

CFRP 板接着補修におけるプレストレス導入方法に関する実験的研究

首都大学東京大学院 学生員 ○山村勇斗・林 帆・孫 継 光
 首都大学東京大学院 正会員 中村一史*・フェロー 前田研一
 JX 日鉱日石エネルギー 福田欣弘

1. はじめに

現在、わが国の橋梁の多くは老朽化しており、交通量の増加、大型車両の通行等の影響による疲労損傷が発生している。効果的な補修工法が求められているなか、最近、軽量で高剛性の炭素繊維強化樹脂板（以下、CFRP 板）とエポキシ樹脂接着剤を用いた補修工法が提案されている。しかし、CFRP 板接着のみでき裂補修を行った場合、CFRP 板の積層数が増大することになる。そこで、本研究では予め引張力（プレテンション）を導入した CFRP 板を接着、解放することで、鋼板に圧縮力（プレストレス）が導入でき¹⁾、より効果的なき裂補修が期待できることから、実構造への適用が可能なプレストレス導入装置を開発するとともに、導入状況の検証を行った。

2. プレストレス導入装置と導入手順

開発したプレストレス導入概念図を図-1 に示す。まず、導入装置の一部である図-1 (a) の CFRP 板接着固定治具を作製する。鋼板と CFRP 板の接着長は端部から 100mm であり、約 40℃ で 24 時間養生する。これを図-1 (b) の導入装置にボルトで固定する。図-1 (b) の右側が拘束部分であり、左側が可動部分である。そして、ボルトの締め付けにより、可動部分を矢印方向に押し出すことで CFRP 板にプレテンションを導入する。鋼板の両面に CFRP 板の中央部分（300mm）を接着し、約 40℃ で 24 時間養生する。その後、ボルトを緩め、プレテンションを解放することで、被着体にはプレストレスが導入される。最後に、余分な CFRP 板を切断する。鋼板への導入プレストレス σ_{ps} は、プレテンション解放前の鋼板中心部のひずみを零として、解放後に計測される圧縮応力である。使用した材料の機械的性質を表-1 に示す。

3. 引張試験によるプレストレス導入状況の検証

3.1 実験方法

試験片図を図-2 に示す。試験片は、鋼板 SM400（540×50×9）の両面に CFRP 板（50×1.2×300）をエポキシ樹脂接着剤で接着したもの（継手なし）、および、2 枚の鋼板 SM400（300×50×9）を長手方向に並べ、同様の CFRP 板を接着したもの（継手あり）の 2 種類である。鋼板中心部への導入プレストレスは $\sigma_{ps} = 0, 40, 80\text{MPa}$ の 3 通り設定し、表-2 に、実験シリーズを示す。接着層厚は 0.4mm として、約 40℃ で 24 時間養生し、養生後、プレテンションを解放して鋼板にプレストレスを導入した。そして直ちに引張試験を行った。CFRP 板の導入ひずみ ϵ_{pre} は、接着養生中のプレテンションの抜けを想定して 1~2 割増しとした。

3.2 実験結果と考察

鋼板中心部へのプレストレス導入状況を図-3 に示す。ひずみの計測は、①CFRP 板のプレテンション解放後、②プレストレス導入装置除去後、③CFRP 板固定治具切断後、④引張試験直前に、それぞれ実施した。導入プレストレス σ_{ps} は、継手なしでは鋼板中心部において、また、継手ありでは鋼板中心から 10mm の位置において計測さ

