

栈橋鋼管杭補修技術

「鋼板接着併用型タフリードPJ工法」

東亜建設工業株式会社 技術研究開発センター 田中 亮一

近年、栈橋鋼管杭の腐食が著しく進行した事例が散見されている。特に、杭頭部付近の鋼管杭は劣化や損傷を生じやすく、この部位が著しく腐食した場合には栈橋の供用に大きく影響する。当社は、既設の栈橋鋼管杭の杭頭部付近が著しく腐食し、腐食あなが生じた場合でも適用可能な補修技術「鋼板接着併用型タフリードPJ工法」を開発した。本稿では、工法の概要と載荷実験で曲げ耐力を検証した結果を紹介する。

1. はじめに

栈橋は、船舶が接岸するための係留施設であり、物流拠点として重要な役割を担っている。しかし、厳しい塩害環境下に置かれているため、鋼材腐食やコンクリート劣化のリスクは高い。旧基準に基づき設計された栈橋には、建設当時の設計で想定していたよりも速い速度で鋼材腐食が進行してしまったり、さまざまな事情により設計耐用期間を超えて供用を続けているものもある。杭頭部付近の鋼管杭は、特に海水作用と地震や船舶接岸等の荷重作用の影響により劣化や損傷が生じやすく、近年になって腐食が著しく進行した事例が散見されている¹⁾。被覆防食工が施されている栈橋鋼管杭でも、図-1に示すようなさまざまな要因によって劣化や損傷が生じる可能性があり、被覆防食工の劣化や損傷は鋼管杭の腐食進行に繋がる。栈橋構造上の要である杭頭部付近で腐食が進行した場合、杭の保有耐力は低下し、栈橋の安全性に大きく影響するため、補修による長寿命化が望まれる。

このような背景から、筆者らは栈橋鋼管杭の補修技術「タフリードPJ工法」を開発し²⁾、現場に適用している(図-2)。この工法は、高耐久性を有する繊維補強モルタルを用いることで巻立て厚を小さくできるため、巻立て補修部の自重増加や剛性増加が課題であった既存の鉄筋コンクリート巻立て工法を改善したものである。しかし、この工法は既設鋼管杭の残存耐力が期待できない程度まで腐食が進行した場合には適用が難しいという課題が残されていた。

杭頭部付近の鋼管杭が著しく腐食した場合、これまでは栈橋上部工を撤去した後に鋼管杭を補修した上で栈橋上部工を再構築する方法、または大規模な構造変更を伴う水中格点工法など、栈橋の供用停止を伴う大

