

## 歴史的土木構造物の維持・保全に関する考察

五十畑弘\*

## A Consideration on Maintenance and Conservation of Historical Civil Engineering Structures

Hiroshi ISOHATA\*

In recent years, old bridges open to public transportation have been designated as national cultural property in Japan in addition to traditional buildings such as temples and shrines. Quite a few local governments have been conserving historical civil engineering structures because of their cultural value. The cultural and historical aspect of engineering structures has been understood as important value as well as the structural function.

In this paper, conservation of historical civil engineering structures in services are researched to consider how cultural and historical value is protected in conjunction with the structural functions.

15 historical civil engineering structures which are still in original services are selected to be researched. 10 domestic structures and 5 structures from overseas are selected to be researched. Most of domestic structures are important cultural property and all of 5 structures from overseas are registered as World Heritage site.

Old Ibigawa River Bridge with five 200ft. spans of wrought iron plat truss is a case of repair for the deterioration due to corrosion. Both Kiyosu-bashi Bridge and Eitai-bashi Bridge over the Sumida River are cases of large scale anti-earthquake strengthening. Nunoboki Dam, the first concrete dam in Japan was repaired and strengthened after the Kobe Earthquake in 1995. Nagahama Ohasi Bridge is a case of repair and modification to extend the girder to cope with widening of the river. Shiraiwa Dam and Hongu Dam are major Sabo dams in Tateyama Sabo system.

Iron Bridge and Pontcysyllte Aqueduct in UK are early iron bridge with long history of maintenance. Forth Bridge in UK is rare case in World Heritage which site is composed of only the bridge structure. Vizcaya Transporter Bridge in Spain is a wrought iron suspension bridge with many repair work including member exchanges. Rideau Canal in Canada is a case of maintaining the canal function including changing all of the timber water gates. By examining and comparing these 15 cases carefully, the way of conservation of historical structure is discussed and considered.

Keywords: Cultural Property, Civil Engineering Structure, Conservation

## 1. 研究の背景および目的

近年、本来の構造物としての機能を継続しつつ、歴史的・文化的価値が認められた土木構造物（以下「供用下

にある歴史的土木構造物」）のストックが増加している。この背景には、国の文化財（建造物）（以下「文化財」）の指定・登録件数や、土木学会選奨土木遺産の登録数の安定的な推移<sup>[1]</sup>にみるように、社会全体の歴史的土木構造物への関心の高まりがある。国土整備を担う行政で

\*日本大学生産工学部環境安全工学科教授

は、歴史的土木構造物や産業遺産を文化財として指定することで地域活性化を図る事例や、ツーリズムへの活用の事例も出てきている<sup>[2]</sup>

供用下にある歴史的土木構造物や産業遺産が文化財としての評価をされる傾向は、世界遺産の登録においても見られる。宗教建築、城郭などの歴史的建築物や、歴史地区、庭園などの伝統的な文化遺産に加えて、灌漑などの農業施設や、交通施設、炭鉱遺跡などの産業施設の登録範囲に、供用下にある歴史的土木構造物が含まれる事例がでてきている<sup>[3]</sup>。

供用下にある歴史的土木構造物や産業遺産が、建築物を主体とする従来からの伝統的な文化財に加わることは、文化財の維持・保全の対応方法の多様化をもたらしている。供用下にある歴史的土木構造物の維持・保全では、安全性や耐久性の確保と同時に、真正性、完全性といった文化財価値を継続することが求められる。このための維持・保全技術の蓄積は、徐々に進んでいるが<sup>[4]</sup>、一方では、対象となる歴史的土木構造物のストックの量的拡大や、通常のインフラ施設の維持・保全を担う体制のなかで実施することは、実務レベルで新たな課題を生んでいる<sup>[5]</sup>。この傾向は、今後、道路、橋、ダムなどのインフラ施設や産業施設全体のストックの拡大の中でさらに進むことが予測される。

国内では、高度経済成長期以後に建設されたインフラストックを中心に、維持・保全などの老朽化対策が大きな課題となっており、道路橋や、その他の土木構造物で

は、長寿命化や耐震補強のための計画的な維持・保全が進められている。これらの戦後に建設されたインフラ施設の土木構造物に対する文化財としての評価はまだ進んでいないが、今後、これらの中から、多くの供用下にある歴史的土木構造物が輩出されるものと思われる<sup>[6]</sup>。これは、維持・保全における設計、施工の各段階において、安全性、耐久性に加えて、文化財としての価値も考慮した維持・保全が、日常的なインフラ施設管理の範囲に含まれることを意味する。

