

(22) CFRPによる鋼管トラス構造の補修工法

松本 幸大¹・山本 展久²・藤本 信介³・服部 明生⁴
松井 孝洋⁵・山口 信之⁶・山田 勝⁷

¹正会員 豊橋技術科学大学准教授 建築・都市システム学系 (〒441-8580 豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1)
E-mail:y-matsum@ace.tut.ac.jp

²正会員 東レ株式会社 コンポジット技術第1部 (〒160-0004 東京都新宿区三矢六丁目13-5)
E-mail:Nobuhisa_Yamamoto@nts.toray.co.jp

³正会員 東レ建設株式会社 技術部 (〒530-8222 大阪市北区中之島3-3-3中之島三井ビル19階)
E-mail:Shinsuke_Fujimoto@tcc.toray.co.jp

⁴正会員 東レ建設株式会社 技術部 (当時)

⁵正会員 東レ株式会社 コンポジット技術第1部

⁶株式会社美貴本 研究開発担当 (〒550-0003 大阪市西区京町堀3丁目9番8号)

⁷関西電力株式会社 電力技術研究所 (〒661-0974 尼崎市若王寺3丁目11番20号) (当時)

高度成長期に多数建設された鋼構造建設物の腐食が顕在化し、社会問題となっている。鋼管構造物においても、その内部において深刻な腐食・減肉が指摘されており、対策が必要となってきた。本論文では、こうした背景を踏まえ、腐食した鋼管トラス構造部材のCFRP補修工法を確立する目的で、炭素繊維シートによる現場巻き立て・含浸接着補修法を提案するとともに、その施工確認試験を実施した結果について報告する。すなわち、(1)補修工法の概要、(2)接着性試験の結果として促進曝露試験・熱履歴試験の結果、(3)補修後の検査方法として空隙等の検出方法、(4)現場施工部材を対象とした非破壊力学試験結果について纏める。

Key Words : circular steel pipe, corrosion, CFRP, repair, construction process

1. 序論

高度成長期から半世紀以上を経た我が国の様々な構造物において、構造材料の経年劣化やそれに伴う構造性能低下が指摘されてきており、それらが重大な事故に発展する例も存在する。鋼構造分野における経年による劣化の代表は腐食であり、防錆処理が施された鋼材であっても、立地条件などによっては数十年経過することで著しい腐食が生じている例が報告されている^{1,2)}。こうした状況において、社会基盤構造物の維持管理は極めて喫緊且つ早急に対策を行う必要があると言える。一方で、高度成長期に大量に建設された構造物を短期間で補修・補強また更新することは困難であり、個々の構造物の重要度や緊急度、また、残存強度や施工性等を調査して管理運用を行う、所謂アセットマネジメントが必要である。その際、短時間且つ特別な施工機械を必要としない簡便な延命化技術が確立されることで、対策技術の冗長化に繋がり、合理的なアセットマネジメントの一助となりうると思われる。

腐食した鋼部材の耐力評価やCFRPによる補強に関し

ては、H形鋼や山形鋼等の開断面且つ、部材表面に平面を多く有する鋼材に対する補強効果が述べられてきている。一方、構造部材として、円形鋼管が用いられている構造物も多数存在する^{3,4)}が、こうした曲面状の鋼部材に対する補強法は、開断面部材に比べ知見が少ないと言える。さらに、鋼管部材内部の深刻な腐食も近年の調査結果から明らかとなっており²⁾、延命化技術の開発が望まれている。

こうした現状を踏まえ、筆者らは、文献5, 6)において円形鋼管に断面欠損(貫通孔)を加工した試験体を対象として、圧縮・引張試験を実施し、鋼材の降伏応力度以下の範囲における補修効果や、断面欠損に伴う偏心によって生じる軸力下での曲げ変形を矯正できること等を示してきた。本報では、文献5, 6)の基礎研究を基に、接着強度の設計用値の設定や耐久性試験の結果⁷⁾、長尺部材の力学試験等を通した一連の補修工法の考え方と、その基礎実験データを纏めて報告を行う。なお、特別な起債が無い限りCFシートは中弾性型UM46-40G(東レ製)、含浸接着樹脂はE2500(コニシ製)を用いている。

2. 補修工法の概要

本研究では、内部腐食した鋼管の外側からCFシートを巻き付け、含浸接着樹脂によって接着およびハンドレイアップ成形を行う方法としている。成形には特別な機材を必要としない等の利点を有し、鋼橋や鉄筋コンクリート構造の補修・補強^{8,9,10)}にも用いられている手法である。具体的には、図1に示すような手順で施工を行う。

