

第25回 国土技術開発賞 入賞

簡便な杭式栈橋の補強工法 深梁工法

〔受賞者〕 JFEエンジニアリング株式会社

〔本稿執筆者〕 JFEエンジニアリング株式会社 奈良 正, 門倉 宏子, 伊藤 らな

以下に、第25回 国土技術開発賞で入賞した「簡便な杭式栈橋の補強工法」を紹介いたします。

1. はじめに

我が国の社会資本ストックは、高度経済成長期に集中的に整備され、今後老朽化した施設が急増することが懸念されている。そのため、インフラを戦略的に維持管理、再利用、更新することが求められている。国土交通省の調査によれば、建設後50年以上の係留施設は2020年3月には全体の約2割から、2040年3月には約7割に急増する。港湾岸壁においては、そのような既存施設の老朽化が進む一方、近年では船舶（クルーズ船）の大型化への対応、大規模地震に備えた耐震強化が求められ、所定の性能を満足できないケースが増加している。

従来、このようなケースにおいては、杭の増設（増杭工法）などの対策が実施されてきた。しかし、上部工撤去といった大掛かりな工事を必要とするため現場での工事期間が長く、岸壁の利用が制限されるという問題を抱えていた。こうした背景から、課題を解決する簡便な栈橋補強工法として「深梁工法」を開発した。既設杭の間に鋼製箱桁（深梁）を設置し補強することで、船舶大型化

対応、耐震強化機能を付加しつつ、栈橋を延命することができる工法である。さらに、上部工などの既設部材を最大限活用（リユース）し、工事期間の大幅な短縮および栈橋を供用しながらの施工を可能としている。

2. 開発技術の概要

(1) 深梁工法

栈橋において、既存構造物を利用する改良工法を行う場合のメカニズムは、主に①荷重側を低減するもの、②抵抗側の効果の増加をするものの二つに大別される。

①には増杭工法など、杭に発生する応力を分散させるものがある。②には(a) 水平剛性の増加、(b) 支持地盤の強度の増加、(c) 補強による耐力の増加を図るものがある（図-1）。

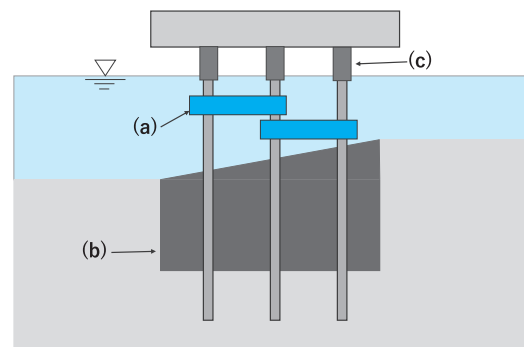


図-1 栈橋の改良工法のメカニズム（抵抗側の効果を増加するもの）

深梁工法は、既設杭の間に鋼製箱桁（深梁）を設置することで栈橋を補強する工法であり、②(a)に該当する。耐用年数経過後の補修および補強、利用計画（対象船舶の変更、増深）による補強、耐震強化などに対応することが可能である。全景を図-2に示す。

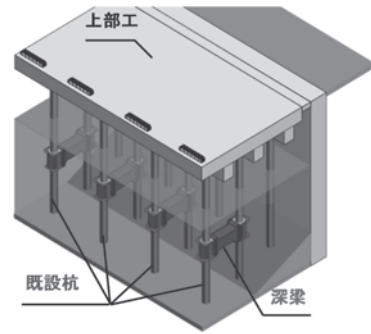


図-2 深梁工法的全景

機構としては、既設杭中間部に深梁を設置することで、栈橋を多層ラーメン構造へと変換させる。杭に発生する応力は、あらかじめ扉部内側と既設杭に打ち込んでおいたスタッドによって結合したグラウトを介して箱桁部に伝達する。杭の突出長を短くし、荷重作用時の杭頭に発生する曲げモーメントを杭中間部（深梁結合部）へと分散させ、栈橋の水平抵抗性能を高め、水平力に対して変位や曲げモーメントを抑制する（図-3）。これにより上部工などの既設部材を最大限活用しつつ栈橋の補強が可能となる。

