

## TB（テンポラリーバイパス）工法による斜張橋の主桁補修について

日本橋梁建設土木施工管理技士会  
株式会社 IHI インフラシステム  
現場代理人

川 端 諭<sup>○</sup>  
Satoshi Kawabata

皆 福 慎 二  
Shinji Kaifuku

牧 靖 彦  
Yasuhiko Maki

### 1. はじめに

#### 工事概要

- (1) 工 事 名：The Binh Bridge Repair and Rehabilitation Project
- (2) 発 注 者：ベトナム社会主義共和国  
ハイフォン人民委員会
- (3) 工事場所：ベトナム社会主義共和国  
ハイフォン市
- (4) 工 期：平成24年5月1日～  
平成24年12月31日

2010年7月17日、ビン橋（図-1）に3隻の貨物船が衝突し、損傷を与えるという事故が発生した。本橋は2005年に、ベトナム第三の都市ハイフォン市に建設された斜張橋である。衝突したこれらの貨物船はハイフォン港近くの造船所に、修理の為に係留されていたもので、この日ベトナムを襲った台風1号の影響で、約1km上流に流され本橋に衝突した（図-2）。デッキより上部（艦橋等）と橋桁が衝突し、主桁とケーブルが大きく損傷した。図-3に損傷箇所を示す。幸いにも床版、横桁、ケーブル定着部の損傷は軽微であったため、落橋するような大事故にまでは至らなかった。本橋はコンクリート床版を有する鋼-コンクリート合成桁として設計された斜張橋で、主桁の応力性状が施工ステップに影響される逐次合成桁となっ



図-1 ビン橋全景



図-2 衝突状況

ている。そのため、施工ステップを再現した解析モデルを作成し、主桁の損傷部については、詳細に施工段階を反映した解析を行い、安全性を確かめながら施工することによって、無事に主桁とケーブルの取替えを行うことが出来た。合成桁斜張橋の主桁とケーブルを取替える工事は、世界的

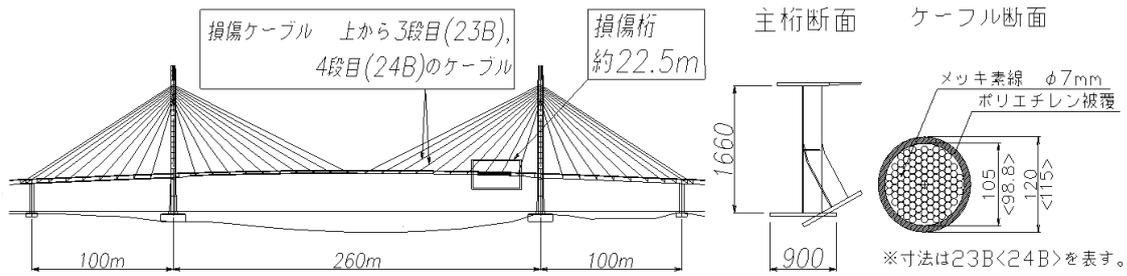


図-3 損傷箇所



図-4 主桁損傷状況



図-5 腹板のき裂

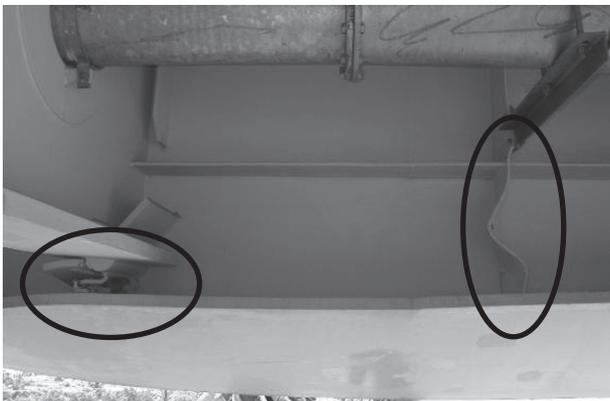


図-6 補剛材の座屈

にも事例が少ない貴重な工事と考えられる。本稿では主桁の取替え工事に焦点をあて報告する。

## 2. 現場における課題・問題点

主桁の下フランジは、船舶が衝突したことにより大きくたわみ、残留変形が残っている状態であった。図-4に主桁損傷状況を示す。腹板は下フランジに引っ張られた形で面外変形した状態であった。ケーブル定着部近傍の腹板は部分的にき裂が生じ、板厚(20mm)程度の板面外へのズレが確認できた(図-5)。主桁内側の補剛材も下フランジに押し上げられた形で座屈していた(図-6)。