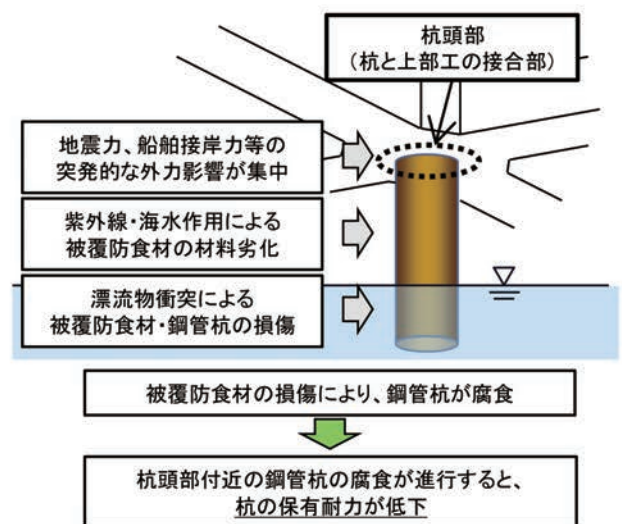


図-1 栈橋鋼管杭の劣化・損傷要因

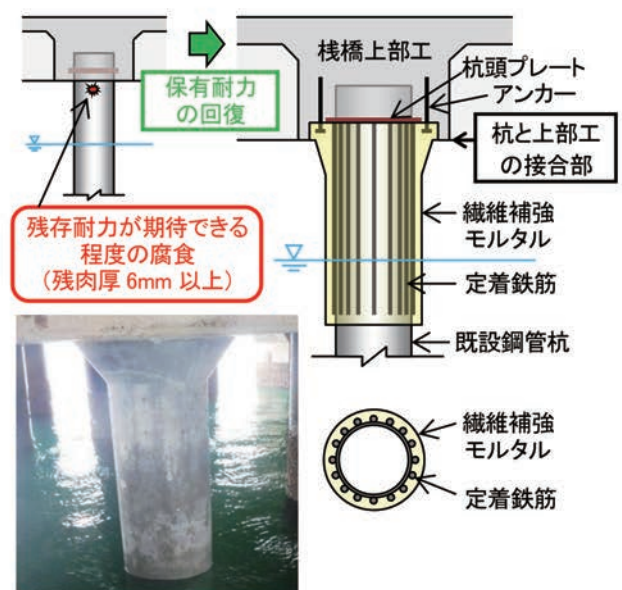


図-2 タフリードPJ工法

掛かりな対策の実施が必要であった。しかし、既存栈橋の供用を止めずに継続利用したいというニーズは高く、財源確保の観点からも補修による延命措置が望まれることも多い。そこで、当社は施設を供用しながら補修することが可能で、かつ鋼管杭の杭頭部付近に腐食あなが生じた場合でも適用可能な「鋼板接着併用型タフリードPJ工法」を開発した。本稿では、開発した工法の概要と載荷実験により曲げ耐力を検証した結果を紹介する。

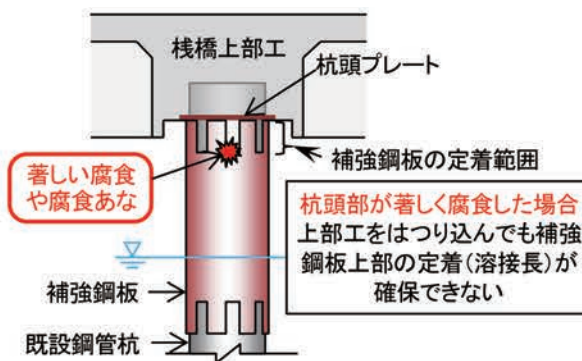


図-3 鋼板を用いた補修工法の課題

2. 開発工法の概要

既存の鋼板を用いた鋼管杭の補修工法は、施設を供用しながら施工することは可能であるが、杭頭部付近の鋼管杭が著しく腐食した場合には新規に設置する補強鋼板の上部の定着が確保できない(溶接長が確保できない)ため、適用が困難であった(図-3)。

開発した工法は、その既存工法の課題を、高強度・高靱性・高耐久性を併せ持つ繊維補強モルタルを介した接合により解決した技術である(図-4)。補強鋼板の上端は杭頭プレートの下面にすみ肉溶接を行い、シアキー(ずれ止め)により補強鋼板と繊維補強モルタルの巻立て部を、アンカーにより巻立て部と上部工をそれぞれ接合させる。これにより、既存の鋼板を用いた補修技術と同様に、杭頭部に発生する断面力に対して既設鋼管杭の耐力不足を補強鋼板により補う設計思想である。

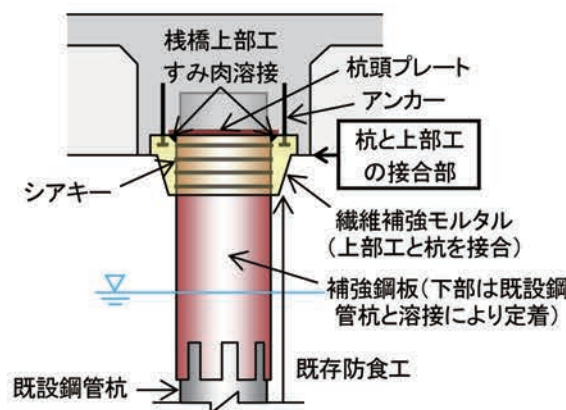


図-4 鋼板接着併用型タフリードPJ工法

図-5に本工法で用いる繊維補強モルタルの特長を示す。繊維補強モルタルはひずみ硬化型セメント系複合材料の一種で、水結合材比が小さく、シリカフェームが混和されているため非常に緻密な材料である。また、単位体積当たり1.5%の高強度ポリエチレン短繊維(直径0.012mm、長さ6mm)が混入されているため、引張応力作用下では複数の微細ひび割れが分散して発生し、ひび割れ発生後も高い引張強度を維持する特長を有する。これは、長期耐久性の確保および耐力の保持に繋がると考えられる。また、通常的环境下で十分な強度を発現するため、現場製造が可能である。

