

炭素繊維補強木質材料の耐久性評価に関する基礎的研究

ものづくり大学 フェロー会員 ○北條 哲男

1. 目的

既設構造物の構造的な補強手段として、軽量・高強度な炭素繊維素材は広く用いられている．これまで RC の構造物の耐震補強をはじめ、多くの補修・補強の実績がある．しかし木質材料への適用実施例は少なく、補強効果やその耐久性を評価するためには多面的なデータの蓄積が望まれる．木造に適用する場合は、環境条件を考慮した複合部材としての耐久性の評価をすることが重要と考えられる．

そこで温度・湿度の環境的履歴を与えた後の炭素繊維で補強された木質複合材料の付着強度および曲げ強度を測定し、環境要因が付着や曲げ特性におよぼす影響を把握することを目的とする基礎的な実験を行った．

2. 試験体

本試験には、木材として米松(幅 60mm×高さ 30mm×長さ 550mm)の乾燥材を使用した．補強する炭素繊維材としてトレカミネート TL515（表 1）を使用し、その後エポキシ系接着剤を用い、長さ 440mm の炭素繊維材を接着した．また今回は補強効果確認の為に、炭素繊維補強材の板幅を試験体 a の半分の 25mm にした試験体 b を用いた実験も行った．試験体を図 1 に示す．

表 1 炭素繊維材料の特性

板厚	板幅	引張強度	弾性係数
(mm)	(mm)	(KN/mm ²)	(KN/mm ²)
1.5	50	2.4	156

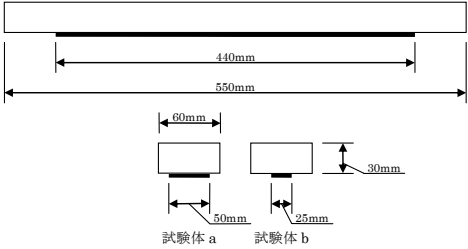


図 1 試験体

3. 環境試験

環境試験に関しては、まず評価方法について検討し、接着剤－接着強さ試験方法(JIS K6848), 接着剤の耐水性試験方法(JIS K6857), 木れんが用接着剤の接着強さ及びその接着工法の接着強さ試験方法(JIS A1611)等を参照して、表 2 のようなヒートサイクル条件を設定した．環境試験後は、20℃・65%RH の雰囲気で保存した．

試験体の含水率を、環境試験前、環境試験後、各試験時に測定した．測定の結果、環境試験前は 12～15%、環境試験後には最大 30%程度となったが、養生後はどの試験体も 8～9%となった．

4. 試験結果

試験体の付着強度は以下の要領で測定した．①試験体の含水率測定、②試験体およびアタッチメントの下地処理、③試験体にアタッチメントを三箇所接着し自然乾燥、④硬化後、ディスクグラインダでアタッチメント周囲に切り込みを入れ、⑤建研式引張

表 2 環境試験条件

条件	記号	試験条件	備考
標準	S-0	20℃・65%RH養生	木材のみ
	Sa-1	20℃・65%RH養生	試験体a
	Sb-1	20℃・65%RH養生	試験体b
ヒートサイクル	HCa-1	-20℃・50℃・60%RH・150時間	試験体a
	HCa-2	-20℃・50℃・60%RH・450時間	
	HCa-3	-20℃・50℃・60%RH・600時間	
	HCa-4	-20℃・50℃・60%RH・750時間	
	HCb-1	-20℃・50℃・60%RH・150時間	試験体b
	HCb-2	-20℃・50℃・60%RH・450時間	
	HCb-3	-20℃・50℃・60%RH・600時間	
	HCb-4	-20℃・50℃・60%RH・750時間	



図 2 ヒートサイクル試験



図 3 付着試験

キーワード 炭素繊維材、木質材料、補強・補修、環境試験、耐久性

連絡先 〒360-0038 埼玉県行田市前谷 333 番地 ものづくり大学技能工学部建設学科 TEL 048-564-3851

試験機テクノテスターを用い強度を測定した。

ヒートサイクル試験後の試験体の引張試験結果を表3に示す。S-1試験体の平均付着強度は 1.76N/mm^2 であり、100サイクル750時間の試験後のHC-4の付着強度は 1.68N/mm^2 となった。各試験結果で多少のばらつきは見られるが、付着強度はほとんど変化していないと見なすことができる。破壊状態としては、ほとんどが母材から剥離した状態(図3)だった。

曲げ試験は万能材料試験機を用い、支点間長450mmとして行った。曲げ試験では、まず木材のみ(S-0)について行い、試験に用いた木材の曲げ剛性を把握した。その後、各試験体(Sa-1, Sb-1)の曲げ剛性を計測して補強効果を確認した。最後に、環境試験後の試験体(HCa-1~4, HCb-1~4)について曲げ試験を行い、環境要因が曲げ特性に及ぼす影響について把握した。実験から曲げ剛性を求める方法として、中央点のたわみと荷重の関係を用い、各試験体のEI値を算出して評価した。

