

炭素繊維補強材の接着強度特性に着目したパラメータ解析

○ 株式会社 平 設 計
首都大学東京 大学院
株式会社 アクティオ

正会員 山田 稔 *
正会員 長嶋文雄**
平野雄大

1．はじめに

鋼構造物の補修・補強材料として炭素繊維集成板（Consolidated Carbon Fiber Plate，以下 CCFP）を用いる工法は、近年、その施工実績が増えている。しかし、CCFP を補強材として使用した複合断面の終局状態の一つである接着剤の剥離挙動や、力の伝達機構は明らかになっていないと言え、合理的な設計法を確立するにはそれらを解明する必要がある。筆者らは、鋼部材と CCFP 間の力の伝達や破壊の挙動を明らかにするために載荷試験を実施し、得られた挙動を解析的に表現することが可能な有限要素法モデルを提案した¹⁾。この解析モデルを用い、CCFP の接着長さや接着幅および積層枚数をパラメータとして、それらが接着強度に与える影響について検討を行った。

2．解析モデルおよび解析条件

図-1 に解析モデルを示す。鋼材(SS400)を長手方向に突き合わせ、表裏両面に CCFP を接着した2面せん断型の継手状モデルとした。実際には、対称条件を与えた1/4の3次元ソリッド要素モデルで解析を行った。解析は、汎用有限要素解析コード LS-DYNA を用い、片端拘束、他端に漸増型強制変位を加えて準静的解析を行った。鋼材と接着剤、あるいは接着剤と CCFP 間の接着面には、面-面間の破壊を考慮できる TIE BREAK SURFACE TO SURFACE という接触条件を用いた。図-2 に接着の判定式を示す。解析に用いた材料特性、および接着剤強度を表-1 に示す。解析パラメータは()接着長さ、

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_f}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_f}\right)^2 \geq 1 \quad \dots (1)$$

ここに
σ：接着面に対して垂直な応力度（N/mm²）
τ：接着面に作用しているせん断応力（N/mm²）
σ_f：垂直破壊応力（N/mm²）
τ_f：せん断破壊応力（N/mm²）

図-2 面-面間の接着を判定する式

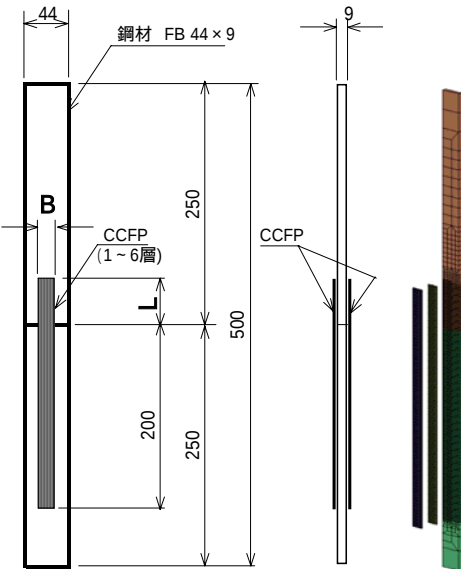


図-1 解析モデル(形状と1/4モデル)

表-1 材料特性と接着剤強度

材 料 特 性		接 着 剤 強 度			
	弾性係数 (N/mm ²)	試験項目	試験方法	規格値 (N/mm ²)	試験値 (N/mm ²)
鋼 材	2.06 × 10 ⁵	引張強さ	JIS K 7113	20以上	26.2
CCFP	1.52 × 10 ⁵	引張せん断強さ	JIS K 6850	14以上	19.6
接着剤	6.5 × 10 ³				25.0

表-2 解析ケース

()接着長さ		()接着幅		()積層接着		
幅(Bmm)	長さ(Lmm)	幅(Bmm)	長さ(Lmm)	幅(Bmm)	長さ(Lmm)	積層数 (n)
25	50,40,30,25, 20,19,18,17, 16,15,14,12,10	25	50	25	50	2
	22	3				
	16	4				
12	5					
6	20,15,10	6				6

キーワード：炭素繊維集成板，接着強度特性，鋼部材の補強，3次元有限要素法解析

* 株式会社 平設計 技術部 〒110-0005 東京都台東区上野 3-17-11, TEL03-3836-3246, FAX03-3833-7467

** 首都大学東京 大学院 都市環境科学研究科 教授 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1

() 接着幅, () 積層接着の3種類とした。解析ケースを表-2に示す。荷重の増加により, 接着剤層と鋼材間のある要素で式(1)が満された時を初期剥離, CCFP板が完全に剥がれる時を最終剥離と定義する。初期剥離発生後, 最終剥離までは多少の接着強度が残っているが, ここでは安全側に, 初期剥離発生時を接着強度としている。

