

大阪市立大学大学院工学研究科
 大阪市立大学大学院工学研究科
 大阪市立大学大学院工学研究科
 京橋工業株式会社
 京都大学大学院工学研究科

学生員 ○井上 晴雄
 正会員 北田 俊行
 正会員 松村 政秀
 正会員 並木 宏徳
 北條 正樹

1. 研究背景と目的

老朽化の進行や、設計自動車荷重の増加に伴う既設橋梁の耐荷力不足が問題となり、プレストレスを導入した鋼板の添接補強法¹⁾などによる鋼桁の補強が実施されている。引張剛性と強度に富む炭素繊維を鋼部材に貼付する方法²⁾も、鋼部材に対するより施工性に有利で効果的な補強方法として、採用される例も見られる。このとき、鋼材の温度変化や外荷重によりエポキシ樹脂を含浸された炭素繊維（以下、CFRP という）に引張力が導入される場合や、より効果的な貼付方法として、プレテンションを導入して炭素繊維シートを鋼板に貼付する方法が考えられる。いずれの場合でも、CFRP には引張力が導入されるため、特に CFRP の端部で発生する CFRP と鋼板との剥離の発生の有無が問題となる。

そこで本研究では、プレテンションを導入された炭素繊維シートを鋼板に貼付し、そのプレテンション量を変化させることによって、剥離限界および剥離制御板の設置効果を、実験的に明らかにしようとするものである。ここで、剥離制御板は CFRP 端部における、モード I の剥離発生を防止することを目的として設置する。

2. 実験の概要

図-1 には製作した実験装置を、図-2 には貼付部を拡大して示す。この装置では、固定治具間に炭素繊維シートを設置し、引張棒に貼付したひずみゲージにより引張力を推定し、引張棒をナットで締め付けることによって、炭素繊維シートに所定の引張力を導入することが可能である。表-1 には使用材料の機械的性質を示す。実験の実施手順を示すと、次のとおりである。

- 1) 炭素繊維シートに所定の引張力を導入する。
- 2) 貼付部上でエポキシ樹脂を含浸させて CFRP を形成する。
- 3) 剥離制御板および押さえ板を設置する。
- 4) エポキシ樹脂の硬化後に引張力を除荷する。
- 5) 剥離の有無を確認する。
- 6) 剥離しない場合には、剥離制御板を取り除いて再び剥離の有無を確認する。

ここで、炭素繊維シートは幅 30mm の高強度タイプで、貼付層数は 1 層とした。また、剥離制御板および押さえ板は 0.5mm の隙間ゲージとともに貼付部にボルトにより固定するため、CFRP の層厚すなわち t_f は 0.33 で一定である。なお、引張力は 4~10kN の範囲で変化させ、貼付部表面をグラインダー仕上げしたもの、しないものとで計 10 パターンで軸力導入実験を行った。

3. 解析

貼付部に貼付した CFRP 端部をモデル化し、エネルギー開放率 G を用いて剥離発生の有無を

表-1 使用材料の機械的性質

材料	性質	弾性係数 (N/mm ²)	降伏点 (N/mm ²)	厚さ (mm)
鋼棒	SS400	2.1×10^5	235	—
CF-sheet	CFRP	2.3×10^5	—	0.167

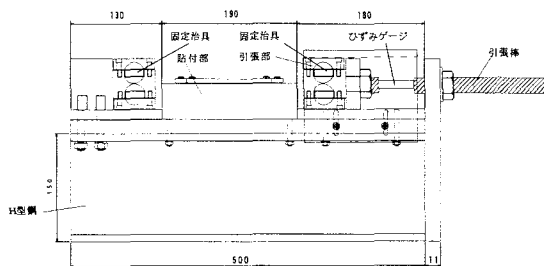


図-1 小型試験装置（側面図）

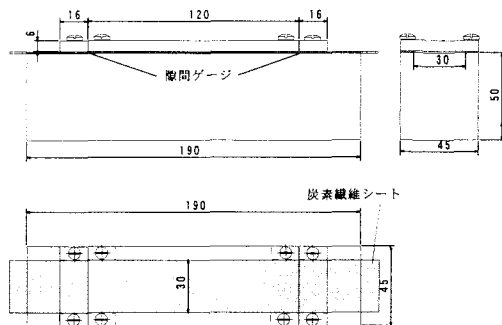


図-2 小型試験体（貼付部詳細）

[寸法：mm]

