

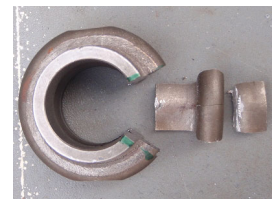
ボルト締めストップホール工法のワッシャーに生じたき裂に関する一考察

明星大学 正会員 鈴木 博之

明星大学 学生員 ○神之田 洋介

1. はじめに 溶接継手部に生じる疲労き裂の補修方法の一つに、ストップホールを高力ボルトで締付けるボルト締めストップホール工法がある。この工法において高力ボルトのワッシャーにき裂が発生するとの報告がある¹⁾。本研究ではき裂の発生した高力ボルトのワッシャーおよびワンサイドボルトのバルブスリーブを走査型電子顕微鏡（以下 SEM と呼ぶ）を用い破面の観察を行い、き裂発生の原因を調査した。また小型の試験体を用いたき裂の再現実験を行い、き裂の発生条件の調査も行った。

2. 破面観察 SEM 観察用の試料として、き裂の生じたワンサイドボルトのバルブスリーブ 2 個と、同じくき裂の生じた高力ボルトのワッシャー 2 枚を使用した。これらをそれぞれ写真-1 のように切断し SEM 観察試料とした。ワッシャーの試料番号を W-1、W-2、バルブスリーブを B-1、B-2 とする。



(a) 座金

(b) バルブスリーブ

写真-1 観察試料

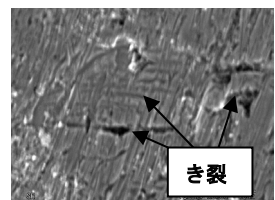
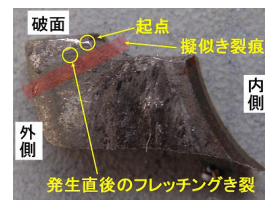
すべての試験体においてほぼ同一の結果が得られたため、ここでは W-1 について述べる。マクロ破面を写真-2 に示す。写真-2 より○で示す部位が起点であることがわかる。次に、ワッシャーと鋼板表面との接触面の観察を行った。観察結果を写真-3 に示す。写真-3 より発生直後と思われるき裂を複数確認することができる。また擦れ痕が多く見られ、この擦れ痕と直交するようにき裂が入っていることが確認できる。そのためこのき裂はソーカットの開閉口挙動により、鋼板表面とワッシャーの接触面に繰り返し荷重が作用することで生じたフレッチング疲労き裂であると言える。しかし同時期に発生した他のき裂が優先して進展し貫通に至った為、作用応力が減少し、写真-3 のき裂の進行が止まったものと考えられる。



(a)

(b)

写真-2 W-1 の破面



(a)

(b)

写真-3 フレッチング疲労き裂

3. フレッチング疲労き裂再現実験 小型の試験体を用いフレッチング疲労き裂を発生させ既往の実験により得られている結果と比較することでフレッチング疲労き裂の発生原因の特定を試みた。

試験体を図-1 に示す。まずき裂の発生を確認するため、疲労試験の最大応力は既往の実験でき裂の生じた 100MPa とし、最小応力は 0MPa とした。繰り返し速度は 5Hz で 400 万回繰り返し载荷を行った。しかし 400 万回後き裂が確認できなかったため、同一の試験体を用い応力を 130MPa に上げ、400 万回、150MPa に上げ、400 万回繰り返し载荷を行ったがき裂は確認できなかった。そこで応力を 200MPa に上げ 200 万回繰り返ししたところ M16 高力ボルトのワッシャーにき裂を確認した。ワッシャーに発生したき裂を写真-4 に示す。き裂は試験体に導入した擬似き裂とは接していない。き裂の発生したワッシャーを SEM を用いて破面観察を行ったところワッシャーと母材との擦れが原因で生じたフレッチング疲労き裂であることがわかった。き裂の発生する応力を確認するため再び別の 2 体の試験体を用いて 200MPa で試験を行った。試験の結果、225 万回、181 万回の繰り返し载荷後、ワッシャーにき裂が発生したことが確認できた。

