

(10) ステンレス2重鋼管合成柱の曲げ試験における モルタル付着性能に関する実験研究

大垣 賀津雄¹・赤江 信哉²・中島 裕³・石田 学⁴・志村 保美⁵

¹正会員 ものつくり大学 建設学科（〒361-0038 埼玉県行田市前谷333）

E-mail: ohgaki@iot.ac.jp

²正会員 太平洋マテリアル株式会社（〒285-0802 千葉県佐倉市大作2-4-2）

E-mail: shinya-akae@taiheiyo-m.co.jp

³正会員 太平洋マテリアル株式会社（〒285-0802 千葉県佐倉市大作2-4-2）

E-mail: yutaka-nakajima@taiheiyo-m.co.jp

⁴正会員 太平洋マテリアル株式会社（〒114-0014 東京都北区田端6-1-1）

E-mail: manabu-ishida@taiheiyo-m.co.jp

⁵正会員 日鉄ステンレス株式会社（〒100-0005 東京都千代田区丸の内1-8-2）

E-mail: shimura.yasumi.rj4@stainless.nipponsteel.com

護岸や栈橋等の港湾構造物に適用されている鋼管柱や鋼管杭は、炭素鋼管が主材料である。このような構造物は海洋環境下におかれており、潮汐や飛沫による腐食劣化を受ける。また、耐震耐力不足も懸念されている。この種の鋼管柱や鋼管杭構造物の補修・補強法が幅広く求められている。そこで筆者らは、既存の鋼管の外側に耐食性と強度の高い2相ステンレス鋼を使用してにおける2重鋼管合成柱とし、両者の間に付着性の高いゴムラテックスモルタルを用いた合成柱を施工する工法を開発中である。本文はこの構造部材の曲げ耐力性能実験を行って、その変形性能や水平せん断ずれ性能等を示すものである。

Key Words: stainless steel, SBR latex mortar, concrete filled tube, confined effect, Repair

1. 概要

港湾構造物の栈橋等の護岸構造物では、鋼管柱や鋼管杭が用いられている。その理由は高強度材質の均一性、施工の簡易性、低価格等である。建設後長期間経過した海洋環境下の鋼管杭では干満帯や飛沫部を中心に腐食が著しく進んでいるのが確認されており、機能の保持や安全面の観点から問題視されている。これらの港湾構造物の中には大きく損傷して沈下したものを再建設している事例もある。しかしながら、現施設の利用状況や将来の港湾施設計画を勘案した上で、これらの補修・補強を行うことにより延命化できる施設も多いと考えられる。

一方、神淡路大震災以前に建設された港湾構造物は、鋼管杭頭部や上部工の接合部付近における曲げモーメントが大きくなり、耐震補強が必要な状況にある。また、近年の接岸する船舶や荷役機械の大型化により、栈橋等の機能向上を目的として、当社の設計耐力を上回る性能が求められる場合がある。そのため、既設鋼管杭頭部や

上部工との接合部における、曲げモーメント作用に対する補強を確実に工法を開発が求められている¹⁾。

近年、2相ステンレス鋼の開発が進み、ステンレス鋼の耐食性と強度が向上している状況にある²⁾。そこで、筆者らは、補修・補強に関する新たな工法として、既設鋼管の外側にステンレス鋼管を配置し、両者の間をポリマーセメントモルタルで一体化した2重鋼管合成柱についての研究開発を行っている。ステンレス鋼は耐食性に優れており、港湾の腐食環境でも十分な機能が期待できる。ポリマーセメントモルタルの一種であるゴムラテックスモルタルは、鋼材に対する接着力もあり、収縮も少ない材料である³⁾。したがって、2重鋼管合成柱の鋼管相互間の充填に適した材料といえる。

これらの材料を使った2重鋼管合成柱について、基本的な性能が発揮されることを確認するため、これまで中心軸圧縮試験により検証を行った⁴⁾。本文は、この構造部材の曲げ耐力性能確認実験を行って、その変形性能や水平せん断ずれ性能等を示すものである。

2. 実験方法

(1) 実験供試体

2 相ステンレス鋼管と炭素鋼管を用い、2 重鋼管合成柱供試体を製作する。2 相ステンレス鋼管には S32205 (ASTM 規格)を適用した。これは一般的なステンレス鋼より優れた強度特性および耐食性を有するものである。また、内側の鋼管は既設鋼管杭を想定しているため、炭素鋼 STK400を用いた。これらの材料の機械的性質を表-1に示す。

