

薄肉鋼管の圧縮特性に対する CFRP 補強効果について

東レ(株) 正会員 ○松井 孝洋 豊橋技術科学大学 正会員 松本 幸大
 首都大学東京 正会員 中村 一史 (一財)電力中央研究所 正会員 松浦 真一
 電源開発(株) 遠藤 良裕

1. はじめに

近年発生した新潟県中越沖地震や東北地方太平洋沖地震等の大規模地震時において、屋外で液体を貯蔵する既設鋼製タンクの座屈損傷が報告¹⁾されており、鋼製タンクの局部塑性座屈に対する補強が必要となっている。鋼製タンクの局部塑性座屈補強として、側板の取替えや補強材の追加等の方法があるが、いずれも溶接等を伴う方法であり、溶接の熱による側板変形や、樹脂ライニング破損など鋼製タンク本体への影響が懸念される。そこで、本検討では、鉄筋コンクリート橋脚の耐震補強に対して実績が多い炭素繊維強化プラスチック(CFRP)の適用検討を行った。円筒鋼構造の耐震補強を対象とした既往の研究については、円形橋脚の CFRP 補強に関する研究²⁾が報告されている。しかしながら、円筒鋼構造の補強に関する実験データはコンクリート補強に比べ非常に少なく、しかも、直径/肉厚は、大きくても 65 程度となっている。したがって、本稿では、適用の基礎検討として、周方向に炭素繊維(CF)シートを巻き立てた薄肉鋼管に対する圧縮補強効果を実験にて確認した。

2. 試験の概要

試験に用いた鋼管はシームレス鋼管 STKM13A から外径 262mm, 厚み 2mm, 高さ 200mm に削り出したものであり、その鋼管の材料試験結果を表 1 に示す。補強に用いた CF シートは、同じ CF 目付量であるが、引張強度・弾性率が異なる 2 種類とし、中弾性型 CF シート UM46-30G と高強度型 CF シート UT70-30G を使用し、樹脂はエポキシ系プライマー E810L, エポキシ系パテ E395, エポキシ系含浸接着樹脂 E2500 を用いた。表 2 に使用した CF シートの材料定数を示す。

圧縮載荷試験体の一覧を表 3 に示す。いずれも鋼管周方向に 1 層で補強した。Blank は無補強鋼管, UM は中弾性型 CF シートを用了水準, UT は高強度型 CF シートを用了水準, NB は中弾性型 CF シートと鋼管を完全剥離・絶縁状態にした水準である。

CFRP で周囲を巻き立てた補強した薄肉鋼管の圧縮特性を明らかにするために、図 1 に示すように、載荷治具で鋼管試験体の上下端を挟み、上面を固定して下面から圧縮荷重を載荷した。また、載荷時は、鋼管試験体の変位と鋼管表面および CFRP 表面に設置したひずみゲージでひずみ量を測定した。鋼管試験体に偏った変形が生じないように荷重および変位を確認しながら載荷し、最大荷重後は、軸変位を考慮しながら載荷を進め、CFRP の破断ないしひずみが計測不能となる程度進行した時点で除荷し、試験を終了させた。

3. 試験結果及び考察

圧縮載荷試験結果を表 4 に、荷重-管軸方向変位関係を図 2 に、荷重-ひずみ関係を図 3、図 4 に示す。表 4 中の降伏時荷重は、鋼管が降伏ひずみに達したときの荷重で、剛性低下荷重は、荷重-変位関係、および荷重-ひずみ関係から線形性が変化した点での荷重である。荷重-変位関係、荷重-ひずみ関係によれば、CFRP の繊維

表 1 鋼管の材料特性

降伏強度 (MPa)	引張強さ (MPa)	弾性率 (GPa)	降伏ひずみ (μ)
331	511	223	1483

表 2 CF シートの材料特性

CFシートの種類	中弾性型	高強度型
品番	UM46-30G	UT70-30G
目付量 (g/m ²)	300	300
シート厚 (mm)	0.167	0.163
引張強度 (MPa)	3619	4636
弾性率 (GPa)	458	253

表 3 試験体名称一覧

試験体名称	補強形態	CF補強量	CF方向
Blank	無補強	—	—
UM	UM46-30G	1層	周方向
UT	UT70-30G	1層	周方向
NB	UM46-30G (絶縁)	1層	周方向

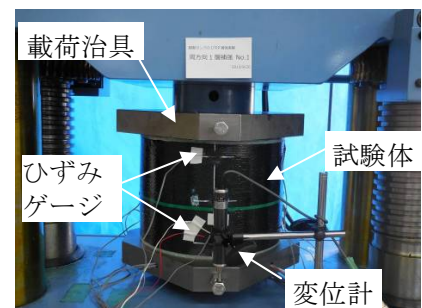


図 1 圧縮試験状況

キーワード 炭素繊維強化プラスチック, 薄肉鋼管, 圧縮強度, 局部座屈

連絡先 〒455-8502 名古屋市港区大江町 9-1 東レ株式会社コンポジット技術第 1 部 TEL 052-613-5954

方向が管軸方向ではないにも関わらず、無補強に対して、剛性低下荷重および最大荷重が増加することが確認された。その補強効果について、無補強に比べて最大荷重は 1.15～1.23 倍向上した。特に弾性率の高い UM の最大荷重は約 1.23 倍を示した。剛性低下時荷重についても、1.09～1.16 倍の効果が確認された。破壊性状について、Blank は、最大荷重と同時に鋼管下側端部が周方向に膨らむ提灯座屈を示した。CFRP 補強試験体は、いずれも CFRP 破断と同時に鋼管が周方向に膨らむ提灯座屈を示した。

