

炭素繊維シート巻き立てによる損傷鋼管の補修効果に関する検討

京都大学大学院工学研究科 正会員 小野 紘一
 京都大学大学院工学研究科 学生員 大島 義信
 コニシ株式会社 正会員 若原 直樹

京都大学大学院工学研究科 正会員 杉浦 邦征
 京都大学大学院工学研究科 学生員 〇三木 亮二
 日石三菱株式会社 正会員 小牧 秀之

1. はじめに

鋼管は、水道水、ガス等に代表されるライフラインの建設に多用されているが、近年、腐食による経年劣化によって有効断面積が減少し、強度低下をきたしているものが数多く見られる。そこで、本研究では、腐食損傷を有する鋼管をモデル化し、炭素繊維シート/エポキシ樹脂の複合体（以下 CFRP ）の巻き立てによって劣化部位の補修・補強効果について実験的に検討した。

2. 試験の概要

本研究では供試体として直径 165.2mm、板厚 5mm の鋼管(STK400)を使用した。図-1 に示すような4点曲げ载荷により、鋼管梁中央部の試験区間 400mm に一定の曲げモーメントを加え、プライマーおよび積層数を変えた CFRP 巻き立てによる補修効果は無損傷の鋼管の曲げ挙動と比較し、検討した。著者等は、既に、断面欠損 100%を仮定し、2本の鋼管を突き合わせて、CFRP 4層巻き立てによりつなぎ合わせた供試体に対する载荷実験結果より、約 50%の耐力回復の補修効果を確認している。そこで、本研究では、実際の損傷状況を鋼管に対する穿孔により再現し、同様に载荷実験を行った。すなわち、図-2 に示すように鋼管に直径 9mm の孔を 29mm 間隔で、部材軸 120mm の区間にわたってあけた。孔は、円周方向に 18 列、部材軸方向に 4 列配置した。また、予備载荷実験では、鋼管の曲げ変形が大きくなった際に CFRP 層およびその接着層が、鋼管の変形に追従することができず、早期剥離を生じてしまった。これを踏まえ、試験のパラメータには CFRP 巻き立ての下地処理用のプライマーの種類と CFRP の積層数を考えた。プライマーにはより柔軟性を有する金属材料用プライマーと既往の研究で使用した汎用の補修用プライマーの 2 種類を使用した。表-1 に供試体の各条件を示す。なお、巻き立て補修時のシート長は、すべてのケースで鋼管外径の 2 倍とした。

3. 試験結果

腐食損傷鋼管の载荷試験後の変形状態を写真-1 に示す。また、曲げ試験で得られた作用荷重と荷重载荷点下でのたわみの関係を図-3 に示す。図から以下のことが明らかである。

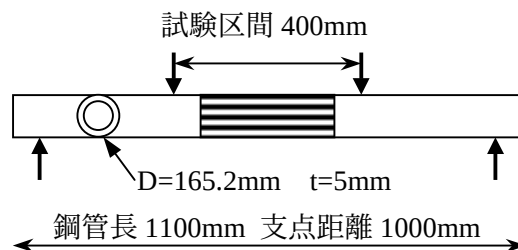


図-1 実験概要

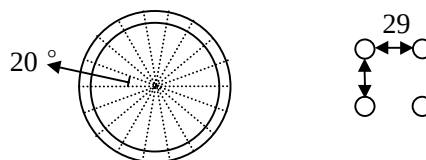


図-2 損傷モデル（寸法単位：mm）

表-1 各供試体の条件

No	補修方法				腐食状況
	軸方向	周方向	定着長	プライマー	
1	—	—	—	—	なし
2	—	—	—	—	あり※1
3	2層	1層	165.2×2.0	E 補修用	あり※1
4	4層	1層	165.2×2.0	E 補修用	あり※1
5	2層	1層	165.2×2.0	金属用	あり※1
6	4層	1層	165.2×2.0	金属用	あり※1

