

第I部門

き裂部ボルト締めによるストップホールの応力低減効果

関西大学 学生員 ○玉利 仁, 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 正会員 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、き裂長さに応じて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。一般的な高力ボルトを用いたき裂の当て板補修はストップホールを設けた上で施工される。当て板高力ボルト補修ではストップホールの応力集中が低減す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を引張試験と曲げ試験により明らかにされている。したがって、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、当て板高力ボルト補修工法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有限要素解析により明らかにする。

2. 部材モデルの解析

汎用の有限要素解析プログラム Marc を用いて、弾塑性有限変位解析を実施した。解析モデルの一例を図-1に示す。また、解析モデルの境界条件と要素分割を図-2に示す。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。き裂長さ l_c は92.5mm、き裂幅は4mmとした。解析条件として、主板(厚さ12mm)と当て板(厚さ9mm)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。高力ボルトS10T(M20)の利用を想定し、解析モデルの高力ボルト頭部を円柱形でモデル化した。また、ボルトは2行×2

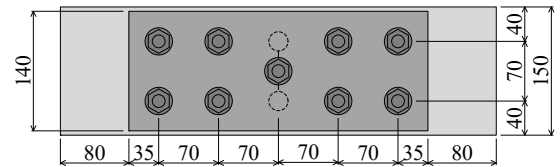


図-1 試験体寸法の一例(当て板補修+き裂部ボルト締め)

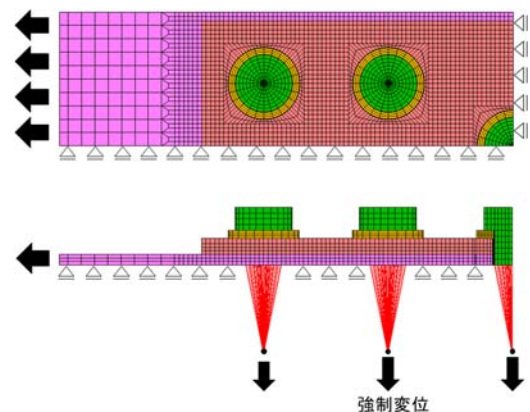


図-2 解析モデルの一例

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 $\sigma_Y=465\text{N/mm}^2$ 、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 50N/mm^2 を与えた。

ストップホールの応力集中係数 α_{SH} は、以下の式(1)で定義し、公称応力 $\sigma_n=50\text{N/mm}^2$ 時の各解析モデルの α_{SH} を比較した。

$$\alpha_{SH} = \sigma_{SH} / \sigma_n \quad (1)$$

ストップホール応力 σ_{SH} は、ボルト軸力導入直後をゼロとし、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} は以下のようになった。ストップホールのみは、 $\alpha_{SH}=7.61$ 、当て板補修のみは、 $\alpha_{SH}=1.79$ 、当て板補修とストップホールボルト締めの併用は、 $\alpha_{SH}=1.51$ 、当て板補修とき裂部ボルト締めの併用は、 $\alpha_{SH}=1.52$ となった。本研究で提案したき裂部にボルト締めを施すことにより、当て板補修とストッ

表-2 解析モデル

	当て板幅	き裂長さ l_c	ボルト行列($N_R \times N_C$)	ボルト締め位置	応力集中係数 α_{SH}
SH	-	92.5	-	-	5.21
P140-9B2-2	140	92.5	2×2	-	2.39
P140-9B2-2CB0	140	92.5	2×2	き裂部($y=0$)	2.10
P140-9B2-2SHB	140	92.5	2×2	ストップホール	1.86
SH	-	162.5	-	-	6.59
P210-9B3-2	210	162.5	3×2	-	2.38
P210-9B3-2CB0	210	162.5	3×2	き裂部($y=0$)	2.27
P210-9B3-2CB35	210	162.5	3×2	き裂部($y=\pm 35$)	2.03
P210-9B3-2SHB	210	162.5	3×2	ストップホール	2.05
P210-9B3-2CB0-SHB	210	162.5	3×2	き裂部($y=0$), ストップホール	1.97
SH	-	232.5	-	-	7.63
P280-9B4-2	280	232.5	4×2	-	2.35
P280-9B4-2CB0	280	232.5	4×2	き裂部($y=0$)	2.31
P280-9B4-2CB35	280	232.5	4×2	き裂部($y=\pm 35$)	2.23
P280-9B4-2CB70	280	232.5	4×2	き裂部($y=\pm 70$)	1.73
P280-9B4-2CB0-70	280	232.5	4×2	き裂部($y=0, \pm 70$)	1.72
P280-9B4-2SHB	280	232.5	4×2	ストップホール	2.03
P280-9B4-2CB0-SHB	280	232.5	4×2	き裂部($y=0$), ストップホール	2.00
P280-9B4-2CB35-SHB	280	232.5	4×2	き裂部($y=\pm 35$), ストップホール	1.94

プホールボルト締めの併用と同程度までストップホールの応力集中係数を低減できていることがわかる。

3. 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値に収束する。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¹⁾。パラメトリック解析では、き裂長さ l_c 、ボルト行数 N_R 、き裂ボルト締め位置 y 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。解析パラメータを図-3に示す。その他の解析条件は、2章と同様にした。本検討では、き裂のすべてを覆うように当て板を添接するようにし、ボルトゲージ($g=70\text{mm}$)、縁端距離($e=35\text{mm}$)として当て板幅も変化させている。ボルト列数 N_C は2、ボルトピッチ p は70mmとした。

解析結果から算出した応力集中係数 α_{SH} を表-1に示す。この表から、き裂部ボルト締めとストップホールボルト締めは、当て板補修のみに比べて、ストップホールの応力集中を低減できることがわかる。き裂長さ $l_c=232.5\text{mm}$ の場合、ストップホールボルト締めでは応力集中係数が $\alpha_{SH}=2.03$ であるが、き裂部ボルト締めとストップホールボルト締めの併用の場合、 $\alpha_{SH}=2.00$ となる。しかし、き裂部複数ボルト締めでは、 $\alpha_{SH}=1.72$ となり、最も応力集中が低減した。き裂中央のみにボルト締

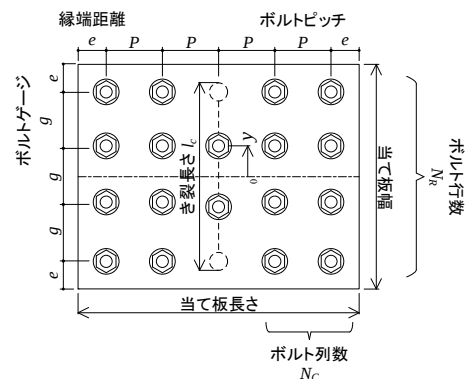


図-3 解析パラメータ

めた場合($y=0$)では、き裂が長くなると応力集中低減効果が小さくなるが、き裂部ボルト締めの本数を増やすことで、ストップホールボルト締めより、応力集中を低減できることがわかる。

4. まとめ

本研究では、ストップホールの応力集中を低減するために、当て板補修とき裂部ボルト締めを併用することを提案し、FEM解析において、ストップホールの応力集中を低減できることを示した。

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, 2020. (印刷中)