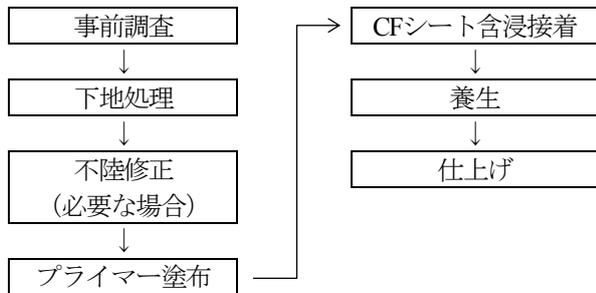


図1 補修工法の施工手順

対象構造として、溶融亜鉛メッキを施された円形鋼管部材によって構成されているトラス構造物を対象とすることから、部材力は引張力および圧縮力に対する補修設計が必要となる。従って、補修設計法として、次式を採用しCFシートの積層数を決定する。

$$I_{SC}E_S \leq I_{FR}E_F \quad (1a)$$

$$A_{SC}E_S \leq A_{FR}E_F \quad (1b)$$

ここで、 E_S, E_F はそれぞれ鋼材とCFRPの弾性係数、 I_{SC}, A_{SC} はそれぞれ腐食によって減少した鋼部材の断面2次モーメントと断面積、 I_F, A_F はそれぞれCFRP補修によって増加する断面2次モーメントと断面積である。また、著しく偏った腐食の場合、中立軸位置が移動することで軸力下における曲げ変形が生じ、早期に部材が降伏することが考えられるため、文献11)を参考に補修後の中立軸位置が回転半径の1/100以下となるよう、腐食位置のCF積層数を増やすなどの補修設計を行うこととしている。

なお、炭素繊維の強度は鋼材に比して非常に高いため、式(1b)を満たすことで材料強度上の検討は必要であることが分かる。

また、施工に際して鋼材表面の溶融亜鉛メッキを除去することが接着性能の観点からは望ましいと考えられるが、メッキ層を除去することで構造材に新たな腐食を発生させる要因となる可能性があるため、溶融亜鉛メッキ表面にメッキ層を除去しない程度の表面処理を行うことで補修できる方法を検討した。具体的には文献7)において複数の表面処理を検討した結果、ワイヤーカップブラシによる処理を行うことで、不純物除去および表面処理を行っている。

3. 接着性試験結果

(1) 接着強度評価

本工法のような現場含浸接着工法において、接着強度の設計用値を適切に設定することが必須である。そこで、まず定着長として文献8)等に示される200mmを基本とし、図2に示すようなダブルラップ形式の準静的引張剪断試験によって評価を行った。鋼材は幅100mm×板厚16mmのSS400材に溶融亜鉛メッキ (HDZ45) を施し、CFRPはUM46-40G (弾性係数440GPa, シート厚0.217mm) を6層積層したものとした。なお、CFRPは予め含浸積層成形したものを帯板 (幅25mm) に切断加工し、含浸樹脂と同じ接着剤で接着している。試験結果を図3に示す。



図2 引張剪断試験体セットアップ

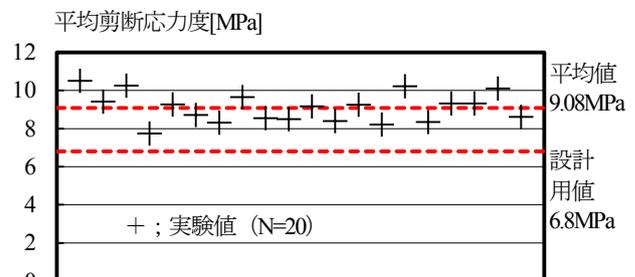


図3 引張剪断試験結果

図3の試験結果にカイ2乗検定 (棄却域5%) を適用した結果、試験結果は正規分布とみなされ、引張剪断強度の設計用値として、試験結果の平均値から標準偏差の3倍を引いた値として6.8MPaを得た。なお、図1の試験に用いた鋼板とCFRP板の軸剛性比は6:1程度となっており、本研究で対象とする鋼管の肉厚と比較すると、その比率に差が大きくなっている。接着層の剪断応力度分布は、接合材・被接合材の軸剛性の差が大きければ大きい程、接着層端部の応力集中が大きくなることから、本試験は安全側評価となっていると考えられる。

(2) 耐久性評価

本節では、接着強度の耐久性に関する考察を行う。耐久性評価には、促進曝露試験および温度履歴試験を採用した。

促進曝露試験では、主に紫外線が接着強度に及ぼす影響について考察する。試験体寸法は、図4に示すJIS K 6850に規定される試験体寸法としている。試験変数は表1に示すようなものを設定している。鋼材は、亜鉛メッキ処理した新材と、経年により撤去した鋼構造物から切り出された亜鉛メッキ部材の経年劣化材を用いた。耐候性試験は、JIS A 1415に記載するサンシャインカーボンアークランプによる曝露試験方法（試験条件：ブラックパネル温度63℃、相対湿度50%（照射安定時）、スプレーサイクル18分/102分）で実施し、接着耐久性の評価法はJIS K 6850に準拠した面内方向の引張剪断接着強度の劣化度にて確認した。評価として0（耐候性試験前）、500、1000及び2000時間の照射時間毎に引張せん断接着強度を確認した。繊維強化樹脂・接着剤は紫外線により樹脂の劣化が生じ、材料物性値の劣化が懸念されることから、本試験法を採用している。なお、採用したサンシャインカーボンアークランプは、255W/m²の紫外線照射であり、2000時間の照射により1836MJ/m²の紫外線量となる。