環境試験後の試験体を用いた曲げ試験結果を表4に示す。無補強材の曲げ剛性(EI_0)は $1.57 \times 10^9 \text{ N/mm}^2$ であった。補強材の曲げ剛性(EI_1)については試験体aで $2.90 \times 10^9 \text{ N/mm}^2$ 、試験体bで $1.94 \times 10^9 \text{ N/mm}^2$ であった。剛性比を比較すると、補強により試験体aでは1.85倍、試験

体bでは1.24倍向上している事が確認できた。試験体aの補強効果の計算値は1.87倍であり、ほぼ計算通りの補強効果となった。なお、本実験に用いた米松の弾性係数の平均値は、 $11,700 \text{ N/mm}^2$ であった。

今回実施した環境条件では、炭素繊維補強材の曲げ剛性に大きな変化はみられず、今回の環境条件の範囲では曲げ特性に与える影響は少ないと判断できる。

5. まとめ

本研究では、炭素繊維材で補強した木質試験体を用い、環境条件の変化が付着強度および曲げ強度に及ぼす影響を検討した。今回実施した環境試験では、付着強度・曲げ強度ともに大きな変化は見られず、本実験条件の範囲では環境要因が強度特性に与える影響を分析するには至らなかった。今後は試験条件を再検討し、環境要因と強度特性に関する更なる実験的研究を通じて耐久性評価を行うことが必要と考えられる。

参考文献

- 1) 本規格協会：JIS A1611, K6851, K6860 など
- 2) (社) 日本木材加工技術協会：木材の接着・接着，1996年
- 3) トレカラミネートによる木造梁部材の補強工法設計・施工マニュアル（案），東レ株式会社，2003年
- 4) Tetsuo Hojo and Kazutoshi Asao：Durability Evaluation of Carbon Fiber Reinforced Member, Proceedings of IABSE Symposium, 2008.

表3 付着試験結果

No.	時間(h)	測定点付着強度			付着強度(N/mm^2)	
		A	B	C	3箇所の平均	3本の平均
S-1-1	0	1.81	1.97	1.96	1.91	1.76
S-1-2	0	1.02	1.51	2.16	1.56	
S-1-3	0	1.09	2.38	1.95	1.81	
HC-1-1	150	2.09	1.11	0.97	1.39	1.51
HC-1-2	150	1.14	1.68	1.79	1.54	
HC-1-3	150	1.53	1.96	1.29	1.59	
HC-2-1	450	1.07	1.48	1.77	1.44	1.48
HC-2-2	450	1.62	2.11	1.11	1.62	
HC-2-3	450	1.30	1.15	1.74	1.40	
HC-3-1	600	1.01	1.41	0.94	1.12	1.62
HC-3-2	600	1.50	1.08	0.90	1.16	
HC-3-3	600	2.23	2.66	2.89	2.59	
HC-4-1	750	1.34	1.28	1.79	1.47	1.68
HC-4-2	750	2.26	2.18	1.53	1.99	
HC-4-3	750	—	1.48	1.65	1.56	

表4 曲げ試験結果

記号	たわみ(δ) (mm)	荷重(P) (N)	剛性(EI_0) ($\text{N}\cdot\text{mm}^2$)	剛性比 (EI_1/EI_0)	剛性比 平均
HCa-1	3.18	5,840	3.49×10^9	1.20	1.05
	3.07	4,177	2.58×10^9	0.89	
HCa-2	3.30	5,760	3.31×10^9	1.14	1.02
	3.79	6,206	3.11×10^9	1.07	
	3.63	4,605	2.41×10^9	0.83	
HCa-3	3.44	3,632	2.00×10^9	0.69	0.97
	3.35	6,158	3.49×10^9	1.20	
	3.51	6,057	3.28×10^9	1.13	
	3.37	4,387	2.47×10^9	0.85	
HCa-4	3.37	5,622	3.17×10^9	1.09	1.10
	3.48	6,353	3.47×10^9	1.20	
	3.70	6,999	3.59×10^9	1.24	
	3.38	4,443	2.50×10^9	0.86	
HCb-1	3.64	3,536	1.84×10^9	0.95	1.10
	3.32	4,682	2.68×10^9	1.38	
	3.50	3,449	1.87×10^9	0.97	
HCb-2	3.65	3,647	1.90×10^9	0.98	1.27
	3.45	5,367	2.95×10^9	1.52	
	3.49	4,664	2.54×10^9	1.31	
HCb-3	3.32	3,615	2.07×10^9	1.07	1.01
	3.51	3,421	1.85×10^9	0.95	
HCb-4	3.54	3,508	1.88×10^9	0.97	1.08
	3.43	4,600	2.55×10^9	1.31	
	3.60	3,507	1.85×10^9	0.95	