

断面欠損を有する鋼部材の CFRP 板接着による補修について

首都大学東京大学院 学生員○米山 洋生
首都大学東京 正会員 中村 一史
東レ 正会員 松井 孝洋

1. はじめに

近年、我が国における鋼構造物の補修方法として炭素繊維強化樹脂板(以下、CFRP 板と呼ぶ)を用いた接着工法が検討されており、試験施工として、実構造物へ適用されはじめています。しかし、既設鋼構造物の補修では、断面欠損した鋼部材は死荷重によって、高い応力状態となる場合があるが、その影響を考慮した鋼部材の終局強度の評価方法は未だ確立されていない。そこで、本研究では、補修時に死荷重の影響を受けた場合を想定して、CFRP 板接着を行い、引張試験によって補修効果を明らかにする。

2. 補修条件と実験方法

表-1 に、使用した鋼材(SM400A)と CFRP 板(ML520, TL520)の材料特性を示す。腐食を模擬して、図-1 に示すように、鋼材の中心に 80×50mm の範囲に矩形の断面欠損を表面と裏面に設けた。まず、死荷重に相当する応力を疲労試験機を使って载荷し、一定に保持させた。その後、図-2 に示すように、積層 CFRP 板で接着補修を行い、作製した治具を用いて積層 CFRP 板を固定した。エポキシ樹脂接着剤が硬化し始めたことを確認した後、温度を 40℃になるように調整して 24 時間の養生を行った。養生後、载荷速度 0.5mm/min に設定して引張試験を行った。表-2 に、鋼材の断面欠損部の厚さ(t_{sd})と死荷重に相当する応力(σ_d)を示す。断面欠損部の厚さ(t_{sd})に対する積層 CFRP 板の厚さ(t_{sc})の決定方法は、試験体の断面欠損部が死荷重相当応力 $\sigma_d=35\text{MPa}$ を負担しても、鋼材(SM400A)の許容応力($\sigma_a=140\text{MPa}$)に相当する応力が作用した時に一般部と同程度に機能が回復するように設定した。ひずみゲージの位置は図-1 に示す通りであり、鋼板のひずみ分布を調べた。

3. 実験結果と考察

実験結果の一部として、図-3 に、引張応力と試験体中央部の鋼板ひずみの関係を示す。なお、引張試験は室温(13~16℃)で行ったが、試験体を加温養生(40℃)時から室温に戻すまでの温度差によって、鋼板に引張ひずみが導入された。ここでは、そのひずみ量を除外して評価している。全試験体の実験値は、理論値から若干ずれたが、ほぼ予測通りの補修効果を発揮していることがわかる。死荷重相当応力 $\sigma_d=0\text{MPa}$ に設定した試験体(T9.0D000TL, T4.5D000TL)は、一般部が降伏点に達した後も補修効果があることが確認できる。しかし、一般部が破断するよりも前に積層 CFRP 板が端部からはく離した。試験体 T4.5D000TL は、積層 CFRP 板の端部からはく離と同時に断面欠損部が破断した。これは、補修効果の急激な低下により、欠損部に作用する引張応力が増大したことによるものと考えられる。試験体 T9.0D000TL は、断面欠損していないため、破断しなかった。死荷重相当応力 σ_d を 35MPa に設定した試験体(T4.5D035TL, T

表-1 材料物特性値

	鋼材 (SM400A)	CFRP 板 (TL520)	CFRP 板 (ML520)
降伏点[MPa]	305.2	-	-
引張強度[MPa]	447.6	2685	2038
弾性係数[GPa]	209.3	142.9	283.1

表-2 試験体欠損部の厚さと死荷重に相当する応力(σ_d)の設定

試験体名	欠損部の厚さ [mm]	死荷重相当応力 σ_d [MPa]	CFRP板種類	CFRP板の片側の厚さ [mm]
T9.0D000TL	9.0	0.0	TL520	6.0
T4.5D000TL	4.5	0.0		
T4.5D035TL		35		
T4.5D105TL		105		
T3.0D035ML	3.0	35	ML520	8.0
T3.0D070ML		70		
T3.0D105ML		105		

