

閉断面リブ鋼床版補強の施工に関する開発

Development of Reinforcement Method of Orthotropic Steel Deck with U-shaped Ribs



自動機械切断機

松下 裕 明	Hiroaki Matsushita	①
岡村 敬	Takashi Okamura	②
須藤 丈	Takeshi Sutoh	②
松永 耕 介	Kosuke Matsunaga	②
岡田 潤	Jun Okada	③
森田 寛 之	Hiroyuki Morita	④
畑 中 章 秀	Akihide Hatanaka	⑤

あらまし

近年、重交通路線を中心に道路橋用鋼床版の疲労き裂が顕在化している。このような中、当社は阪神高速道路株式会社と共同で、交通規制を伴わず床版下面から施工が完結する補強工法（Uリブ切断工法、Uリブ内面モルタル充填工法）の現場施工技術を開発した。本稿では各開発項目の内、Uリブ切断工法における切断および仕上げの効率的な施工法の開発について報告する。本開発により、現場で要求される施工品質を確保した上で、従来に比べ切断・仕上げ時間を7割、工法全体の施工時間を2割低減できた。

当社では、橋梁の建設から保全まで一貫して対応可能な橋梁トータルソリューションサービスを展開しており、本技術もこれらの取り組みの一つとして今後活用を進める予定である。

Abstract

Hitachi Zosen has collaborated with Hanshin Expressway Co., Ltd. to develop a method for reinforcing orthotropic steel deck with U-shaped ribs, which can be completed from under the road surface without traffic restrictions. In the collaboration, we developed the automatic U-shaped rib cutting machine that improves site work efficiency compared with the conventional manual method. Field tests showed that the developed method makes it possible to shorten the time for cutting and finishing U-shaped rib by 70%, and also shorten the total work period by 20%. Hitachi Zosen offers total solution service for steel bridges covering from construction to maintenance. Going forward, we will utilize the developed method as part of the effort.

1. 緒言

鋼橋の床版形式の一つである鋼床版は、軽量で下部構造への負担が少なく、また、複雑な路面線形に対応可能であるなどの利点が多いことから、都市部の高速道路などで広く採用されてきた。しかし近年、重交通路線を中心に図1に示すように閉断面リブ（以下、Uリブと呼

ぶ）鋼床版の疲労き裂が顕在化している。このような中、Uリブ鋼床版に対する大規模修繕の手法として阪神高速道路株式会社では、交通規制を伴わず鋼床版下面から施工が完結する2つの下面補強工法（Uリブ切断工法、Uリブ内面モルタル充填工法）の開発が進められてきた。しかし、これらの補強工法は室内試験により基本性能が確認されていたものの、実橋への適用にあたっては、さらなる施工品質の向上や施工の効率化が必要と考えられ、これらの課題を解決するための共同研究者が求められていた。当社は鋼橋の施工技術だけでなく、海洋土木や機械部門の機械化技術、株式会社ニチゾウテックの現場計測技術、技術研究所の実験技術などグループ総合力を活用して課題解決策の提案を行い、共同研究者として採択されることとなった。

本稿では、阪神高速道路株式会社との共同研究「閉

① 社会インフラ事業本部 橋梁設計部 博士(工学) 技術士(建設部門)

② 社会インフラ事業本部 橋梁設計部

③ 技術研究所 ものづくり基盤研究センター 博士(工学)

④ 技術研究所 ものづくり基盤研究センター

⑤ 株式会社ニチゾウテック 技術開発室 博士(工学) 技術士(建設部門)

断面リブ鋼床版補強の施工に関する共同研究（その2）および（その3）」の中で、当社が主体的に実施したUリブ切断工法における切断および仕上げの効率的な施工法の開発について報告する。

