

軸方向力を受ける炭素繊維シート接着鋼板に関する研究

建設構造研究室

PHAM NGOC VINH

指導教官

宮下 剛

1. はじめに

圧縮軸力部材に炭素繊維シートを接着する工法を適用する場合、終局時に圧縮力作用下で座屈変形に追従できず、炭素繊維シートが剥離することが懸念される。炭素繊維シートによる鋼構造部材の圧縮補強への適用性に関する研究として、積層鋼板の一軸圧縮試験を実施した。実験結果から、補修・補強効果を検討し、各試験体の破壊モードの判定を目的としている。最も、一軸圧縮座屈強度を評価する方法を妥当性について検討する。

さらに、断面欠損を有する軸力部材は欠損分の引張剛性の炭素繊維シート接着工法で補修されても、欠損端部表面での応力集中により健全部まで回復しない場合がある。そのため、欠損端部表面に応力集中が緩和されるために、切欠きにテーパを設ける工法を提案する。テーパを設けることの効果を検討するため、積層切欠き鋼板の一軸引張試験を実施した。

2. 炭素繊維シート接着鋼板の一軸圧縮試験

2.1 鋼材

本試験では、鋼種をSS400材の一種類のみとし、幅60mm、厚さ9mm鋼材を用いた。寸法を表 2.1に示す。

表 2.1 鋼材の材料定数と寸法

鋼材	ヤング係数	厚さ	幅	降伏応力	ポアソン比
SS400	200(GPa)	9(mm)	60(mm)	317(MPa)	0.3

2.2 炭素繊維シート

本研究で使用した炭素繊維シート(以下、CFRP)、接着樹脂、パテ材の物性を表 2.2に示す。

座屈変形のような大変形に対して、補強効果を発揮させるためには、CFRPのはく離を抑制する必要がある。

ある。そこで、本試験では弾性係数が小さく、伸び量が大きい(高伸度)パテ材を挿入する。

表 2.2 材料定数

	炭素繊維シート (FTS-CS-30DS)	エポキシ樹脂 (E5P)	高伸度弾性パテ材 (FU-Z)
ヤング係数	701(GPa)	2533(MPa)	68(MPa)
厚さ	0.143(mm)	0.517(mm)	0.8(mm)
幅	60(mm)	60(mm)	60(mm)
強度	2625(MPa)		
ポアソン比	0.3	0.4	0.49

2.3 試験ケース

試験ケースを表 2.3に基づいて説明する。全てのケースで炭素繊維シートを鋼板の両面に接着した。1層接着した場合には、炭素繊維シートの貼付け長さは、鋼材長さが800mmのとき400mm、鋼材長さが400mmのとき300mmである。2層接着した場合には、鋼材長さは800mmであり、1層目の炭素繊維シート貼付け長さは450mm、2層目の炭素繊維シート貼付け長さは400mmである。10,15,20層接着した場合には、定着長は10mm、端部ずらし量を10mm・25mm設けた。

また、パテ材の影響を考察するために、パテ材を挿入しない試験体(CN2-200-25)を追加する。鋼材長は800mm、1層目の炭素繊維シート貼付け長さは450mm、2層目の炭素繊維シート貼付け長さは400mmである。

表 2.3 試験体一覧

ケース	記号	層数	定着長 (mm)	ずらし量 (mm)	鋼材長 (mm)	パテ材	試験体数
1-1	C1-150	1	150	-	400	○	3
1-2	C1-200	1	200	-	800	○	3
1-3	C2-200-25	2	200	25	800	○	3
1-4	C10-100-25	10	100	25	700	○	3
1-5	C15-100-25	15	100	25	950	○	3
1-6	C20-100-25	20	100	25	1200	○	3
1-7	C10-100-10	10	100	10	430	○	3
1-8	C15-100-10	15	100	10	530	○	3
追加	CN2-200-25	2	200	25	800	X	3

以上の全9ケースについて実験を実施した。試験体の形状を図 2.1に示す。

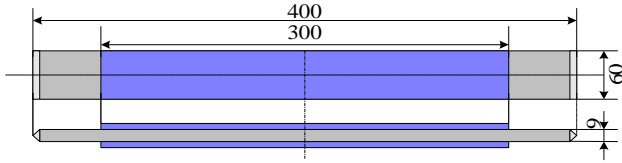


図 2.1 試験形状

2.4 炭素繊維シート接着鋼板の弾性座屈荷重計測

ここでは、実験結果から積層鋼板の弾性座屈荷重を正確に評価するまで、積層鋼板のたわみ曲線を任意に仮定できるために、Rayleigh-Ritz法を用いた。

2.4.1 計測方法

図 2.2 に示す beam i ($i=1\sim n$) において炭素繊維シートが接着された圧縮鋼板の曲げ剛性は次のように表される。

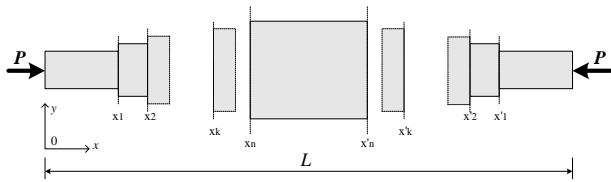


図 2.2 炭素繊維シートが接着された圧縮鋼板

曲げ剛性：

$$(EI)_{(s+cf)} = E_s I_s + 2E_{cf} I_{cf} \\ = E_s \left(\frac{bt_s^3}{12} \right) + 2E_{cf} \left[\frac{b(nt_{cf})^3}{12} + nt_{cf} b \left(\frac{t_s + nt_{cf}}{2} \right)^2 \right] \quad (1)$$