数値解析により検討した。エネルギー開放率 G は剥離長さ a に依存するが、解析では $a=4.48\text{mm}$ とし、 $G_{II}/G_I = \text{約} 0.3$ を得た。ここで、 G_I は開口方向の、 G_{II} はせん断方向のエネルギー開放率であることをそれぞれ示す。

4. 実験結果と解析結果の比較

表-2 には実験結果をまとめて示す。同表によると、貼付部をグラインダー仕上げしない場合、一部例外が見られるがプレテンション量に関係なく、引張力を除荷すると CFRP の剥離が発生した。一方、グラインダー仕上げした場合には、プレテンション量が 4kN 程度では剥離が発生せず、プレテンション量が 8kN 程度の時、引張力の除荷時は CFRP の剥離は発生しないが、剥離制御板を取り除くと剥離が発生した。すなわち、剥離制御板はモード I の剥離防止に効果的であり $G_I > G_{II}$ であったと推察できる。

図-3 には、解析により得られたエネルギー開放率 G_I 、 G_{II} 、および $G_{total} (=G_I + G_{II})$ と CFRP に導入したプレテンション量との関係を、貼付部をグラインダーで仕上げた実験結果とともに示す。同図によると、実験と解析とで結果が一致していない。実験結果には施工誤差や貼付部表面の粗さ等のバラツキが含まれるが、剥離限界 G が 100 以下であると考えられる。さらにプレテンション量が 10kN 程度で剥離制御板を設置する場合にも剥離が発生した。このとき $G_I < G_{II}$ であったと推測でき、これも実験結果と一致しない結果となった。

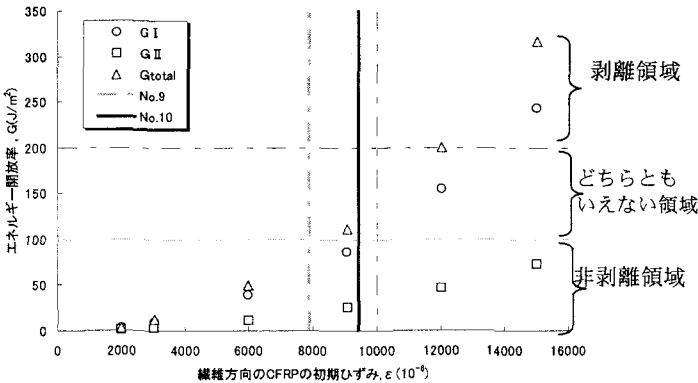


図-3 解析結果と実験結果との比較

表-2 小型試験体の実験結果

No.	接着面 (グラインダ加工あり/なし)	荷重(N)	剥離時期 ※		
			軸力開放	剥離制御版	剥離せず
1	なし	4194.3	●		
2	なし	5320.6	●		
3	なし	5928.8	●		
4	なし	6461.8	●		
5	なし	7983.5	●		
6	なし	9879.7	●		
7	あり	4230.8			●
8	あり	6405.6	●		
9	あり	8327.6		●	
10	あり	9926.6	●		

※ 軸力開放：軸力を開放した時の剥離，剥離制御板：剥離制御板を取り外した際に起こった剥離，剥離せず：すべての工程を行っても剥離が発生せず

4. まとめ

本検討では、CFRP に引張力が作用する場合の剥離限界，およびモード I の剥離を防止するための剥離制御板の設置効果を載荷実験により検討した。得られた主な結果をまとめると以下のとおりである。

- 1) 幅 30mm で 1 層の高強度タイプの炭素繊維シートに引張力を導入し鋼板に貼付する場合には、剥離限界は 4～6kN の間であると考えられる。
- 2) CFRP を貼付する鋼板表面の粗さが剥離性状に及ぼす影響は大きい。
- 3) 解析により $G_{II}/G_I=0.3$ を得たが、実験結果から剥離制御板が有効に機能する ($G_I > G_{II}$) ことを確認した。

参考文献

1) 玉置 正徳,坂野 昌弘,並木 宏徳,田中 道七：鋼板を用いたポストテンション補強工法の補強効果，土木学会年次学術講演会講演概要集第 1 部(A)，Vol: 55 巻 PP.610～611，2000

2) 杉原 尚志,並木 宏徳,松村 政秀,北田 俊行：炭素繊維シートを貼付する既設鋼橋桁の補強法に関する基礎的な実験的研究，土木学会年次学術講演会講演概要集第 1 部，Vol: 58 巻 PP.1071～1072，2003