

継目を有する CFRP スtrandシート接着鋼板の応力解析

長岡技術科学大学 学生員 ○上原繁輝, 奥山雄介, 正会員 宮下 剛, 長井正嗣
新日鉄マテリアルズ 正会員 小林 朗, 秀熊佑哉

1. はじめに

鋼部材に炭素繊維強化プラスチック（以下，CFRP）を接着して補修・補強する工法（以下，炭素繊維接着工法）に関する研究が積極的に行われている。

補修・補強対象とする部材が長くなると、施工や輸送の面から、CFRP を分割して継手や継目を設ける必要がある。CFRP を用いた継手構造に関する研究としては、主に、接着接合とボルト・接着併用接合が行われている。しかし、本研究では、これらの継手構造とは別に、施工を容易とする、図-1 に示すような CFRP に継目（以下、CFRP 継目）を設けて鋼部材に接着して補修や補強を行う工法に着目する。

これまでに著者らは、多層の CFRP が積層された軸力を受ける鋼板に対して、準解析的なアプローチにより応力を計算する手法を提案している¹⁾。そこで、本研究では、CFRP 継目の力学特性と継目長さが強度に与える影響を把握するために、CFRP ストランドシートに継目を設けて接着した鋼板の一軸引張試験を実施する。ここでは、継目長さや継目数を試験パラメータとする。さらに、FEA と文献 1) で提案した手法を用いて解析的検討を行い、試験結果との比較から本手法の妥当性について検証する。

2. 一軸引張試験

2.1 試験概要

試験パラメータは、継目長さと継目数とし、試験ケースを5ケースとする。継目長さを0, 10, 20, 30 mmと変化させ、CFRP 継目を一個設けたケースを J1 シリーズ、CFRP 継目を複数個設けた例として三個設けたケースを J3 シリーズと名付ける。J3 シリーズの継目は、鋼板の片面についてみると、鋼板中央の CFRP1 層目と鋼板中央から両側に 210 mm 離れた CFRP2 層目に設けた。J3 シリーズの継目長さは J1 シリーズの試験結果にもとづいて決定し、20 mm とした。

2.2 試験結果

引張試験から得られた最大荷重を鋼板の断面積で除した応力値を表-1 に示す。本研究では、鋼材の降伏応力を超えたところで試験を終了した。継目数が一個の試験体では、継目長さが 0 mm のときに最大荷重が最少となり、継目長さが 20 mm と 30 mm の試験体では、鋼材の降伏応力を超えるものがあつた。また、継目数が三個の試験体でも鋼材の降伏応力を超えた。いずれの試験体でも、ストランドシート 1 層目端部からののはく離は発生しなかつた。

試験結果にもとづくと、軸力を受ける鋼部材に、継目を

キーワード

CFRP スtrandシート, 一軸引張試験, 継目, 応力解析

連絡先

〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町1903-1 長岡技術科学大学 建設構造研究室 0258-47-9641

表-1 試驗結果

試験体名	継手長さ (mm)	最大荷重時の外部応力 σ_{se} (MPa)	
		1体目	2体目
J1-0	0	597.6	613.1
J1-10	10	707.0	748.1
J1-20	20	666.7	> 778 *
J1-30	30	> 778 *	703.7
J3-20	20	> 778 *	-

* 鋼材の降伏応力を超える

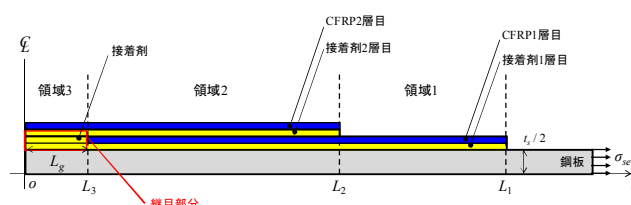


図-1 解析モデル (CFRP 継目が一個の場合)

設けてストランドシートを接着する際には、継目長さを 20 mm 以上とすることが望ましいといえる。

3. 解析的検討

CFRP継目の力学特性と継目長さが強度に与える影響を把握するために、FEAと文献14)で提案した手法を用いて解析的検討を行う。文献14)の解析の手法を用いる理由は、本研究の解析対象が比較的単純であるにも関わらず、接着剤の厚さが薄いことからFEAでは微細なメッシュ分割が要求される。このため、継目長さをパラメータとしたパラメトリック解析をFEAで行うにはモデルの修正に手間を要するためである。

3.1 FEA

試験体の対称性を考慮して、作成するFEAモデルを二次元平面応力1/8モデルとする。使用するソフトウェアは、DIANA9.4.3とmidas FX+ for DIANA Ver.3.0.0(3)である。

FEAで使用する要素は、2次アイソパラメトリック平面応力要素 (CQ16M) である。メッシュ分割は、各材質を厚さ方向に10分割、部材軸方向に1 mmピッチとする。節点数と要素数は、それぞれ36,901と12,000になった。また、CFRP継目が複数個となるケースのFEAモデルの節点数と要素数は、それぞれ103,641と34,050になった。

各材質の物性値は、弾性体として与える。ただし、CFRP

のポアソン比は平面解析のため異方性を考慮せずに0.3とする。また、接着剤のポアソン比も0.3とする。境界条件は、対称性条件からYZ平面对称（X軸方向変位拘束）とXY平面对称（Z軸方向変位拘束）を与える。荷重は、代表値として鋼板の端部に180 kNが作用するように線荷重 $p = 10000 \text{ kN/m}$ を与える。