今後、供用下にある歴史的土木構造物や産業遺産などの量的な拡大が予想される状況において、本来の構造物の機能が継続する施設に対し、文化財としての価値に応じた適切な維持・保全を行うために土木技術分野で新たに取り組むべき課題である<sup>[7]</sup>。

本論文では、供用下にある歴史的土木構造物の維持・保全に関する調査を行い、各事例相互の比較をすることで、供用下にある歴史的土木構造物の維持・保全のあり方に関する考察を行う。

## 2. 調査方法

### 2.1 調査対象

本論文において調査の対象とする供用下にある歴史的土木構造物を **Table 1** に示す。国内の調査対象は、重要文化財に指定された土木構造物で、近年重要文化財の現状変更手続きを経て維持、保全が実施された事例、ある

**Table 1 Historical civil engineering structure in service to be researched**

| 事例区分 | No | 名称                  | 構造種別         | 竣工年                   | 供用の程度               | 登録年<br>(重要文化財、世界遺産) | 主要土木構造物                         | 保全履歴                              |
|------|----|---------------------|--------------|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| 国内事例 | 1  | 旧掛斐川橋梁              | 歩道橋<br>(鉄道橋) | 1886<br>(明治 19)       | 橋梁(バイク、歩行者用)として供用継続 | 2008                | 鉄製トラス桁橋5連、橋台2基、橋脚4基、附なし         | 桁端補修、色彩変更(2016)                   |
|      | 2  | 霞橋<br>(旧江ヶ崎跨線橋)     | 道路橋          | 1886<br>(明治 19)       | 新規道路橋として再利用         | —                   | 鉄製トラス桁橋5連、橋台2基、橋脚4基、附なし         | 隅田川橋梁(1896)、その後江ヶ崎跨線橋の200ftトラス再利用 |
|      | 3  | 三角旧港(三角西港)施設埠頭      | 港湾           | 1887<br>(明治 20)       | 埠頭施設とし現存            | 2002                | 排水路、石造橋                         | 排水路側壁はらみ出し、2016 震害軽微              |
|      | 4  | 布引水源池水道施設(五本松堰堤)    | ダム           | 1900<br>(明治 33)       | 貯水池ダムとして供用          | 2006                | 国内初の粗石コンクリートダム                  | 阪神淡路大震災後補修                        |
|      | 5  | 美濃橋                 | 歩道橋<br>(道路橋) | 1916<br>(大正 5)        | 橋梁(歩行者用)として供用継続     | 2003                | 補剛吊橋、コンクリート造アンカーレイジ2基、附なし       | 補剛桁、コンクリート塔補強(計画)                 |
|      | 6  | 横利根閘門               | 閘門           | 1921<br>(大正 10)       | 閘門として稼働             | 2000                | 腹式閘門、大門扉(幅6m×高8m)               | 大規模修復工事(1944)、左岸側壁震害補修(2014)      |
|      | 7  | 永代橋                 | 道路橋          | 1926<br>(大正 15)       | 道路橋として供用継続(路面電車なし)  | 2007                | タイドアーチ橋、RC橋脚2基、RC橋台2基、附なし       | 耐震(ダンパー追加)、アーチリブ補強(ほか)塗装、照明など     |
|      | 8  | 清洲橋                 | 道路橋          | 1928<br>(昭和 3)        | 道路橋として供用継続(路面電車なし)  | 2007                | 吊橋上部工、東南袖高欄附属、RC橋脚2基、RC橋台2基、附なし | 耐震(水平脊追加)、塗装、照明など                 |
|      | 9  | 長浜大橋                | 道路橋          | 1935<br>(昭和 10)       | 道路橋(可動部含む)として供用継続   | 2014                | 跳開式可動橋、5連ポニトラ(全長232m)           | リベットによる右岸側桁の一部延長、高上、橋体補修(2012)    |
|      | 10 | 立山砂防(白岩堰堤、本宮堰堤)     | 砂防堰堤         | 1938/39<br>(昭和 13/14) | 砂防機能継続              | 2009                | 重力式コンクリート造堰堤、上流護岸、導水堤、附なし       | 岩盤安定化工(白岩)、副堤新設(本宮)               |
| 海外事例 | 1  | アイアンブリッジ溪谷(イギリス)    | 歩道橋(道路橋)製鉄遺産 | 1779                  | 橋梁(歩行者用)として供用継続     | 1986                | 铸铁アーチ橋                          | 橋台、アーチ本体、川底中梁                     |
|      | 2  | ボンテカサステ水路橋、運河(イギリス) | 水路橋、運河、堰     | 1805                  | 観光用運河として継続          | 2009                | 铸铁水路橋、堰、運河                      | 1スパン分鋼製水路橋で架替                     |
|      | 3  | フォース鉄道橋(イギリス)       | 鉄道橋          | 1832                  | 観光用運河として継続          | 2007                | カンチレバー鋼トラス橋                     | 塗装、小部材交換                          |
|      | 4  | ビスカヤ橋(スペイン)         | 運搬橋          | 1889                  | 運搬橋として継続            | 2015                | 吊橋形式運搬橋                         | 補剛桁、ケーブル、軌道部                      |
|      | 5  | リドー運河(カナダ)          | 運河、閘門、ダム     | 1893                  | 観光用運河として継続          | 2006                | 運河、ダム、水門                        | ゲート、巻き上げ装置、側壁石積                   |