断面積：

$$A_{(s+cf)} = bt_s + 2nbt_{cf} = A_s + 2nA_{cf} \quad (2)$$

ここで、 b は鋼材と CFRP の幅、 t_s は鋼材の厚さ、 A_s は鋼材の断面積、 E_s は鋼材のヤング係数、 t_{cf} は CFRP の厚さ、 A_{cf} は炭素繊維シートの断面積、 E_{cf} は CFRP のヤング係数、 n は積層数である。

計算の簡略化のために、CFRP 接着鋼板の初期たわみを無視し、座屈形状を多項式で仮定する。この理由を以下に述べる。軸方向圧縮力を受けるはりにおいて、横方向の微小変位を v とすると、この変位 v に関する微分方程式は以下となる。

$$EI \frac{d^4 v}{dx^4} + P \frac{d^2 v}{dx^2} = 0 \quad (3)$$

式(3)の一般解は、次のように表される。

$$v = \sum_{i=1}^q A_i \sin \frac{(2q-1)\pi}{l} x \quad (4)$$

ここで、 A_i は未定係数、 l ははりの長さ、 EI は曲げ剛性、 P は荷重である。

そして、三角関数を Taylor 展開すると、以下の多項式になる。

$$v = a_1 \left(x^2 - \frac{l^2}{4} \right) + a_2 \left(x^2 - \frac{l^2}{4} \right)^2 + \dots + a_q \left(x^2 - \frac{l^2}{4} \right)^q \quad (5)$$

Rayleigh-Ritz 法により、座屈形状関数の次数 q を大きくすると、 P が弾性座屈荷重に収束する。

また、仮定された形状関数は

$$v\left(\frac{l}{2}\right) = 0, \quad v\left(-\frac{l}{2}\right) = 0$$

の幾何学的境界条件を満足する。

$$v = a_1 \left(x^2 - \frac{l^2}{4} \right) + a_2 \left(x^2 - \frac{l^2}{4} \right)^2 \\ + a_3 \left(x^2 - \frac{l^2}{4} \right)^3 + \dots + a_q \left(x^2 - \frac{l^2}{4} \right)^q$$

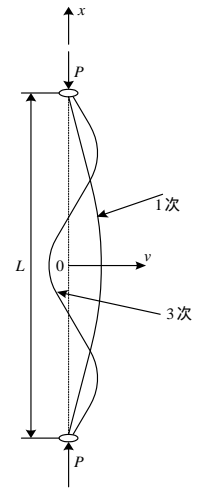


図-2.3 座屈モード

$$v = A_1 x^2 + A_2 x^4 + A_3 x^6 + \dots + A_q x^{2q} + A_0 \quad (6)$$

a) ひずみエネルギー

軸圧縮力を受ける積層鋼板のひずみエネルギー U は単位面積あたりのひずみエネルギーを軸方向に積分して、対象領域で積分することにより、次のように導出される。

$$U = \frac{1}{2} \int_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} (EI)_{s+cf} \left(\frac{d^2 v}{dx^2} \right)^2 dx \quad (7)$$

式(5)を式(7)に代入すると、積層鋼板のひずみエネルギー U は以下ようになる。

$$U = \frac{1}{2} \left[\sum_{k=1}^q \sum_{m=1}^q A_k A_m K_{km} \right] \quad (k, m = 1 \sim q) \quad (8)$$

ここで、 $A_k A_m$ は未定係数、 q は形状関数の次数である。 K_{km} は以下のように表される。

$$K_{km} = \int_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} (EI)_{s+cf} \left[4km(2k-1)(2m-1)x^{2(k+m)-4} \right] dx$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow K_{km}|_{x_1}^{x_2} &= \int_{x_1}^{x_2} (EI)_{s+cf} \left[4km(2k-1)(2m-1)x^{2(k+m)-4} \right] dx \\ &= (EI)_{s+cf} \left[\frac{4km(2k-1)(2m-1)x^{2(k+m)-3}}{2(k+m)-3} \right]_{x_1}^{x_2} \quad (k, m=1 \sim q) \end{aligned} \quad (9)$$

b) 外力による仕事

外力による仕事は以下の式(8)で表される。

$$V = -\frac{1}{2} \int_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} P \left(\frac{dv}{dx} \right)^2 dx \quad (10)$$

式(5)を式(10)に代入すると、積層鋼板のひずみエネルギー U は以下ようになる。

$$V = -\frac{1}{2} P \left[\sum_{k=1}^q \sum_{m=1}^q A_k A_m M_{km} \right] \quad (k, m=1 \sim q) \quad (11)$$