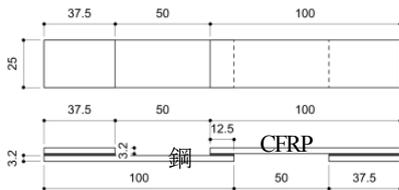


図4 促進曝露試験に用いた試験片

表1 促進曝露試験の試験変数

試験体名	CFRP種類	鋼材種類	照射時間 [h]
G-0	UM46-40G	熔融亜鉛メッキ鋼材 SS400	0
G-500			500
G-1000			1000
G-2000			2000
K-0	6層	熔融亜鉛メッキ鋼材 SS400 (経年材)	0
K-500			500
K-1000			1000
K-2000			2000

図5に照射時間と引張剪断接着強度の関係を示す。試験体数は5体とし、変動係数は最大で20%であった。引張せん断接着強度は、評価基準となる試験前（0時間）に比べ向上し、その後は概ね安定する結果となった。照射前試験体から引張せん断接着強度が向上した原因は、0時間から500時間照射期間中に63℃の照射熱によって接着剤の硬化が進んだことで、接着強度が上昇したものと

考察する。また、引張せん断接着強度のばらつきを変動係数で評価すると、新材（G）で10%、経年材（K）で17%となり、新材に比べ経年劣化材は約1.7倍バラつく結果となった。なお、照射時間の違いによる変動係数の変化も観察されなかった。図6に2000時間照射後の接着面の破壊状態を示す。CFシート板と亜鉛メッキ鋼材の接着では、主に亜鉛メッキの剥離と、鋼材と接着剤の界面剥離が確認されたが、CFRP帯板と亜鉛メッキ鋼材では、主にCFRPの層内剥離と、接着剤の凝集破壊が確認された。照射時間によって破壊状態の違いは確認されなかった。従って、2000時間の耐候性試験では、何れの試験体も曝露環境に起因する劣化は生じないと判断する。

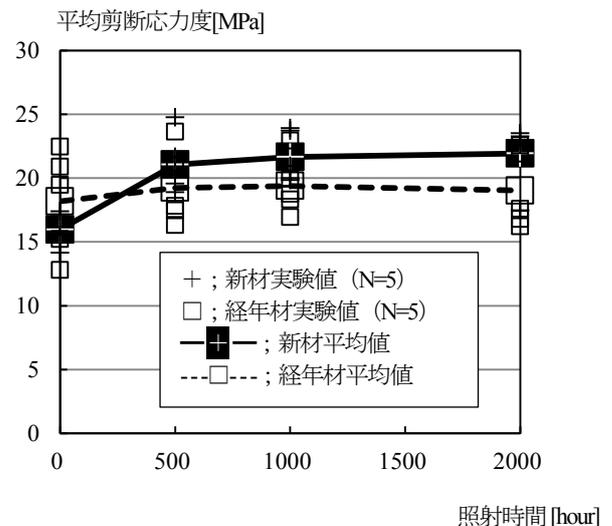


図5 照射時間と引張剪断接着強度の関係



図6 2000時間照射後の接着面の破壊状態

次に、温度変化とその履歴が鋼材とCFRPとの接着強度に及ぼす影響について分析する。鋼材側の表面処理は試験体寸法は、図4に示した引張せん断接着強さ試験体と同じ形状で、CFRP材についても同様にUM46-40G 6層とした。試験変数を表2に示す。試験は、試験体を恒温恒湿槽に入れ、60℃で30分養生後に16分で-20℃まで下降させ、-20℃で30分養生し、そして16分で60℃まで戻すサイクルを1サイクルとし、この1サイクル92分を100回繰り返した。評価として0（試験前）、10、50、100サイクル毎に引張せん断接着強度を確認した。

温度履歴試験結果として、図7に温度サイクル数と引張せん断接着強度の関係を示す。試験体数は6体とし、変動係数は最大で37%であった。前章の耐候性試験同様、

引張せん断接着強度は0サイクル（試験前）に比べ向上し、その後は概ね安定する結果となった。引張せん断接着強度が向上した理由は、耐候性試験結果と同様に硬化の促進が影響していると考えられる。また、耐候性試験後の引張せん断接着強度に比べ、接着強度が低くなっているが、両試験を比較すると温度履歴で用いた試験片のCFシート板厚が0.5~1mm程度、接着層の厚みが0.1mm程度厚くなっており、偏心引張が生じてしまう形状となってしまうことが原因であると考えられる。これにより、各試験変数における変動係数も前節の試験体と比較して大きい傾向にある。しかしながら、温度サイクル回数の違いによる変動係数の変化も観察されなかった。図8に100サイクル後に試験した後の接着面の破壊状態を示す。接着剤と鋼材の界面剥離が多く観察され、-20~60°C間の温度サイクルによって破壊状態の違いは確認されなかった。したがって、何れの試験体も曝露環境に起因する劣化は生じないと判断する。

表2 温度履歴試験の試験変数

試験体名	CFRP種類	鋼材種類	温度サイクル
G-T0	UM46-40G 6層	溶融亜鉛 メッキ鋼材 SS400	0
G-T10			10
G-T50			50
G-T100			100