いは、重要文化財で維持保全が計画をされた土木構造物を中心とする。建設された時期や構造の種類等は、供用下にある歴史的土木構造物全体を代表するように構造種別、年代をバランスさせて10件を選定した。形式別では、橋梁6、堰堤1、ダム、港湾、閘門各1で、建設時期は、明治3件、大正3件、昭和前期は4件である<sup>[8]</sup>

海外の調査対象は、世界遺産に登録された中で、供用下にある土木構造物で、創建当時以後、維持保全が実施されたものとする。調査事例の選定にあたり、世界遺産分野別の区分には、土木構造物という表現はないため、調査対象の選定には、国際記念物遺跡会議（イコモス、ICOMOS; International Council on Monuments and Sites）の分類を参考とした。この分類で、2015年までに登録された土木構造物に該当するものの中から、橋梁2件、水路橋1件、運搬橋1件、運河1件の合計5件の調査対象を選定した。登録年代は、アイアンブリッジ（1986年登録）を除き、いずれも2000年以降である<sup>[9]</sup>。

## 2.2 調査方法

調査方法は、対象の構造物を現地において目視調査を行うとともに、管理者、研究者などの関係者からのヒアリングすることによって、構造物の劣化などの現況と保全状況、当初機能の継続性、建設後の改変状況、周囲との景観的一体性などを把握する。国内の調査対象で、旧揖斐川橋梁、霞橋（旧江ヶ崎跨線橋）、美濃橋、永代橋、清洲橋、および立山砂防については、筆者が保全等で関与した委員会における審議、各種資料からの情報も取り入れることとする。

## 3. 調査結果

### 3.1 国内の歴史的土木構造物

#### 3.1.1 旧揖斐川橋梁

旧揖斐川橋は1886年1月に開業した東海道線の大垣・岐阜区間で、揖斐川を渡る場所に、架設された200ft 錬鉄プラットトラス5連で構成される鉄道橋であった。1908年に複線化工事が行われ、新しい複線トラスがすぐ下流側に架設された。このため、もとの単線仕様の旧揖斐川橋は、鉄道橋としての役割は終わったが、撤去されずにそのまま現位置にとどまり、軌道を撤去してRC床版を設けて、自動車・歩行者用に転用された。今日では2輪車、歩行者専用橋として利用されている（Fig. 1）。

旧揖斐川橋は、1891年に発生した濃尾地震によって、下部工の一部に損傷を受けた。震災後にレンガ製の円形ウェルの橋台とレンガ製の橋脚は補修され、その後も耐震補強の手が加えられている<sup>1)</sup>。近年では、1970年代にレンガ橋脚の躯体上部をコンクリートで外側から巻き

立てる補強がされた（Fig. 2）。上部工については、全体的に腐食が進行しているが、とくに支点付近の下弦材は腐食が著しい。また、斜材の一部が錬鉄特有の層状の剥離が見られ、剥離の隙間に浸入した水によって腐食が進んでいる（Fig. 3）。部材の一部に自動車の衝突を原因とする変形も見られる。

旧揖斐川橋の保全計画は、3か年にわたり管理者の大垣市が設置した委員会（委員長：筆者）で審議され、2016年より補修工事が開始された。支点付近の腐食箇所について、部材交換は施工上から困難であるので、現在の腐食はこれ以上の進行を防ぐような防食措置を講じ、トラフ形の下弦材のウェブを外側から補剛材を追加する補強方法をとる。部材追加にあたっては、溶接は避けて、ボルト接合とした。

層状の剥離を起こしている斜材については、部材応力は許容応力度に対して余裕があるため、隙間の錆を撤去した後、金属パテを充填する。変形している部材につい



Fig. 1 Old Ibigawa Bridge (photo; August 2014)  
Corrosion of lower chords, especially parts near bearing are progressing.