主桁取替にあたって、下記の項目が課題として挙げられる。

### i) 補修範囲の決定

損傷し湾曲した主桁は広範囲であり、かつ、それらには斜張橋ケーブルの定着部が含まれるため、慎重に取替え範囲を決定する必要がある。

### ii) 補強部材の計画

損傷を受けた主桁は耐荷力が低下していると考えられるため、主桁取替に先立ち補強部材を追加する必要がある。

### iii) 応力状態の推定

本橋は鋼-コンクリート合成桁として設計された斜張橋で、主桁の応力性状が施工ステップに影響される逐次合成桁である。そこに船舶が衝突したことにより、主桁は非常に複雑な応力状態となっていると考えられるため、補修にあたっては慎重に応力状態を推定する必要がある。

## 3. 対応策と適用結果

### i) 補修範囲の決定

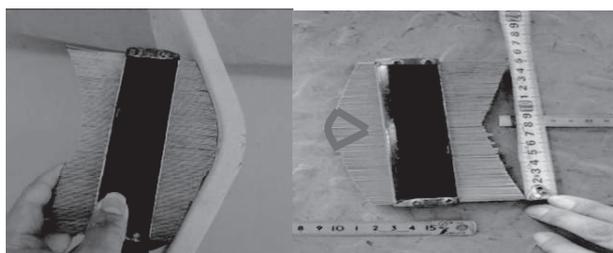
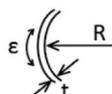


図-7 表面曲率計測の様子

$$\varepsilon = t / (2R) \dots \dots \dots (1)$$

t : 板厚、R : 内側表面での曲率半径

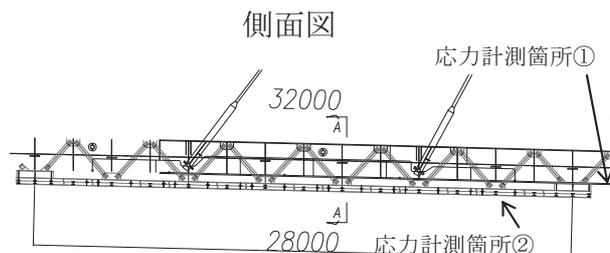


補修範囲の決定にあたって、鋼板のじん性を確保することを目標とした。シャルピー吸収エネルギーが鋼材の要求性能以上であれば問題ないといえる。道路橋示方書Ⅱ鋼橋編1.6にある冷間曲げ半径5 t (ε=10%) を目安とし、腹板表面の曲率を計測し、上記の(1)式によって、板のひずみに換算して評価した補修範囲を決めた(図-7)。最終的に、橋軸方向に約22.5m、桁高の約半分強、下から1050mmの範囲を取替えることとした。

ii) 補強部材の計画

主桁損傷部を部分的に取替えるに当たり、本橋施工時の逐次合成を考慮した解析による断面力を調べ、現状の損傷状態の応力を把握するところから検討を始めた。事故前の応力状態を推定することは可能だが、事故後に損傷部位がどの程度剛性低下しどのような応力再配分がおきているのかを推定するのは困難で、事故後の正確な応力状態の把握は出来なかった。そこで、補強方針としては桁を部分切断してもその部分の断面力を受け持ち、且つ、変動荷重にも対応できるよう健全時の主桁断面剛性以上の断面性能を確保したバイパスとしての補強を追加し、その状態で損傷部分を切断、取替えることとした。

バイパス補強の設計方針としては、損傷を受けた桁の下フランジと腹板が事故後も健全時の応力を負担していたと仮定した時に、損傷部を切断することで開放される応力がバイパス補強材と既設桁の残置部分に再配分されると仮定した。



A-A 断面図

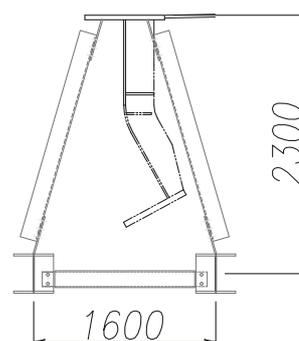


図-8 TBトラス概要(単位:mm)