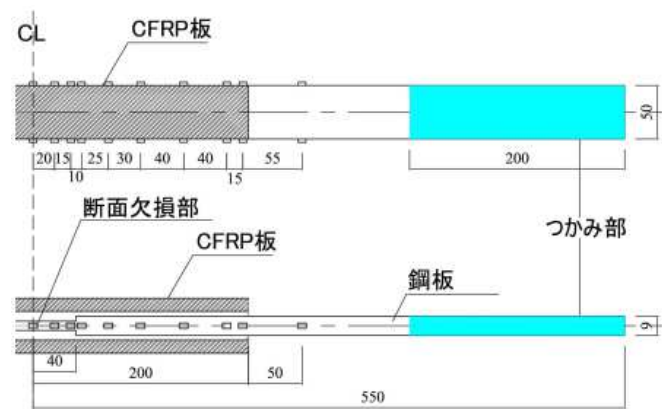
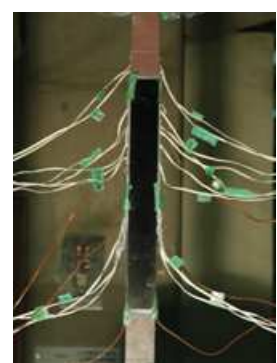


図-1 試験体図とひずみゲージ設置位置



(a) 固定治具設置後

(b) 養生後

図-2 セットアップ図

Key Words : 断面欠損, 補修, CFRP 板, 応力分布

連絡先 : 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL.042-677-1111 内線(4564)

3.0D035ML)と 70MPa に設定した試験体 T3.0D070ML については試験 T4.5D000TL と同様であり、積層 CFRP 板の端部からのはく離と同時に断面欠損部が破断した。

補修効果については、以上の 5 体の試験体は弾性域内で一般部と同等のひずみの値となるまで回復した。ただし、試験体 T9.0D000TL と T4.5D000TL の欠損部は一般部に比べて、ひずみが小さく、補強となっている。また、死荷重相当応力 σ_d を 35MPa に設定した 2 体の試験体(T4.5D035TL, T3.0D035ML)と 70MPa に設定した試験体 T3.0D070ML は一般部と同程度まで回復した後、一般部よりひずみが小さくなり、補強となっている。

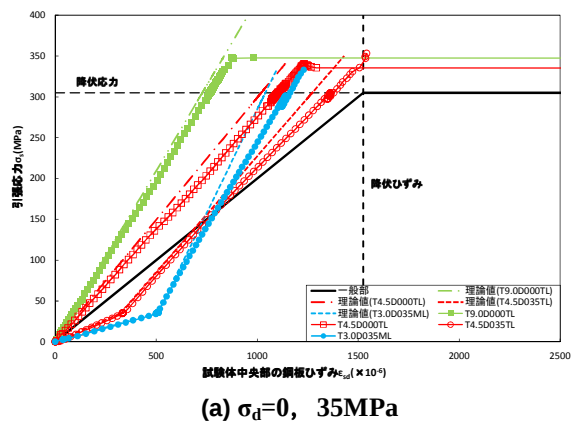
一方、 $\sigma_d=105\text{MPa}$ に設定した場合、試験体 T4.5D105TL は、一般部が降伏した時でも欠損部は破断することはなかった。また、試験体 T4.5D105TL のひずみの値は、約 250MPa から変化がみられた。この時、試験体 T4.5D105TL の中央部は降伏点に達したが、ひずみは増大しなかった。これは、欠損部の鋼板がそれ以上の荷重を負担しなくなり、荷重が積層 CFRP 板に再配分されたことによるものと判断された。

そこで、T3.0D105ML では積層 CFRP 板にひずみゲージを設置して応力の再配分を検討した。なお、この試験体では、 $\sigma_d=105\text{MPa}$ 荷重によって欠損部が降伏に達し、荷重制御であるため、ひずみが理論値より大きくなった。図を略したが、欠損部の降伏後、欠損部に負担される荷重をすべて積層 CFRP 板に再配分されると仮定して、積層 CFRP 板のひずみを計算したところ、実測値と一致した。このことから欠損部の降伏後の鋼板のひずみ増分は荷重分担によるものではなく、積層 CFRP 板のひずみ増量によるものであるといえた。