Fig. 2 Pier of Old Ibigawa Bridge  
Upper part of brick pier is covered by reinforced concrete to strengthen the body against earthquake force



**Fig. 3 Diagonal member of Old Ibigawa Bridge**  
Wrought iron diagonal member is peeled layer and corrosion is progressing in the groove

ては、原則的には塑性変形をともなう形状の回復はせず、変形のままとする錬鉄のトラスの塗装は、オリジナルの塗膜を部分的に残し、その他はブラスト処理 (Sa2 1/2) の上、ジンクリッチプライマー、エポキシ、ウレタンの塗装を施す。

橋脚は、振動法（躯体に振動を与えその応答で構造的な欠陥を把握）によって大まかな健全度を調べた結果、緊急に補強を行う必要性はないことが判明した。しかし、1970年代の補強工事で、橋脚躯体がコンクリートで覆われ、旧掛斐川橋の特徴であるレンガ造が外観上からはみることができない状況は歴史的橋梁の保全としては好ましくない。将来的には、躯体外面ではなく内部から補強する方法で同等の耐震性能を保持し、表面のコンクリート被覆を撤去することとしたが、具体的補強法は未定である。

### 3.1.2 霞橋（旧江ヶ崎跨線橋）

旧橋の江ヶ崎跨線橋は1896（明治29）年に架設された200ftプラットトラス2連を含む橋であったが、2009年11月に撤去された（Fig.4, 5）。

旧橋のプラットトラス2連は複線の鋼製鉄道橋としては初期のもので、イギリスで製作された桁を輸入して1896年に東京の常磐線（当時土浦線）の隅田川橋梁として架設された。機関車の荷重増加にともなって1928年に撤去され横浜に移設されて道路橋として2009年まで供用された<sup>2)</sup>。この事例は、旧橋のトラス2連の部材を用いて、他の場所に道路橋を新設することで土木遺産としての旧橋の価値の継承を意図したものである。

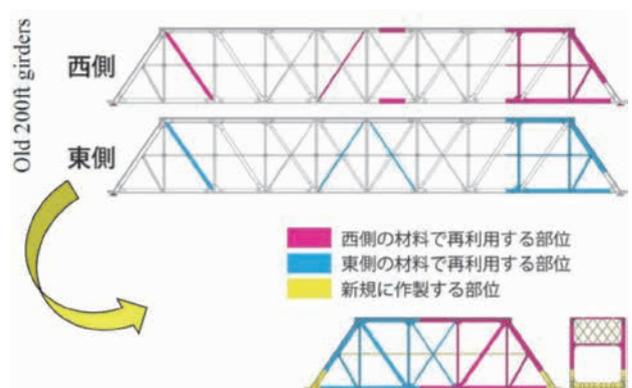


**Fig. 4 Old Egasaki Over Bridge with 200ft Plat Truss**  
(Photo June 2008)



**Fig. 5 Dismantling of the 200ft plat truss girders**  
(Photo September 2009)

スパンは、再生して新たに架設をする場所の条件より、30mと設定された。この条件のもと、200ft（約60m）トラス2連から、30m 1連の短縮したトラス橋として再生する計画を策定した。再生部材の選定では、可能な限り既設部材を使用することを基本としたが、腐食の状況、撤去時の切断分割状況、および、旧橋の歴史的鋼橋の価値などを勘案して決定した（Fig. 6）。



**Fig. 6 Old 200ft plat truss and rehabilitated 30m truss**  
Relatively sound parts of 200ft truss members were selected to reuse for new 30m truss

コッターピンを有する斜材の格点部やラチス構造の対傾構などはこの対象として極力残すように配慮することとした。しかし、再生後には道路橋としての機能を保証するために、支点部、トラス格点の一部、床版などには、新規材料に取り替えることとした。損傷部分を修復した

部材を立体仮組 (Fig. 7) で最終確認を行い、架設が行われて2013年3月に新たな道路橋として開通した (Fig. 8)

継手は初期の鋼材であることから溶接は避け、ボルト接合とした。部材同士の接合部分はリベットを撤去して全て高力ボルトに置き換え摩擦接合とした。部分的にリベットが欠損している継手では、支圧接合型の高力ボルトを使用して、継手全体は支圧接合とした。