3.2 解析的手法

文献1)で提案した解析的手法とは、多層のCFRPが積層された軸力を受ける鋼板に対して、準解析的なアプローチにより応力を計算する手法である。

解析的手法では、各層の応力を状態変数とみなし、微小区間における力の釣合いから連立微分方程式を再帰的に導出し、このとき構成される行列の固有値解析を数値的に実施して応力の一般解を求める。一般解に含まれる未定係数は、応力の連続性条件と境界条件から決定される。本手法により、CFRP板の積層数が幾つになろうとも、FEAで要求されるモデリングの労力をかけることなく、一方向の応力分布を求めることが可能となる。

4. 試験結果と解析結果の比較

4.1 CFRP継目が一個の場合

図-2に、引張試験の結果とFEA、解析的手法の比較を示す。横軸は鋼板中央からの距離 x 、縦軸を鋼板に作用する外部応力 σ_{se} に対する軸応力 σ あるいはせん断応力 τ の比である。図中の●と■は、引張試験において、ひずみゲージで計測されたひずみにヤング率をかけて算出した。

FEAにおける軸応力の評価位置は、鋼板とCFRPともに板厚の中央とした。また、FEAにおける接着剤のせん断応力は、接着剤上下の水平変位の差にせん断弾性係数を掛けて厚さで割って算出した。

図-2より、解析的手法は、FEAとほぼ完全に一致する。また、解析的手法は試験結果とも概ね一致しており、本研究における解析的手法の妥当性が検証されたとと言える。

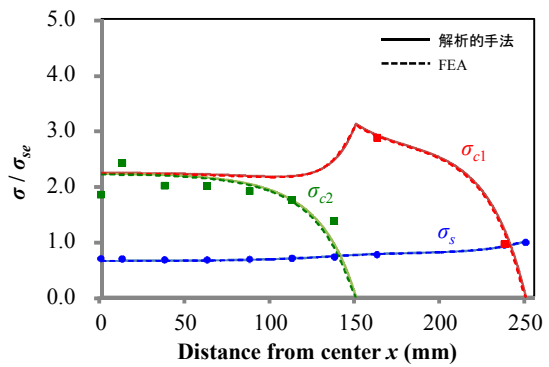
4.2 CFRP継目が複数個の場合

図-3に、引張試験の結果とFEA、解析的手法の比較を示す。こちらの場合でも前項と同様に、解析的手法は、FEAとほぼ完全に一致を示しており、さらに試験結果とも概ね一致することがわかる。

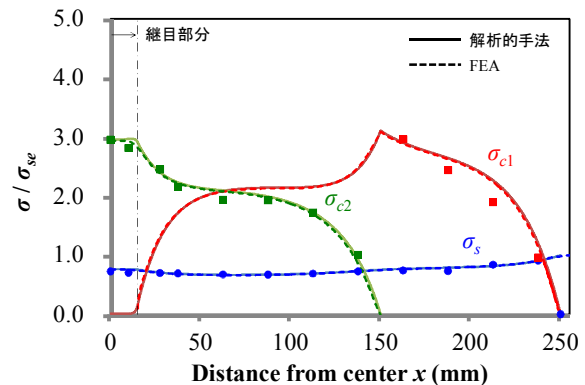
5. まとめ

本研究では、炭素繊維シートに継目を設けて鋼部材に接着した際の補強効果や継目の強度特性に関する基礎データを得ることを目的として、CFRPストランドシートに継目を設けて接着した鋼板の一軸引張試験と解析的検討を実施した。以下に、得られた知見を示す。

- 1) 試験結果にもとづくと、軸力を受ける鋼部材に、継目を設けてストランドシートを接着する際には、継目長さを20 mm以上とすることが望ましいといえる。



(a) 継目半長さ 0mm



(b) 継目半長さ 15mm

図-2 試験結果と解析結果の比較（継目数：一個）

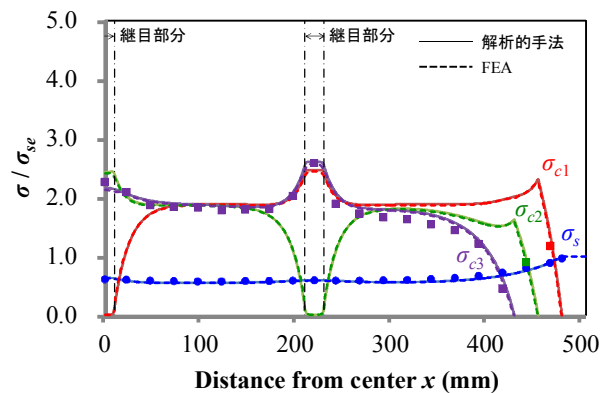


図-3 試験結果と解析結果の比較（継目数：複数個）

- 2) 解析的検討では、FEAと文献14)で提案した解析的手法を用いて、CFRP継目の破壊形態や継手強度に対して考察を加えることとした。解析的手法では、継目を考慮した定式化を行い、二次元平面応力解析のFEAと比較したところ、両者はほぼ完全に一致する結果となった。

参考文献

- 1) 宮下剛, 長井正嗣: 一軸引張りを受ける多層のCFRPが積層された鋼板の応力解析, 土木学会論文集 A, Vol.66, No.2, pp.378-392, 2010.