CFRP 板接着とストップホール施工の併用による疲労き裂の補修

首都大学東京大学院　学生員○姜　威
首都大学東京　正会員　中村一史・フェロー　前田研一
明星大学　正会員　鈴木博之　東京鐵骨橋梁　フェロー　入部孝夫
新日本石油　伊原啓裕

１．はじめに

著者らは炭素繊維強化プラスチック板(以下 CFRP 板と呼ぶ)を用いて面外ガセット溶接継手部より発生した疲労き裂の補修について検討を行ってきた[1)]．積層 CFRP 板の貼付により応急的補修方法としては十分な効果が認められたものの，き裂再発生を抑制するまでには至らなかった，そこで，本研究は CFRP 板接着とストップホール施工の併用により，さらに補修効果を高めることを目的として検討を行った．

２．補修方法と実験条件

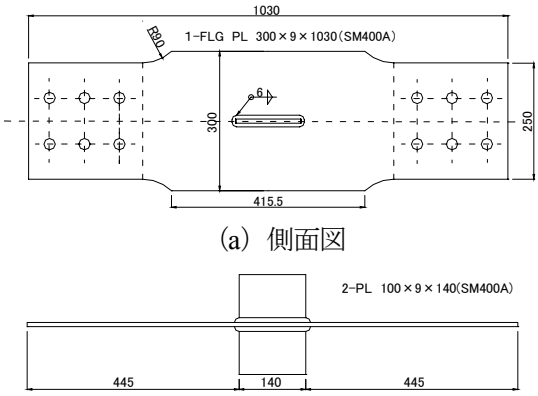
図-1 に，検討対象とした面外ガセット試験片を示す．表-1 には，鋼板，CFRP 板およびエポキシ樹脂接着剤の機械的性質を示す．試験方法については，まず，疲労実験により試験片の止端部よりき裂を約 33mm まで進展させた後，図-2 のような 4 つのケースの補修を行って，静的載荷試験，疲労試験を実施してその補修効果を比較した．具体的には，次のように補修を行った．

(a) SH　：ストップホール(φ25)のみで補修したもの
(b) SHM　：ストップホール(φ25)の施工後，ビード形状に密着するように積層 CFRP 板（5 層）で補修したもの
(c) SHS　：ストップホール（φ25）の施工後，ストップホールの直上に単層 CFRP 板で補修したもの
(d) SHMS：前述の SHM と SHS を組み合わせて補修したもの

全ての実験シリーズを表-2 に示す．疲労試験には，容量 1,000kN の電気油圧式サーボアクチュエーターを用い，載荷速度を 2Hz，試験片の応力範囲 $\Delta\sigma_n$ を 100MPa とした．CFRP 板の接着状況の一例を写真-1 に示す．なお，き裂の進展上の鋼板および CFRP 板の表面にひずみゲージを貼付して応力を計測した．さらに，開口変位を計測するために，ストップホールおよびガセットの中心位置にクリップ型変位計を設置した．

３．静的載荷試験結果

まず，$\Delta\sigma_n$＝100MPa（ΔP＝250kN）の載荷時におけるき裂進展上の鋼板のひずみ分布を図-3 に示す．図より，ストップホールのみで補修したシリーズ SH では，一様な引張応力 $\Delta\sigma_n$ に対して最大応力は約 5 倍となった．さらに，ストップホールと CFRP 板を併用することで，鋼板の最大応力を低減することができることが解った．最も効果の高かったものは SHMS シリーズであり，ストップホールのみで補修した SH シリーズ



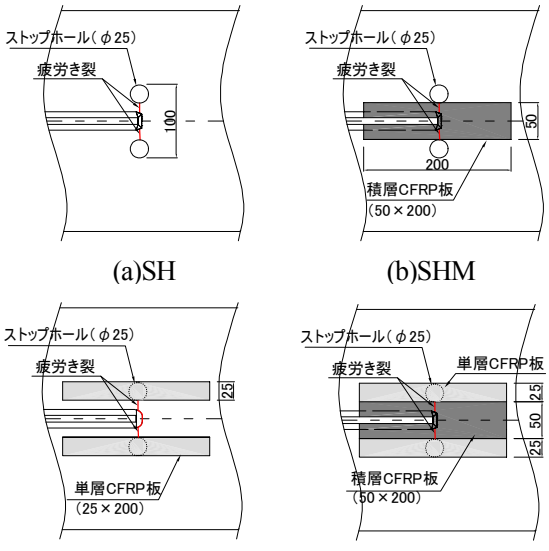
(a) 側面図
(b) 平面図
図-1　面外ガセット試験片の形状

表-1　機械的性質

	鋼板（SM400）	CFRP板	エポキシ樹脂接着剤
降伏点　(MPa)	285	-	-
引張強度 (MPa)	443	2990	30
破断伸び (%)	29	1.9	-
弾性係数 (GPa)	206	172	1.5

表-2　実験シリーズ

シリーズ	補修方法		
	ストップホール	CFRP板	
		貼付位置	積層枚数
N	なし	–	–
SH	あり	–	–
SHM	あり	図2-b	積層部5枚
SHS	あり	図2-c	単層部1枚
SHMS	あり	図2-d	単層部1枚，積層部5枚



(a)SH　(b)SHM
(c)SHS　(d)SHMS
図-2　各シリーズの補修方法

Key Words：ストップホール，CFRP 板，補修，疲労き裂，面外ガセット溶接継手
連絡先：〒192-0397　東京都八王子市南大沢 1-1　TEL. 042-677-1111　FAX. 042-677-2772

