

断面欠損を有する鋼管部材の CFRP による補修効果

東レ 正会員 ○松井 孝洋
美貴本 山口 信之
関西電力 山田 勝

豊橋技術科学大学 正会員 松本 幸大
東レ建設 服部 明生
豊橋技術科学大学 古賀 惟彬

1. 序論

高度成長期から 50 年以上を経た我が国の構造物において、構造部材の腐食やそれに伴う性能劣化が指摘されており、腐食により断面が欠損した構造部材の耐力評価やその対策は緊要な社会的課題である。こうした背景から、鋼部材の補修・補強に関して FRP 補強の有効性について研究が進められている。本研究開発で対象とする円形鋼管部材に対しては、その内部調査が困難であることから、腐食の現状や残存耐力評価に関する研究資料は極めて限定されている。本研究では、断面欠損を生じた鋼管部材を補修することを想定し、幾何学的断面欠損を有する鋼管部材に対して CFRP（炭素繊維強化プラスチック）を用いた補修法の効果・可能性を圧縮・引張試験を通して整理し、報告する。

2. 補修法の概要

本研究では曲げ剛性 EI を断面欠損のない状態へ回復するよう補修量（層数）を決定した。すなわち、円形鋼管欠損部の断面 2 次モーメントを CFRP による補修によって補う設計とした。その補修範囲は図 1 に示すように欠損部周辺を補修した部分補修と、全周に渡って均一に補修した全周補修について検討を行った。使用材料は軸方向繊維に UM46-40G（中弾性タイプ）、周方向繊維に UT70-20G（高強度タイプ）を採用し、エポキシ樹脂は E2500（コニシ製）を採用した。



図 1 補修方法の概略

3. 試験方法

試験に用いる鋼管はφ89.1×3.2の鋼管（STK400）にサンドブラストにて黒皮を除去した後、溶融亜鉛メッキ（HDZ45）を施したものとした。圧縮試験体については、図 2, 3 に示すように部材長は塑性座屈領域の 200mm とした。試験は、試験体とロードセルを球座付き耐圧板で挟み込み、圧縮荷重をかけることで圧縮試験を行った。引張試験については、図 4, 5 に示すように部材長は圧縮試験同様 200mm とし、荷重を行うために鋼管の両端部にネジ切り加工を施したノーズコーンを溶接し、このネジ穴に通した鋼棒を掴み荷重を行った。断面欠損については、その形状・大きさ等様々なものが考えられるが、本研究では、φ14 のドリルを使用したルーズホール型の開口にモデル化した。その円周方向大きさについては、断面欠損率によって表し、圧縮試験においては 15%, 25% の欠損率を、引張試験においては 5%, 15%, 25% の欠損率を採用した。



図 2 圧縮試験状況

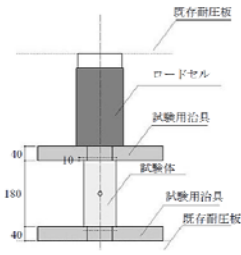


図 3 圧縮試験治具



図 4 引張試験状況

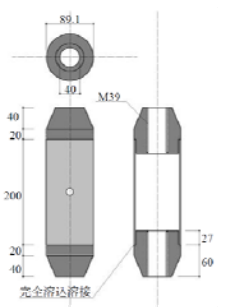


図 5 引張試験治具

前章の補修法を採用することで、各試験体の軸方向補修層数は、表 1 のようになる。ただし、欠損率 15% の場合は、部分補修によって算出された層数（4 層）を全周に適用した。試験体名は、NG5CL-C01 のように表し、NG の後の数字が断面欠損率 [%]、CL は部分補修、CA が全周補修、記載が無い場合は補修無である。さらに C が圧縮、T が引張荷重を意味する。

表 1 必要な軸方向補修層数

欠損率[%]	5	15	25
部分補修	2	4	5
全周補修	1	2※注	3

キーワード 鋼管、断面欠損、補修、接着、CFRP

連絡先 〒455-8502 名古屋市港区大江町 9 番地の 1 東レ株式会社 名古屋事業場 (Tel)052-613-5968

4. 試験結果と考察

図 6, 7 試験結果から得られた荷重変位関係を示す。荷重変位関係より、断面欠損によって低下した軸剛性が大幅に改善されていることが分かる。表 2 には、実験結果より算出した軸剛性を示す。軸剛性は降伏応力度または剥離時の平均軸応力度を σ_y と置き、 $0.2 \sigma_y \sim 0.5 \sigma_y$ の範囲の荷重変位関係を用いて最小二乗法で直線近似し算出したものである。軸剛性に対する補修効果は、引張載荷時に比べ圧縮時の方が低い傾向にある。これは、載荷に伴う応力集中による塑性化後、局部座屈が生じることににより FRP の接着面が浮き上がり、補修の効果が十分に寄与しなかったためだと考えられる。しかしながら、欠損有補修無と比較すると、部分補修試験体においては 20~40%、全周補修試験体では 21~56%程度、補修を施すことにより剛性が高くなっている。引張載荷時には圧縮時と同じ補修であっても軸剛性の向上は著しく、全ての試験体で欠損無を上回る結果となった。欠損率が 15%を超える試験体では 200~280kN の範囲で CFRP が剥離し、荷重が低下している。しかしながら、鋼材の降伏応力度を 235MPa とすると降伏軸力は 203kN であり、本試験体のような欠損部周辺の接着長さが短い場合でも公称値の降伏軸力までは剥離は見られないと言える。