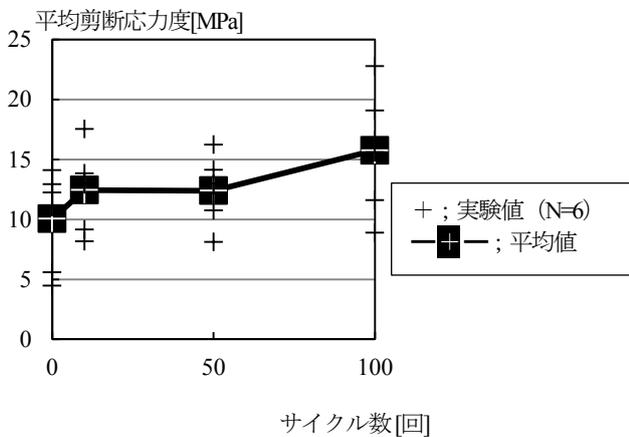


図7 温度履歴と引張剪断接着強度の関係



図8 100サイクル後の接着面の破壊状態

4. 空隙検査方法に関する一考察

本章では、本工法適用後の検査技術確立を目的に、

赤外線装置を用いた浮きや空隙の検出方法の検討結果を示す。赤外線（温度）を用いた空隙検出手法は、RC構造物での実績が示されており^{12,13}、本工法のようなCFRP補修された鋼構造物に対しても適用の可能性があり、打音検査のような点で検査する手法より、短時間で広範囲の検査が可能となる可能性がある。本報では、作為的に欠陥部を作成した試験体に対して赤外線装置を用いて加熱・冷却した際の温度分布の変化を観察し、空隙等の検出に対する有効性を確認した。

試験体として、φ89.1の鋼管に炭素繊維シートを3層積層し、表3に示す箇所に欠陥部（約30mmの空隙、含浸不足箇所、不純物混入箇所）を設けて試験体を作成した。含浸不足は含浸時に離形フィルムを貼付して含浸を不十分とし、不純物は炭素繊維層間に離形フィルムを配することで作成した。それぞれ、欠陥部は図9に示す位置とし、1, 3, 5軸には空隙を、2, 4, 6軸には含浸不足箇所、不純物混入箇所を設けた。

表3 欠陥部の箇所

	1層目 (最外層下)	2層目 (中間層下)	3層目 (最内層下)
試験体1	欠陥部※	健全	健全
試験体2	健全	欠陥部	健全

※1, 3, 5軸：空隙

※2, 4, 6軸：含浸不足箇所、不純物混入箇所

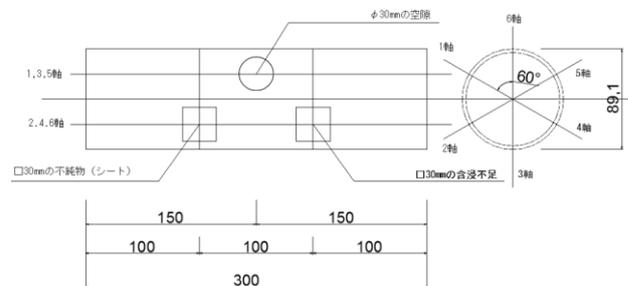


図9 試験体寸法

既往の研究では、仕上げ材の浮きや空隙部分と躯体のコンクリートとの境界で熱を伝えにくい薄い空気層が形成されているため、日射などの影響により温度が変化すると健全部と浮き・空隙部の間に温度差が生じ、この温度差を赤外線装置により測定することで、異常のある場所を見つける方法が提案されている。本研究においても同様の手法にて、浮きの検出を検討するため、表4に示す加温、冷却後に常温に戻る過程での温度分布の変化を観察した。なお、CFRP表面には多数の凹凸が存在することから、表面に概ね均一な温度変化を与えられる手法として温風・冷風による加温・冷却手法を採用している。試験に用いた赤外線装置は、温度分解能 0.06°C、検出器

画素数(IR 解像度)320×240pixel の装置 (FLIR E8) であり比較的小型で現場での使用にも支障が無い。

表 4 加温, 冷却および計測方法

加温	室温 (25℃) 程度で試験体表面温度が安定した状態から, 15 秒冷却スプレーで表面側から冷却し, その後 30 秒間の温度分布の変化を記録する.
冷却	室温 (25℃) 程度で試験体表面温度が安定した状態から, 15 秒ドライヤーで表面側から加熱し, その後 30 秒間の温度分布の変化を記録する.