M_{km} は以下のように表される。

$$\begin{aligned} M_{km} &= \int_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} 4kmx^{2(k+m)-2} dx = \left[\frac{4kmx^{2(k+m)-1}}{2(k+m)-1} \right]_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} \\ &= \frac{8km}{2(k+m)-1} \left(\frac{l}{2} \right)^{2(k+m)-1} \quad (k, m=1 \sim q) \end{aligned} \quad (12)$$

c) Rayleigh-Ritz 法による解法

全ポテンシャルエネルギー最小の原理は次の式(13)で表される。

$$\frac{\partial \Pi}{\partial A_i} = \frac{\partial (U+V)}{\partial A_i} = 0 \quad (i=1 \sim q) \quad (13)$$

この式から A_i (未定係数) に関する連立一次方程式が以下の式(12)のように構成され、その固有値問題として、弾性座屈応力 P_e が求まることとなる。

$$\begin{bmatrix} K_{11}-M_{11}P & K_{12}-M_{12}P & \dots & K_{1q}-M_{1q}P \\ K_{12}-M_{12}P & K_{22}-M_{22}P & \dots & K_{2q}-M_{2q}P \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_{1q}-M_{1q}P & K_{2q}-M_{2q}P & \dots & K_{qq}-M_{qq}P \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_q \end{bmatrix} = 0 \quad (14)$$

2.4.2 座屈モード形

座屈モード形は、式(6)と式(14)より求める。具体的には、一つの未定係数を決定して、残りの未定係数をこれで表す。次に、座屈モード形の絶対値で正規化する。

2.5 計算結果と考察

2.5.1 形状関数の次数と弾性座屈荷重の関係

形状関数の次数と弾性座屈荷重の関係を代表例として、C10-100-25 について図 2.4 に示す。形状関数の次数 q を 1~7 と変化させる。 $q=3$ 以降で、座屈荷重は概ね収束することから、本研究で採用する形状関数の次数を 4 とする。

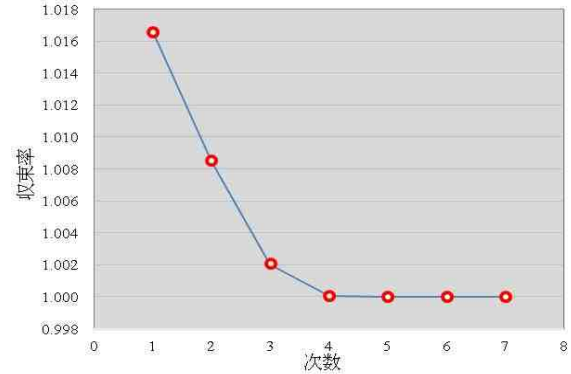


図 2.4 次数と弾性座屈荷重の収束関係

2.5.2 計測結果と実験値

Rayleigh-Ritz 法から計算された弾性座屈荷重と実験値の比較・補強効果を図 2.5、図 2.6 に示す。ここで、 P_{es} は鋼材単体の実寸より計算したオイラー弾性座屈荷重理論値、 P_e は Rayleigh-Ritz 法を用いて、試験体の実寸より計算した弾性座屈荷重理論値、 P_{max} は実験での最大荷重である。

計測過程には試験体の厚さとして鋼材厚+炭素繊維シート厚を用いる。実際はプライマーや樹脂パテにより、試験体厚はこの方法で用いた値よりも大きくなる。樹脂やパテなどの厚さを考慮しない理由としては、計算を簡略化でき、弾性座屈荷重を実際の最大荷重よりも低く評価できることを目的とするためである。そのために、図 2.5 から、ずらし量を 10mm 設ける試験体以外は全ケースの耐力荷重は概ね安全側で評価されていることが分かる。特に少層の炭素繊維シート接着ケースについては安全側で約 5.0% 以内良好な予測精度が得られた。また、ずらし量を 10mm 設ける場合、全ケースの評価誤差は危険側で -40% 以内となった。この理由を以下のように考える。

C10-100-10 と C15-100-10 試験後の状況を示した写真 2.1 から、ずらし量を 10mm 設ける試験体は炭素繊維シート積層側で座屈が生じていることが分かる。

Rayleigh-Ritz 法を用いる計測過程では、このような座屈モードを想定しておらず、他の試験体のように中央で座屈が生じた際の弾性座屈荷重を算出している。そのため、このような座屈モードでは、中央で座屈する場合よりも小さな荷重で座屈してしまうため、全てのケースが危険側になったのではないかと考えられる。