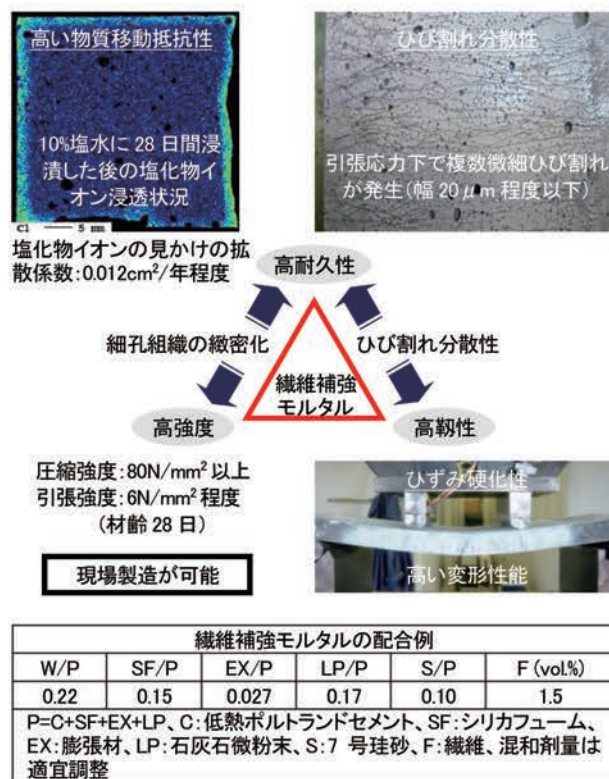


図-5 繊維補強モルタルの特長

施工フローを図-6に示す。本工法における特徴的な工種は上部工のはつり、繊維補強モルタルの製造・注入であり、それ以外は既存の補修工法と同様である。なお、前述したとおり繊維補強モルタルは現場製造できるため、栈橋上で製造し、モルタルポンプによって圧送、型枠内に注入することが可能である。



図-6 施工フロー

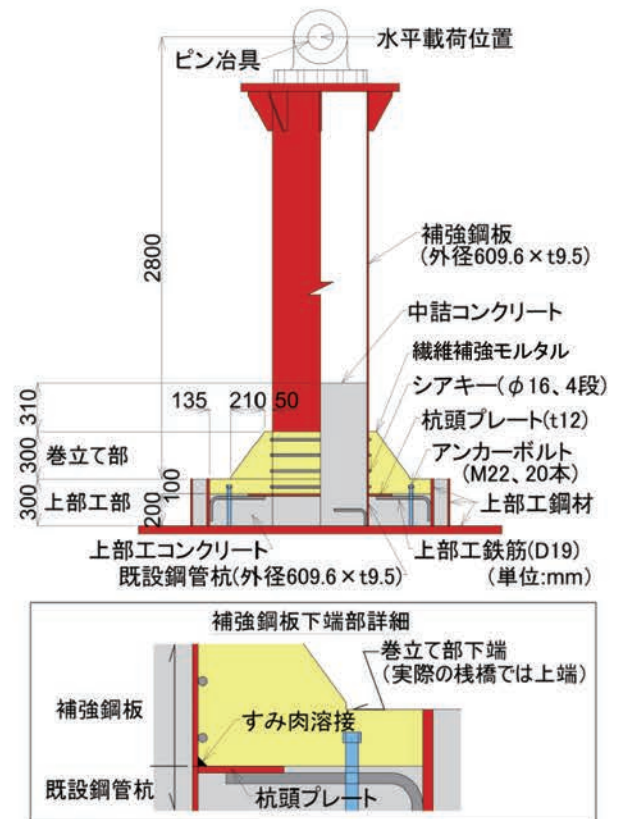


図-7 荷重実験状況の概要

3. 曲げ耐力検証実験

3-1 実験概要

荷重試験体の概要を図-7に示す。本実験では実際の栈橋とは天地逆転の状態を試験体を設置し、上部工側を反力床に固定して水平荷重を行ったため、本図も実栈橋とは天地逆転で示している。補強鋼板の下端(実際の栈橋では上端)は実施工を想定し、杭頭プレートとすみ肉溶接により固定した。繊維補強モルタルによる巻立て部は上部工に100mm根入れさせる形状とし、実際の栈橋を模擬して上向き注入で施工した(図-6右下写真参照)。

