

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 正会員 杉浦 邦征
京都大学大学院工学研究科 学生員 大島 義信
京都大学工学部 学生員○佐々木 敦

1. 概要

近年、鋼製のパイプは種々の気体や液体の輸送に使用されているが、内因・外因を含めた錆等の腐食により有効断面積が減少し強度低下を来しているものが見られる。よって本研究では腐食した鋼管をモデル化し、劣化部位に対する炭素繊維シート/エポキシ樹脂 (以下 CFRP)による補強効果を確認する。

2. 試験方法

本研究では供試体シリーズ全てに対し、径 165.2mm、厚さ 5mm の鋼管(STK400)を用いる。供試体パラメータは、CFRP の積層数、CFRP の定着長、周方向の補強、鋼管表面の塗装の有無そして腐食の有無である。ただし本研究では、鋼管の腐食を表現するために、二本の鋼管を突合せて補修用のプライマーで仮止めしたものを用いて載荷試験を行う。また載荷方法は、図 1 のように試験区間 400mm の四支点載荷で行う。表 1 に供試体のシリーズを示す。

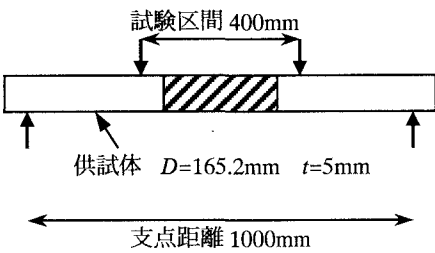


図 1 実験供試体

3. 試験結果

無損傷の鋼管に対し CFRP による補強を行った場合の結果を図 2 に示す。この場合、積層数に応じて最大耐力が増加している。これは、有効断面積の増加に比例したものであることが分かる。また CFRP 補強を一層行った場合 (供試体 2)、曲げモーメントが 20kNm 付近に達した時、載荷点付近で局部座屈が生じ CFRP が剥離した。しかし、曲げ剛性および耐力には影響しなかった。鋼管の腐食を考慮し軸方向のみ補強を行った場合の結果を図 3 に示す。この場合、曲げを受けた時に生じる断面の偏平化により CFRP が剥離するという現象が生じ、実際には無損傷の鋼管の時に比べて約 1/8 程度の耐力しか発揮できなかった。その耐力は定着長が長いほど向上していることが分かる。

一方図 4 では腐食を考慮した鋼管に軸方向と周方向の補強を施した供試体において塗装研磨による違いを示す。これから、軸方向に加えてさらに周方向の補強を施すことによって、無損傷の鋼管の約 1/3 程度まで耐力が回復することがわかる。これは周方向の補強が軸方向に発生するひび割れを抑制し、巻付け効果によりある程度の抵抗力を生じているものと思われる。また、研磨を施すことで耐力の向上が見られた。

4. 曲げ耐力の算定

ファイバー法により、鋼管と CFRP の複合構造物の曲げに対する耐力を算定した結果を以下に示す。ファイバー法は、各材料

表 1 供試体シリーズ

No	補修方法				腐食状況
	軸方向	周方向	塗装	定着長(片側)	
1	—	—	あり	—	なし
2	1 層	—	あり	全面	なし
3	4 層	—	あり	全面	なし
4	—	—	あり	—	あり
5	1 層	—	あり	165.2×0.5	あり
6	1 層	—	あり	165.2×1.0	あり
7	1 層	—	研磨	165.2×0.5	あり
8	1 層	—	研磨	165.2×1.0	あり
9	1 層	1 層	あり	165.2×1.0	あり
10	1 層	1 層	研磨	165.2×0.5	あり
11	1 層	1 層	研磨	165.2×1.0	あり

