接着層の厚さが鋼板と CFRP 板の接着性能に及ぼす影響

首都大学東京大学院　学生員○田口大亮
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　竹村振一

１．はじめに

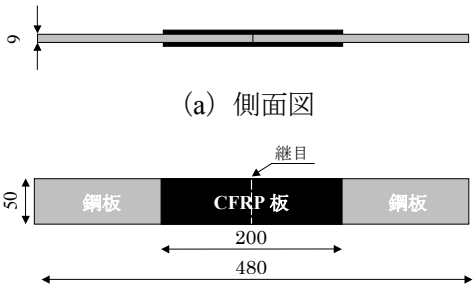
CFRP（炭素繊維強化プラスチック）板は，高強度かつ軽量であり，耐腐食性にも優れていることから，構造物の補修・補強材料として広く用いられている．著者らは，面外ガセット溶接継手部から発生した疲労き裂を対象に，CFRP 板の貼付による補修工法について検討を行ってきたが [1)]，実施工に向けて，鋼板と CFRP 板との接着性能について把握しておく必要がある．そこで，本研究では，鋼板に CFRP 板を接着する際のエポキシ樹脂接着剤の適切な接着層の厚さを検討することを目的として，接着層の厚さを変化させて鋼板と CFRP 板の接着接合部における接着性能を実験的に検討した．

２．試験片と試験方法

図-1 に示すように，2 枚の鋼板（240×50×9）を長手方向に並べ，両面に CFRP 板（200×50×1.2）を添接板としてエポキシ樹脂接着剤で接合したものを試験片とした．実験で用いた鋼板，CFRP 板およびエポキシ樹脂接着剤の機械的性質を**表-1** に示す．接着層の厚さを管理するために，球形のガラスビーズを用いた．ここでは，片面あたりの接着層厚を 0.2，0.4，0.6，0.8，1.0mm と変化させることとし，接着する際に，それぞれの厚さに対応する大きさのガラスビーズをごく少量混入して厚さを管理した．接着状況の一例として，呼び径 0.4mm のガラスビーズを用いて作成した試験片の接着層厚を，マイクロメータで計測した結果を**図-2** に示す．図より，接着層は，ほぼ均一に目標の厚さとなっていることが解かる．なお，鋼板の表面についてはサンドブラスト(ガラスビーズ#40)によって下地処理を行った．養生条件は，40℃以上で 1 週間の保温養生とした．試験方法については，容量 1,000kN の万能試験機を用いて 5mm/min の載荷速度で引張せん断試験を行った．各層厚のシリーズについて 3～5 体の試験を実施し，継目部の開口変位や，CFRP 板にひずみゲージを貼付して表面のひずみを計測した（**写真-1**）．

３．試験結果および考察

接着層厚と最大引張荷重の関係を各層厚の試験シリーズごとに**図-3** に示す．図中の接着層厚は，マイクロメータを用いて計測した片面あたりの平均厚さを示している．図より，呼び径 0.6mm のシリーズ以外は全体的に厚くなる傾向にあるが，厚さを概ね制御できていることが解かる．また，接着層が薄くなる



(a) 側面図

(b) 平面図

図-1　試験片形状

表-1　機械的性質

	鋼板（SS400）	CFRP板	エポキシ樹脂接着剤
降伏点（MPa）	285	-	-
引張強度（MPa）	443	2664	30
破断伸び（%）	29	1.9	-
弾性係数（GPa）	206	188	1.5

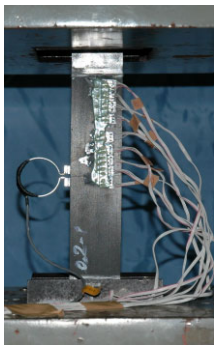


写真-1　試験片の取付け状況

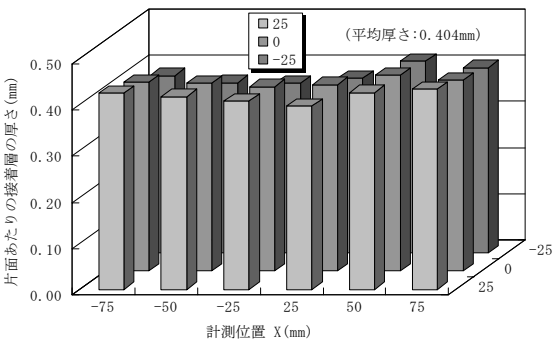


図-2　呼び径 0.4mm のビーズを用いた試験片における接着層厚の計測結果

Key Words：CFRP 板，エポキシ樹脂接着剤，接着層厚，引張せん断強度
連絡先：〒192-0397　東京都八王子市南大沢 1-1　TEL. 0426-77-1111　FAX. 0426-77-2772

ほど最大引張強度は高くなる傾向にあること，および，接着層が厚くなるほど強度のばらつきも大きくなる傾向にあることが解かる．呼び径が 0.2，0.4mm のシリーズでは安定して高い強度が得られ，高いものでは最大引張荷重が 127kN まで達する．これは鋼板の降伏点（P_Y=128.3 kN）にほぼ匹敵するものであった．

次に，接着接合部における荷重－変位曲線の一部を**図-4** に示す．図より接着層が薄いシリーズほど開口変位が大きくなる傾向にあることが解かる．呼び径が 0.6mm 以上のシリーズでは，最大荷重に達した後の伸びが見られず，呼び径が 0.2，0.4mm のシリーズと比較して脆性的に破断することが解かる．