2. 開発目的と開発方法

2.1 開発目的 Uリブ切断工法とは図2に示すように既存溶接ビード部近傍のUリブを切断し、摩擦接合ボルト（ねじ付きスタッドおよびワンサイドボルト）によりあて板を締結する方法¹⁾である。本補強工法はデッキプレートとUリブ溶接部の近傍のUリブを切断することで、疲労き裂の起点となる溶接部に対し、輪荷重による応力を大幅に低減させるとともに、切断に伴うUリブの剛性低下をあて板で補う工法である。

室内試験により基本性能が確認されたUリブ切断工法は、図3に示すようにUリブの切断および切断面の仕上げに手動プラズマ切断機および動力工具を用いた施工方法（以下、従来工法と呼ぶ）が採用されていた。しかし、従来工法はプラズマ切断の特性上、切断後の仕上げが必要となることに加え、手動での施工のため車両の走行により対象が振動する中で品質を満足する切断を効率的に行うことが困難であった。さらに実橋では切断量が数km単位の膨大な長さになることが想定されることから、施工速度の向上も不可欠であった。そこで、実橋の施工条件下において、切断・仕上げの品質を確保した上で従来工法よりも施工速度を向上させることを目的に、「自動」かつ「機械」による切断、すなわち自動機械切断機を用いた切断工法を開発した。

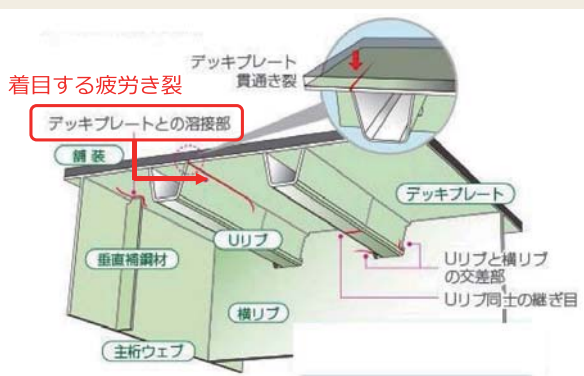


図1 閉断面リブ(Uリブ)鋼床版の疲労損傷例

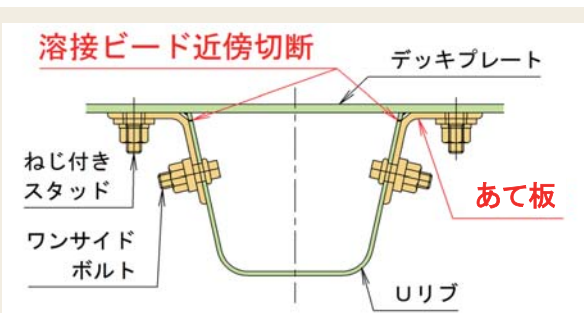


図2 Uリブ切断工法の概要

2.2 開発方法 本開発の手順を図4に示す。まず、自動機械切断機の目標性能を設定した上で、切断機の開発を行った。次に実大試験体により自動機械切断機の性能確認試験を実施した。最後に、実橋で実工事と同様の施工手順で現場施工試験を行いその性能を確認した。ここで、現場施工試験の前に実大試験を実施したのは、実大試験では載荷装置を用いて設計上想定される最も不利な載荷状態を安定かつ定量的に与えられること、また、試験後の破壊検査が可能であり切断面の出来形や品質の精密な調査が可能となるためである。

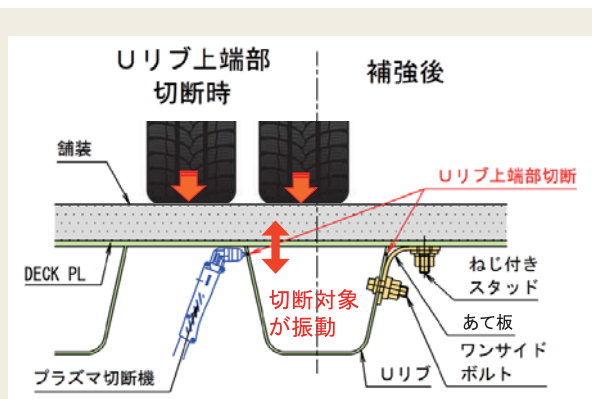


図3 Uリブ切断工法(従来工法)