と比較して，最大応力は約 50%低減されることも解った．

次に，図-4 には CFRP 板上の応力分布を示す．図より，SHMS シリーズの積層部の応力分布は，SHM シリーズと同程度であり，さらに単層部においても応力を負担することから，前述したように鋼板の応力が最も低減されるといえた．したがって，疲労強度も高くなることが予想された．

図-5 に，各シリーズの開口変位を示す．図より，ストップホールの施工前（き裂長さ 33mm 時）と施工後（き裂長さ 50mm に相当）を比較すると施工後の開口変位量は大きくなった．SHM シリーズでは，ストップホール施工後に対してストップホール中心位置の開口変位を約 30%低減できることが解る．これに対し，SHS シリーズでは，中心位置の開口変位の低減効果は小さいことが解る．

４．疲労試験結果

図-6 に，S-Np 線図を示す．ここに，Np は，補修後（き裂長さ 50mm に相当）から全破断までの繰り返し回数（余寿命）である．まず，無補修の N シリーズに対して，SH シリーズでは余寿命は 1.6 倍であった．SHM シリーズでは 5 倍，SHMS シリーズでは疲労試験を継続中であるが 80 倍以上に余寿命が延び，十分な補修効果のあることが解った．

ここで，SHM シリーズでは，き裂が再発生する前に積層 CFRP 板がはく離し，CFRP 板による補修効果が無くなった後にき裂が再発生した．

一方，SHMS シリーズでは，Np が約 47 万回に達した時点で片側の積層 CFRP 板が，また，約 430 万回でもう一方の積層 CFRP 板が剥離した．しかしながら，Np が約 565 万回に達した時点でも，単層部の CFRP 板のはく離やストップホールからのき裂の再発生は確認されていない．したがって，SHS シリーズの補修効果も高いと予測される．特に，ガセット中心部に接着した積層 CFRP 板とストップホールを併用する場合，ストップホール縁端の応力集中を低減する効果は高いものの，ストップホールの施工によって開口変位が大きくなるため，CFRP 板がはく離しやすくなる点に留意する必要があるといえた．

５．まとめ

本研究では，面外ガセット溶接継手部から発生した疲労き裂を対象に，CFRP 板接着とストップホール施工を併用した場合の補修効果について実験的な検討を行った．その結果，ストップホール施工との相対的な補修効果を明らかにするとともに，それらを併用すればさらに補修効果が高まり，恒久的対策としても期待されることが解った．

今後も疲労試験を継続し，実験データを蓄積するとともに，より適切な CFRP 板の貼付方法について検討を行う予定である．

参考文献

1) 中村一史，諸井敬嘉，鈴木博之，前田研一，入部孝夫：溶接継手に発生した疲労き裂の積層 CFRP 板による補修効果，日本鋼構造協会，鋼構造年次論文報告集，第 13 巻，pp.89-96，2005.11

写真-1　CFRP 板の接着状況（SHMS）

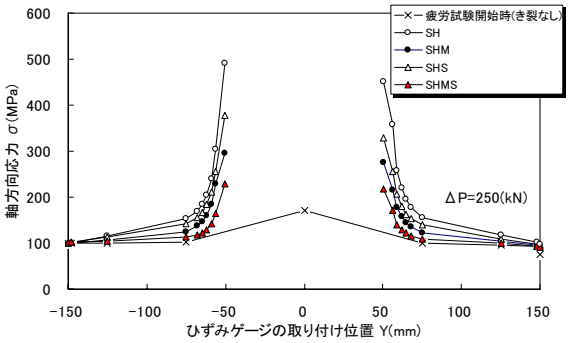


図-3　鋼板上の応力分布

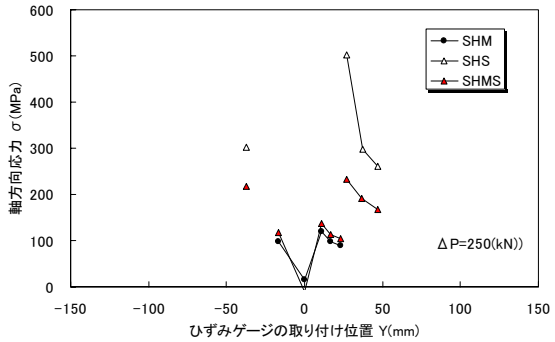


図-4　CFRP 板上の応力分布

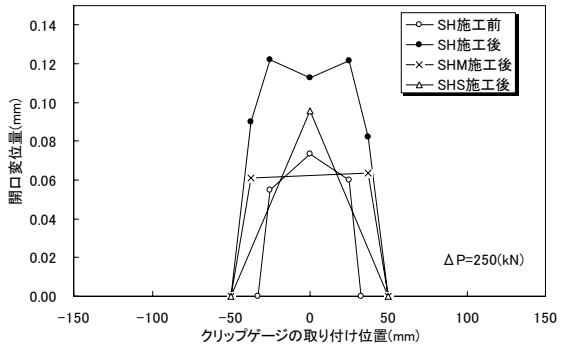


図-5　各シリーズの開口変位

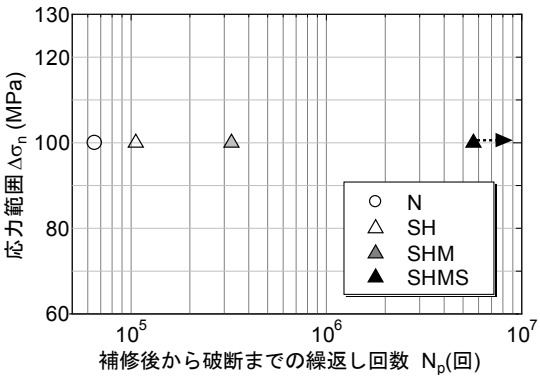


図-6　S-Np 線図