また，**図-4** に示した荷重－変位曲線のうち，引張荷重が 40kN 以下における初期剛性と接着層厚の関係を**図-5** に示す．図より呼び径が 0.8mm のシリーズにおいて，ばらつきが大きくなるものの，接着層が薄くなるほど初期剛性が高くなる傾向にあることが解かる．初期剛性が高いほど接合部の変位は小さくなることから，疲労き裂の補修を想定した場合，開口変位が抑制されるため補修効果がより高められると予想される．

最後に，70kN 載荷時における層間せん断力分布を**図-6** に示す．層間せん断力は，CFRP 板上に貼付したひずみゲージの測定値を用いて式（1）により算定した．

$$q = \frac{AE\left(\varepsilon_{x+dx} - \varepsilon_x\right)}{dx} \qquad (1)$$

ここで，
- q ：単位長さ当りの層間せん断力(N/mm)
- A ：CFRP 板の断面積(mm^2)
- E ：CFRP 板の弾性係数(N/mm^2)
- dx ：ひずみゲージの間隔(mm)
- ε_x，ε_{x+dx} ：位置 x，$x+dx$ におけるひずみの値

である．図より接合部に近いほど層間せん断力の絶対値が大きくなることが解かる．また，中心からの距離が 25mm 以上では接着層が厚くなるほど層間せん断力の絶対値が高くなる傾向が見られる．式（1）より層間せん断力は断面積に比例することから，接着層の層間せん断力も接着層厚が厚くなるほど大きくなるためと考えられる．

4．まとめ

以上のことから，ガラスビーズを用いることで所要の接着層の厚さを管理することができること，また，接着層の厚さが 0.4mm 程度であれば，十分な接着性能を発揮できることが確かめられた．

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.

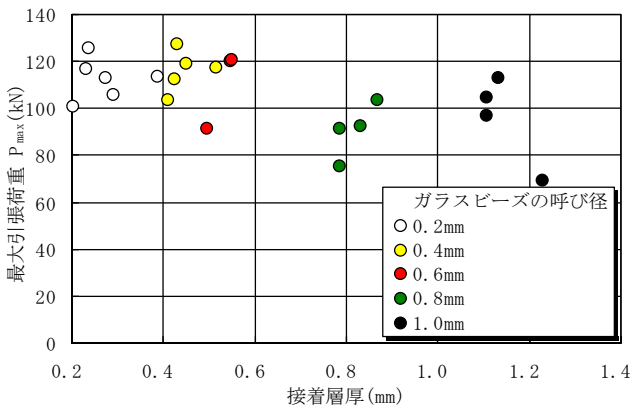


図-3　最大引張荷重と接着層厚の関係

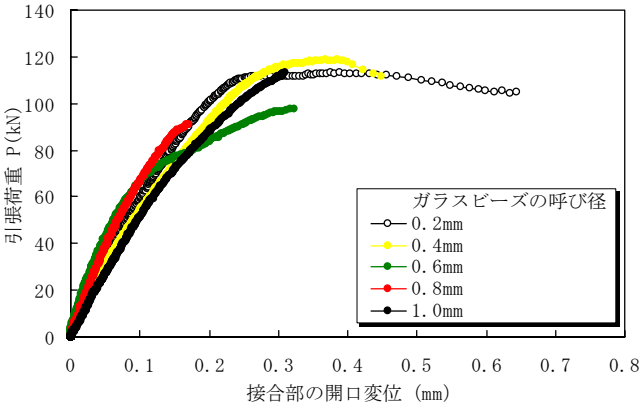


図-4　接着接合部における荷重－変位曲線

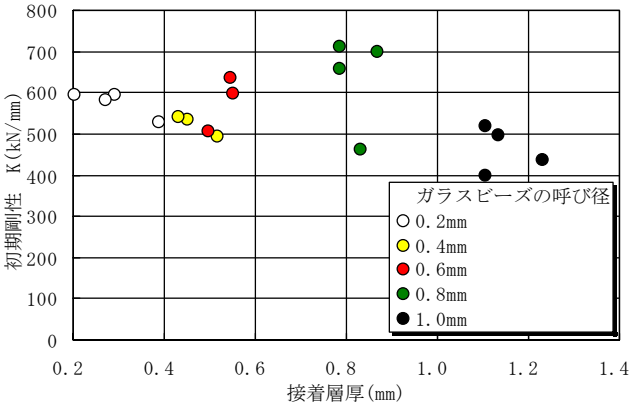


図-5　初期剛性と接着層厚の関係

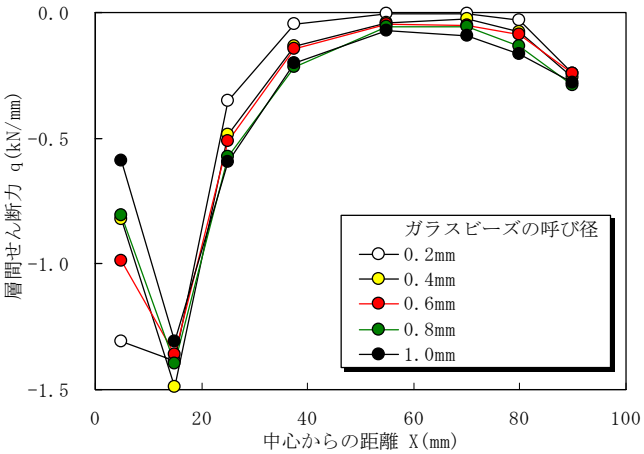


図-6　70kN 載荷時における層間せん断力分布