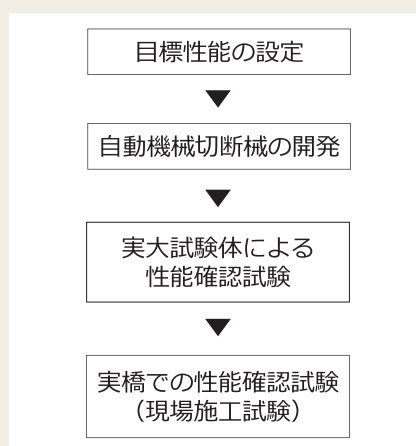


図4 開発手順

3. 目標性能の設定

自動機械切断機の目標性能は、以下の項目を抽出し設定した。

- (1) 施工性
 - ① 切断機の設置可能範囲
 - ② 切断機の搬入・設置の容易さ
- (2) 出来形
 - ① 切断位置、② 切断線の直線性、③ 切断幅
- (3) 切断面の品質
- (4) 施工時間
 - ① 切断時間、② 設置・撤去を含む施工時間
- (5) 経済性

ここに、(1) 施工性①切断機の設置可能範囲の設定では、実橋での施工可能空間を精度よく把握する必要があることから、施工可能空間に影響を与えるUリブの形状や間隔などの構造条件については、損傷橋梁の実績および阪神高速道路株式会社の標準図²⁾に基づき決定した。

4. 自動機械切断機の開発

設定した目標性能を考慮し、図5に示すような自動機械切断機を開発した。自動機械切断機の基本原理は以下の通りである。

- ・切断対象のUリブにレールを介して切断機を設置し、切断機を走行させながらUリブ上端部を切断する方式とした。
 - ・切断機は板バネを使用して一定力で走行（牽引）できる構造とした。
 - ・切断には機械切削用の切断刃を用いた。
- このような原理を用いた自動切断機は以下の特徴を持つ。
- ・機械切削用の切断刃を用いることで切断面が滑らかで仕上げが不要となり（図6）、施工効率が大幅に向上する。
 - ・従来工法では輪荷重の移動による振動（以下、交通振動と呼ぶ）の影響で、切断対象と手動のプラズマ切断機先端のトーチとの間に常にずれが生じるが、開発工法では切断機本体がUリブと一体となって挙動するためずれが生じにくく、交通振動による切断面の品質や出来形精度の低下が防止できる。

