレッティング破壊が生じる場合がある．

謝辞　本研究の疲労試験は，関西大学環境都市工学部都市システム工学科二ノ宮直季氏(研究当時)にご協力頂いた．ここに記して謝意を示す．

参考文献　1) 石川敏之，八重垣諒太，清川昇悟，中辻　亘：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，土木学会第 72 回年次学術講演会概要集 第 1 部，第 72 巻，I-259，pp.517-518，2017.

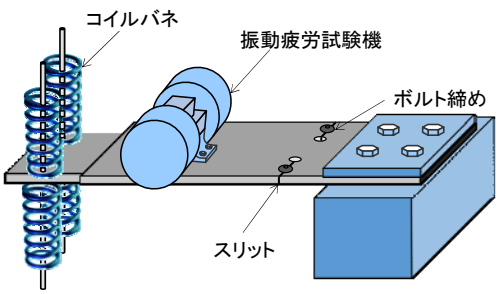


図-3　板曲げ疲労試験

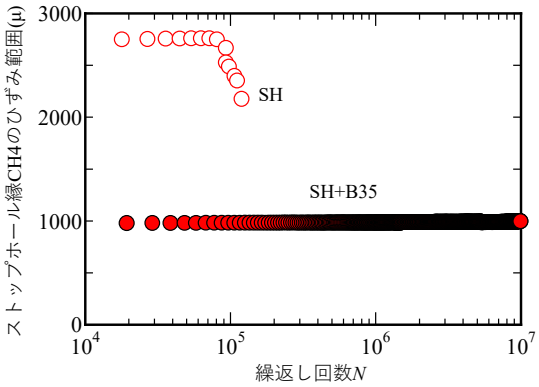


図-4　ストップホール縁のひずみ範囲の変化

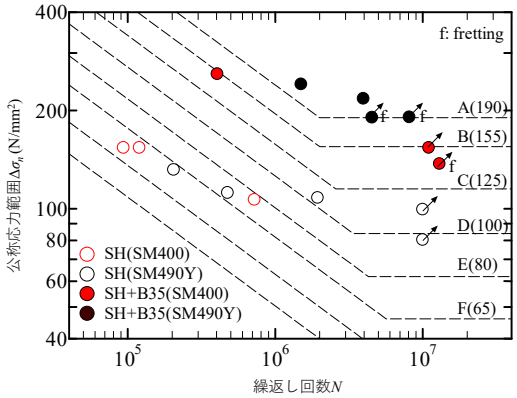
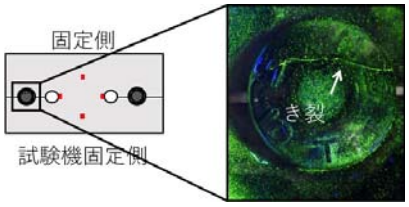
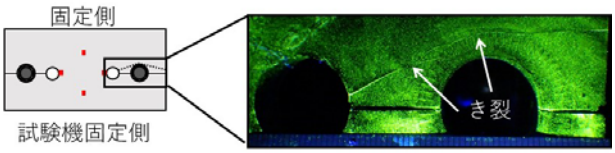


図-5　S-N 関係



(a)　ボルト頭部のフレッティングき裂



(b)　主板部のフレッティングき裂

図-6　フレッティング破壊の一例

© Japan Society of Civil Engineers