温度分布の変化を赤外線装置で捉えた結果を図 10 に示す。冷却時, 加熱時ともに, 室温に戻す過程で健全部に比べ空隙部分の温度変化が少なく温度差が生じる結果を得た。健全部と空隙部分の温度差は, 冷却時で直後～10 秒経過時に 0.1～0.2℃の発生したのに対し, 加熱時は 10 秒経過時に 1℃の差が発生しており, 加熱による方法では温度差が付けやすい結果を得た。これは, 室温に対する温度差がドライヤーを用いた方が大きかったからと考えられ, 実用の際は試験体温度等を勘案して冷却・加熱を選択する必要があると言える。

試験体 1, 2 を比較すると, 表層から 1 層目と 2 層目までは空隙に対してどちらも検出が可能であった。また, 空隙部だけでなく含浸不足箇所でも温度差が生じ, 赤外線装置で検出が可能であった。これは, 含浸不足の箇所においても炭素繊維シート内に空気が内蔵したため温度

差が生じたと考えられ, 一方で, 不純物の混入を想定した箇所では, 空気層のような熱が伝わりにくい箇所でなかったため, 健全部との温度変化が発生しなかった。

5. 補修後の力学性能試験結果

本章では, 円形鋼管に CF シートを含浸接着した際の力学性能について, 理論値との比較を行う。試験体は, φ60.5×2.3 で溶融亜鉛メッキを施した鋼管 (STK400) を用いており, スパン 3,660mm の 3 点曲げ試験とした。試験体図を図 11 に, 試験状況を図 12 に示す。载荷点は CFRP 表面の凹凸を考慮して PP バンドを介して载荷を行っている。補強は UM46-40G を 3 層とした。表 5 に断面性能の理論値を示す。ここで, 表 5 の CF シートは樹脂を考慮せず CF シートのみの物性値を用いて断面性能を評価した値, CFRP は繊維体積含有率約 25%として物性値を評価したものである。すなわち CFRP の層厚は CF シートの 4 倍, 弾性係数は 1/4 として評価した。