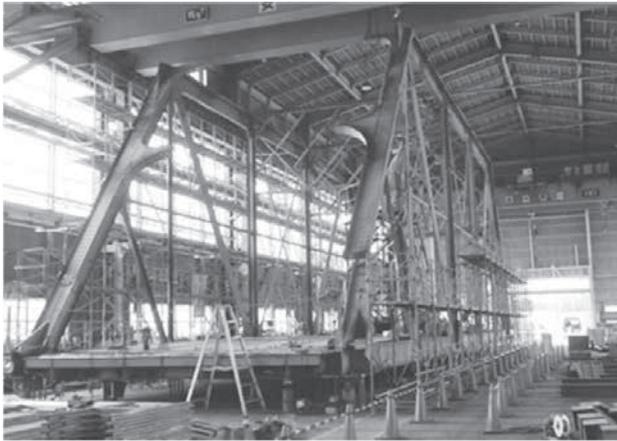


Fig. 7 Trial assembling at fabrication work (photo; November 2012)



Fig. 8 Opening ceremony (photo; March 2013)

### 3.1.3 三角旧港 (三角西港) 施設

三角西 (旧) 港は、熊本県の宇土半島の先端に位置する。3カ年の建設工事をへて1887 (明治20) 年に開港した。国の特別輸出港の指定を受けたが、港湾施設としてその役割を果たしたのはわずか10年足らずであった。このため港湾施設は、その後あまり手を加えられることなしに今日まで残されることとなった。

三角西 (旧) 港は、港の背後の山を切り開き、その前面の海を埋め立てて建設された。延長760mの埠頭、後背地の道路、区画路、山沿いの環濠と埠頭に直交する排水路、その上に架かる石橋などが主な施設である。

三角西 (旧) 港の築港工事の主要部分は、港湾地区の埋め立て造成とともに、岸壁などの施設の石積み・石張

り工事であった。お雇い外国人のオランダ人技術者のムルデルによる近代技術によって設計された港湾施設に、熊本の伝統的な石工の技術が使われた<sup>3)</sup>。

埠頭の張石や岸壁突端の縁石、排水路、橋の材料は、対岸から切り出された安山岩が使われた。岸壁の石張りには長さ60cm、重さ400kg程度の石材が使われたが、岸壁突端の縁石には長さが1.8m、重さ2トンを超えるものもある (Fig. 9)。



Fig. 9 Masonry pier of Misumi West (old) Port (photo; June 2015)

三角西 (旧) 港の特徴は石造施設であるが全体的に劣化は少ない。ただ、埠頭に直交する排水路の側壁の一部に、隣接する樹木の成長ではらみだしがみられ、石の脱落箇所も認められる。3か所あったとされる木製のポンツーンは、係留の跡が認められるが本体は現存せず、復元もない。周辺施設、説明板など除き、施設本体に対する維持・保全是少ない。

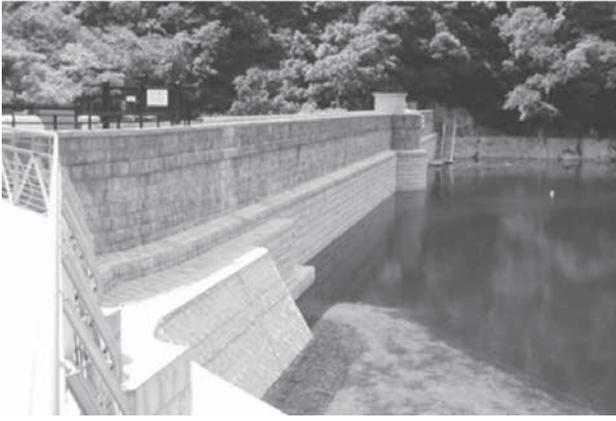
### 3.1.4 布引水源地水道施設 (五本松堰堤)

布引水源地水道施設は1900 (明治33) 年に竣工したわが国で最初の重力式コンクリート堰堤で、堤長110.3m、堤高33.3mで高欄が付いている。現在も供用中の施設であり2006年に重要文化財に指定された。

原設計はイギリス人技術者のバルトンであるが、実施設計は佐野藤次郎が原設計に変更が加え、粗石コンクリートダム構造として建設した<sup>4)</sup>。

阪神淡路大震災で一部に損傷を受けて、1995年~97年に災害復旧工事が行われた。復旧工事では堤体にグラウトを注入し、基礎岩盤にはカーテングラウトを施工した。2001年~5年にはダムの水を完全に抜いて全面的な補修、耐震補強工事が行われた。

耐震補強は、設計水平震度0.15で堤体上流の端部で引張応力が発生することから補強コンクリートが施工された。補強コンクリートの表面には白御影石が貼られている (Fig. 10)。災害復旧工事、および耐震補強工事の概要は、ブロンズ板に刻まれて現地に設置されている。



