

CFRP スtrandシート接着による腐食鋼管杭の補強実験

日鉄コンポジット(株) 正会員 ○立石 晶洋, 小林 朗
独立行政法人港湾空港技術研究所 正会員 岩波 光保, 加藤 絵万
北海道大学大学院 正会員 横田 弘

1. はじめに

港湾鋼構造物は、飛来塩分や乾湿繰返し作用を受ける厳しい腐食環境にさらされている。現在、港湾鋼構造物は防食対策が施されるのが一般的であるが、建設当初から腐食しるを考慮するなど防食工を施していないものもあり、腐食による肉厚減少を生じることがある。鋼材の腐食による肉厚減少は、部材の剛性や耐力の低下を招くことから、適切な対策を施す必要がある。一方で、炭素繊維強化プラスチック（以下、CFRP）接着工法は、軽量、高強度、高弾性で人力だけで施工できるため、施工制限のある構造物でも施工が可能で、陸上の構造物の耐震補強や疲労寿命向上の補強工法として適用されてきた。しかし、CFRP 接着工法は、接着面に水分が存在すると接着強度が低下するため、水中や湿潤面での施工はほとんど行われてこなかった。そこで、著者らは水中施工で実績のある被覆防食工法で用いられる水中硬化形エポキシ樹脂と事前に含浸・硬化された水中でも使用可能と考えられる CFRP スtrandシートを用いて、水中施工における鋼材との接着性能を確認し、港湾鋼構造物への適用を検討してきた¹⁾。本研究では、腐食により肉厚減少した鋼管部材と CFRP スtrandシートの接着性、腐食した鋼管部材の補修・補強に CFRP を適用した場合の応力低減効果を実験により確認した。

2. 試験概要

腐食した鋼管の CFRP による鋼材応力の低減効果を確認するために、鋼管杭に CFRP スtrandシートを接着し、曲げ載荷実験を行った。供試体の概略を図 1 に示す。供試体には外径 318.5mm、厚さ 10.3mm、長さ 3,000mm の鋼管を用いた。供試体の載荷点と支点には鋼板を溶接し、支点近傍の鋼管内部にモルタルを充填して、鋼管の局所変形を防止した。No.1 から No.3 供試体では、降伏点が 318N/mm²、引張強さが 412N/mm² の STK400 の鋼管に、図 2 に示す腐食による肉厚減少を模擬した断面欠損を設けた。No.4 供試体は、建設後 38 年が経過した港湾鋼構造物から切り出した鋼管杭 350mm の両側に健全な鋼管を溶接したものである。全体的に凹凸の激しい全面腐食が発生していることに加えて、著しい孔食が発生している個所も見られ（写真 1）、超音波厚さ計による測定結果では、断面欠損深さの平均値は 1.82mm（下面平均 1.86mm、上面平均 1.73mm）であった。供試体は最大深さ 6.12mm の孔食部が載荷時に供試体中央の下面に位置するように配置した。補強は、サンドブラストにより鋼管に下地処理を行い、気中で水中硬化形エポキシ樹脂を塗布して、CFRP スtrandシートを接着した。接着範囲は、鋼管中央の長さ 500mm の範囲とし、CFRP の繊維方向は鋼管軸方向とした。使用した CFRP スtrandシートの物性値を表 2 に示す。補強は 2 回に分けて実施し、最終的な補強量は鋼管と CFRP スtrandシートの完全合成を仮定して、断面欠損によって低下した鋼管の曲げ剛性を断面欠損前まで回復させるために計算上必要な CFRP スtrandシートの積層数とした（表 1）。なお、曲げ剛性の算出においては、単純に欠損断面分を差し引き、応力集中などは考慮し