3. パラメータ解析結果

(1) 接着長さの影響 CCFPの接着長さを最長50mmから最短10mmまで変化させて接着強度との関係を調べた結果を図-3に示す。このとき, CCFPの幅の影響の有無を調べるために, 25mm, 12mm, 6mmの3通りについて検討を行った。いずれの接着幅の解析結果も同様の傾向が見られ, 接着長さ50mmから20mm程度までは初期剥離荷重に大きな変化は見られないが, 20mm付近で初期剥離荷重が減少し始める。また, 接着長さ20mmから10mmまでは初期剥離荷重がほぼ線形で減少することから, 有効定着長さが存在する可能性のある結果が得られた。

(2) 接着幅の影響 突き合せ部上方のCCFPの接着長さを50mmで固定し, 接着幅のみ25mmから6mmまで5段階に変化させて接着強度に対する影響を検討した結果を図-4に示す。接着幅の増加に伴って初期剥離荷重がほぼ線形に上昇することが確認できた。

(3) 積層接着の効果 CCFPを2枚以上積層して接着した場合の接着強度への影響について検討を行った。積層数は非積層(1層)の場合と2層~6層とした。荷重12.9kN時の接着剤層の1層目のせん断応力度分布を図-5に示す。積層枚数を増やすほど, 突き合せ部付近では応力度が減少し, 端部では応力度が増加する傾向にあることが確認できた。突き合せ部では, 鋼材側1層目の接着剤層が分担する力が2層目以降の接着剤層に分配されることで分担応力が軽減されていることが分かる。同様に, 接着面に対して垂直方向の応力度分布を図-6に示す。積層枚数が増すほど, 応力度が増加し, 特に端部では応力の増加が著しいことが確認できた。図-7に積層数(1枚~6枚)と初期剥離荷重との関係を示す。初期剥離荷重は, 4枚積層まではほぼ線形に増加するが, 4層以上の積層ではほぼ一定となることが分かった。

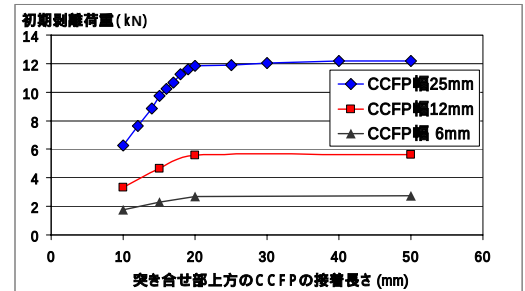


図-3 接着長さの影響

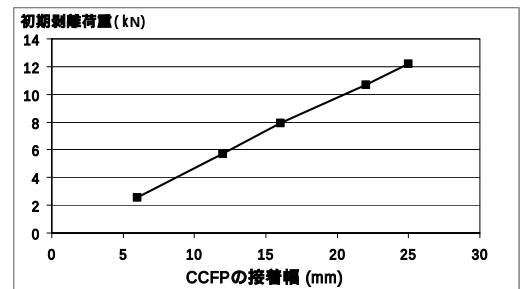


図-4 接着幅の影響

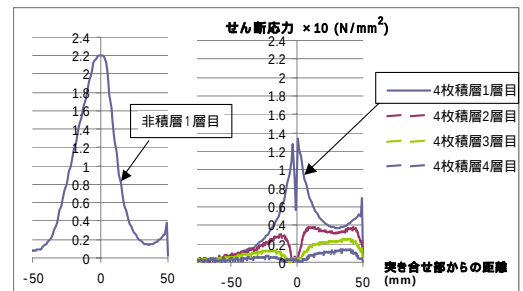


図-5 接着剤層のせん断応力分布
(積層接着時)

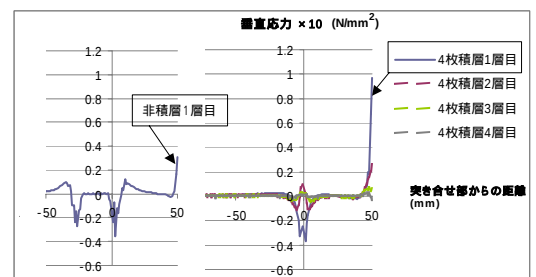


図-6 接着剤層の垂直応力分布
(積層接着時)

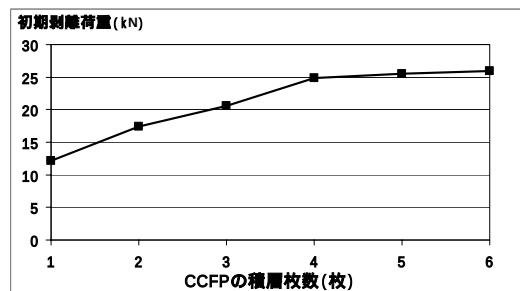


図-7 積層数の影響

4. まとめ

今回の解析条件

下では, 接着長さ20mm付近に有効接着長さ(それ以上は接着強度には殆ど影響しない載荷方向の接着長さ)が存在すること, 接着幅の増加に伴い, 当然のことながら初期剥離荷重は線形に上昇すること, 積層接着では, 効果が期待できる有効積層数は4枚程度であることなどが分かった。

【参考文献】1) 山田、尾崎、石井、長嶋：炭素繊維補強材の接着強度とモデル化に関する検討, 鋼構造年次論文報告集, Vol.14 PP.603～PP.610, 2006。