

I-404

ストップホールによる疲労亀裂の進展防止対策

横河橋梁 正員 深沢 誠 正員 名取 暢
鉄道総研 正員 阪本謙二

1. はじめに

鋼構造物には部材の構成や補強のためリブ、ガセット等の各種付加物がすみ肉溶接されるが、最近の鋼橋における調査によると、このような二次的部材のすみ肉溶接部に疲労損傷の発生が報告されている。確認された疲労損傷に対しては、損傷の原因、程度、進行度を十分に調査し、それに対応した適切な補修、補強対策を実施することが必要であるが、疲労損傷が発生した構造ディテールが極めて一般的なものであり、数多くの橋梁において同様の亀裂の発生が考えられる場合には、いかに経済的かつ効果的な補修・補強対策を採用するかが重要な課題となる。疲労亀裂の比較的簡便な補修方法として、亀裂先端に円孔を設けることにより、先端部での高い応力集中を軽減し、亀裂の進展を防止する方法(ストップホール法)がある。ストップホールの効果については、すでに種々の検討がなされているが、それら検討のほとんどは外力が単純引張り状態に対するものであり、実橋の疲労損傷事例で多く見られるような局所的な面外曲げ作用に起因する疲労亀裂に対する効果については十分な検討がなされているとはいいがたい。そこで、面外曲げに起因すると考えられる鉄道橋のI桁腹板における垂直補剛材下端部の疲労損傷事例を対象にストップホールの効果について検討を行った。

2. 供試体および荷重方法

供試体の形状・寸法を図-1に示す。供試体は鋼桁腹板に相当する中板の表裏に長さ240mmの補剛材がすみ肉溶接されている。荷重方法は中板の両端を支持点とし、補剛材を直接押す3点曲げ荷重形式(スパン長430mm)とした。供試鋼材はSM41A、 $t=15\text{mm}$ である。試験シリーズは、亀裂の発生、進展挙動を検討するための基本供試体(Aシリーズ)とストップホールの効果を検討するための供試体(Bシリーズ)の2種類である。Bシリーズ供試体については、亀裂をある程度進展させた後、電動ドリルを用い亀裂先端にストップホールを設けた。ストップホールによる補修施工要領を図-2に示す。ストップホールの径は16mmであり、ストップホール施工後、磁粉探傷試験を実施し、ストップホールが引張側における亀裂先端を捉えていること確認した。疲労試験はローゼンハウゼン型試験機を用い、荷重速度300cpm(正弦波)の条件で行った。また、試験途中、一定繰返し数毎に荷重振幅を1/2としたピーチマーク操作を行い、試験終了後、亀裂破面を露呈し亀裂の発生、進展状況を観察した。なお、各供試体とも回し溶接止端部から5mm離れた位置に歪みゲージ(ゲージ長2mm)を貼付し、初期状態での止端部における歪みを測定するとともに、ストップホールを施したBシリーズについてはストップホール補修施工後、孔縁から2mm離れた位置に歪みゲージ(ゲージ長2mm)を貼付し孔縁での歪みを測定した。