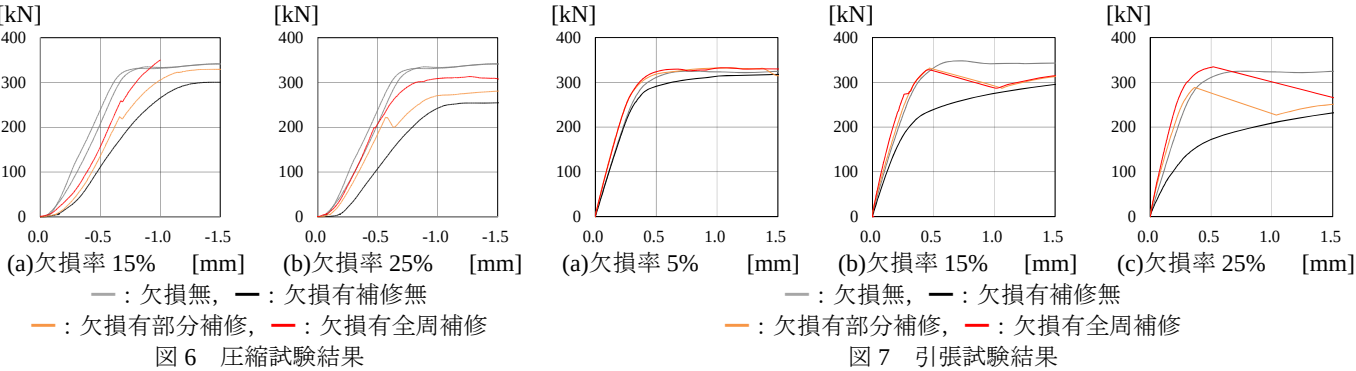
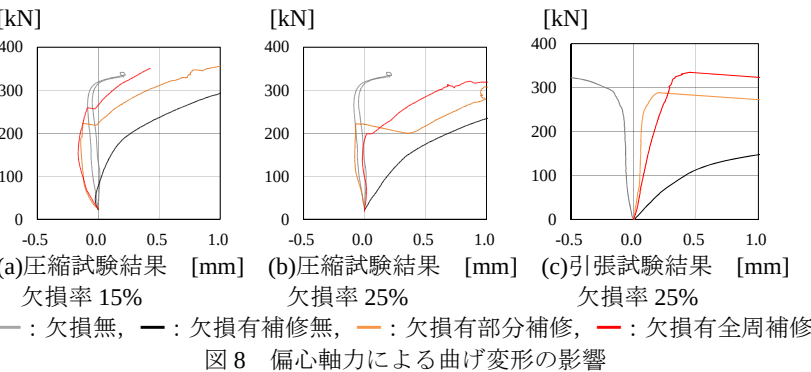


図 8 に試験体の断面欠損側とその反対側の変位計の値の差をプロットすることで、偏心軸力による曲げ変形の影響を示す。これより、補修を行うことによって開口による偏心の影響が抑制されていることがわかる。欠損有補修無の場合、載荷初期から曲げ変形が生じているが、補修を施すことによって、欠損無の場合と同程度の 0.2mm 程度の値まで大幅に低減されている。これは、本研究では曲げ剛性を回復する補修設計を行ったことより、部分補修であっても中立軸位置を欠損無の状態により近づけることができたためであると考えられる。



5. 結論

本研究では、断面欠損を有する鋼管に対して曲げ剛性を補修量算定に用いた CFRP 接着工法で補修し、引張・圧縮試験を実施した結果、1) 欠損を有する鋼管の弾性域における軸剛性は、CFRP を接着することにより改善できるが、引張載荷時に比べ圧縮載荷時には増加率が小さいこと、2) 断面欠損によって生じる曲げ変形の影響についても、補修を施すことにより大幅に改善されることを明らかとした。

謝辞

本研究は山田聖志教授のご指導を頂いたものである。本実験を進めるにあたり、元豊橋技術科学大学 建設工学課程 日比生和樹氏の協力を得た。ここに記し、深く感謝の意を表します。

参考文献

1) 森猛, 渡邊一, 正井資之: 腐食した鋼板の表面形状シミュレーションと腐食鋼桁の曲げ耐力, 構造工学論文集 Vol.49A, 2003.3
2) 杉浦江, 小林朗, 稲葉尚文, 本間淳史, 大垣賀津雄, 長井正嗣: 鋼部材腐食損傷部の炭素繊維シートによる補修技術に関する設計・施工法の提案, 土木学会論文集 F, pp.106-118, 2009.3

表 2 実験より評価した軸剛性

	試験体名	軸剛性 [GPa]	欠損無に対する比
圧縮試験	NG0-C01	120	1
	NG0-C02	136	
	NG15-C01	93	0.73
	NG15CL-C01	112	0.87
	NG15CA-C01	113	0.88
	NG25-C01	82	0.66
	NG25CL-C01	115	0.90
引張試験	NG25CA-C01	129	1.01
	NG0-T01	212	1
	NG0-T02	203	
	NG5-T01	201	0.99
	NG5CL-T01	244	1.20
	NG5CA-T01	239	1.18
	NG15-T01	178	0.84
	NG15CL-T01	178	1.06
	NG15CA-T01	278	1.31
	NG25-T01	105	0.52
	NG25CL-T01	250	1.23
	NG25CA-T01	290	1.43