CF シートの種類の影響について、剛性低下時荷重までの区間では明確な差は見られなかった。しかし、剛性低下時荷重以上では、CF シートの弾性率の違いが明確に現れた。UM の場合、CFRP が破断するまで僅かながら荷重が増加し、最大荷重に到達している。一方 UT は、最大荷重を維持しながら、CFRP が破断するまで変形が進行し、CFRP 破断時の変位は UM の最大荷重時変位の約 2 倍となっている。弾性率が高い UM の方が周方向の提灯型変形を拘束する効果が大きいため、最大荷重が伸びたが、高強度の UT は、CFRP の破断ひずみが大きいため、CFRP が破断することなく変形を進行させたものとする。

CF シートと鋼管が完全剥離・絶縁した場合の違いについて、剛性低下荷重が約 5% 強下がることを確認されたが、完全剥離した場合でも最大荷重は向上することから、有意な補強効果が認められた。また、板材等の補強の場合、剥離は複合構造としての効果を発揮できないが、CFRP が周囲に巻き立てられていることによって、鋼管が膨らむことを抑制しており、その接触により UM 同様の荷重－変位の挙動を示すことを確認できた。

4. まとめ

本検討において得られた知見を以下に纏める。

- (1) 薄肉鋼管の周方向に CFRP 補強することによって、提灯座屈の発生を遅延させ、耐荷力を向上させることができる。
- (2) CF シートの種類の影響について、弾性剛性に変化はないが、鋼管降伏後の荷重の増加に対して、弾性率・引張強度の違いが明確に現れた。
- (3) CFRP と鋼管が完全剥離した場合においても、CFRP による拘束効果によって最大荷重は向上することを確認できた。

参考文献

- 1) 野本敏治：中越沖地震後の原子炉機器の健全性評価委員会の検討状況，原子力発電所の耐震安全性・信頼性に関する国際シンポジウム講演資料，日本原子力技術協会ホームページ，2008.2（掲載確認 2014.3）
- 2) 松村政秀，北田俊行，池田啓士，岡田崇，徳林宗孝：炭素繊維シートを橋脚鋼管柱周方向に貼付した耐震補強法に関する実験的研究，土木学会第 57 回年次学術講演会，2002.9

表 4 圧縮試験結果

試験体名称	最大荷重 (kN)	降伏時荷重 (kN)	剛性低下時荷重 (kN)
Blank	614.2	522.6	522.6
UM	743.3	526.7	705.8
UT	717.2	562	702.3
NB	692.7	546.8	657.4

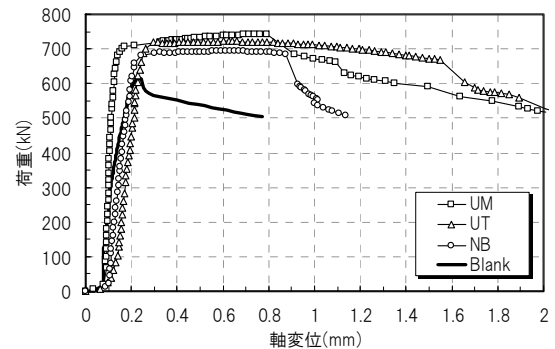


図 2 荷重－管軸方向変位

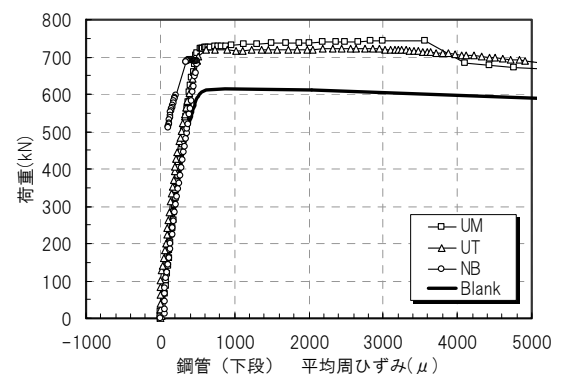


図 3 荷重－鋼管(下段)周ひずみ

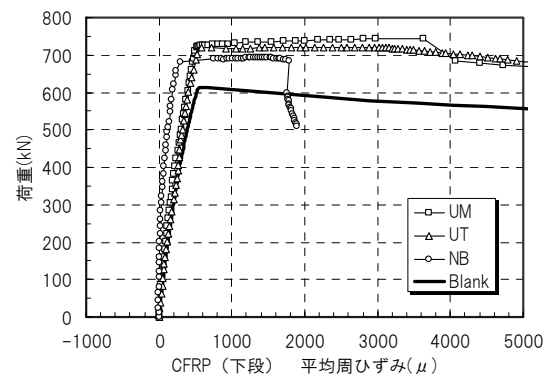


図 4 荷重－CFRP(下段)周ひずみ