充填材は普通モルタルとゴムラテックスモルタルを使用した。これらの付着強度については、事前に行った試験結果から表-2 に示す通りである。この試験は、鋼板の素地表面に両者のモルタルを施工して、切込みを入れて接着剤で治具を固定し、建研式の引張試験を行った結果である。普通モルタルについては、これらの切込みを入れる作業中に、鋼板との接着部が剥がれてしまったため、ゼロとしている。これら 2 種類のモルタルの材令（7日,14日, 28日）における圧縮強度は、表-3に示す通りである。

実験供試体を図-1 に示す。供試体は内側に炭素鋼を外側にステンレス鋼を配置した支間長 2m の 2 重鋼管合成構造部材である。ステンレス鋼管にあらかじめ鋼製の支点治具を溶接で取り付けており、炭素鋼とステンレス鋼については接合されておらず、両者の隙間に入れるモルタルのみで一体化している。これらのモルタルの施工状況を図-2 に示す。同図に示す通り、供試体を立てて、炭素鋼とステンレス鋼の隙間にボルトで間隔を保持して、流動性の高い両者のモルタルを流し込んで打設した。

表-1 ステンレス鋼、炭素鋼の機械的性質

ステンレス鋼規格	0.2%耐力 N/mm ²	引張強度 N/mm ²	伸び%
S32205	579	784	30
炭素鋼規格	降伏点 N/mm ²	引張強度 N/mm ²	伸び%
STK400	351	442	44

表-2 付着強度特性 (N/mm²)

モルタル	1回目	2回目	3回目
普通モルタル	0	0	0
ゴムラテックスモルタル	28	3.6	3.4

注)普通モルタルは試験前に外れたため 0 としている。

表-3 平均圧縮強度特性 (N/mm²)

モルタル	7 日	14 日	28 日
普通モルタル	19.0	24.1	30.3
ゴムラテックスモルタル	39.2	46.0	48.8

(2) 実験方法

本実験は図-1 に示す通り、支間長 2m の 3 点曲げ荷荷により実施した。供試体の終局段階における非線形性や破壊性状を調査するため、鉛直変位およびステンレス鋼管のひずみを計測する。

また、図-3 に示す通り、両端部において変位計を水平方向に設置し、炭素鋼管とモルタル、およびモルタルとステンレス鋼の相対ずれ変位を計測している⁴⁾。荷重実験により徐々に増加する供試体上部や下部の水平せん断力に対して、モルタルの付着性能が保持されれば、この相対ずれが少ないことになる。

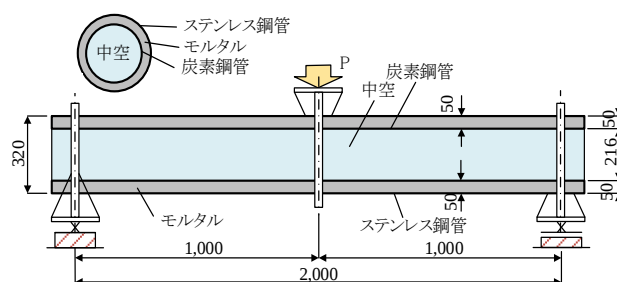


図-1 供試体形状と荷荷方法



図-2 モルタルの施工状況

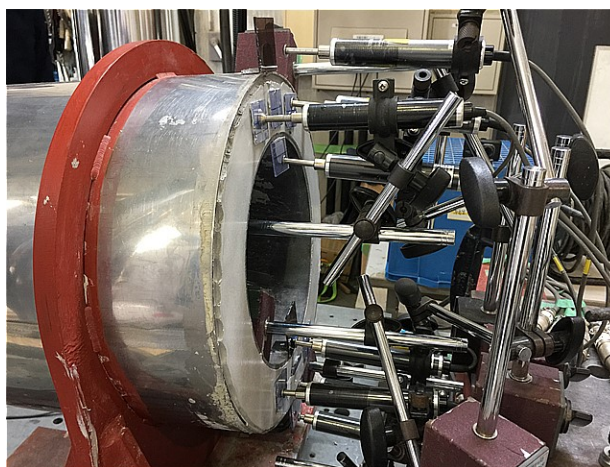


図-3 端部の相対ずれ変位計測

3. 実験結果及び考察

(1) 変形挙動

図-4 に載荷実験終局段階における供試体の変形状況を示す。また、図-5 に両供試体の荷重と曲率の関係を示す。同図に示す通り、曲率が 0.1 に近い大变形になっても、耐荷力が急激に低下することなく、安定した耐荷性能を有することがわかる。