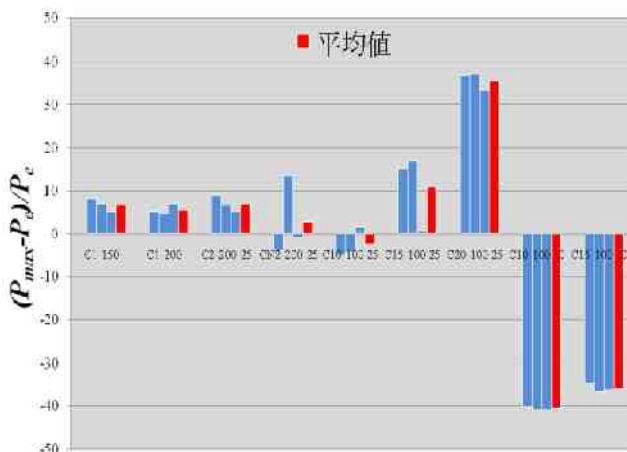


図-2.5 評価誤差

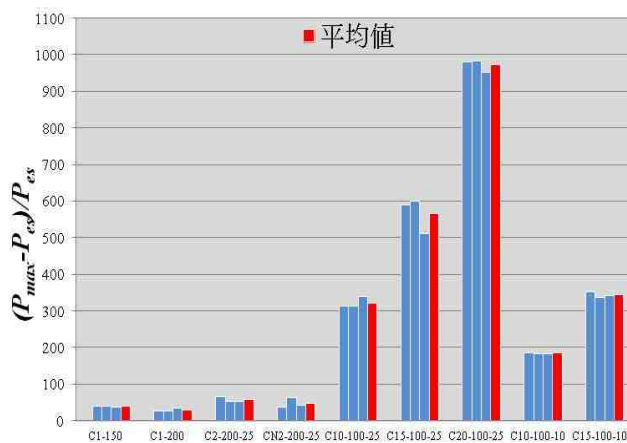


図 2.6 補強効果



C10-100-10

C15-100-10

写真 2.1 試験後の状況

2.5.3 パテ材の影響

パテ材の影響を考察するために、パテ材を挿入していない CN2-200-25 と C2-200-25 を比較する。C2-200-25 及び CN2-200-25 のゲージ・変位計取り付け位置と荷重が 10kN のときのひずみ分布を図 2.7 に示す。ここから、パテ材を挿入することで、応力

図 2.6 から、鋼板の両面に炭素繊維シートを接着したのは補強効果が得られることを確認することができる。そして、積層量が多ければ多いほど、補強効果が高くなる。また、この図からも、積層数と同じでも、ずらし量を 25mm 設けた場合ではずらし量を 10mm 設けた場合よりも大きな補強効果が得られることが分かる。

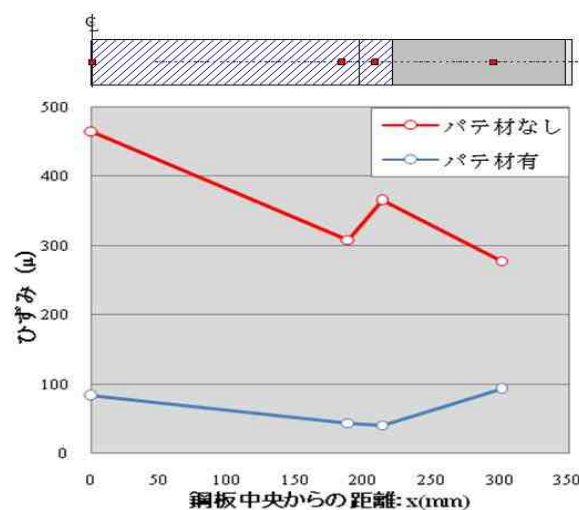


図 2.7 ひずみ分布

伝達にロスが生じることが分かる。すなわち、パテ材を挿入することにより、鋼板から炭素繊維シートへの応力伝達に遅れが生じる。しかし、パテ材を挿入することで、炭素繊維シートのひずみが小さくなるものの、最大荷重がほとんど変わらない。また、パテ材の剥離防止効果により、圧縮力作用下で全ケ

ースではシートが鋼材から剥がれなかった。

2.5.4 座屈モード形

図 2.8 には全ケースの面外たわみ計測結果を最大荷重時，破断発生時，終局状態について示す。破線で示したものが1次座屈モードの理論値である。この図から，ずらし量を 10mm 設ける試験体以外は全ケースの最大荷重時の計測値は理論値と良好な一致を示していることから，最大荷重時では 1 次

モードの変形が生じていたことが分かる。そして，破断が生じたとき，試験体の上部で理論値よりも大きな変形が生じていることが確認できる。そのため，最大荷重に達するまでは，1 次の座屈モードでの変形であったが，最大荷重後にはわずかな偏心曲げによって，断面変化点で応力集中を生じ，異なる破壊状態に至ったと考える。