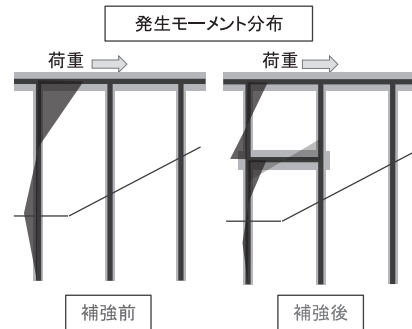


図-3 栈橋の補強効果

深梁本体の構造を図-4に示す。鋼製の「箱桁部」と「扉部」で構成されている。製作の際にはあらかじめ既設杭の出来形を現地計測し、箱桁部の寸法に反映させる。

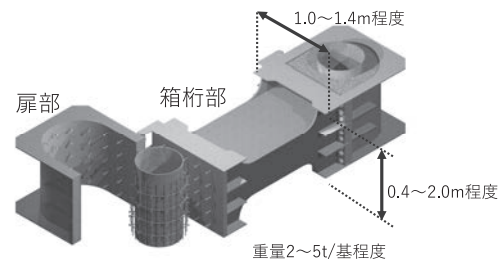


図-4 深梁本体の構造

(2) 施工手順

深梁工法の施工フローを図-5に示す。

施工はまず既設杭に受架台を設置し、杭に対してケレンを実施して表面に付着した海洋生物等を取り除き、頭付きスタッドを水中打設し、その周囲に鉄筋を巻き立てる。次に深梁にフローターを取り付け、海面に吊り下ろし、潜水士が所定位置に設置する。その後扉部を開放する。そして杭構面の脇から深梁を引き付けて、深梁を杭に抱かせた後は、開放していた扉部を併合し、箱桁部と扉部を引張ボルト接合させて一体化する。次にフローターを撤去し、深梁を所定位置に沈設する。最後に既設杭と深梁の一体化を図るために水中不分離性モルタルを打設して固着させる。ボルト接合部の周囲には、水中硬化型エポキシ樹脂を施工する。

グラウトの養生期間は初期強度が発現するまでとしており、通常施工に用いるグラウトでは3~

5日程度となっている。

深梁は施工を容易とするために、次の構造的特徴を備えている。

- ① 箱桁内部は空洞となっており、浮力を活用して所定の位置に運ぶことが可能
- ② バルブにより箱桁内部に注水することで設置することも可能
- ③ 箱桁の両端には開閉用回転ヒンジを介してU形の扉が付いている扉構造により杭を抱き込むことができるため、杭との一体化が容易

部材の引き込みおよび取り付けは部材の浮力を利用するため、位置決めはワイヤー操作だけで行うことができ、小型の重機で設置が可能である。また、深梁は梁部材（曲げ・軸部材）としているため部材当たりの補強効果が高く、部材数が少な

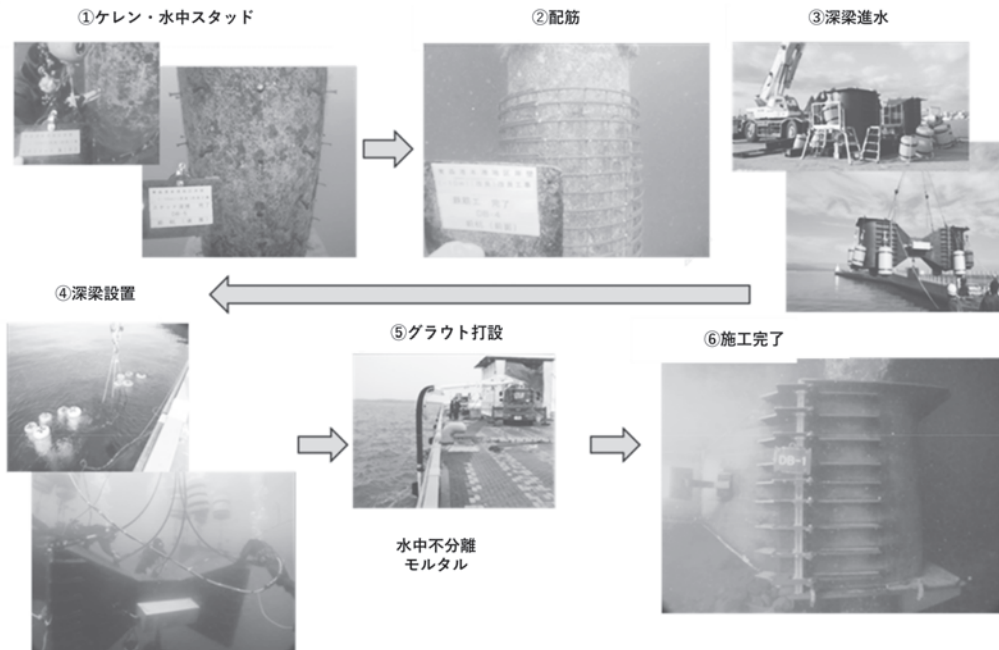


図-5 深梁工法の施工フロー

くなるため、現地施工期間を短くすることができます。

3. 開発技術の特徴

(1) 施工面におけるメリット

深梁工法の施工面でのメリットとしては、主に次の4点が挙げられる。

- ① 上部工撤去を不要とするため、供用しながらの補強や現地施工期間の大幅短縮が可能
- ② 杭式栈橋の鋼製杭に適用可能。直杭・斜杭とも対応可能
- ③ 深梁本体は軽量部材（2～5t）で、大型重機を必要としないため振動や騒音が少なく、周辺環境に対する影響を小さくすることが可能
- ④ 既設杭に追加部材を設置するのみであり、岸壁法線の変更が不要