**Fig.10 Nunobiki dam (photo; August 2006)**

All parts of dam wall were grouted to repair after the earthquake and the upstream side of dam wall was covered by concrete to strengthen against earthquake force based on new standard

### 3.1.5 美濃橋

美濃橋は岐阜県の長良川に1916年に架設された橋長113.0m、幅員3.1mの単スパン鋼製補剛吊橋である。川の両側にあるコンクリート造の塔で支持されたケーブルは、その背後にあるアンカレッジで定着され (Fig.11, 12)、ハンガーを介してトラスで補剛された橋桁を吊っ



**Fig.11 Minobashi Bridge of 113.0m span with non-reinforced concrete towers (photo; August 2014)**



**Fig.12 Anchorage of Minobashi Bridge**

ている。美濃橋は、わが国に現存する最古の近代吊橋として、橋梁建設史上価値がある。建設当時わが国で最大級の支間を実現し、大正期を代表する吊橋である。

詳細点検によって、鋼繰り線の7本のストランドが使用されたケーブルは全体に腐食が進んでいるが、特にアンカレッジ付近で腐食が大きく、この箇所は補修が必要であることが分かった。補剛トラス桁も腐食が進んでおり、部分的には部材強度がほとんど期待できない程度となっている。コンクリート塔は、現在使われていない粗石コンクリートで、耐震検討により、曲げモーメント、せん断とも抵抗力が不十分であることが分かった (Fig.13)。



**Fig.13 Concrete tower of Minobashi Bridge  
Towers are to be covered by carbon fiber sheet to strengthen**

ケーブルについては腐食箇所をそのままとして、他のケーブルを追加することで、腐食箇所からアンカレッジまでの力をバイパスさせる方法とした<sup>5)</sup>。

補剛トラスについては、取替え箇所を最小限とするように、継ぎ当て、部材交換で補修をする (Fig.14)。塔については、基部を中心に応力超過となる部分を中心に塔の下半分の高さまでカーボンファイバーのシートを巻き付ける補強とした。



**Fig.14 Truss girders supported by main cables through hunger cables**

### 3.1.6 横利根閘門

横利根閘門は、霞ヶ浦と利根川をつなぐ横利根運河が千葉県佐原付近で利根川に注ぐ場所に大正10年に建設された（Fig.15）。霞ヶ浦や北浦などから利根川への水運ルートを確認する横利根運河が開削されると、水運の利便性は向上したが、利根川の水位が増すと霞ヶ浦へ逆流が発生して付近一帯に洪水の被害をもたらした。水運の利便性を確保しつつ、同時に逆流を防ぐために設けられたのが横利根閘門である。複式閘門と呼ばれる横利根閘門は、鋼製の門扉が利根川側からの水圧を受ける大門扉と、その逆に横利根川側の水圧を受ける小門扉が別々となっている。大門扉は、幅6m、高さ8mの扉戸で、観音開きのゲートである。1994年に大規模な修復工事が行われ、特に腐食の大きな水面下の部分の部材を中心に、建設した時と同じリベット工法で取り換えられた。取替えた旧門扉部分は、閘門の横に展示された。同年に指定された重要文化財の範囲は、横利根閘門の構成は、閘室（両岸防舷材を含む）、閘頭部（門扉4枚、ラック棒4本、給排水扉2枚、給排水扉開閉装置1基）2か所、閘門外擁壁4か所よりなる。附としては修復で取り外した旧門扉部分2点、旧排水扉巻揚機械2基がある。

大規模修復の後、2011年の東日本大震災では、左岸側の地盤が沈下した。これによって横利根川側の閘扉室の左岸側壁（煉瓦壁井筒）に亀裂が発生し、2014年にセメント系材料をクラックに注入する補修が実施された<sup>6)</sup>。



Fig.15 Water gates of Yokotone Lock (photo; July 2011)

### 3.1.7 永代橋、清洲橋

清洲橋は、1928年3月に竣工した橋長186.7m、中央支間長91.4m、幅員25.9mのチェーンの鋼3径間自碇式吊橋である（Fig.16）。

永代橋は、1924年12月に起工、1926年12月に竣工した。橋長184.7m、中央支間長100.6m、幅員25.6mの鋼3径間カンチレバー式タイドアーチ橋であり、ソリッドリブのアーチと連続して桁高が漸減するカンチレバーが両側に張出し、側スパンの途中で吊桁を受ける（Fig.17）。



Fig.16 Kiyosu-basi Bridge during anti-earthquake strengthening work (photo; July 2015)