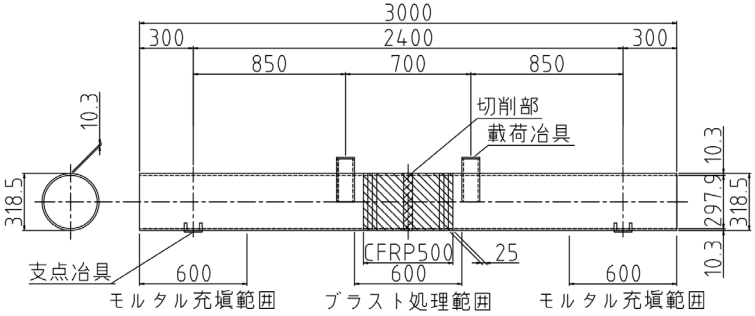
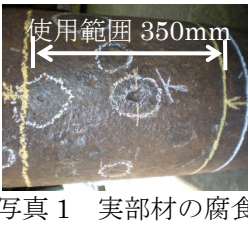


図 1 供試体概略 (No.2)

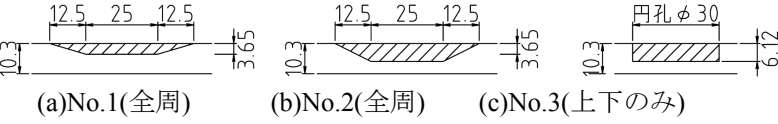


図 2 切削部の模擬欠損の側面図

表 1 供試体種類

供試体	腐食程度(mm)	補強 1	補強 2
No.1	模擬減肉 3.65	2 層*	—
No.2	模擬減肉 6.12	2 層	4 層*(+2 層)
No.3	模擬減肉 5.15	1 層**	1 層*(全周)
No.4	実部材, 平均 1.82, 最大 6.12	4 層*	—

*: 最終的な補強量, **: 円孔上幅 100mm

キーワード 港湾鋼構造物, 補修・補強, CFRP スtrandシート, 水中施工, 水中硬化形エポキシ樹脂
連絡先 〒103-0024 東京都中央区日本橋小舟町 3-8 日鉄コンポジット(株) TEL03-5623-5558

なかった。また、No.4 供試体については、最大深さ 6.12mm の孔食が鋼管の全周にあると仮定して曲げ剛性を算出し、補強量を決定した。

曲げ載荷試験は、支間 2,400mm、せん断スパン 850mm の 4 点曲げ試験とし単調載荷を行った。補強による鋼管の応力低減効果を確認するため、補強前と 1 回目の補強後に弾性範囲内で載荷と除荷を実施した。最終の補強後は、CFRP ストランドシート の破壊、もしくは荷重が低下するまで単調載荷した。測定項目は、荷重、載荷点および支間中央の変位、支間中央断面と補強端部の断面の 0° 、 45° 、 135° 、 180° の位置での鋼管および CFRP ストランドシート のひずみとした。No.3 と No.4 供試体は円孔縁と孔食縁でもひずみを測定した。

3. 試験結果

No.1～No.4 供試体の補強前後の荷重と、支間中央の上下面における鋼管ひずみの関係を図 3 に示す。No.4 供試体は、孔食縁のひずみを示した。各供試体とも補強前に比べ、補強後の鋼管ひずみが小さくなっており、CFRP ストランドシート の接着によって、鋼管の発生応力が低減された。実部材から切り出した鋼管杭を用いた No.4 供試体の孔食縁でも鋼材の応力低減が確認された。さらに、実験値と計算値の比較を行うために、図 3 の荷重と鋼管ひずみ関係の弾性範囲内の荷重 150kN 以下の範囲で傾きを算出し、補強前と補強後の曲げ剛性比として、表 3 に示した。実験値と計算値の比は概ね 0.9～1.07 程度で比較的良好に一致しているが、計算値に比べ実験値の方が小さくなっている。特に No.2 供試体は