キーワード ワンサイドボルト, き裂, 補修, ストップホール, フレッチング疲労

連絡先 〒191-8506 東京都日野市程久保 2-1-1 明星大学理工学部建築学科 TEL 042-591-9645

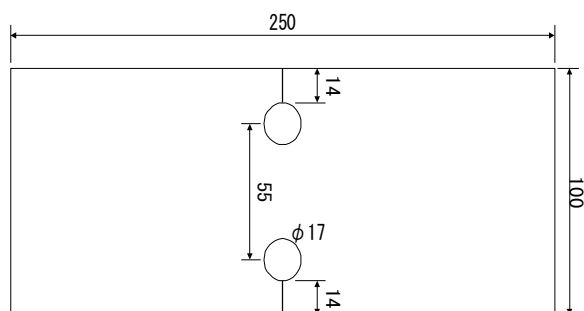


図-1 再現実験試験体



写真-4 ワッシャーに生じたき裂

鋼 I 桁を用いた既往の実験では 100MPa での繰り返し回数 60 万回でワッシャーにき裂を確認しているのに対し、本実験では 100MPa で繰り返し回数 400 万回を超えてもき裂は確認できず、200MPa で約 200 万回の繰り返し後にワッシャーにき裂が生じた。このように実験結果に大きな差異が見られる。再現実験で用いた試験体は小型であり両側にクラックを持つ帯板試験体である。そのためき裂の開口変位が小さくなり、き裂が生じるためには、より高い応力とより多い繰り返し回数が必要になったものと考えられる。そこで作用応力と開口変位の関係について調査した。試験体は図-1 に示す疲労試験と同型のものを使用し、高力ボルトで締め付けを行った試験体とストップホールのみ試験体の 2 種類について静的载荷試験を行った。作用応力を 10MPa ずつ増加させて作用応力に対する開口変位の変化を測定した。図-2 は応力と開口変位の変化を示したものである。ストップホールのみ試験体は 190MPa まで応力を上げたところ、開口変位が測定器の容量を超えたため試験を終了した。ボルト締めストップホール工法を行った試験体は 210MPa の载荷後に荷重を維持したところ、開口変位が増加し続けたため約 8 分後に再度測定した。このことからワッシャーと母材の間にすべりが生じていたことがわかる。その後 220MPa の応力を加えたところ、数秒後に破断した。両者を比較するとボルト締め付けを行うことにより、開口変位が減少していることがわかる。本実験では 8 分間荷重を保持している間に約 0.6mm というすべりを起こしているが、载荷速度の速い繰り返し载荷試験や、ボルト締めストップホール工法を行った実際の橋梁でも小規模なすべりは起こしているはずである。この小規模なすべりを繰り返すことでワッシャーに擦れを起点とした微細なき裂が蓄積しき裂が発生したものと考察できる。これにより鋼 I 桁による実験の繰返し速度が約 0.7Hz、小型試験体による実験の繰返し速度が 5Hz としたため、ワッシャーと母材のすべりの大きさに差が生じ、き裂の発生に要する繰返し回数に差が出たものと考えられる。

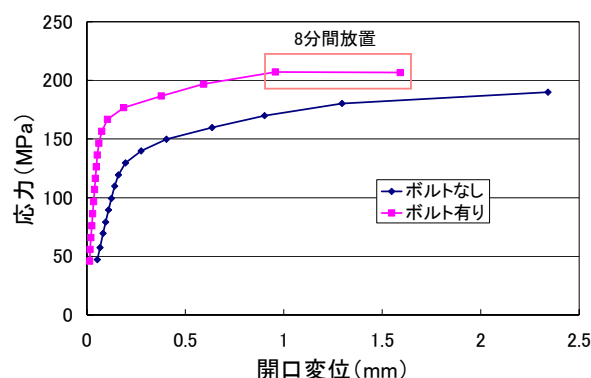


図-2 応力-開口変位曲線

4. まとめ 本研究では、高力ボルトとワンサイドボルトによるボルト締めストップホール工法の施工後に生じたワッシャーとバルブスリーブのき裂の調査と再現実験を行い、き裂の発生原因と発生条件の検討を行った。これにより得られた知見は以下のとおりである。

- (1) き裂の開閉口挙動により、バルブスリーブ、ワッシャーにフレッチング疲労が生じていることがわかった。
- (2) ボルト締めストップホール工法において、ワッシャーと母材の間にはすべりが生じておりそのすべりがフレッチング疲労き裂発生の原因となっていることがわかった。
- (3) フレッチング疲労き裂は荷重の繰返し速度が発生条件に大きく関係しているものと推察された。

5. 参考文献 1) 鈴木、宮崎、相田：片面施工用高力ボルトを用いたボルト締めストップホール工法によるき裂の補修、第 36 回関東支部研究発表会公演概要集 I -50 (2009)