

降伏応力近い初期応力作用下で CFRP 接着補修した鋼引張腐食部材の引張耐荷力

広島大学大学院
広島大学大学院

正会員
フェロー会員

○福田 洋顕
藤井 堅

1. 目的

近年、経年劣化した社会インフラ構造物の維持補修について、構造物の性能を維持するだけでなく、より安く、短く、簡易に行えることが求められている。また、腐食した鋼構造物に対する補修法である CFRP 接着補修工法についての研究が盛んに行われており、近年では実構造物の部材への補修も行われてきている。

実構造物に CFRP 接着補修を行う際には、構造物の自重等により部材に初期応力が生じており、一般にはジャッキアップ等により応力を除去して補修が行われる。ところが、初期応力の除去は施工が大掛かりであり、工期、費用が増大するという問題点がある。もし、初期応力を除去せずに補修を行った場合でも、除去した場合と同等以上の強度が保障されるならば、初期応力の除去は不必要となり、工期や費用が削減できる。

そこで本研究では、初期応力作用下で補修を行うケースと無応力状態で補修を行うケースで破壊までのプロセス、耐荷力にどのような違いが、なぜ生じるかを調べ、補修効果に差が出るかどうかを明らかにすることを目的とした。

2. 初期応力作用下で補修した鋼板の引張試験

長さ 1000mm、幅 100mm、板厚 8.7mm の鋼板（鋼種 SS400）に腐食を模擬した欠損区間を設け、CFRP ストランドシート接着補修を施し、引張試験を行った。腐食を模擬した欠損は、欠損区間を一定の板厚に欠損させるフラット腐食と、実際の腐食状態に近い凸凹腐食の 2 種類とした。なお、腐食部の最小断面積は健全部の 31%とした。ここで、CFRP ストランドシート（弾性係数：706GPa）の積層枚数は、CFRP の鋼換算断面積が欠損した鋼の断面積と等しくなるよう決定した。

図-1 に示すとおり、健全、無補修、初期応力 0, 0.75 σ_y , 0.95 σ_y で補修を行う条件を設定した。ここで、初期応力は、欠損部の最小断面積位置に生じる応力を差す。また、 $\sigma_y=235\text{MPa}$ である。

健全な供試体の耐荷力に対する各供試体の耐荷力を図-1 に示す。ここで、各供試体の耐荷力は、荷重-伸び関係の傾きが線形関係でなくなり、極大となる位置の荷重と定義した。図-1 から、補修を行った場合は初期応力の有無や大小に関係なく健全な場合と同程度の耐荷力となったことがわかる。

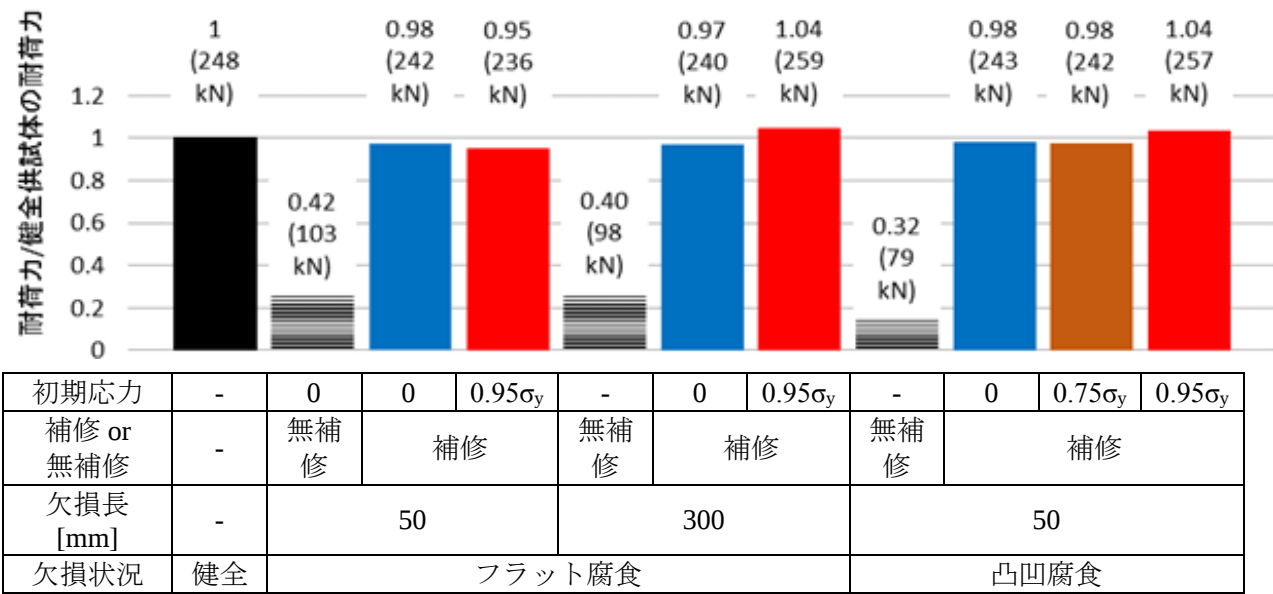


図-1 張試験の試験条件と耐荷力

キーワード 腐食鋼部材, CFRP 接着補修, 初期応力, 耐荷力, FEM 解析

連絡先 〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1 広島大学大学院工学研究科 社会基盤環境工学専攻 TEL 082-424-7819