表-4 に曲げ載荷実験における最大荷重、座屈荷重を示す。ここで、座屈荷重はひずみ ε の急増点を ε で評価して、その勾配の変化点から推定して求めたものである。図-5 と同表から、ゴムラテックスモルタルを用いた供試体は普通モルタルを用いた供試体に比べて、最大荷重で 8 % 大きい値であった。同図からも、載荷初期の弾性限界もゴムラテックスモルタルを用いた供試体の方が大きくなっており、初期の耐荷力に差があることがわかる。



図-4 終局段階の状況

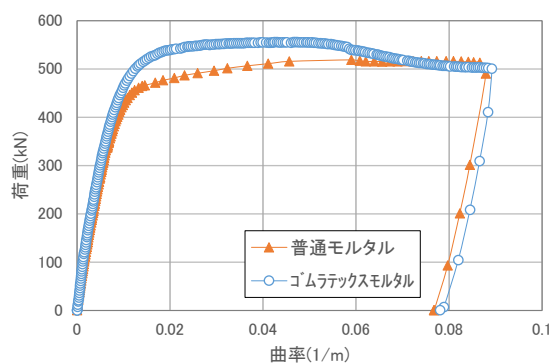


図-5 荷重-曲率の関係

表-4 最大荷重、座屈荷重、相対ずれ発生荷重 (kN)

モルタルの種類	最大荷重	座屈荷重	相対ずれ発生荷重	
			上端部	下端部
普通モルタル	519	419	471	516
ゴムラテックスモルタル	556	500	551	556

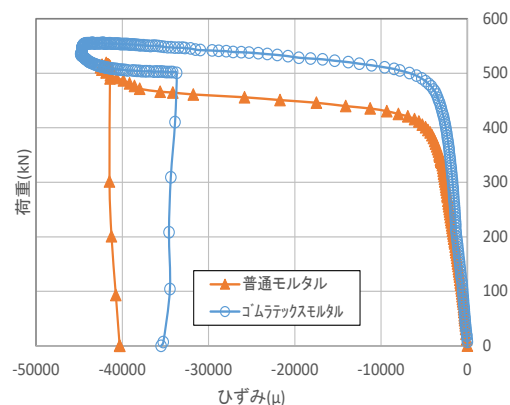
注)座屈荷重はひずみの急増点を ε で評価して算出。

(2) ひずみ挙動

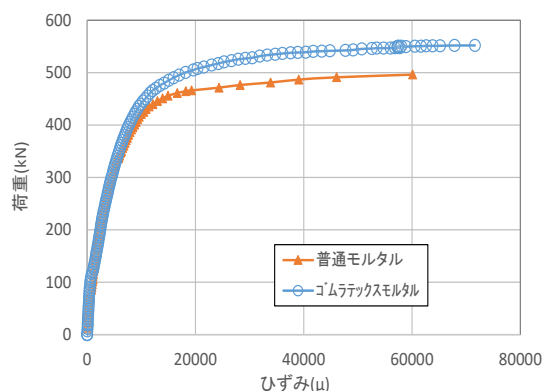
供試体載荷点近傍のステンレス鋼における軸方向ひずみを、図-6 に比較した。また、図-7 に局部座屈発生状況を示す。同図から、圧縮側の座屈発生はゴムラテックスモルタルを用いた方が普通モルタルよりかなり大きい値になっている。表-4 に示した通り、ひずみ ε の急増点を ε で評価して座屈荷重は、ゴムラテックスモルタルを用いた供試体は普通モルタルに比べて 19 % 大きいという結果であった。このことから、2 重鋼管の間に詰めるモルタルの強度や付着強度が大きくなると、曲げ座屈強度が向上することがわかる。

一方、引張側は圧縮側ほど大差がつかないものの、10 % 程度の耐荷力差が生じた状態でひずみ変形が大きくなっていることがわかる。

また、圧縮側も引張側も 40,000 μ 程度のひずみまで、安定的に荷重を受け持っており、破壊に対する靱性が高いことが伺える。



a) 圧縮側



b) 引張側

図-6 荷重-ひずみの関係



図-7 局部座屈発生状況

(3) 端部における相対ずれ

供試体端部のステンレス鋼とモルタルの相対ずれについて、図-8 に比較した。また、表-4 に示す相対ずれ発生荷重値は、断面の縁距離が大きく水平せん断力が大きくなるステンレス鋼とモルタルの相対ずれであり、こちらの方が先にはっきりと生じていた。