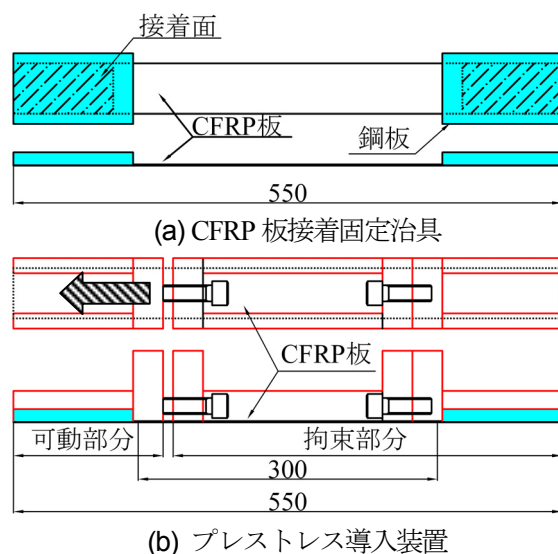


図-1 プレストレス導入の概念図

表-1 機械的性質

	鋼板 (SM400)	CFRP 板	エポキシ樹脂 接着剤
降伏点 (MPa)	309	-	-
引張強度 (MPa)	456	2808	30
破断伸び (%)	28.9	1.9	-
弾性係数 (GPa)	206	165	1.5

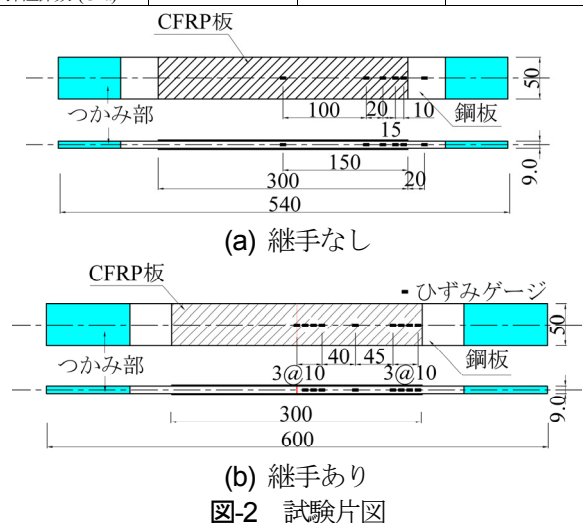


図-2 試験片図

Key Words : CFRP 板, プレストレス導入装置, プレテンション, プレストレス, クリープ
 連絡先* : 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL.042-677-1111 内線(4564)

れたひずみの値から算出した。図-3より、プレテンション解放後に鋼板にプレストレスが導入され、引張試験直前まで導入プレストレスがほとんど変わらないことが解る。導入プレストレスが80MPaでは、20%割増しでプレストレスを導入しても、目標値を僅かに下回ること、また、導入プレストレスが40MPaでは、継手なしの場合、ほぼ目標値通りに導入されたが、継手ありの場合では、かなり下回った。継手ありの試験片では、導入プレストレスの大きさにかかわらず、導入量が目標値を下回る傾向が見られるが、これは突合せ部のギャップからプレストレスが抜けたものと考えられる。さらに、保温養生中の接着剤の硬化過程における影響や、両面のCFRP板のプレテンションの差異等も考えられることから、今後は、装置の改良を含め、試験片数を増やして検討を実施し、プレストレス導入の精度を向上させたい。

また、引張試験結果の一部として、図-4に引張応力とひずみの関係を、また、表-4に導入プレストレスと引張強度をそれぞれ示す。継手なしの引張強度は、プレストレス導入に伴って低下する傾向がみられたが、継手ありでは、導入プレストレス40MPaで最も低下し、ばらつきが大きくなった。しかしながら、両者とも引張強度は十分に高く、疲労き裂補修を想定した実働応力レベルでは、プレストレスの導入によるCFRP板のはく離はほとんど問題ないといえる。

4. プレストレス導入鋼板のクリープ特性の検討

試験片は、図-2(a)の継手なしと同じ試験片(NC80)である。鋼板にプレストレス導入を行い、鋼板中心部への導入プレストレスの経時変化を1ヶ月間計測した。目標導入プレストレス σ_{ps} は80MPaであり、CFRP板への導入ひずみ ϵ_{pre} は同様に2割増しとした。

鋼板中心部へのプレストレスの導入状況は、図-3に併記したように、プレテンション解放後に73MPaとなり、CFRP板固定治具切断後では74MPaとなった。図-5に、プレストレス導入後の経時変化を示す。鋼板中心部への導入プレストレスは、若干変動が見られるものの、ほとんど変化はなく、クリープ変形による影響はないと考えられる。なお、わずかな変動は、試験片温度の変化に応じて生じていることから、鋼板とCFRP板との線膨張係数差に起因する温度応力によるものと考えられる。