Fig.17 Eitai-basi Bridge during anti-earthquake strengthening work (photo; July 2015)

1995年の阪神淡路大震災後に改訂された新耐震設計基準では、構造物の応答が弾性限界を超えない耐震性能を備えるレベル1と、非常に強い地震動を想定し、これに対して致命的な崩壊に至らない耐震性能を備えるレベル2の両方が満足すべき耐震性能の条件とされた。

新基準で耐震性能を照査した結果、清洲橋、永代橋は、レベル1に対しては、両橋ともに応力超過は認められなかったが、レベル2については、多くの箇所でも応力超過が発生するという評価結果が得られた<sup>[10]</sup>。

清洲橋については、橋軸方向の地震水平力に対して、補剛桁、塔直下の橋脚上の支承、および橋台上の支承で応力が超過する結果が示された。一方、永代橋については、橋門構、上横構の一部、アーチリブ、橋脚上の支承などで応力が超過することが示された。清洲橋、永代橋ともに地震水平力による応力超過の対策としては、地震荷重を集中させずにできるだけ分散させる方法がとられた。

清洲橋については、上部構造と橋台の間にダンパーを設置する方法がとられた。ダンパーの設置によって、上部構造に作用する地震時慣性力を、元々地震による水平荷重を分担していない橋台にも負担させることとした。追加したダンパーの設計仕様は次のとおりとした。

- ・設計水平震度を1Gとする（下部構造の若干の塑性化を許容）
- ・ダンパーの慣性力負担率を30%とする（類似事例の過去の実績から）
- ・ダンパーに付与する減衰力は、橋台あたり10,000kNとする（ $\approx 70,000 \times 1G \times 0.3 \times 1/2$ ）

この条件下で各部の地震時応力のバランスがとれるダンパーの適切な減衰性能を求めると同時に、施工性や景観性への影響の点からのダンパーの形状寸法も考慮した。

ダンパーの減衰性能は、基礎の無筋部にひび割れが生じないことを目安に、橋台あたり12,000kNとし、ダンパーの設置位置はできるだけ均等に力が伝わることや、橋体への取り付けのための空間的制約、景観上の影響などを勘案して、1橋台当たり1,500kNのダンパーを8本を設置した（Fig.18）。なお、ダンパー本体とダンパー補強材は、今後の維持保全を考慮して、本体と同等の塗装仕様とした。

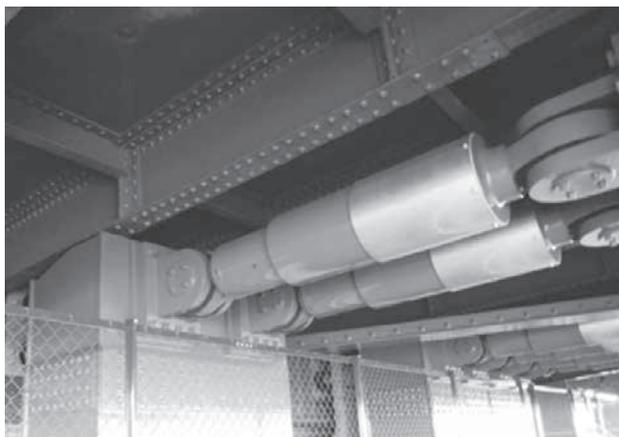


Fig.18 Installed STU (Shock Transfer Unit) for Kiyosubashi Bridge (photo; July 2015)

一方、永代橋については、橋軸方向に地震を受けると、上部構造慣性力はすべて中間橋脚に集中する（Fig.19）。レベル2では、固定中間橋脚の支承が損傷し、橋脚も損傷し残留変位も大きくことが予測された。

対策としては、清洲橋と同様のダンパー設置による方法や免震支承によって作用力を低下させる方法がある。しかし、採用には問題があることが分かった。

両橋台にダンパーを設ける方法（Fig.20）は、ダンパー効果を得るためには、側径間のカンチレバーと吊桁の間のヒンジをなくして連続化する必要がある。これは橋の永代橋の特徴となっている構造の変更となり不可能である。また、免震支承により橋脚、橋台全体で地震荷重を負担する（Fig.21）ためには、既存の支承をすべて撤去することとなり、歴史的橋梁の対策として、既存部材を残す条件を満たさないことになる。



Fig.19 Original condition of bearings before strengthening work



Fig.20 Change of bearing conditions  
Hinges at side spans are fixed and STU are installed at abutments



Fig.21 Isolation bearings at piers and abutments  
All bearings at abutments and piers are changed to isolation bearings