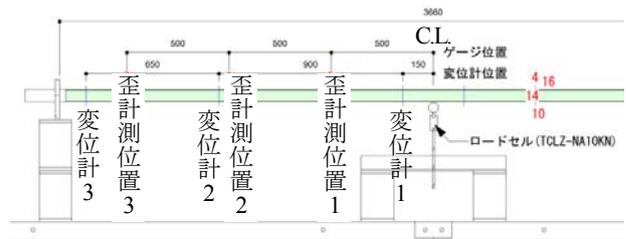


図 11 試験体図

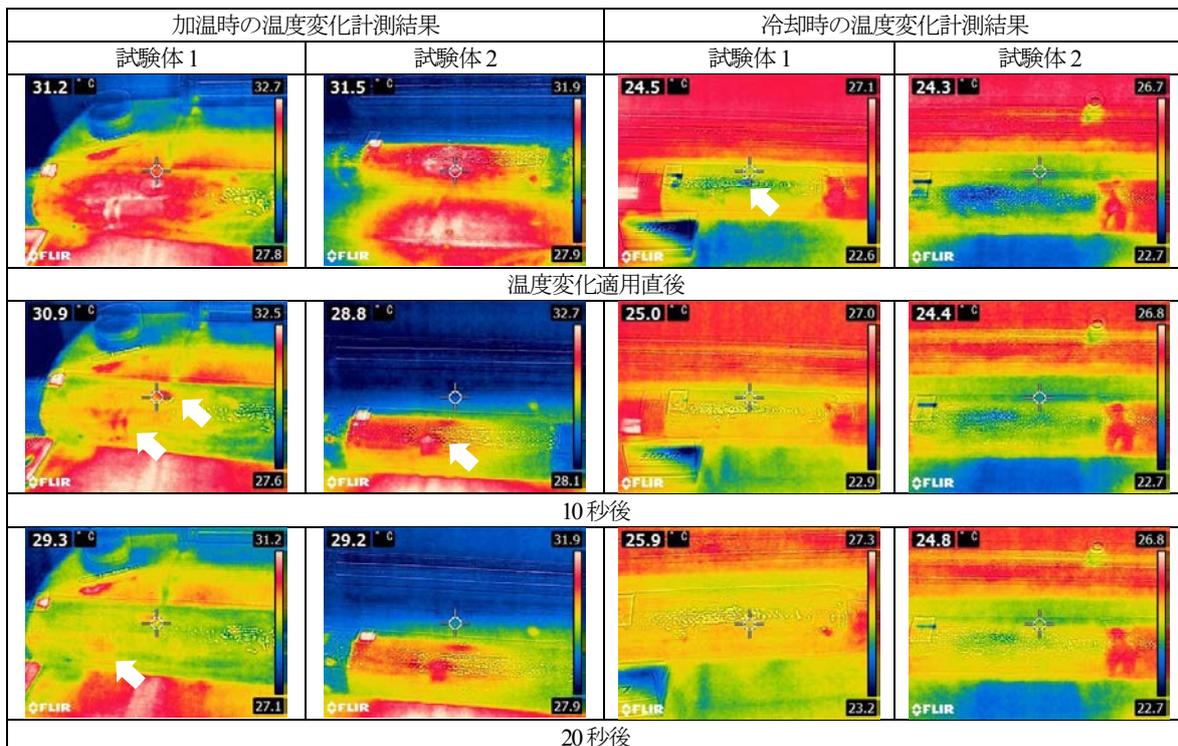


図 10 温度計測結果



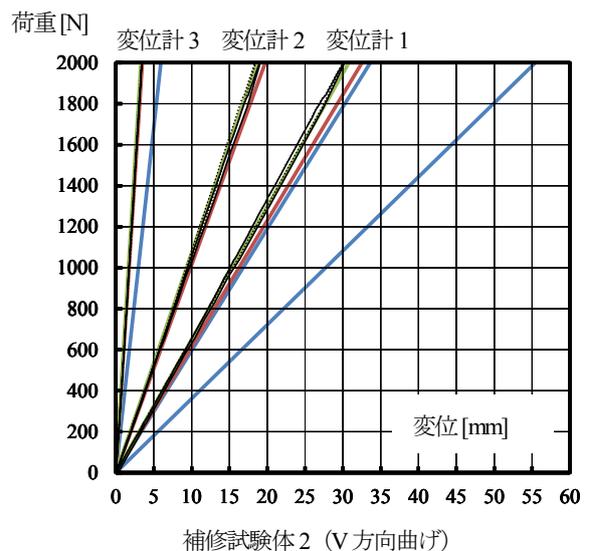
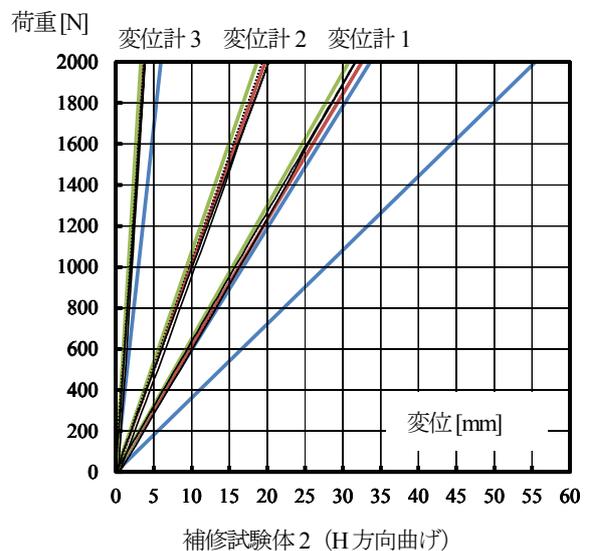
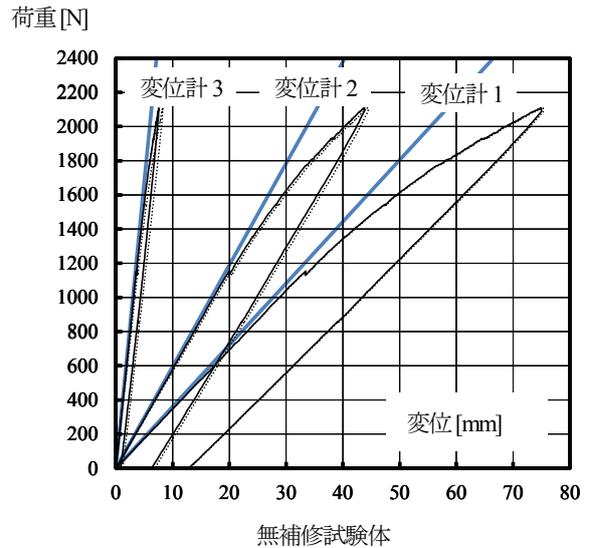
図12 試験状況

表5 曲げ試験部材の断面性能

	鋼管	CFシート (0.217mm/layer)	CFRP 1.085mm/layer)
外径/内径 [mm]	60.5/55.9	61.802/60.5	67.01/60.5
断面積[mm ²]	420.5	125.06	651.95
断面2次 モーメント [mm ⁴]	178000	58465	332111
弾性係数 [GPa]	205	440	88

図13に荷重変位関係の一例を示す。H方向、V方向は鋼管の向きを意味し、HとVとは90度の軸方向回転させた違いがある。なお、補修施工はV方向に鋼管を設置して行っている。各試験結果で3種の結果が描かれており、これらは図11の3箇所(左右対称)の変位計計測位置と対応している。

無補修の場合は500N程度までは良く一致しているものの、1kN程度で降伏し、2kN 載荷後は10mm程度の残留変形が生じている。一方、補修試験体については2kNの載荷後も線形弾性であり、その曲げ剛性はCFRPによる評価とよく一致している。表6に各試験体の剛性とその平均、変動係数、CFシートないしCFRP評価値との比較を示す。相関係数は荷重が100N~最大(約2kN)までの範囲で評価している。全ての試験体で相関係数が99.9%以上であり、線形弾性状態で評価できている。更に、変動係数は1%程度となっており、極めて安定した結果が得られていると言える。また、剛性の評価はCFRPとして評価したものに良く一致しており、CFシートでの評価によって安全側評価となることが分かる。これはCFシートとCFRPでは軸剛性(弾性係数×断面積)は等しいが、鋼管の外側に補修材が配されることから、曲げ剛性(弾性係数×断面2次モーメント)はCFRP評価の方が大きくなるためであり、実際の状態に近い評価となっていることが理由と考えられる。また、補修施工時の方向の違いであるH方向、V方向と関連性のあるバラつきなどは見受けられない。



