表面粗さが FRP-FRP 接着強さに与える影響

京都大学大学院　学生会員　○佐藤　顕彦
京都大学大学院　正会員　北根　安雄
株式会社ヒビ　正会員　日比　英輝
京都大学大学院　正会員　杉浦　邦征

１．研究背景および目的

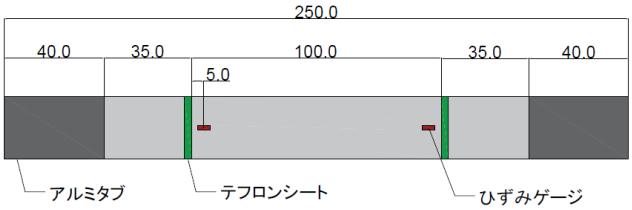
FRP の接着接合は補修補強だけでなく主部材同士の接合方法としての活用も期待される．しかしながら，接着接合には接着剤の物性値だけでなく多数の因子が影響する．本研究では，FRP-FRP 間の接着に表面粗さが与える影響を明らかにすることを目的に，ダブルラップ試験片を用いた引張実験を実施し，エネルギー解放率を用いて剝離の評価を行った．

２．実験概要

本研究では**図-1** に示すようなダブルラップ試験片を製作し，一軸引張実験を実施した．試験片の母材と当て板は，いずれもハンドレイアップ法により製作されたロービングクロス GFRP 板であり，繊維含有率はそれぞれ 41.6%，42.7%である．これらの GFRP 板に後述する表面処理を施した後，エポキシ樹脂系接着剤(E = 122 MPa, ν = 0.38)を用いて母材両面に当て板を接着し，試験片を製作した．当て板の接着時には，試験片ごとの接着層厚の差異を減らすため，接着層内に厚さ 0.5 mm，直径 6mm の円形アクリル片を挿入した．また，接着端部にテフロンシートを配置し，接着端部からはみ出した接着剤が母材と接しないようにした．

ダブルラップ試験片は静的載荷試験機を用いて当て板が剝離するまで一様に載荷した．載荷速度は 2 mm/min である．当て板端部に剝離が生じる荷重を同定するため，**図-1** に示す試験片の当て板端部 2 箇所(両面合計 4 箇所)にひずみゲージを設置し，それぞれの荷重-ひずみ関係を記録した．

試験片の種類を**表-1** に示す．本研究では表面処理の方法をパラメータにとり実験を実施した．Disk はディスクグラインダーを用いて表面を研磨した．ディスクグラインダーの研磨ディスクの粒度は 40 号である．#80 および#120 はそれぞれ 80 号，120 号のサンドペーパーを用いて表面を研磨した．表面処理後に表面粗さ計測機器を用いて計測した最大高さ(Rz)を**表-2** に示す．



(a) 平面図

(b) 側面図

図-1　試験片概要（寸法単位: mm）

表-1 試験片の種類

Test Piece	Sanding Method	No. of Test Piece
Disk	Disk grinder	3
#80	Sandpaper (#80)	3
#120	Sandpaper (#120)	3

表-2 Rz (単位: μm)

	Patch	Base side-A	Base side-B
Disk	31.03	22.74	21.00
#80	12.55	18.29	14.34
#120	10.04	10.72	11.51

３．荷重ひずみ曲線

図-2 に実験で得られた荷重-ひずみ曲線の一例を示す．この図では試験片両面の当て板端部に接着された計 4 個のひずみゲージから得られた結果を記載している．

図から全ての試験片において載荷荷重が増加するに

キーワード　FRP，接着剤，エネルギー解放率，表面粗さ
連絡先　〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂 京都大学大学院 工学研究科 C クラスター

© Japan Society of Civil Engineers

つれて各ひずみゲージで計測されるひずみも増加する傾向が確認された．その後，荷重の増加に対してひずみは一度減少をはじめるが，多くの試験片で再び増加に転じた．このような荷重-ひずみ関係が得られた理由としては，当て端部での微小な剝離を生じたが，剝離により接着層内に生じた亀裂がひずみゲージ貼り付け位置(接着端部から 5mm)に達していない可能性が挙げられる．微小な剝離が生じた際にひずみは一旦減少するが，当て板が完全に剝離していないため，荷重は当て板に伝達され，載荷荷重の増加に伴い再びひずみが増加した．本研究では接着層に生じるせん断応力を低く抑えるために低弾性の接着剤を使用したが，この接着剤は 50%以上の破断伸びを生じる材料であるため，このような現象が生じたと考えられる．