※1 30%損傷をモデル化したもの



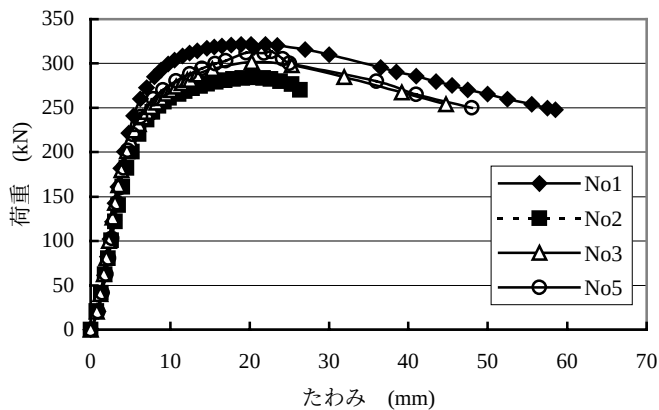
写真-1 損傷鋼管の破壊性状（No.2）

キーワード： 鋼管、腐食損傷、曲げ挙動、炭素繊維シート巻き立て補強

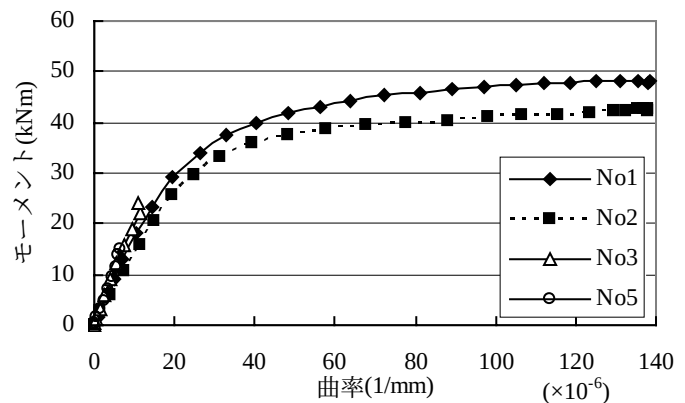
連絡先：〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻 TEL075-753-4791

- ① 無補強の鋼管では、圧縮側に局部座屈が発生し荷重が低下した。また、損傷鋼管においても断面欠損を有する部位で局部座屈が発生した（写真－1を参照）。
- ② 無損傷鋼管（No.1）と損傷鋼管（No.2）を比較すると最大荷重時では約12%の耐力低下が生じているが、剛性が急激に低下し始めた時点の荷重レベルでは、断面欠損分と同等の約30%の低減が見られる。
- ③ 損傷鋼管（No.2）と補修鋼管（No.3, 5）を比較すると変形性能の改善、強度の増加は明らかである
- ④ プライマーの影響を比較すると、若干金属用プライマー（No.5）を用いた方が、曲げ耐力の改善に効果がある。

また、試験区間の曲げモーメントー平均曲率関係を図－4に示す。载荷初期の段階で、CFRP 巻き立てにより若干の剛性の向上が見られる。



図－3 荷重－変位曲線



図－4 曲げモーメントー曲率曲線

4. 結論

本研究で得られた成果をまとめると以下のとおりである。

- ・ 実験結果から CFRP を少なくとも2層巻くことにより曲げ剛性が、無損傷鋼管のそれを上回ることが確認できた。しかし、CFRP の早期の剥離に対しては、積層数はほとんど貢献がなく、曲げ耐力の向上にはつながらないことが分かった。
- ・ CFRP の剥離は、鋼管と CFRP 層間でのせん断応力分布に依存するが、金属材料用プライマーによって下地処理をすることで、若干ではあるが曲げ耐力および耐力劣化に改善が見られた。この金属プライマーは、低剛性・高付着強度を有し、鋼材の塑性変形に追従できるよう材料設計が意図されたもので、今後一層の改良が望まれる。
- ・ 鋼管の円孔まわりの局部変形で、CFRP の繊維の破断等を生じさせた可能性もあるので、補修に際しては、鋼管の成形（孔埋め等）を事前にし、CFRP の巻き立てを行う必要があると考えられる。

以上の結果を踏まえ、今後の課題として下記の項目が挙げられる。

- ・ 鋼管の局部変形を抑制するような巻き立て法、巻き立て長について検討が必要である。例えば、CFRP の引張性能を最大限引き出すために、8の字時に巻き立てるなどが考えられる。
- ・ 一方で、CFRP の積層構造および断面寸法等が規格化されているのであれば、鋼管外径と同じ内径を有する CFRP 管を半割して、外から重ね合わせ、円周方向の CFRP 層を最終巻き立てる等、プレファブ式の補修・補強法等の開発が望まれる。

なお、鋼管・CFRP のひずみ分布、No.4 および No.6 の結果等については、講演当日報告する。

参考文献：1)上原子晶久 他：付着剥離構成モデルに基づく連続繊維シート補強 RC 部材のせん断耐力評価，連続繊維補強コンクリートに関するシンポジウム論文集，pp.7-14，1998.5.2)森川英典 他：実施行条件を考慮したコンクリート部材の鋼板接着補強におけるエポキシ樹脂接着性能の評価：建設工学研究所論文報告集第40号，pp.163-183，1998.11.3)A.BASSETTI, P.LIECHTI, A.NUSSBAUMER, *Fatigue Resistance and Repairs of Riveted Bridge Members*, Institute of Steel Construction (ICOM), ESIS Publication 23, Elsevier, pp.201-218, 1999.