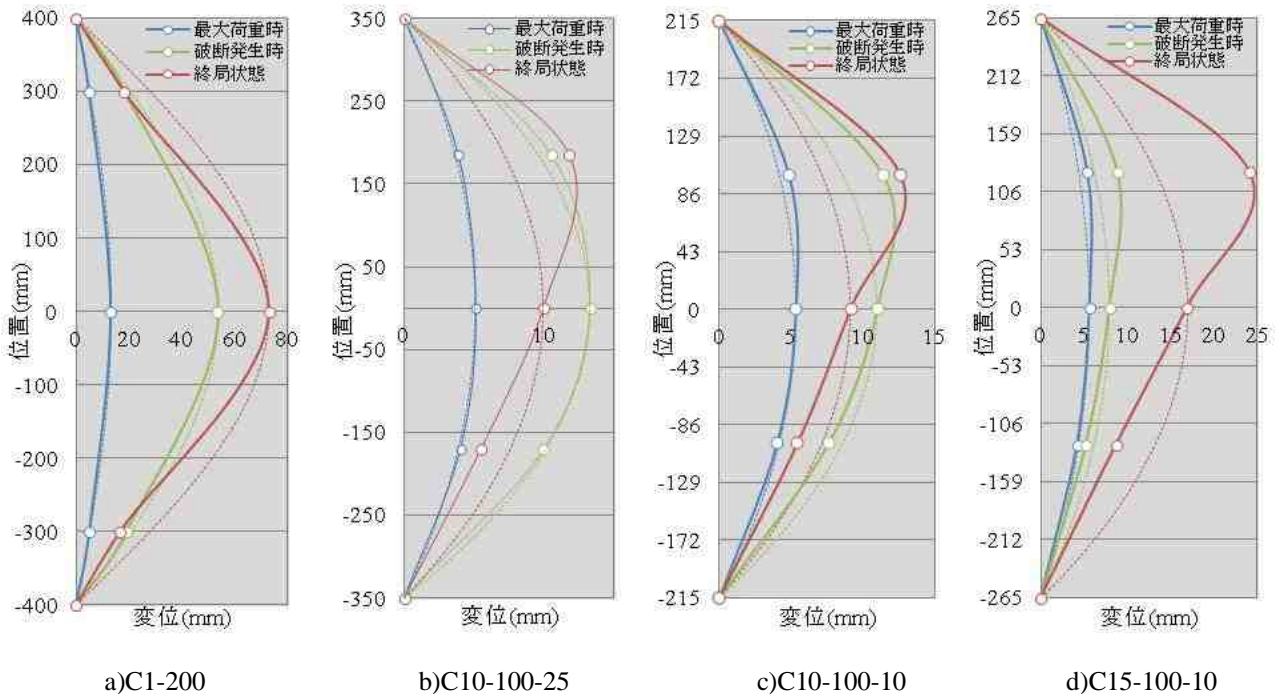


図 2.8 面外たわみ計測結果

また，図 2.8c,d から，ずらし量が 10mm ある試験体は炭素繊維シート積層側で座屈が生じていることが分かる。このような座屈モードでは，C10-100-10

と C15-100-10 試験体は中央で座屈する場合よりも小さな荷重で座屈してしまうため，全てのケースが危険側になったと考えられる。

3. 炭素繊維シート接着切欠き鋼板の一軸引張試験

3.1 物性値

本試験で使用した鋼材・接着樹脂・ストランドシートの材料定数，種類，寸法は表 3.1 に示す。

表 3.1 材料定数

材料	種類	幅 mm	厚さ mm	弾性係数 MPa	降伏点 MPa	強度 MPa
鋼板	SM490	60	12	200×10 ³	406	
ストランドシート	HM900	60	0.429	710×10 ³		2625
エポキシ樹脂	ESP	60		2533		

3.2 試験ケース

試験ケースを表 3.2 に基づいて説明する。全てのケースでは中央の両面に長さ 300mm，深さ 3mm の断面欠損が導入された鋼板に欠損を覆うように炭素繊維シートを接着した。

3mm の断面欠損に対する必要積層数は片面 2 層になる。定着長は十分に荷重伝達が完了する 150mm とし，シート端は各層 25mm ずらして積層した。そして，欠損端部表面での応力集中が緩和させることを目的とするので，切欠きにテーパを 1:3 と 1:5

と設ける。

以上より、全 3 ケースについて実験を実施した。

図 3.1 に作成した試験体の設計寸法を示す。

表 3.2 引張試験ケース

No.	欠損厚 (片面) mm	シート層数 (片面)	定着長 (mm)	ずらし (mm)	鋼材長 (mm)	パテ材	テーパ	試体 数	シート種類
S2TN	3	2	150	25	1000	×	—	3	ストランド シート
S2T3	3	2	150	25	1000	×	1:3	3	
S2T5	3	2	150	25	1000	×	1:5	3	

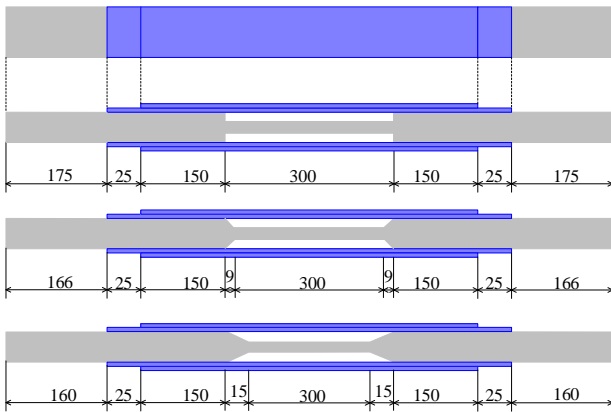


図 3.1 試験形状

3.3 FEA によるテーパの効果検討

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1/4モデルとする。本解析ではプライマーが考慮せず、欠損部に充填されたエポキシ樹脂をモデル化した。使用するソフトウェアは、DIANA9.4.3 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 (CT12M) 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。