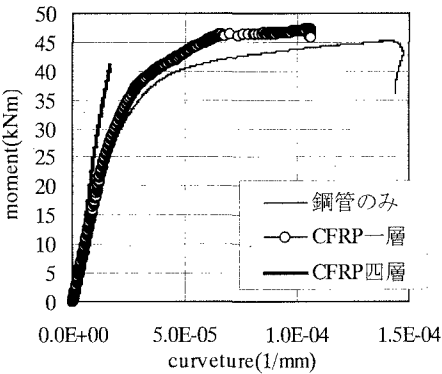


図 2 曲げ剛性の比較

の構成式を考慮し、断面を微小要素に分割して曲率を変化させることで断面内の曲げモーメントを算定するものである。曲率の変化と曲げモーメントの推移を図3に示す。これより、材料間の付着が完全であるという仮定のもとでは、CFRPを一層の巻きただけでは、無損傷の鋼管の耐力と同程度の耐力まで回復できない。さらに同程度の耐力まで回復させるためには、四層巻きたてが必要であることが分かる。しかし、実験では鋼管が降伏する前に剥離が生じてしまい、期待される耐力が生じなかった。すなわち鋼管と補強材との付着が複合材の耐力を決定しており、今後剥離を抑制する方法を検討する必要がある。

5. 結論

以上の結果から以下のことが明らかになった。

- ・実験結果から、無損傷供試体に対して炭素繊維シートを四層巻くことにより曲げ剛性が向上する。
- ・上記の場合、最大耐力に関しては、補強による向上は見られるが、剥離の抑制に関しては積層数の違いによる効果はあまり見られない。
- ・腐食を想定した供試体において、軸方向のみ炭素繊維シート補強を行った場合、CFRPによる補強効果は見られるものの、CFRPの剥離によって補強効果が制限される事が明らかになった。
- ・腐食を想定し、軸方向と周方向に炭素繊維シート補強を行った場合、軸方向のみ補強している供試体の耐力および曲げ剛性が向上した。
- ・周方向の補強の有無に関わらず、研磨を施すことで耐力が向上した。

よって今後の課題として以下を提案し、今後研究を続ける。

- ・鋼管の変形が大きくなった際にCFRP層およびその接着層はそのまま追従することはできないので、結果剥離を生じてしまうため、これを抑制する対策を講じなければならない。
- ・積層数を増やすことによる補強効果の違いが確認できたことから、軸方向の補強を増やしさらに曲げ剛性および耐力を向上させる。
- ・接着層の破壊という問題を防ぐために、今後鋼管の変形に対してクリアランスを持たせたプレファブ式の鋼管継ぎ手を考案する。

参考文献

- 1) 上原子晶久ほか：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) 実施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：森川英典ほか、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

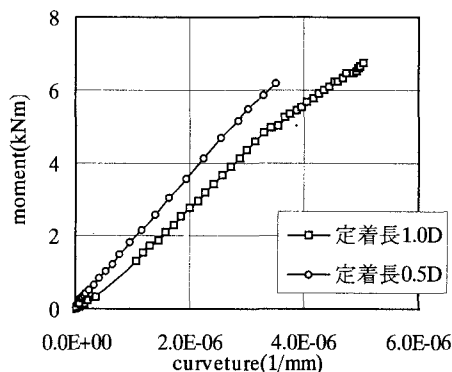


図3 定着長の違い

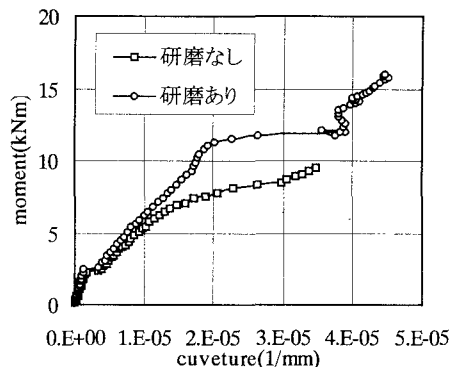


図4 塗装研磨による差異

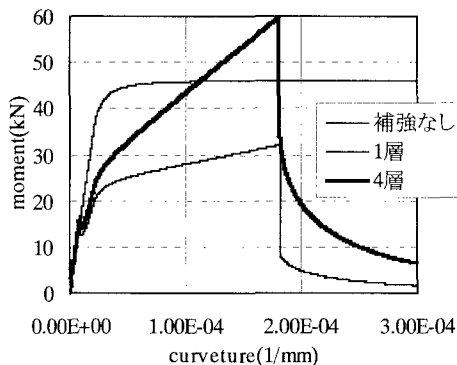


図5 算定結果