3. 初期応力の有無が補修効果に及ぼす影響の評価

今回の実験において、初期応力作用下で補修しても健全な部材と同等の耐力まで CFRP がはく離しなかった理由を、有限要素法解析によって調べた。

CFRP のはく離は、鋼との界面の接着樹脂に生じる引張主応力によって発生すると考えられている²⁾。そこで、実験に用いたフラット腐食-欠損長 50mm の供試体を対象に、有限要素法解析を行い、鋼との界面の接着樹脂に生じる引張主応力を調べた。

引張主応力が特に大きくなった欠損端部と接着端部の引張主応力と荷重の関係を図-2、3に示す。

欠損端部の引張主応力に着目すると、欠損部の鋼の降伏により、初期応力 $0.95\sigma_y$ のケースは荷重 100kN 付近で、初期応力 0 のケースは荷重 200kN 付近で、荷重増分に対する引張主応力の増加量が大きくなっていることがわかる。これにより、欠損端部の引張主応力は、荷重 180kN 以降では初期応力 $0.95\sigma_y >$ 初期応力 0 となっていることがわかる。

ここで、今回の実験における、フラット腐食-欠損長 50mm-初期応力 $0.95\sigma_y$ 供試体の CFRP のはく離は、図-2、3 の赤の矢印で示した位置で生じた。よって、この赤の矢印の位置の引張主応力が接着樹脂のはく離強度と考えることができる。もし仮に、健全部降伏荷重時の欠損端の引張主応力（初期応力 $0.95\sigma_y$ ）がはく離強度より大きかった場合、健全部が降伏する前に CFRP がはく離し、耐力が低下していたと考えられる。しかし今回のケースでは、健全部降伏荷重時の欠損端の引張主応力（初期応力 $0.95\sigma_y$ ）がはく離強度より小さかったため、健全部が降伏するまで CFRP がはく離しなかったといえる。

さて、このように、初期応力作用下で補修を行う場合、条件によっては、初期応力の除去を行って無応力状態で補修する場合よりも耐力が低下する可能性がある。しかし、実際の補修部材に作用する荷重レベルは、許容応力が健全部に発生する程度の大きさであり、今回の部材の許容応力相当荷重は 122kN である。よって、健全部降伏荷重 248kN-122kN=126kN 分が、安全率として考慮されている荷重分である。これに対し、図-3 から、今回のケースで、初期応力 $0.95\sigma_y$ の場合が初期応力 0 の場合より低下する耐力は最大でも 3kN 程度であり、安全率として考慮されている荷重分 126kN に比べて非常に小さいといえる。

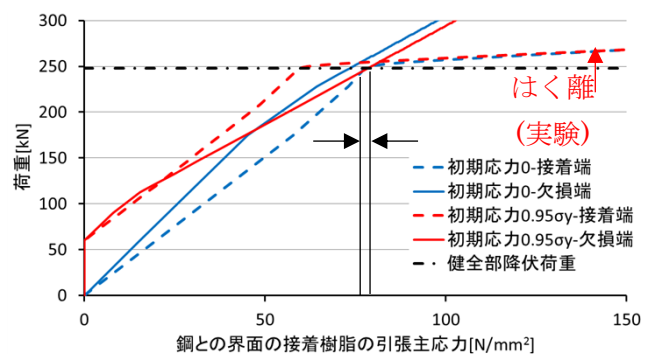


図-2 欠損端、接着端の接着樹脂に生じる引張主応力と荷重の関係

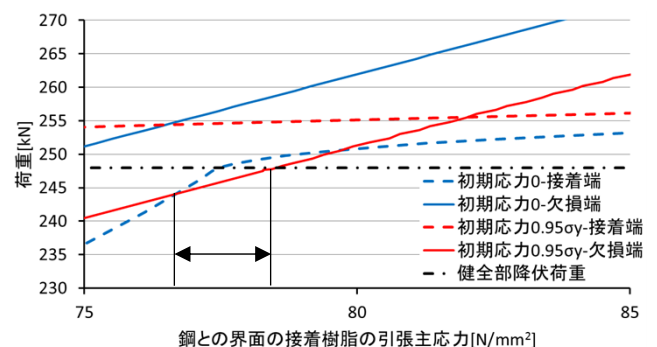


図-3 欠損端、接着端の接着樹脂に生じる引張主応力と荷重の関係（拡大図）

4. まとめ

初期応力作用下での補修後の載荷荷重によって、欠損部の鋼が降伏すると、欠損端部の接着樹脂に生じる引張主応力が大きくなる。よって、健全部降伏までに接着樹脂に生じている引張主応力が、初期応力あり > 初期応力なしとなるケースでは、初期応力作用下で補修すると CFRP のはく離により耐力が低下する可能性がある。しかし、耐力の低下量は、実構造物の部材設計において降伏強度に対して設定されている安全率で充分カバーできるほど小さい。

参考文献

- 1) 米山洋生, 中村一史, 松井孝洋: 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, 土木学会第 68 回年次学術講演会概要集, I-345, pp.689-690, 2013.
- 2) D. Schnierch, M. Dawood, S. Rizkalla and E. Sumner, "Proposed Design Guidelines for Strengthening of Steel Bridges with FRP Materials", Construction and Building Materials, May 2007. Vol. 21, Issue 5, pp.1001-1010, 2007.