3. 試験結果

表-1に試験結果の一覧を示す。表中、繰返し荷重前の初期状態における回し溶接止端部でのひずみおよび最終亀裂寸法を示す。

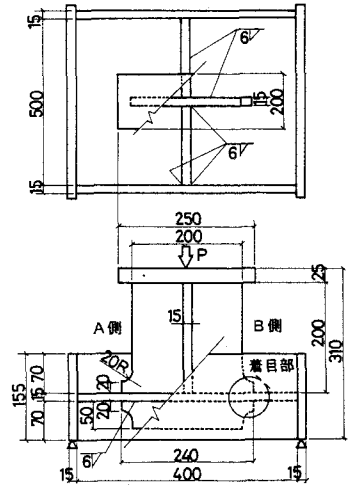


図-1、供試体形状

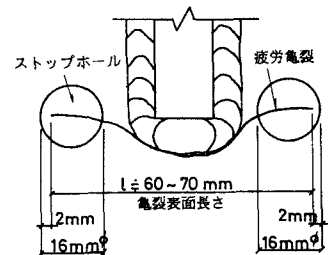


図-2、ストップホール施工要領

また、ストップホールによる補修を実施したBシリーズについては、ストップホール施工状況およびストップホール孔縁でのひずみ測定結果を示す。基本供試体であるA-1、2 供試体については、それぞれ繰返し数275万回、205万回まで載荷を行い試験を終了した。両供試体とも疲労亀裂は引張り側、圧縮側双方の回し溶接部から発生し、これら亀裂は中板板厚方向に進展した後、合体して成長した。なお、図-3にA、Bシリーズについて、繰返し数の増加に伴う引張側の亀裂表面長さの変化例を示すが、今回の供試体では、亀裂が成長するに従い進展速度が鈍化する傾向にあり、亀裂の発生、進展性状は回し溶接部近傍の局部的な応力集中に依存しているものと考えられる。Bシリーズについては、亀裂の発生、進展を観察しながら、引張側における亀裂表面長さが70~78mmに達した時点でストップホール施工を行い、その後、同一の荷重条件で繰返し数約400万回まで載荷を行った。B-1供試体では、引張側、圧縮側双方においてストップホールからの亀裂は発生せず、面外曲げ作用下におけるストップホールの亀裂進展防止効果が確認された。また、圧縮側の亀裂については、引張側における亀裂長さとの違いから、表-1に示すようにストップホール施工により亀裂先端が完全に除去されていない場合もあったが、その後の繰返し載荷によりこれらの亀裂はストップホールに向かって進展しており、ストップホールが亀裂の進展誘導の働きをしているものと考えられる。B-2供試体については、B-1供試体と同様にストップホールからの亀裂の発生は確認されなかったが、引張側において側面すみ肉溶接止端部に沿った亀裂が発生した。破面のビーチマーク観察結果から、この亀裂はストップホール施工後に発生したものであり、ストップホール孔縁での応力状態より側面すみ肉溶接部止端部での応力状態が厳しい条件となり、この部位から新たな亀裂が発生したのもと考えられる。したがって、ストップホール施工に際しては、孔縁での応力状態の把握とともにストップホール周辺の応力状態についても配慮する必要があるだろう。

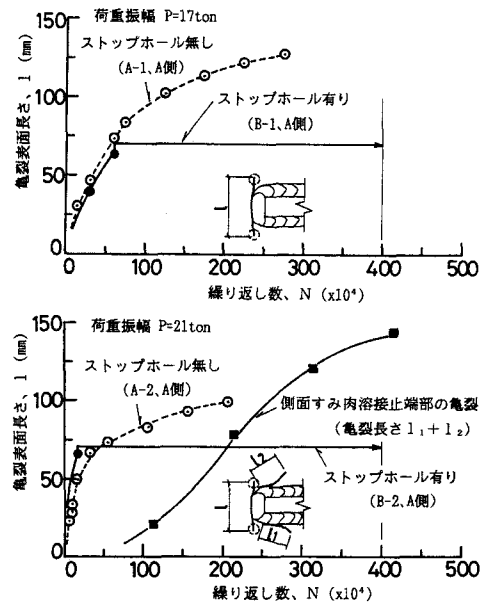


表-1、疲労試験結果一覧

図-3、亀裂表面長さの変化（引張側）

試験シリーズ 試験体No.		荷重 振幅 ton	止端部の歪、 $\times 10^{-4}$				ストップホール施工状況及び孔縁の歪、 $\times 10^{-4}$				最 終 繰返数 $\times 10^{-4}$	最終亀裂進展状況			
			引張側		圧縮側		引張側		圧縮側			引張側		圧縮側	
			A側	B側	A側	B側	A側	B側	A側	B側		A側	B側	A側	B側
Aシリーズ	A-1	17	950	938	-913	-985	—	—	—	—	275				
	B-1	21	1038	1206	-1147	-1235	—	—	—	—	205				
Bシリーズ	A-2	17	914	949	-962	-926	60	60			468				
	B-2	21	1237	1079	-1255	-1228	15	15			415				