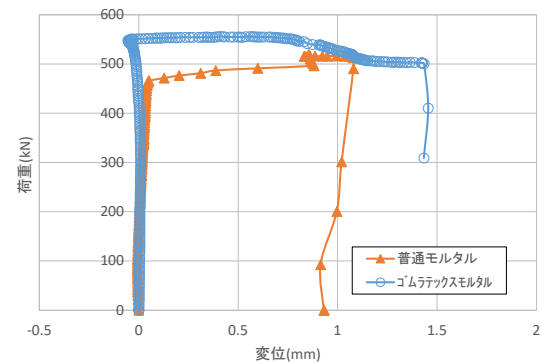
ゴムラテックスモルタルの方の上端部で相対ずれ発生荷重は普通モルタルより 17%程大きく、合成作用保持性能が高いことがわかる。また普通モルタルとは異なり、ゴムラテックスモルタルは上側と下側のずれ発生荷重がほとんど同じであることがわかる。このことから局部座屈発生時までゴムラテックスモルタルはずれを抑制する接着力を持っていることがわかる。

4. まとめ

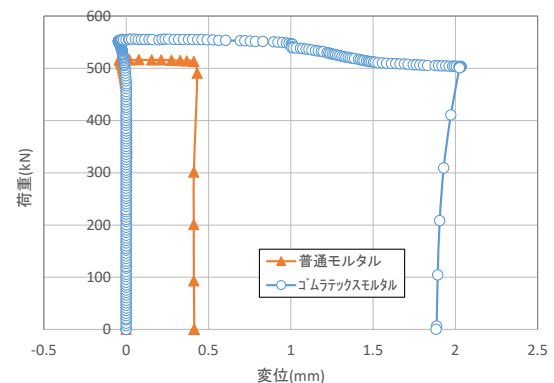
本実験研究で得られた結論は以下の通りである。

- ①ステンレス 2 重鋼管合成柱において、ゴムラテックスモルタルを用いたものは、普通モルタルにより終局荷重、局部座屈発生荷重等の性能が向上する。
- ②ゴムラテックスモルタルを用いることで素材間の接着力が向上し、局部座屈発生までずれが生じない。

今後の課題は曲げと軸力を受ける場合の強度特性の確認実験を行って基本性能を調査する。また実際の鋼管を用いた施工方法の検討や充填度の確認等が必要である。本研究遂行に際して、港湾空港技術研究所の加藤絵万氏、川端雄一郎氏より貴重なご意見を頂きましたことに感謝いたします。



a) 上端部



b) 下端部

図-8 荷重-相対ずれ変位の関係

参考文献

- 1) 川端雄一郎，忽那惇，加藤絵万，岩波光保，羽瀧貴士，網野貴彦，田中亮一，国枝稔：UHP-SHCC の巻立てによる栈橋の鋼管杭頭部の構造性能評価，港湾空港技術研究所資料，No.1295，2014.12
- 2) 日本鋼構造協会：ステンレス鋼土木構造物の設計・施工指針（案），JSSCテクニカルレポート，No.108，2015.11
- 3) 杉野雄亮，佐竹紳也，大垣賀津雄，小出宜央：床版補修用ポリマーセメントモルタルの耐久性に関する評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.34，No.1，2012.7
- 4) 大垣賀津雄，小畑健，川井豊，志村保美，赤江信哉：ステンレス鋼を用いたコンクリート合成柱の圧縮強度に関する基礎的研究，第12回複合構造の活用に関するシンポジウム講演集，【29】，2017.11
- 5) 林堂靖史，杉浦邦征，河野広隆，大島義信：コンクリート充填二重鋼管構造の曲げ耐荷特性に関する実験的研究，第7回複合構造の活用に関するシンポジウム講演集，(10)，2007.11

(Received August 30, 2019)

EXPERIMENTAL STUDY on BENDING LOAD CAPACITY of DOUBLE STEEL TUBULAR MEMBERS USING STAINLESS STEEL PIPE

Kazuo OHGAKI, Shinya AKAE, Yutaka NAKAJIMA, Manabu ISHIDA and Yasumi
SHIMURA

Prevention of corrosion and seismic strengthening are demanded to the steel tube pillar used for the pier of the harbor. We study the double steel tube column which placed a stainless steel pipe outside of this steel tube pillar. We make a suggestion the composite column that we fill high flow rubber latex mortar between these steel tubes. About double tubes composite column of stainless and steel, we tested bending moment capacity to confirm differences between rubber latex mortar and normal mortar for the filling of the double steel tube part. As a result, Rubber latex mortar has high adhesion performance. Therefore the bending strength of composite member becomes bigger, and there is not a relative gap for the horizontal shear.