## 炭素繊維で補剛された鋼製圧縮材の座屈挙動と接着応力

1. 序 鋼製部材の座屈を抑制することができれば 鋼構造物の耐荷能力・変形能力を改善することが可能 になると考えられる。筆者らは鋼製部材の座屈を抑制 する方法として炭素繊維補剛法を提案し、この手法を 円形鋼管柱材の局部座屈抑制ために適用した場合には 炭素繊維のフープ効果によって大きな補剛効果が得ら れること1)、および座屈する板状の鋼材に炭素繊維補 剛を適用した場合には鋼 - エポキシ樹脂界面の接着応 力が特定の場所で卓越し、剥離により補剛効果を早期 に喪失させること2)を明らかにした。本研究の目的は 圧縮力を受けて座屈する板状の鋼材を炭素繊維とエポ キシ樹脂を用いて座屈補剛した場合について、接着応 カ分布に影響を及ぼすと考えられるエポキシ樹脂のせ ん断弾性係数に着目し、せん断弾性係数が座屈耐力お よび座屈後耐力にどのような影響を及ぼすかを数値解 析により明らかにすることである。

2. 解析方法 解析モデルは図1に示すように、一端 ピン他端ローラーで支持されている鋼製圧縮材が炭素 繊維で座屈補剛されているものとする。鋼製圧縮材は 材長がL、断面がB×Dの平鋼であり、断面積Acの 炭素繊維を厚さtのエポキシ樹脂を介して平鋼弱軸面 の材軸方向に接着結合させることにより座屈補剛して いる。圧縮材は上下対称に変形するものとして材の半 分を解析対象とする。材半分をm個の鋼要素、炭素繊 維要素、エポキシ樹脂要素に分割する。また断面全体 を鋼要素5点、炭素繊維要素1点の7点要素にモデル 化する。要素の変形は鋼要素については軸変形と曲げ 変形、炭素繊維要素については繊維方向の伸縮変形、

エポキシ樹脂要素についてはせん断変形を考え、鋼に 作用した軸力はエポキシ樹脂を介して炭素繊維に伝達 される(図2)。鋼要素内では曲率と図心軸上のひずみ が線形に変化し、平面保持の仮定が成立するものとす る。軸力は鋼要素内で一定とし、要素の応力状態は要 素中央で判定する。また炭素繊維要素内では軸ひずみ

神戸大学	正会員	西野君	≸仁
神戸大学大学院		古川哲	雪也
神戸大学		三谷	勲



表1 試験体の寸法

鋼     炭素繊維		炭素繊維		樹脂	
L(cm)	B(cm)	D(cm)	設計厚さ(cm)	層数	t(cm)
38.3	6.29	0.791	0.0165	5	0.229

表2 材料の機械的性質

罁	炭素繊維		エポキシ樹脂	
降伏応力 y (MPa)	弾性係数 Ec(MPa)	破断 ひずみ u(%)	せん断弾 性係数 G(MPa)	接着強度 y(MPa)
2.89 × 10 <sup>2</sup>	3.92 × 10 <sup>5</sup>	0.750	1.00 × 10 <sup>3</sup>	$0.118 \times 10^{2}$

は一定とする。材料の応力 - ひずみ関係は鋼がひずみ 硬化係数 0.01 の Bi-linear 形、炭素繊維とエポキシ樹 脂は弾性材料とする。試験体の寸法を表 1、材料の機 械的性質を表 2 に示す。補剛された鋼の軸剛性及び曲 げ剛性は鋼単体のそれぞれ 1.4 倍及び 4.0 倍である。

3. 解析結果 計算に用いたエポキシ樹脂のせん断 弾性係数はG、G/2、G/3、G/4、G/5の5種類である。 図3に軸力と軸方向変形の関係を示す。軸力は降伏軸 力で、また軸方向変形は降伏軸方向変形で無次元化さ れている。細線は実験値<sup>2)</sup>である。計算は補剛効果を 喪失させる要因となる鋼 - エポキシ樹脂界面の剥離、

キーワード:鋼構造圧縮材、炭素繊維、補剛、座屈挙動、数値解析

連絡先:〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1 神戸大学工学部建設学科 TEL 078-881-1212(6051)

あるいは炭素繊維の破断で終了するように設定した。 解析値は実験値と良く対応している。補剛効果の喪失 はエポキシ樹脂のせん断弾性係数に関わらず全て曲げ 圧縮側の鋼 - エポキシ樹脂界面の剥離で決定した。エ ポキシ樹脂のせん断弾性係数が小さくなるほど最大耐 力は減少するが剥離が生じる軸方向変形量は大きくな る。またエポキシ樹脂のせん断弾性係数がGの場合に は剥離によって座屈が生じるが、エポキシ樹脂のせん 断弾性係数がG/2以下の場合には座屈後に剥離が生じ る。またこの場合、座屈後の耐力劣化はきわめて小さ く、軸方向変形が大きくなると曲げ引張側の炭素繊維 の抵抗によって耐力が再び増大する。図4に座屈時に おける鋼 - エポキシ樹脂界面に作用する接着応力分布 を示す。接着応力はエポキシ樹脂要素のせん断力から 求めており、接着強度 y で無次元化している。(a)が 曲げ圧縮側、(b)が曲げ引張側である。接着応力は材端 部曲げ圧縮側で大きく、エポキシ樹脂のせん断弾性係 数がGの場合には接着強度に達しており、剥離はこの 位置から生じる。せん断弾性係数を小さくすると材端 部の接着応力が低下すると共に分布形状が平坦になり、 座屈時には接着応力は接着強度には達しておらず、剥 離によって座屈が生じることはない。また曲げ引張側 も座屈時には接着応力は接着強度に達しておらず、剥 離することはない。図5に端部曲げ圧縮側の鋼-エポ キシ樹脂界面に作用する接着応力が接着強度に達する 時の曲げ圧縮側の接着応力分布を示す。材端部曲げ圧 縮側以外、接着応力は接着強度に達しておらず、剥離 によって座屈が生じることの無かったせん断弾性係数 がG/2以下の場合も座屈後この部位で剥離が生じ補剛 効果を喪失することになる。またせん断弾性係数が小 さくなるほど分布形状が平坦となるため、剥離までの 軸方向変形が大きくなる。

4. 結論 圧縮力を受けて座屈する板状の鋼材に対する炭素繊維と接着剤による座屈補剛効果に関する基礎資料を得るためにエポキシ樹脂のせん断弾性係数をパラメターとする数値解析を行い、以下の結論を得た。
1)鋼-エポキシ樹脂界面の接着応力分布は樹脂のせん断弾性係数が小さくなる程平坦化され、エポキシ樹脂の剥離は生じ難くなる。

2) 剥離が生じなければ座屈耐力を増大させ、座屈後の耐力劣化を抑制することが可能となる。

## 参考文献

1)西野孝仁、古川哲也、三谷勲:CFRPによって局部座屈 形成を抑制した円形鋼管柱材の変形能力、日本建築学会大会 学術講演梗概集、構造、pp.463-464、2000年9月 2)西野孝仁、古川哲也、三谷勲:炭素繊維で補剛された鋼 構造圧縮材の座屈挙動と接着応力、土木学会関西支部年次学 術講演概要集、2001年6月



図5 曲げ圧縮側における座屈後の接着応力分布

-445-