(2) 従来工法との比較

栈橋補強方法は、従来は増杭の打設により水平剛性を向上させるか、地盤改良により地盤強度を高めて対応していた。

深梁工法と従来の栈橋補強方法である増杭工法の現地施工期間、供用停止期間、工費を比較した

結果を表-1に示す。栈橋延長L=350mを増杭70本と深梁35基それぞれで補強した場合を対象とする。

表-1 深梁工法と従来工法の比較

	従来工法(増杭)	深梁工法
	<p>上部工撤去・更新 増杭</p> <p>増杭：70本</p>	<p>深梁 既設杭</p> <p>深梁：35基</p>
対象：栈橋延長 L=350m		
現地施工期間	10カ月	4カ月 (▲60%)
供用停止期間	9カ月	1カ月 (▲90%)
工費	1.0	0.8 (▲20%)

深梁工法は、既設上部工および既存設備（係船柱、レール等）をそのまま活用できる。増杭工法と比較して現地施工期間を60%短縮、供用停止期間を90%短縮、工費を20%削減することが可能である。また、供用停止期間の短縮による経済損失の減少、重機小型化による環境負荷の軽減といった波及的な効果も挙げられる。

以上の点において、従来工法に比して深梁工法は優れた工法であるといえる。

4. 適用事例

(1) 清水港日の出岸壁（－12 m）改良工事

図－6、写真－1に当工事のパース図（深梁設置状況）および深梁の写真を示す。日の出地区の岸壁は供用から30年あまりが経過しており、老朽化の進行や大型客船のさらなる寄港増等への対応が課題となっていた。これらの課題に対応していくため、15万t級クルーズ船の2隻同時接岸を可能とし、港内の物流機能再編に合わせ、将来にわたり港湾施設としての機能を発揮できるよう、岸壁増深（－10 m→－12 m）に伴う補強・老朽化対策を目的として深梁工法が適用された。

なお、発注者、施工年度、基数、諸元については次のとおりである。



図－6 清水港日の出岸壁（－12 m）改良工事パース図



写真－1 清水港日の出岸壁（－12 m）改良工事における深梁本体

- ・発注者：国土交通省 中部地方整備局
- ・施工年度：2018, 2019 年度
- ・基数：57 基（47 基 +10 基）
- ・諸元：梁高 0.7（1.1）m（扉高 1.9 m）×梁幅 0.7（1.1）m

(2) 平良港（漲水地区）岸壁（－10 m）（防波堤外）築造工事

船舶大型化（14万t→20万t）に伴う棧橋延伸・補強を目的として深梁工法が適用された。図－7の青枠で囲われたドルフィンを補強した。施工中の様子を写真－2に示す。

なお、発注者、施工年度、基数、諸元については次のとおりである。

- ・発注者：内閣府 沖縄総合事務局



図－7 平良港（漲水地区）岸壁（－10 m）（防波堤外）築造工事における補強箇所



写真－2 平良港（漲水地区）岸壁（－10 m）（防波堤外）築造工事の施工状況

- ・施工年度：2021 年度
- ・基数：6 基
- ・諸元：梁高 1.3 m（扉高 2.0 / 2.3 / 2.7 m）× 梁幅 1.7 m

(3) 石垣港（浜崎地区）巡視船係留施設改良工事

石垣港では、2014、2015 年度にジャケット式栈橋がさらなる船舶大型化に対応できるようになることを目的として、ドルフィンの杭に対して深梁工法が適用された。

施工時の様子を写真－3、現場の全景を写真－4に示す。



写真－3 石垣港（浜崎地区）巡視船係留施設改良工事施工状況



写真－4 石垣港（浜崎地区）巡視船係留施設改良工事全景

なお、発注者、施工年度、基数、諸元については次のとおりである。

- ・発注者：海上保安庁
- ・施工年度：2022 年度
- ・基数：6 基
- ・諸元：梁高 0.8 m（扉高 2.0 m）× 梁幅 0.8 m

5. 実物大曲げ載荷試験

深梁は既設杭との接合部において荷重伝達が可能な構造となっているのか、特性を把握することが重要であった。

そのため、接合部を再現した部分試験体を用いて、面内曲げ試験を行い、設計方法の妥当性を確認した（写真－5）。



写真－5 面内曲げ試験の様子

6. おわりに

港湾岸壁において、供用後 50 年以上経過する老朽化した施設の急増が懸念されている中、深梁工法により戦略的にインフラの維持管理、再利用、更新を可能とし、社会資本ストックの維持管理費用の抑制に寄与することを期待している。

最後に本技術の開発および施工に関係された皆さまに謝意を表します。