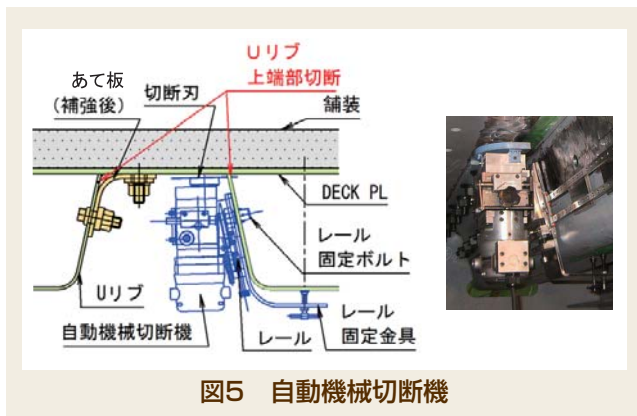


図5 自動機械切断機

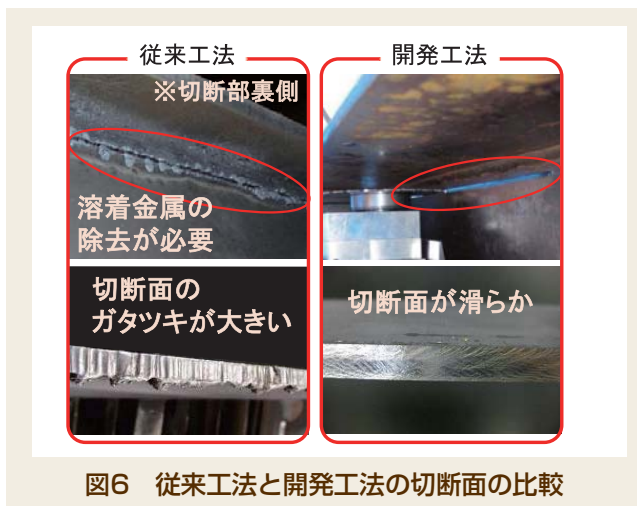


図6 従来工法と開発工法の切断面の比較

5. 実大試験体による性能確認試験³⁾

開発工法の性能を確認するため、実橋の施工条件（交通振動、施工空間等）を再現した実大試験体による施工試験を実施した。

5.1 試験ケースと着目項目 実大試験体での試験ケースと各ケースでの試験目的、着目位置、着目項目を表1に示す。表に示すように、交通振動の影響を確認するための動的载荷ケースと、狭隘部での施工性の確認をするための無载荷ケースの2ケースを実施した。試験では、施工性、出来形、切断面の品質を確認するとともに、切断作業に対する施工時間について確認した。

表1 実大試験での試験ケース

	動的载荷ケース	無载荷ケース
目的	交通振動の影響確認	狭隘部での施工性確認
着目位置	Uリブ間 (4か所)	主桁ウェブとUリブ間 (2か所)
着目項目	<ul style="list-style-type: none"> ・施工性（機械の設置空間、施工手順） ・切断部の出来形および品質 ・施工時間（切断に関連する作業のみを対象） 	

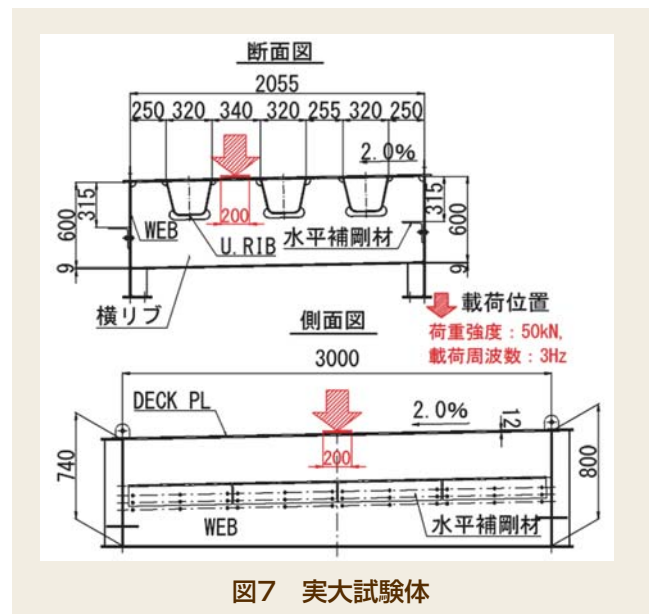


図7 実大試験体

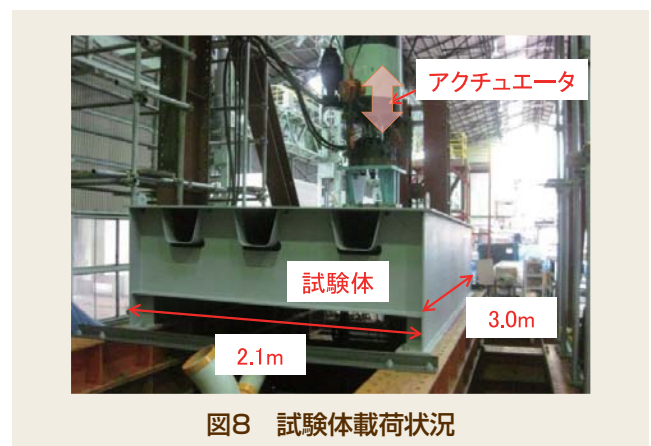


図8 試験体載荷状況

5.2 試験体 実大試験体の構造を図7に示す。構造寸法は、前述の通り損傷橋梁の実績調査および標準図に基づき設定した切断機の施工可能空間に対し、最も不利（狭隘）な条件を反映させている。ただし交通振動の影響を考慮した動的載荷ケースではデッキプレートの変形量（振動量）が最大となる条件とした。