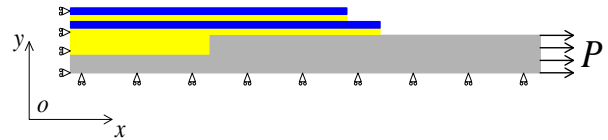


図 3.2 解析モデル

3.4 試験結果と解析結果

図 3.3 に S2TN,S2T3,S2T5 の荷重 ひずみ関係を示す。この結果から、全ケースでは定着部および欠損部中央のひずみはシートと鋼材を合成断面とした計算値とほぼ一致している。しかし、テーパ有無 S2TN,S2T3,S2T5 では境界付近欠損側では健全部の 1.2 倍程度ひずみが健全部より大きくなっている。欠損部では補修されても、健全部まで回復しないことが分かる。

図 3.4 に荷重 100kN での鋼材中央およびシート表面の無補強部応力で除した応力比分布の実験値および解析値を示す。この図から、実験値と解析値が概ね一致していることが分かる。また、テーパを設けても、欠損端部での応力集中が発生していることが見える。この理由については以下に述べる。

定着部では無補強部から伝わってきた荷重は鋼材と補強材の引張剛性比で一定分配される。その後、欠損部で鋼材と補強材の引張剛性比が変化し、荷重の再分配が起こるが、欠損の断面変化部に近い箇所では再分配されず、剛性比から決まる分担以上の荷重を鋼材側が負担することとなる⁽²⁾。

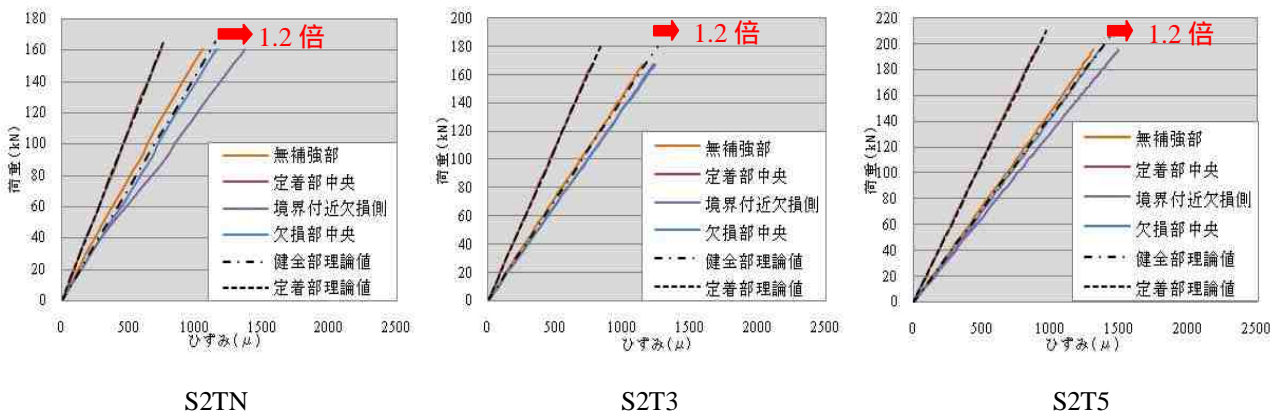
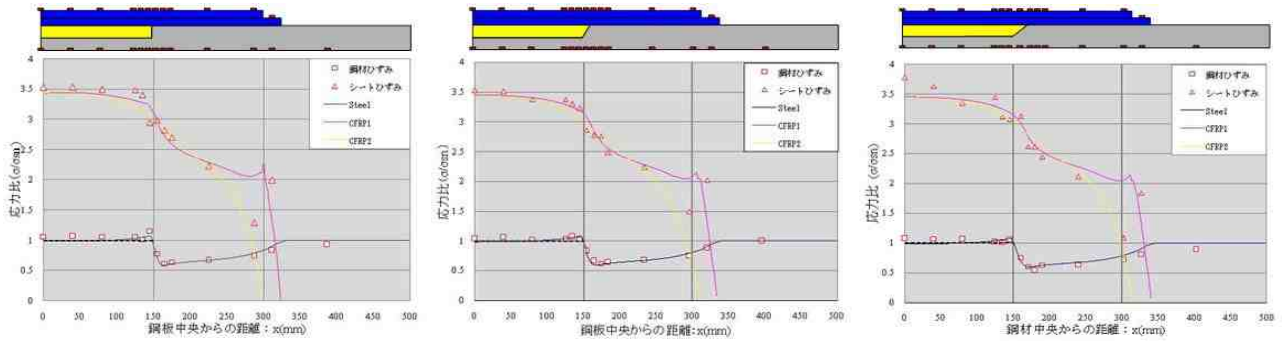