バイパス補強材は桁下の損傷部分に設置しなければならないため、部材を小さく軽くする必要があった。そこで、H鋼を組み合わせた三角形断面のトラス構造(テンポラリーバイパストラス、以下TBトラス)で補強することとした。図-8にTBトラスの概要を示す。

また、下フランジおよび腹板を切断すると、残置された腹板下側が自由端となり、局部座屈が生じることが懸念された。そのため、損傷部材の切断前に、腹板の自由端になる付近に、水平補剛材を追加し補強した。

主桁取替手順としては、まず足場、次にTBトラスを設置する。その後、基準ラインと桁切断ラインを主桁にマーキングし、主桁の切断を行った。足場やTBトラスには、部材を所定の位置まで引き込めるよう、溝形鋼にローラーを付けたレールを配置した(図-9)。また、撤去時の取回しを考慮し、部材は2m程度に分割した(図-10)。その後、切断形状を正確に計測し、新設の主桁部材製作へ反映した。製作は現場近くにあるIHIの工場にて行い(図-11)、現地へ搬入、開先調整後に溶接を行った(図-12)。

iii) 応力状態の推定



図-9 TBトラス設置状況



図-10 桁切断状況

応力状態の推定にあたっては、まず、3次元立体骨組みモデルによる全体ステップ解析を行った。しかし、上記の解析では、桁の切断形状などの局所的な応力状態を把握できないため、有限要素モデルを作成し、全体ステップ解析で得られた断面力を作用させたFEMを行った。

工事中に実際に発生している応力について、設計計算値との対比が出来るように、主桁上下フランジとTBトラスに一軸ひずみゲージを貼付して、施工段階毎に応力計測を行い、安全を確認した。応力計測は、以下の4ステップで行った。

Step 1 : TBトラス設置時

Step 2 : 損傷桁切断時

Step 3 : 新設桁溶接時

Step 4 : TBトラス撤去時

計測箇所①は主桁下フランジ（切断位置近傍）、計測箇所②はTBトラスの下弦材である（図-8を参照）。

計測結果を図-13に示す。縦軸に作用力、横軸にStepをとり、縦棒は各Stepにおける下フラ



図-11 新設部材工場製作状況



図-12 新設部材の取付け・溶接状況

ンジ、TBトラスの力の変動を示し、折れ線はその累積値を表している。Step 1においてTBトラスは無応力状態であるが、主桁には常時による圧縮力が作用していると考えられる。Step 2、3において、損傷桁切断による応力解放と、新設部材溶接による縮みにより、TBトラスには圧縮、主桁には引張力が作用している。新設された下フランジに最終的に分配された作用力は、溶接による残留応力も含めて約1000kN（応力度として約22N/mm<sup>2</sup>（下フランジ断面900mm×50mm）であったが、許容応力度内であり問題なかった。以上により、TBトラスが主桁に作用していた圧縮力を受け持ち、十分に機能していたことが確認できる。

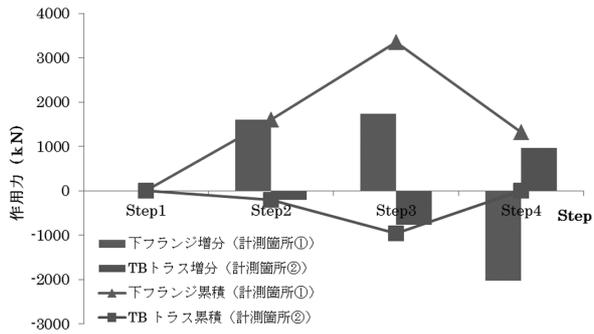


図-13 施工ステップ毎の部材作用力

#### 4. おわりに

今回の補修工事は、TB トラス工法を採用し、桁の切断、取付け、溶接を安全に施工することができた。本工事は ODA の緊急援助対象として行われたもので、ベトナム政府やハイフォン市人民委員会、経済産業省や JICA など、日越政府機関の協力により補修工事が行えたことは、両国の信頼関係維持にも大いに役立ったと考えている。最後に、ベトナム当局、工事関係者、特に、海外での資機材調達の難しさや厳しい暑さの中、現場を安全に遂行された現地工事スタッフの皆様にお礼を申し上げたい。