5.3 載荷方法 動的荷重に用いる載荷荷重強度は、実橋で想定されるデッキプレートの局所変形が最大となる50kNとし、図7に示すようにシングルタイヤを模した載荷板を用いてUリブ間に定点載荷した。加振周波数は、実橋のUリブを対象に輪荷重通過時の動的波形を計測し、最大変位量および発生間隔の計測結果から、3Hzの正弦波形とした。図8に試験体載荷状況を示す。

5.4 試験結果

5.4.1 施工性 図9に実大試験時の施工状況を示す。図に示すように自動機械切断機の設置および切断工程において、実大試験で設定した施工条件下で開発工法が適用可能であることが分かった。



図9 試験状況



図10 切断後の試験体



図11 切断時間

5.4.2 出来形および品質 図10に切断後の試験体の状況を示す。試験体の計測結果から、切断位置やその直線性、切断幅ともに設定した目標値を満足することを確認した。また、図に示すように切断面は全ての箇所平滑であり、振動下においても安定した切断品質を確保できることが分かった。

5.4.3 施工時間 施工延長1mあたりの切断時間について、従来工法と開発工法の比較結果を図11に示す。なお、従来工法の施工時間は別途実施した性能確認試験の結果から算出した。図に示すように、開発工法は従来工法に比べ、機械の設置時間が増加するものの、仕上げ時間が大幅に低減される。この結果、従来工法(60分/m)に対し24分/mと施工時間が4割になり、5割程度とした施工時間の短縮目標を上回る結果となった。

6. 実橋での性能確認試験 (現場施工試験) 4)

実大試験の結果、自動機械切断機を用いた開発工法は、施工性、出来形、切断面の品質、施工時間について目標性能を満足することが確認できた。そこで、実橋での現場施工試験により、以下を目的として性能確認を行った。

(1) 施工性

実工事での施工手順を再現した施工試験を実施することで、実大試験で確認した機材の設置および切断作業だけでなく、機材の搬入から撤去、清掃まで、切断の全工程の施工性を把握する。

(2) 出来形および切断面の品質

現場条件下で出来形および切断面の品質を確認する。ただし、施工試験現場は常時車線規制区間であることから振動の影響は実大試験より有利な条件となる。また、施工品質の確認項目は、実工事での検査への適用を考慮し、切断位置および切断幅の計測、および切断面の目視確認とした。

(3) 施工時間

Uリブ切断に係る施工時間だけでなく、あて板設置まで含めたUリブ切断工法の全工程の作業時間について確認する。

6.1 施工要領 Uリブ切断工法の現場施工手順を図12に示す。①Uリブ切断から③あて板取付までの作業は、狭隘な現場での作業性および切断に伴う既設部材の安全性を考慮し、横リブ間を3分割して1か所ずつ完了させながら施工した。また、図中の横リブ部とその近傍の210mmの範囲は、自動機械切断機の稼働範囲外となるため、別途小型の手動機械切断機を開発している。

6.2 現場施工試験結果

6.2.1 施工性 現場施工試験状況を図13に、自動機械切断機の設置状況を図14に示す。試験の結果、開発工法は、機械の搬入や設置に問題が無いことを確認した。ただし、塗装用吊金具や垂直補剛材などが施工に影響を与えるケースがあり、これらは事前に撤去あ

るいは移設しておく必要があることが分かった。

6.2.2 出来形および品質 図15に切断前後の切断部の状況を示す。実大試験と同様に、切断位置や切断線の直線性、切断幅、切断面の平滑性ともに設定した目標を満足することを確認した。