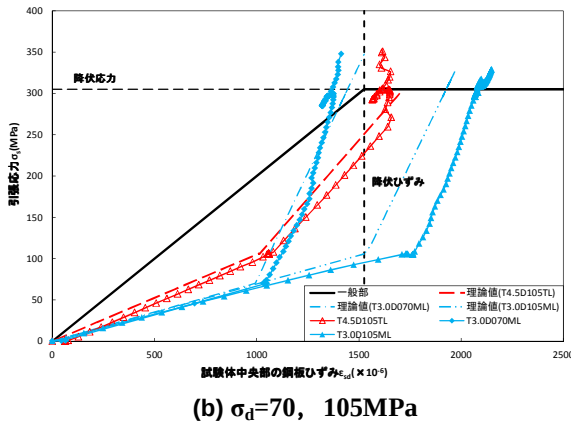
図-4 に、各試験体のひずみ分布を示す。積層 CFRP 板が接着された鋼板のひずみ分布は、無補修の一般部に作用する鋼材ひずみ(ϵ_{s0})に対する比率であり、接着された各部の鋼材のひずみの値(ϵ_{sx})と死荷重相当応力 σ_d を載荷した時の鋼材のひずみの値(ϵ_d)を用いて、 $(\epsilon_{sx} - \epsilon_d)/(\epsilon_{s0} - \epsilon_d)$ より算出した。欠損部のひずみ分布は欠損部の端部を除いて理論値¹⁾とほぼ重なり、死荷重の影響を考慮に入れても十分な補修効果を発揮していることが確認できた。なお、部分的に応力が増加したのは、断面の急変部であり、応力集中によるものと判断された。

4. まとめ

以上の結果から、死荷重の影響下でも積層 CFRP 板接着による断面欠損部の補修は有効であることが確かめられた。また、著しく断面欠損した場合では、補修しても塑性化したか、一般部の降伏が先行し、端部からのはく離によって終局となったことから複合断面の部材として終局状態を考慮すれば、補修設計が可能であるといえた。

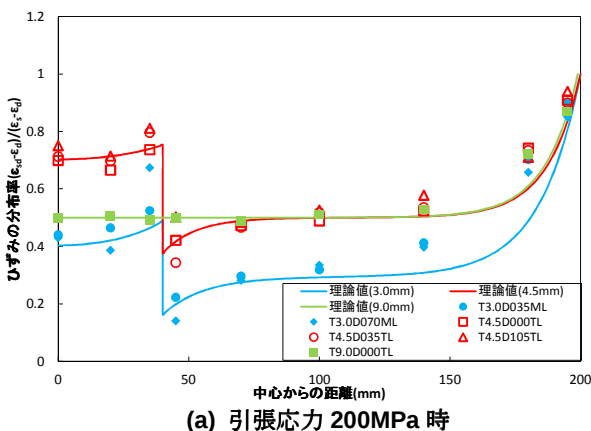


(a) $\sigma_d=0$, 35MPa

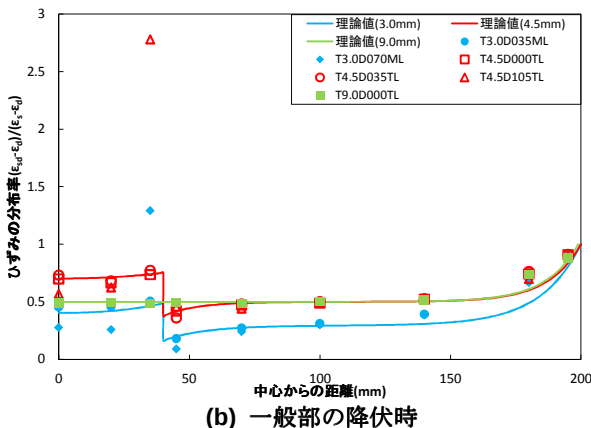


(b) $\sigma_d=70$, 105MPa

図-3 試験体中心部における引張応力と鋼板ひずみの関係



(a) 引張応力 200MPa 時



(b) 一般部の降伏時

図-4 積層 CFRP 板接着範囲におけるひずみ分布図

参考文献

- 1) 石川敏之, 北根安雄: 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, 土木学会, 応用力学論文集, Vol.13, pp.911-920, 2010.8