図 3.3 荷重 ひずみ関係

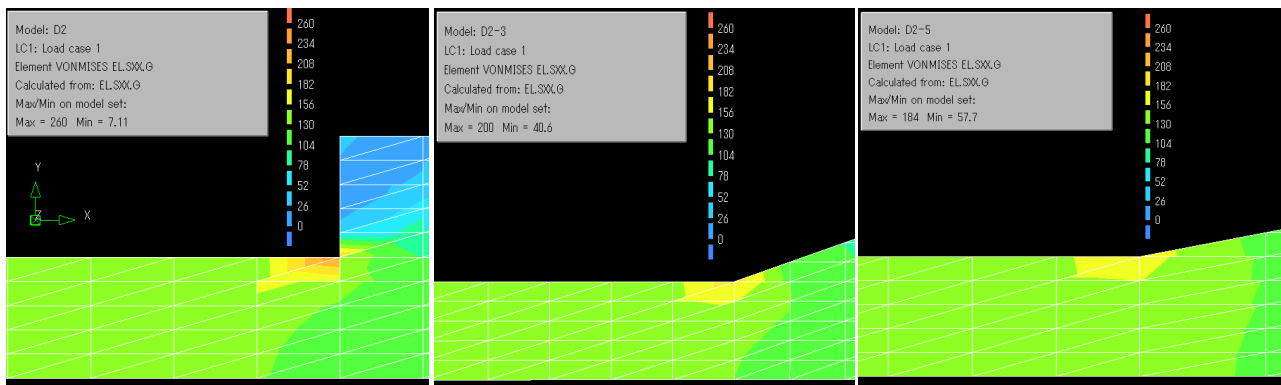


S2TN

S2T3

S2T5

図 3.4 応力比分布

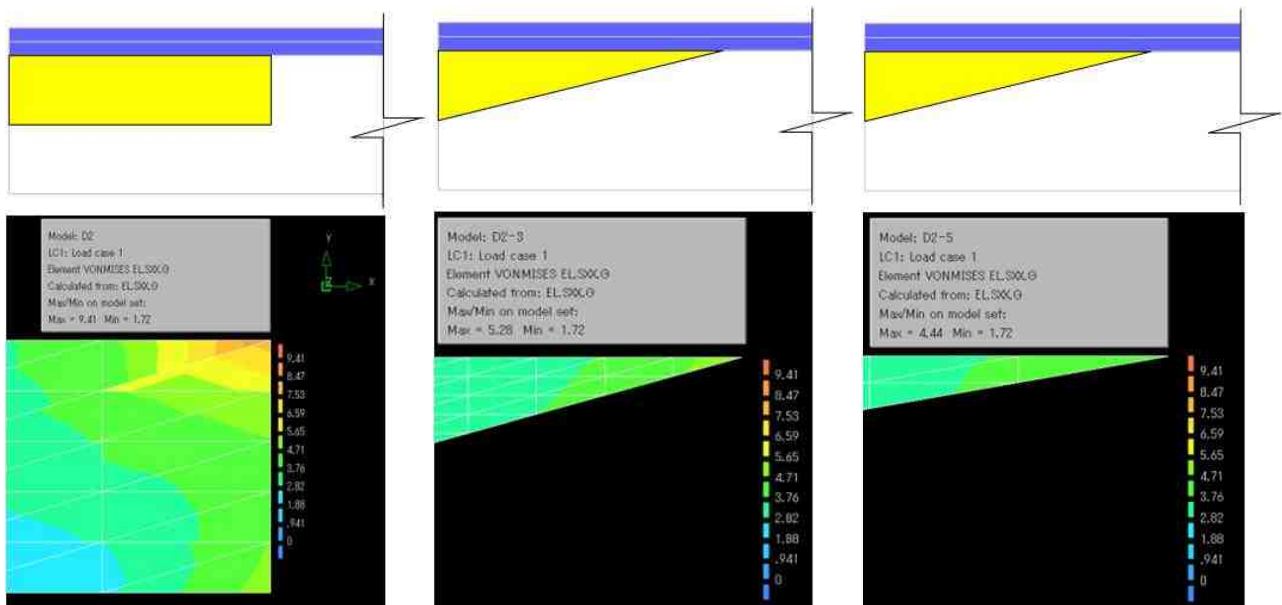


S2TN

S2T3

S2T5

図 3.5 欠損端部の応力コンター図



S2TN

S2T3

S2T5

図 3.6 欠損端部のエポキシ樹脂の応力コンター図

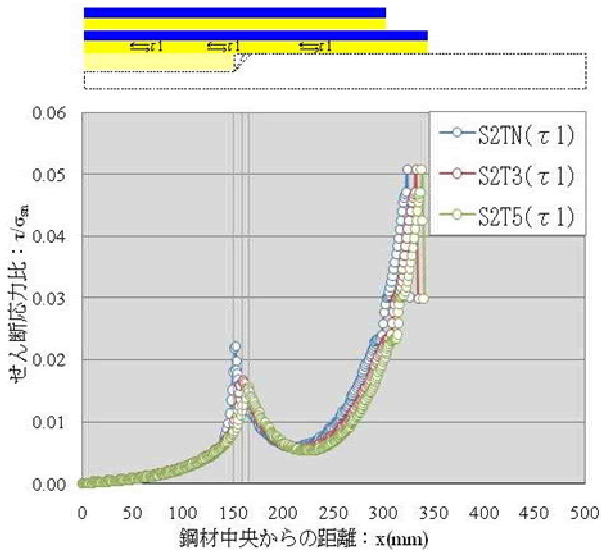


図 3.7 テーパー有無ケースの付着せん断応力

表 3.3 に示した一軸引張試験結果から、健全部鋼材降伏荷重は 292kN であった。そして、実施した積層切欠き鋼板の終局強度は健全部鋼材降伏荷重の半分となったといえる。また、テーパーなしケースおよびテーパー有ケースではそれぞれ 148kN と 190kN 付近で剥離が発生した。テーパーを設けることで、最大荷重が約 30% 向上したことが分かる。

