添え板ボルト締めストップホール法による補修部の疲労強度と破壊起点

法政大学大学院　学生会員　○白井　聡也　　法政大学　正会員　森　猛
首都高速道路㈱　正会員　小杉　剛史　　首都高速道路㈱　正会員　平野　秀一

１．はじめに

鋼橋の様々な部位において疲労き裂の発生事例が数多く報告されている．特に主桁ウェブと横桁フランジの交差部（主桁・横桁交差部）に生じたき裂は，放置すれば落橋に至る可能性もある危険な損傷である．そのため，定期的な点検による早期発見と適切な補修が必要である．この疲労き裂の応急的な補修方法として，ストップホール法やボルト締めストップホール法，恒久的な補修方法として，アングル材を用いた補修方法がある（図 1）．現在，首都高速道路では図 1 の補修方法以外にも添え板を用いた補修を行っている．この方法は，疲労き裂の先端にストップホールと呼ばれる円孔をあけ，さらに添え板を当てて高力ボルトで締め付けることによりき裂先端の応力集中を緩和し，疲労強度の向上を図るものである（図 2）．ここではこの方法を添え板ボルト締めストップホール法と呼ぶ．この方法はボルトのみの場合と比べて接触面積が増加し, より高い補修効果が得られると考えられる．昨年度は，添え板ボルト締めストップホール法の補修効果を明らかにする目的で，面外ガセットを有する桁試験体を対象とした疲労試験と 3 次元有限要素応力解析を行った．そして，疲労損傷を受けていない溶接ままの状態に比べて疲労寿命が 5 倍以上となるという結果を得た．しかし，補修部が損傷する前に補修部位以外の溶接部に疲労き裂が発生し，当該補修部の疲労強度および破壊起点は不明であった．本研究では，昨年度の報告に用いた桁試験体補修部を模擬した小型試験体の疲労試験を行うことにより，添え板ボルト締めストップホール法による補修部の破壊形態と疲労強度を定量的に明らかにすることを目的とする．

図 1　アングル材を用いた補修方法

図 2　添え板ボルト締め
ストップホール法

２．試験体

表 1　供試鋼材の機械的性質

鋼種	板厚 (mm)	機械的性質			化学成分　(%)				
		降伏点 (N/mm^2)	引張強さ (N/mm^2)	伸び (%)	C ×100	Si ×100	Mn ×100	P ×1000	S ×1000
SM400A	6	339	459	30	13	19	92	18	3

供試鋼材（SM400A）の機械的性質と化学成分を表 1 に示す．試験体の母板は幅 150mm，長さ 700mm，板厚 6mm である．鋼板の表裏面の中央長手方向に TIG-dressing を行って残留応力を導入した後，図 3 に示すように試験体中央とそこから左右 55mm の位置に円孔を開けた．その後，中央の 2 つの円孔を鋸引きにより結合して疲労き裂を模擬した．添え板は幅 50mm，長さ 160mm，板厚 6mm である．添え板のプライマーの種類は厚膜無機ジンクリッチペイント，膜厚は 75μm程度である．添え板の接合は以下のように行った．まず, 添え板があたる部分の母板表面の黒皮をディスクグラインダーで除去する．黒皮の除去は,

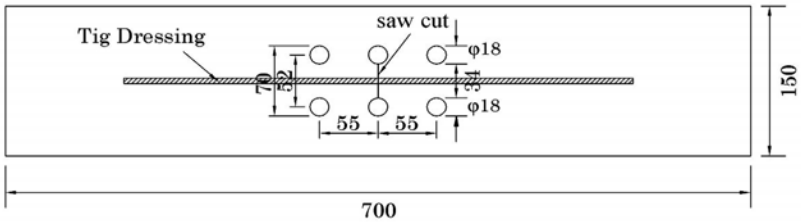

図 3　母板の形状・寸法

キーワード：主桁・横桁交差部，疲労き裂，補修，添え板，ボルト締めストップホール
連絡先：法政大学（東京都小金井市梶野町 3-7-2　TEL:042-387-6287　FAX:042-387-6124）

＃40 のディスクグラインダーで荒削りした後に＃80 のグラインダーで仕上げることにより行っている.そして,軸付ゴム砥石で円孔壁を研磨している.最後に添え板を当て，シャーレンチを用いてトルシアボルト（S10T-M18）で締め付けた．添え板を接合した試験体の形状・寸法を図 4 に示す.