荷重実験は、杭と上部工の接合部から高さ2.8mの位置を水平荷重点とし、荷重速度0.03mm/sの正負交番漸増荷重で行った(図-8)。計測項目は水平荷重、荷重点水平変位、補強鋼板の鉛直ひずみとした。なお、軸力は自重作用のみとし、外力は作用させずに行った。また、荷重実験終了後には試験体を切断し、巻立て部切断面のひび割れ発生状況を確認した。

3-2 実験結果

水平荷重と荷重点の水平変位との関係を図-9に示す。補強鋼板が降伏したときの実験値は、計算値(本実験で用いた補強鋼板の力学的性質および仕様から算

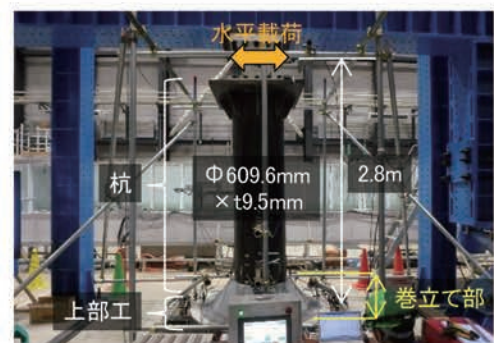


図-8 施工フロー

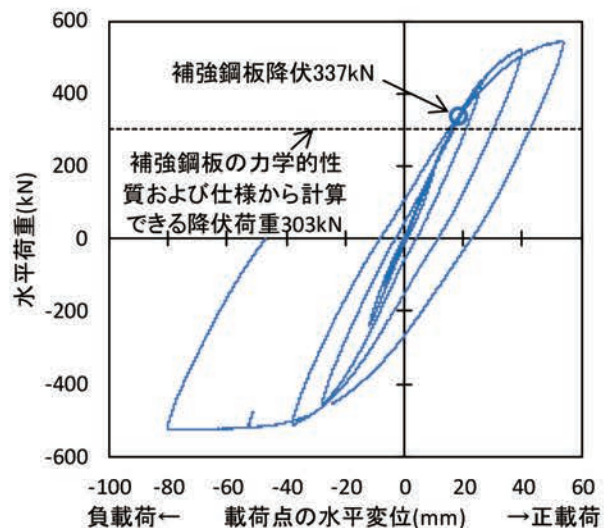


図-9 荷重-変位曲線

定できる降伏曲げモーメントとアーム長から計算できる降伏荷重)と同程度で、最大変位時(実験装置の関係で本実験における最大変位は-80mm)まで荷重の低下は認められなかった。なお、この時点で巻立て部上端から高さ70mm程度の位置の補強鋼板圧縮縁が座屈する状況が観察されたが(図-10)、繊維補強モルタル表面に微細なひび割れは発生したものの、巻立て部の破壊は確認されなかった。これは、繊維補強モルタル巻立てによるフープテンション効果が発揮されたためと考えられる。

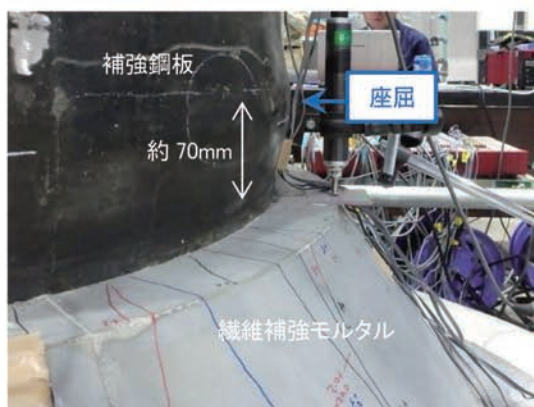


図-10 補強鋼板の座屈状況

補強鋼板圧縮縁および引張縁の杭軸方向ひずみ分布を図-11に示す。補強鋼板降伏時のひずみ分布から、繊維補強モルタル巻立て部の直上で補強鋼板の圧縮縁が降伏したことが確認された。また、最大変位時も含めて巻立て部と補強鋼板の境界付近のひずみが卓越し、巻立て部内のひずみは下部ほど小さい状況であった。これは、繊維補強モルタルによる巻立て効果と考えられる。