—; L側(実験値), ----; R側(実験値)

—; 理論値(無補修)

—; 理論値(CFシート評価), —; 理論値(CFRP評価)

図13 無補修・補修鋼管の曲げ試験結果

表 6 各試験体の剛性・変動係数

試験体	H			V		平均	CFシート評価 61.512N/mm との比	CFRP評価 64.974N/mm との比
	剛性 [N/mm]	相関係数		剛性 [N/mm]	相関係数			
1	L	66.08	0.9997	64.01	0.9995			
	R	66.06	0.9997	63.49	0.9995			
	平均	66.07		63.75		64.910	1.055	0.999
2	L	63.33	0.9998	67.03	0.9997			
	R	63.18	0.9998	66.92	0.9999			
	平均	63.26		66.97		65.115	1.059	1.002
3	L	65.66	0.9996	66.36	0.9997			
	R	65.94	0.9997	66.41	0.9998			
	平均	65.80		66.39		66.094	1.074	1.017
4	L	65.30	0.9998	66.92	0.9996			
	R	64.66	0.9998	66.41	0.9996			
	平均	64.98		66.66		65.824	1.070	1.013
5	L	66.62	0.9997	63.90	0.9997			
	R	65.93	0.9993	64.44	0.9997			
	平均	66.28		64.17		65.224	1.060	1.004
6	L	65.69	0.9997	65.09	0.9996			
	R	65.77	0.9997	65.23	0.9996			
	平均	65.73		65.16		65.445	1.064	1.007
7	L	63.21	0.9999	65.77	0.9999			
	R	62.58	0.9999	65.76	0.9999			
	平均	62.89		65.76		64.329	1.046	0.990
8	L	65.03	0.9995	69.00	0.9997			
	R	65.23	0.9996	69.03	0.9997			
	平均	65.13		69.02		67.073	1.090	1.032
9	L	66.62	0.9995	64.66	0.9993			
	R	67.15	0.9995	65.19	0.9994			
	平均	66.88		64.92		65.903	1.071	1.014
10	L	65.74	0.9996	65.74	0.9998			
	R	65.81	0.9997	65.73	0.9998			
	平均	65.78		65.73		65.754	1.069	1.012
全試験の平均						65.567	1.066	1.009
全試験の変動係数[%]						1.144		

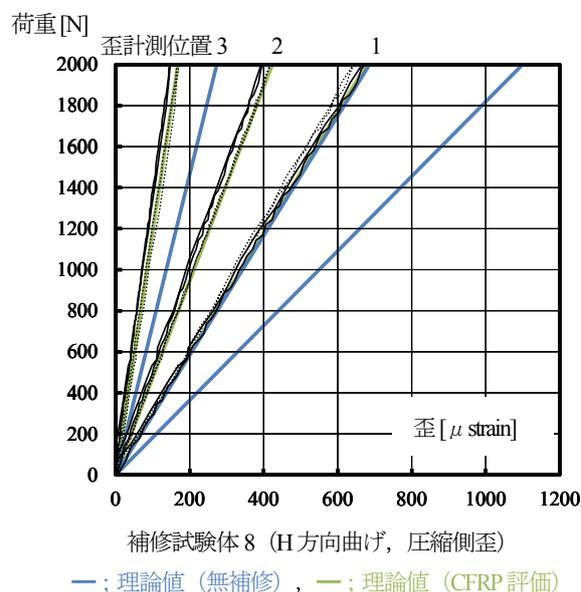
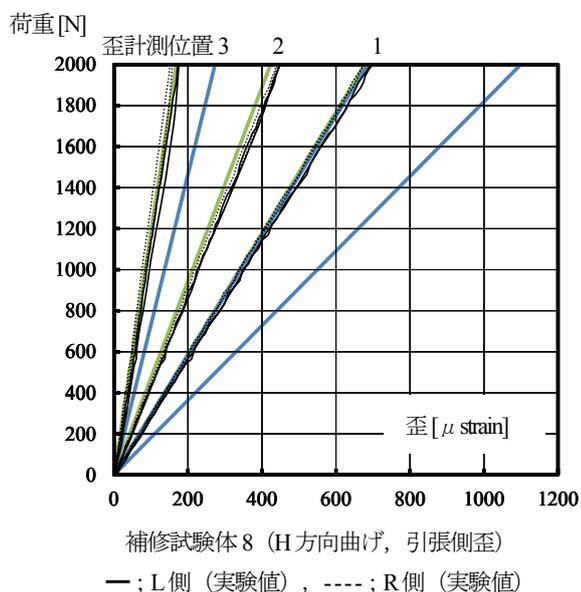


図 14 補修鋼管の曲げ試験結果

図 14 に荷重歪関係の一例を示す。歪は、歪ゲージによる局所歪を計測することから、CFRP 表面に貼付することで、表面の不陸等の影響を受ける。従って、一部で荷重変位関係に比べ理論との対応が取れていない試験体も見られるが、概ね対応しているとともに除荷後に残留