6.2.3 施工時間 施工時間の比較結果を表2に示す。表より、従来工法による1m当り(あて板1枚分に相当)の切断時間の60分/mに対し、開発工法では平均20分/mとなり、従来工法に比べ約3割の時間で施工可能であることが分かった。なお、図11に示した実大試験結果(平均24分/m)に比べ、施工時間が短縮できた理由

としては、振動の影響が少なかったこともあるが、実大試験結果を踏まえ現場での施工性を向上させるために、レール取付部の細部構造や切断機本体の位置調整機能などを追加・改良した効果によるものと考えられる。

また、表に示すように、あて板取付を含むUリブ切断工法全体の施工時間は、1横リブ間(施工延長3m、あて板枚数3枚を想定)あたりで従来工法の約8割となることが分かった。なお、施工時間の短縮に伴い人件費の削減効果などの経済性向上も期待できる。

7. 結 言

本稿では、Uリブ鋼床版に対する大規模修繕の手法として、交通規制を行わず下面から施工が完了する工法の一つであるUリブ切断工法を対象に、切断および仕上げの効率的な施工法の開発について報告した。

開発では、切断および仕上げの品質を確保しながら施工速度を向上させるために、従来、手動プラズマ装置で実施していた切断を自動化・機械化することに着目して自動機械切断機を開発し、実大試験および実橋での施工試験によりその性能を確認した。開発の結果、現場で要求される施工品質を確保した上で、従来に比べ切断・仕上げ時間を7割、工法全体の施工時間を2割低減できた。

当社では現在、橋梁の建設だけでなく保全まで一貫して対応できる日立造船グループの総合力を用いた橋梁トータルソリューションサービスを展開している(図16)。例えば、診断の分野では「画像認識技術を活用した路面のひび割れ検出システム」を阪神高速技術株式会社、株式会社ニチゾウテックと共同で開発中であり、補修設計やデータベース化の分野では株式会社プロモテックが保有する3次元プロダクトモデル技術を活用した設計図の作成や架設計画のCIM化技術を開発中である。また、機械事業本部が保有するGNSS観測技術を橋梁点検・モニタリングに活用する技術の検討なども行っている。

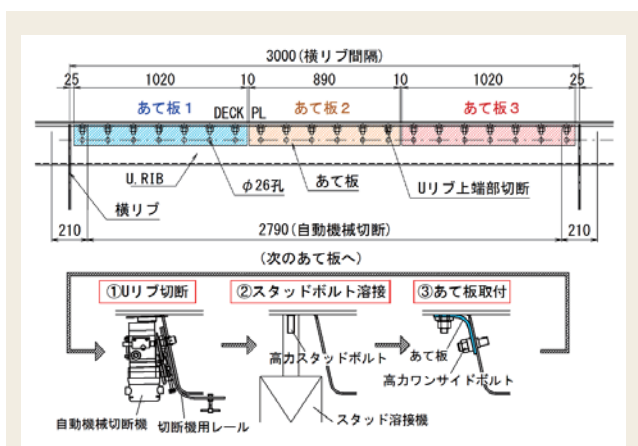


図12 Uリブ切断工法の現場施工手順



図13 現場施工試験状況



図14 自動機械切断機の現場設置状況

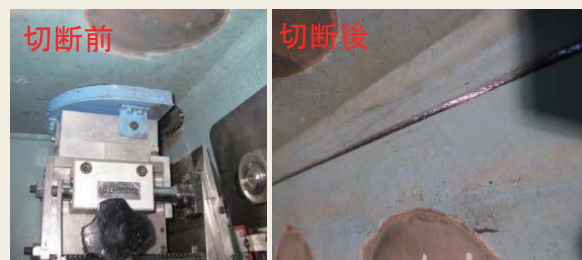


図15 切断部の状況

表2 施工時間の比較

施工時間	従来工法	開発工法	備考
切断・仕上げ時間 (1m当たり)	60分 (1.00)	20分 (0.33)	装置の設置・撤去を含む
1横リブ間(3m) の施工時間	431分 (1.00)	345分 (0.80)	スタッド施工・あて板補強を含む