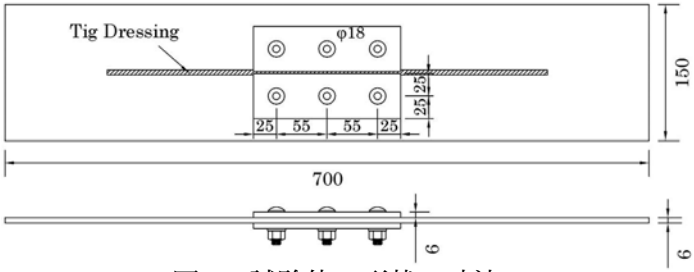

図 4　試験体の形状・寸法

３．疲労試験

疲労試験は,動的能力 500kN の電気油圧サーボ材料試験機を用い,応力範囲を 165，180，200，220 N/mm^2 として各応力レベル 2 体ずつ行った．荷重波形は正弦波，繰返し速度は 10Hz である．

公称応力範囲で整理した疲労試験結果を図 5 に示す．図中には，昨年度報告した桁試験体の疲労試験結果も示している．図中の実線は，最小 2 乗法によって求めた疲労寿命に対する応力範囲の回帰直線である．回帰直線は，次式で与えられる．

$$\Delta\sigma^{4.15} \cdot N = 4.63\times10^{15}$$

この回帰直線から求めた 200 万回疲労強度は, 181 N/mm^2 と高く,桁試験体・溶接のままの 2 倍以上となっている．この 2 倍以上高いという結果は，昨年度の桁試験体による疲労試験で 400 万回以上載荷しても疲労き裂が生じなかったことと対応している．ただし，小型試験体の板厚が桁試験体の 2/3 であり，ここで得られた疲労強度には板厚の影響も含まれているとも考えられる．

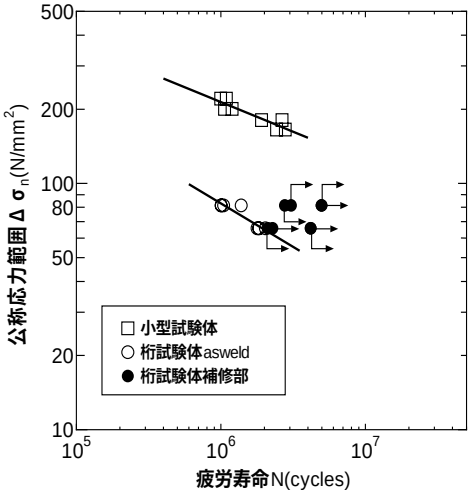

図 5　疲労試験結果

疲労破面を図 6 に，添え板と高力ボルトを外した母板表面の様子を図 7 に示す．疲労き裂は，ボルト締めしたストップホールやボルト締めした母板のボルト孔ではなく, ボルト孔から外側に 10mm 程度離れた母板表面から疲労き裂が生じ，ほぼ母板幅方向に進展して破断している．他の試験体も同様であった．図 8 は，破断部と反対側の母板表面の磁粉探傷試験結果を示している. ボルト孔から外側に離れた 3 ヶ所に疲労き裂が確認される．これらの疲労き裂は，通常の高力ボルト摩擦接合継手と同じに，添え板と母板のフィレティングにより生じたものと考えられる．

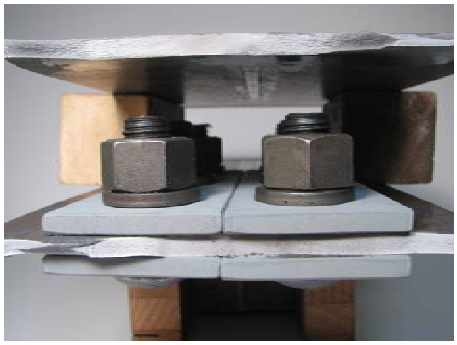
図 6　疲労破面

図 7　母板の破壊状況

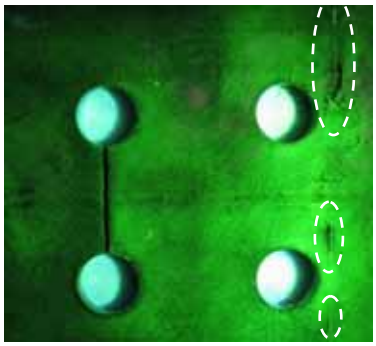
図 8　磁粉探傷試験結果

４．まとめ

(1) 当該補修部の疲労強度は，溶接ままの継手の 2 倍以上である．

(2) 当該補修部の疲労破壊の起点は，ボルト締めしたストップホールではなく，ボルト孔外側の母板表面である．これは，添え板と母板のフレッティングにより生じたものと考えられる．