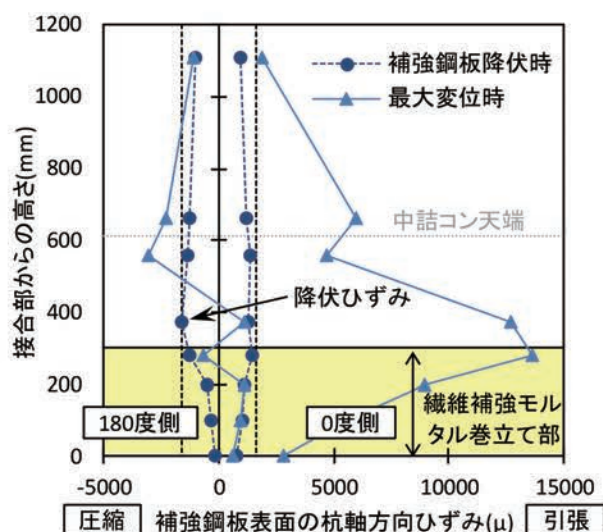


図-11 補強鋼板表面の杭軸方向ひずみ分布

載荷実験終了後の巻立て部切断面を図-12に示す。本図は最終載荷サイクルにおける引張側の切断面で、図中の黒線はひび割れを強調したものである。最大変位時に発生していた巻立て部表面のひび割れは最大幅0.2mmであったが、巻立て部内のひび割れは幅0.05mm未満と微細であった。このことから、繊維補強モルタルの繊維の架橋効果によるひび割れ分散性、高い変形性能が発揮されたと考えられる。

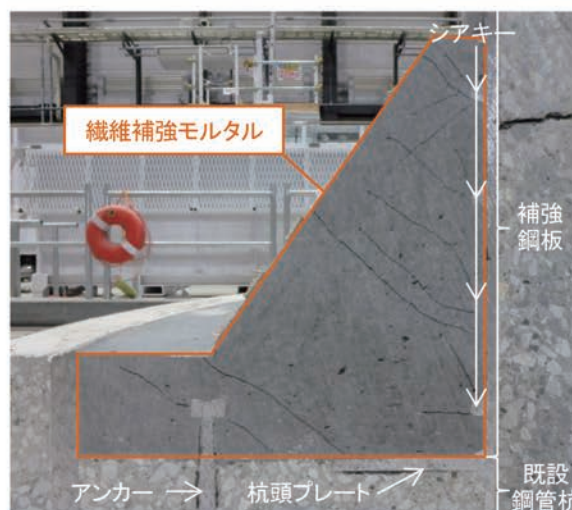


図-12 巻立て部切断面

4. おわりに

本工法は、栈橋の供用停止や制限、さらには大規模な構造変更を行うことなく施工でき、杭頭部付近に腐食あなが生じた場合でも適用可能な補修技術である。補修すべき杭を対象に施工できるため、栈橋上部工を撤去・更新するような場合に生じる一時的な補修コストを抑制でき、さらに年間の補修費用の平準化のための方策を検討できるなど、戦略的な維持管理にも寄与できると考えている。今後は施工実績を積み上げ、本工法による補修効果の持続性など情報収集に努め、更なる開発に繋げていきたいと考えている。

参考文献

1) 日経BP社：日経コンストラクション、No.633、pp.18、2016年2月8日号

2) 網野貴彦、國枝稔、岩波光保、加藤絵万、田中亮一：劣化損傷した既設栈橋の鋼管杭と上部工の接合部に対する新しい補強技術「タフリードPJ工法」の開発、セメント・コンクリート、No.826、pp.16-22、2015.12