補強 1 で 0.90、補強 2 で 0.75 であり、補強量の多い方が実験値と計算値の比が小さくなった。実部材の No.4 供試体では、約 0.9 となった。ここで、図 4 に No.2 と No.4 供試体の荷重約 150kN 時の支間中央の断面のひずみ分布を示す。補強後では、鋼材のひずみに比べ CFRP のひずみが小さくなっており、CFRP と鋼材の完全合成が成り立っていないことが分かる。この原因としては、断面欠損を埋めるために樹脂が厚くなっている位置で、せん断弾性係数の低い樹脂が鋼管応力を CFRP に伝達できていないものと考えられる。このため、実験値が計算値より小さくなったと考えられる。

表 3 補強前と補強後の曲げ剛性比

		No.1 補強 1	No.2 補強 1	No.2 補強 2	No.3 補強 1	No.3 補強 2	No.4 上面	No.4 孔食縁
計算値	補強後/補強前	1.48	1.79	2.59	1.03	1.16	1.74	1.74
実験値	補強後/補強前	1.34	1.61	1.94	1.11	1.22	1.64	1.59
実験値/計算値		0.91	0.90	0.75	1.07	1.05	0.94	0.91

4. まとめ

- CFRP ストランドシートを用いて断面欠損のある鋼管を補強した結果、鋼管のひずみは補強前に比べ小さくなり、鋼管の応力低減効果が認められた。また、実部材から切り出した孔食のある鋼管でも孔食縁の鋼管の応力低減効果が認められた。
- 鋼管のひずみ値から算出される曲げ剛性の実験値が計算値より小さくなった原因としては、断面欠損を埋めるために樹脂が厚くなっている位置で、せん断弾性係数の低い樹脂が鋼管応力を CFRP に伝達できていないものと考えられる。

参考文献

- 立石晶洋，横田弘，岩波光保，加藤絵万，小林朗，戴建国：水中施工の可能な FRP を用いた港湾鋼構造物の補強実験，構造工学論文集，Vol. 56A，pp. 644～655，2010

表 2 CFRP ストランドシート物性値

CFRP 種類	引張強度 N/mm ²	弾性係数 N/mm ²	設計厚さ mm
高弾性型	2,410	694,000	0.429

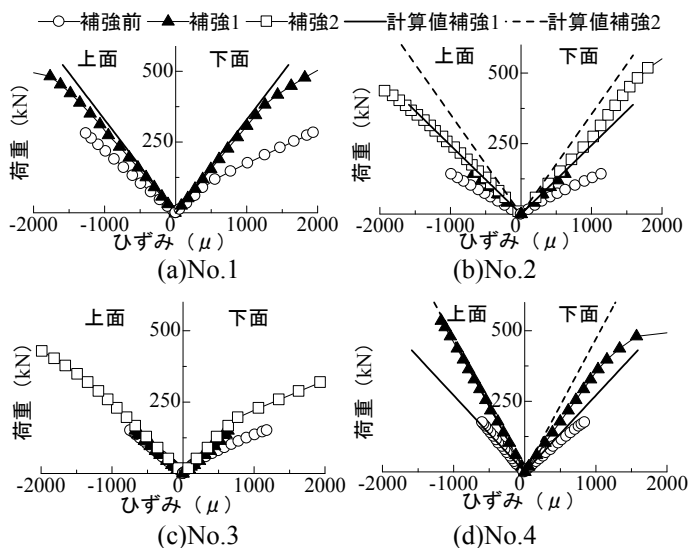


図 3 荷重－鋼管ひずみ関係

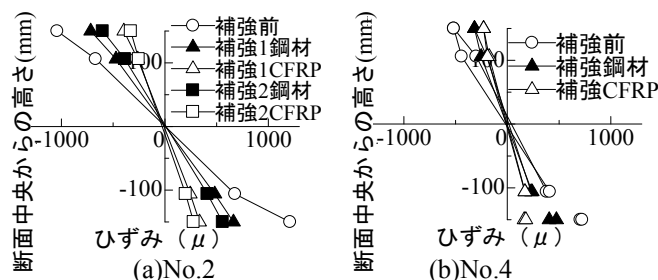


図 4 供試体断面のひずみ分布