図 3.5, 3.6, 3.7 に FEA による欠損端部の応力コンター図および欠損端部でのエポキシ樹脂の応力コンター図および付着せん断応力を示す。引張試験同様に FEA 結果から、テーパーを設けることによるシート端のせん断応力に及ぼす影響は微小なもの、欠損端部のせん断応力に及ぼす影響は著しいといえる。そして、テーパー率が大きいほど欠損端部のせん断応力集中の減少量が大きい。また、テーパー有ケースではテーパーなしケースに対して、欠損端部のエポキシ樹脂の最大垂直応力がより約 2 倍小さくなっており、欠損端部表面の応力集中が緩和されることが見える。

FEA 結果から、テーパーを設けることで、欠損端部のせん断応力集中が緩和される効果があるのに、一番大きいせん断応力がシート端に集中している。そのため、本研究では、テーパーを設けることで、最大荷重が向上した理由は付着せん断応力で理解で

表 3.3 試験結果

試験体	層数	テーパー	バネ	最大荷重 (kN)	鋼材の降伏荷重(kN)	最大荷重/降伏荷重比	破壊形態
S2TN	1	2	-	135.683	148.131	0.464	欠損端部からの剥離
	2	2	-	160.579		0.549	
S2T3	1	2	1:3	182.674	188.743	0.572	シート端部からの剥離
	2	2	1:3	194.811		0.707	
S2T5	1	2	1:5	192.322	194.345	0.658	シート端部からの剥離
	2	2	1:5	196.367		0.672	

きない。しかし、図 3.5, 3.6 から、剥離荷重が向上した理由としてはテーパーを設けることで、欠損端部表面に応力集中が緩和するので、欠損端部のエポキシ樹脂に発生した垂直応力が著しく低下し、引張力下で剥離しにくくなるを考える。

4. まとめ

本研究ではトラス橋やアーチ橋の軸力部材、鋼桁の端支点部、桁橋のフランジなど断面の垂直応力に対する補修をとした CFRP による補修・補強の開発を目指し、基礎検討として一軸圧縮試験と一軸引張試験を実施した。試験結果と FEA から以下のことが見られる。

■ 一軸圧縮試験

Rayleigh-Ritz 法を用いて、炭素繊維シート接着鋼板の弾性座屈荷重を評価した結果、ずらし量を 10mm 設ける試験体以外は全ケースの耐力荷重は概ね安全側で評価されている。特に少層の炭素繊維シートを接着されたケースについては安全側で約 5.0% 以内良好な予測精度が得られた。また、ずらし量を 10mm 設ける場合、全ケースの評価誤差は危険側で -40% 以内となった。端部ずらし量 10mm の試験体は炭素繊維シート積層側で座屈が生じている。また、試験体の最大荷重は曲げ剛性により決定され、積層

鋼板中央の曲げ剛性はシート積層側の曲げ剛性より大きい。そのため、最大荷重は計測した弾性座屈荷重より小さくなっていると考えられる。

低弾性パテ材による剥離防止を目的とするため、鋼板と炭素繊維シート間にパテ材を挿入した。パテ材を挿入することで、炭素繊維シートのひずみが小さくなるものの、最大荷重はほとんど変わらない。また、パテ材を使用することで、CFRPの積層数を20層としてもはく離が発生しないことを確認した。

炭素繊維シート接着工法による補強効果が得られることを確認することができる。また、積層数と同じでも、端部ずらし量25mmのケースではずらし量10mmのケースよりも大きな補強効果が得られた。

■ 一軸引張試験

断面欠損端部表面で応力集中が緩和されるために、断面欠損端部にテーパ構造を設ける工法を提案した。

引張試験同様に FEA から、テーパを設けることによるシート端のせん断応力に及ぼす影響は微小なものの、欠損端部のせん断応力に及ぼす影響は約 25%~35% 著しいといえる。そして、欠損端部のエポキシ樹脂の最大垂直応力がより約 2 倍小さくなっており、欠損端部表面の応力集中が緩

和されることが見える。

テーパを設けたケースではテーパがないケースと比較して、最大荷重が約 30% 向上した。この理由は、FEA を用いた検討を通じて、テーパを設けることで、欠損端部におけるエポキシ樹脂のせん断応力と垂直応力が低減されるためである。

参考文献

- 1) 奥山雄介, 宮下剛, 緒方辰男, 藤野和雄, 大垣賀津雄, 秀熊佑哉, 堀本歴, 長井正嗣: 鋼桁腹板の合理的な補修・補強方法の確立に向けた FRP 接着鋼板の一軸圧縮試験, 構造工学論文集 Vol.57A(2011年3月)
- 2) 石川, 北根: 断面欠損を有する鋼板の接着補修に必要な CFRP 板の長さおよび板厚の決定方法, 応用力学論文集, Vol.13, pp.912-920, 2010.
- 3) 宮下, 長井: 一軸引張を受ける多層の 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.
- 4) 奥山雄介, 宮下剛, 若林大, 小出宣央, 秀熊佑哉, 堀本歴, 長井正嗣: 鋼橋桁端部腹板の腐食に対する炭素繊維シートを用いた補修・補強法の最適設計方法に関する一考察, 構造工学論文集 Vol.60A(2014年3月)