5. まとめ

以上のことから、今回、開発した簡易なプレストレス導入装置により、鋼板へ36kN相当のプレストレスを合理的に導入することが可能であること、また、若干導入量は低下するものの、き裂を模した継手の鋼板にもプレストレスを加えることができることを確認した。今後は、具体的な疲労き裂補修への適用性を検討したい。

参考文献

- 1) 石川敏之：プレストレスが導入されたCFRP板接着・切断鋼板の理論解析，応用力学論文集，Vol.12，pp.907-914，2009.8

表-2 実験シリーズ

試験片名	CFRP板導入ひずみ $\epsilon_{pre}(\times 10^{-6})$	導入ひずみの割増率(%)	導入プレストレス $\sigma_{ps}(MPa)$	鋼板へのプレストレス量PS(kN)
継手なし				
N0	0	-	0(導入なし)	0
N40	1055	10	40	18
N80	2109	20	80	36
NC80	2109	20	80	36
継手あり				
J0	0	-	0(導入なし)	0
J40	1055	20	40	18
J80	2109	20	80	36

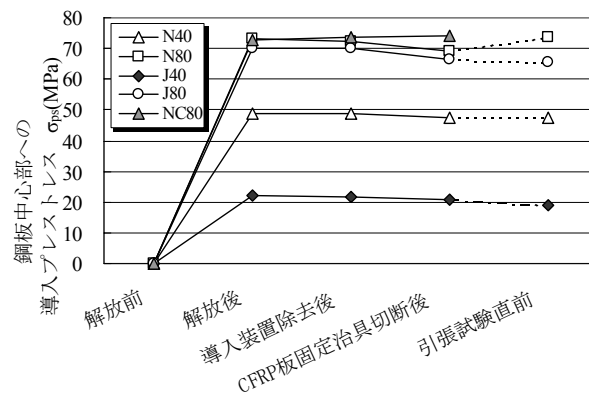


図-3 鋼板へのプレストレス導入状況

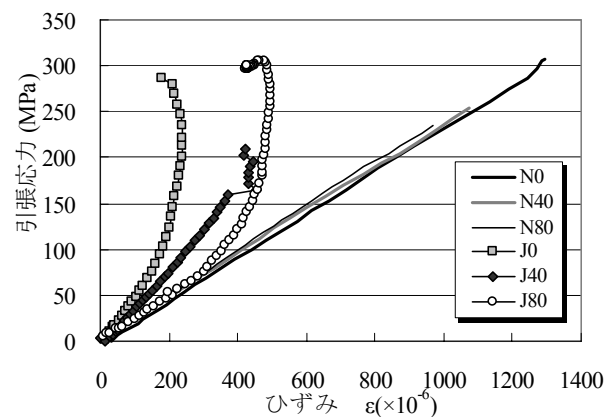


図-4 引張応力と鋼板中心部のひずみの関係

表-4 鋼板への導入プレストレスと引張強度

試験片名	継手なし			継手あり		
	N0	N40	N80	J0	J40	J80
目標値(MPa)	0	40	80	0	40	80
導入プレストレス $\sigma_{ps}(MPa)$	-	48	74	-	19	66
引張強度(MPa)	308	242	235	287	209	300

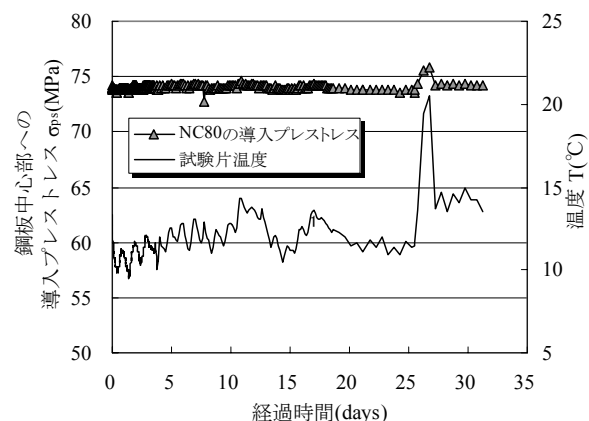


図-5 プレストレスが導入された鋼板の経時変化