4．剝離荷重およびエネルギー解放率

載荷実験で得られた剝離荷重と，その際のエネルギー解放率(*G*)を次式により算出した [1]．

$$G = \frac{P^2}{4b_P E_B}\left(\frac{1}{A_B} - \frac{1}{A_B + \frac{A_P E_P}{A_B}}\right)$$

ここで， P： 剝離荷重，b：板の幅，E：弾性係数，A：断面積である．添え字 B，P はそれぞれ母材，当て板を表す．計算の際には母材と当て板の縦弾性係数が等しい(E = 20,700 MPa)と仮定した．剝離荷重はひずみの絶対値が最大値をとる荷重と，ひずみゼロ点をとる荷重の 2 種類を使用し，両者の違いを比較した．

算出したエネルギー解放率を**表-3** に，表面粗さの最大高さとエネルギー解放率の関係を**図-3** に示す．ひずみ最大値で評価した場合（max ε）もひずみゼロ点で評価した場合（ε=0）も Disk が最も高いエネルギー解放率を示したことがわかる．

表面粗さの最大高さとエネルギー解放率との関係では強い相関があり，ひずみゼロ点で評価した際のエネルギー解放率との相関係数は 0.954 であった．

表面が粗いほど高いエネルギー解放率となった理由としては，表面が粗いほど接着剤と被着面が接する面積が増え接着層に生じるせん断応力や剝離応力が軽減されたこと，表面が粗くなったことにより接着層に生じるせん断応力や剝離応力の方向と接着剤の亀裂開口モードの方向とが異なったことが考えられる．

5．まとめ

本研究ではダブルラップ試験片に対する一軸引張実験を実施し，表面粗さが接着強さに与える影響を調査した．実験の結果，表面粗さとエネルギー解放率との間には相関関係があり，表面が粗いほど高いエネルギー解放率を示す傾向が確認された．今後の課題としては，異なる表面性状の場合に接着層に生じる応力がどのように変化するかを調査する必要性が挙げられる．

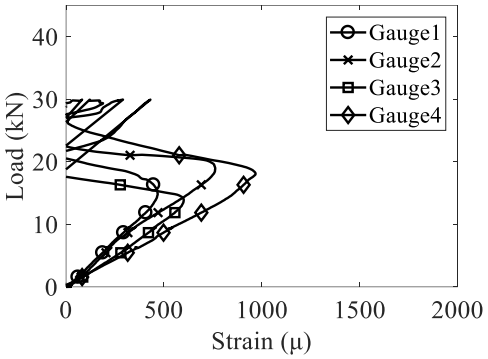


図-2　荷重ひずみ曲線の例 (Disk-2)

表-3 エネルギー解放率

	max ε		ε = 0	
	mean	cv	mean	cv
Disk	0.197	0.403	0.356	0.257
#80	0.133	0.248	0.223	0.192
#120	0.119	0.590	0.225	0.426

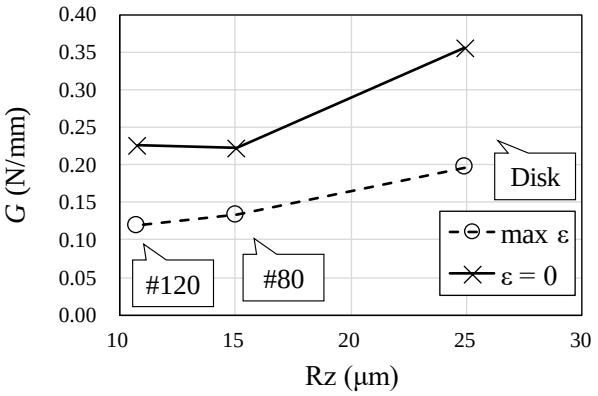


図-3 最大高さとエネルギー解放率の関係

参考文献

1) 清水優，石川敏之，服部篤史，河野広隆: 軸力を受ける当て板接着鋼板のはく離によるエネルギー解放率, 土木学会論文集 A2(応用力学), Vol. 70, No. 2, Ⅰ_899-Ⅰ_908，2014

© Japan Society of Civil Engineers