歪が生じることも観察されず弾性を保っていると判断できる。载荷中には、剥離音等は生じておらず、構造・材料的な微細な変状も生じていないと判断できた。

6. 結論

本報告では、溶融亜鉛メッキ処理された円形鋼管トラス構造物の CFRP による補修設計に関する一連の検討について報告した。結論を以下に記す。

- [1] 表面のメッキ層を除去することなく接着性能を確保する CFRP 補強工法を念頭に、ワイヤーカップブラシによる表面処理を行った溶融亜鉛メッキ表面に対して、ダブルラップ引張剪断試験により接着強度の評価を行い、平均値から標準偏差の 3 倍を引いた値として 6.8MPa を得た。
- [2] 上記の接着方法における耐久性試験として、紫外線および温度履歴による促進曝露試験を行った結果、性能低下は確認されず、また試験結果のバラつきも曝露環境に起因する変化は無いことが確認された。
- [3] 作為的に欠陥部を作成した CFRP 補修鋼管に対して、赤外線装置を用いて加熱・冷却した際の温度分布の変化を観察し、欠陥部分の検出が可能か検討した結果、健全部と空隙部分で、加熱・冷却後の常温に戻る過程で 1~0.2℃の差が生じ、赤外線装置を用いることで空隙の箇所を検出できる可能性があることを示した。
- [4] CFRP 補修鋼管の非破壊力学試験を実施し、理論値に対応する曲げ剛性を発揮できるとともに、補修施工の向きに関わらず極めて安定した試験結果が得られることを確認できた。また、補修部の断面性能評価はハンドレイアップ成形であることを考慮し繊維含有率 25%とした CFRP と仮定した評価によく一致し、CF シートによる評価を行うことで安全側に評価されることが明らかとなった。

参考文献

- 1) 土木学会：鋼構造シリーズ 18 腐食した鋼構造物の耐久性照査マニュアル，2009.
- 2) 電気学会：電気学会技術報告 架空送電設備の鋼材腐食・摩耗現象，2009.
- 3) 服部明生，玉井宏章，高松隆夫：炭素繊維プレートによる化学プラント架構小梁補強の実施工例，日本建築学会 技術報告集 第 18 巻 第 39 号，pp.559-564, 2012.
- 4) 杉浦江，小出宜央，安森浩，加藤健；樹脂ブロック補強による隅肉溶接継手の疲労強度向上，第 9 回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム 講演集，土木学会・日本建築学会，2011.
- 5) 松井孝洋，松本幸大，古賀惟彬，服部明生，山口信之，山田勝：断面欠損を有する鋼管部材の CFRP による補修効果，日本鋼構造協会 鋼構造論文集，第 21 巻第 83 号，pp.1-10, 2014
- 6) Takahiro MATSUI and Yukihiko MATSUMOTO: Repair with Carbon Fibre Reinforced Polymer for Steel Pipe having Partial Loss of Area, Proceeding of The 4th Asia-Pacific Conference on FRP in Structures (APFIS2013) , 2013.
- 7) 松井孝洋，山本展久，服部明生，松本幸大：溶融亜鉛メッキ鋼材と CFRP との接着強度に関する考察，日本建築学会 技術報告集，第 21 巻 第 47 号，pp.141-144, 2015.2
- 8) 土木学会：複合構造標準示方書 2014 年版，2015
- 9) Xiao-Ling Zhao and Lei Zhang: State-of-the-art review on FRP strengthened steel structures, Engineering Structures 29, pp. 1808-1823, 2007.
- 10) 日本建築学会：連続繊維補強コンクリート系構造設計施工指針案，2002.
- 11) 電気学会：送電用支持物設計標準 JEC-127, 1979.
- 12) 枝朋彦，上澤道彦，丹野裕之，阿久津好太，宮谷利平，道村和正：赤外線装置を用いた外壁タイルのスクリーニング手法の検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，2014.
- 13) 相良健一，魚本健人：炭素繊維シートで補修・補強された RC 構造物の欠陥の検知について，コンクリート工学年次論文報告書，Vol.18 No.1 1996.

DEVELOPMENT OF REPAIR METHODS FOR STEEL TUBULAR TRUSS STRUCTURE USING CFRP

Yukihiko MATSUMOTO, Nobuhisa YAMAMOTO, Shinsuke FUJIMOTO, Akeo HATTORI, Takahiro MATSUI, Nubuyuki YAMAGUCHI and Masaru YAMADA

In recent years, corrosion and/or aging degradation of many steel members of civil structures which were constructed in high-growth period is observed. Then, the aging degradation has been pointed out as a profound social problem. In the case of steel member having circular hollow section (steel pipe), serious corrosion have been observed in inside and it is needed that the reasonable repair method. Based on this background, the purpose of this research is to establish a CFRP repair method for corroded steel pipes. In this paper, we report on adhesively bonded repair method by using CF-sheet and resin impregnation process at the on-site for truss structure which are consisted of steel pipes. Therefore, (1) summary of the proposed repair method, (2) results of accelerated weathering test and heat history test and fatigue test of the adhesively bonded joints, (3) detecting method of voids after repair construction and (4) results of mechanical tests of repaired steel pipes are shown in this paper.