()内は、従来工法に対する割合を示す。

これからも社会のニーズにこたえられるインフラ技術を開発・提供し、インフラの整備・維持管理に積極的に貢献していきたい。

【謝辞】

本開発は、阪神高速道路株式会社と日立・日橋・NTIJV、および、日立・東骨(現日ファブ)・日橋JVとの共同研究の一環として実施したものです。開発にあたり、ご指導、ご協力いただきました阪神高速道路株式会社大阪管理局保全部、神戸管理部保全工事課の方々をはじめ、関係各位の皆様に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 田畑晶子, 青木康素, 小野秀一, 山口隆司: Uリブ鋼床版のスタッドボルトを用いた補強方法の提案, 土木学会第69回年次学術講演概要集, 2014, I-446, 931-932.
- 2) 阪神高速道路公団, 鋼構造物標準図集, 1991-4.
- 3) 須藤丈, 田畑晶子, 原田潤, 岡村敬, 松下裕明: Uリブ溶接ビードの切断および仕上げの効率的な施工

法の開発, 土木学会第71回年次学術講演概要集, 2016, I-522, 1043-1044.

- 4) 須藤丈, 岡村敬: 鋼床版下面補強工法(ビード切断あて板工法)におけるUリブ切断および仕上げの効率化に関する開発, 第21回土木施工管理技術論文・技術報告, 2017, 133-136.

【文責者連絡先】

Hitz日立造船(株) 社会インフラ事業本部
鉄構・防災ビジネスユニット 橋梁設計部
松下裕明
Tel : 06-6569-0261 Fax : 06-6569-0257
e-mail : matsushita@hitachizosen.co.jp

Hitachi Zosen Corporation
Infrastructure Business Headquarters
Steel Structure & Disaster Prevention
Business Unit
Bridge Design Department
Hiroaki Matsushita
Tel : +81-6-6569-0261 Fax : +81-6-6569-0257
e-mail : matsushita@hitachizosen.co.jp

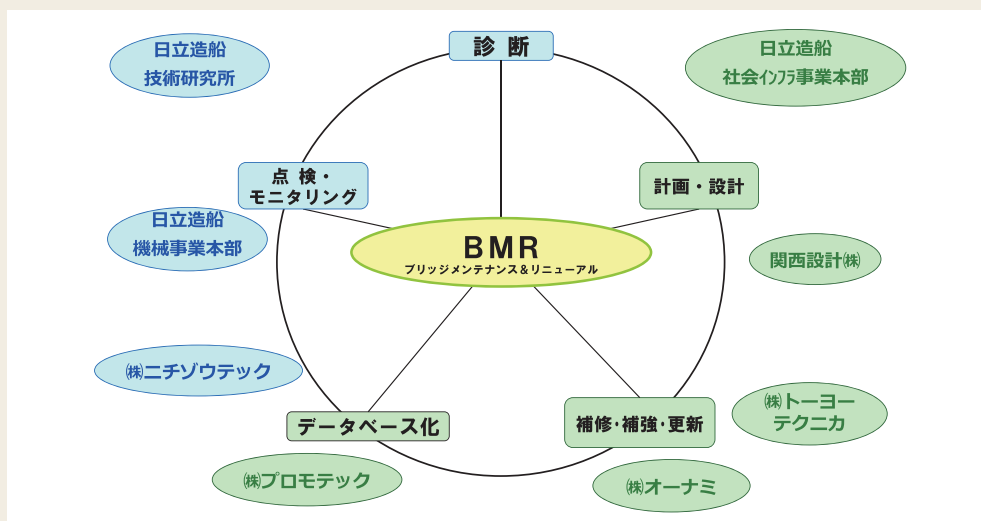


図16 Hitz日立造船グループの橋梁トータルソリューションサービス



松下 裕 明



岡 村 敬



須 藤 丈



松 永 耕 介



岡 田 潤



森 田 寛 之



畑 中 章 秀