ダンパーや免震支承以外の方法で、中間橋脚（固定支承）への地震荷重の集中を避け、もう一方の中間橋脚（可動）にも地震荷重を負担させ、上部構造全体で地震エネルギーを吸収するために、2つの中間支点を固定化する方法を採用することとした<sup>8)</sup>。

具体的には、両方の中間橋脚の既存支承の横に、水平反力のみを負担する支承を追加する。これによって、従来可動支点を支えていた橋脚の支点が水平方向に固定化され、当初より固定支点を支えてきた橋脚と同等の水平力を負担させることになる。これは、永代橋の基礎構造は、もともと2橋脚とも同一形状であることから、耐力的な問題はない。

この方法の選択は、既設部材の撤去、交換はなく、新規部材の追加のみであることから、もとに戻すことが可能な可逆性のある補強方法であることによる。可逆性を残すことによって、将来的に再度補強や補修がされる場合、その時点の技術によって現在とは異なる新たな代替措置など、その時代の知識や技術を駆使した対応の可能性がある。

一方、永代橋の既存支承は、重要文化財としての重要部位として位置付けられ、桁下の景観に重要な役割を果たしている。永代橋は、左右の補剛桁を結ぶ横桁が非常にリズムカルに並んでいるおり、桁下の支承および、その付近は、本橋の橋梁景観の特徴を創り出している（Fig.22）。撤去はされなくとも、景観的には、新規に隣接して追加される水平支承の影響を受けることになる。このため、新たに追加する水平支承がこの桁下景観にネガティブな影響を与えることのないように新設水平支承のデザインの検討を行った（Fig.23）。



Fig.22 Fixed bearings (before strengthening work of Eitaibashi Bridge) (photo; April 2014)

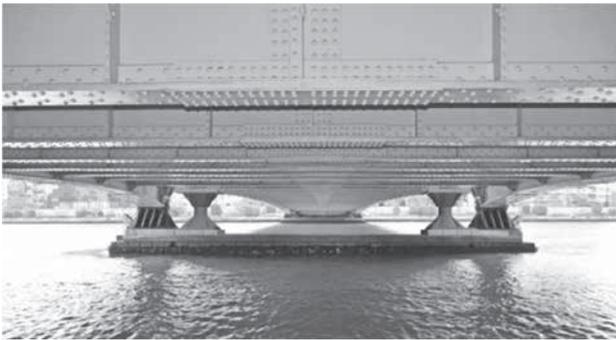


Fig.23 Additional new bearings against horizontal force at the side of existing bearings (photo; November 2014)

### 3.1.8 長浜大橋

長浜大橋は愛媛県西部の肱川の河口部に架かるバスケット式鉄鋼可動橋と左右の五連の鋼製ポニーワレントラス桁で全長 232m の鋼橋である。長浜大橋は、航路部にあたる河川中央のスペンが、跳ね上がる方式である。増田淳事務所の設計によるもので 2012 年に重要文化財に指定された。戦前の可動橋では、勝関橋が有名であるが、すでに開閉しなくなってから久しい。長浜大橋は、この勝関橋より 5 年前の昭和 10 (1935) 年 8 月に完成し、今でも開閉する現役で、自動車交通に供用される現存する最古の道路可動橋である。

長浜大橋は、この希少性に加え、技術史的な意義として、ブロック架設工法の初期の例であることがある。

当時、架設地点は船舶の往来が多く、河口部は港の様相を呈していた。このため架設工法の選定では、河川交通への影響を少なくするブロック工法が採用された。1970 年代後半以降、本州四国連絡橋や、アクアラインなどの多くの海上橋の架設で、海上輸送して一気に架設する工法の先駆けのひとつがこの長浜大橋である。

2012 年には、長浜大橋の桁下高、径間長が河川管理施設等構造令の基準に照らし既存不適格であることから、長浜地区 (右岸)、沖浦地区 (左岸) の堤防整備と合わせてリベット工法による右岸側の桁の一部延長、および嵩上げを行い、同時に、橋体の補修工事が実施された<sup>9)</sup> (Fig.24)。



Fig.24 Nagahama Ohashi Bridge (photo; January 2015)

Truss graders were extended and raised to cope with widening the river

現況は補修されたことで、目立つ劣化はないが、補修前からの腐食箇所の錆のケレンが出来ないまま腐食が進展している箇所や、部材の変形も一部見られる。

### 3.1.9 立山砂防 (白岩堰堤, 本宮堰堤)

白岩堰堤は、重力式コンクリート造の堰堤で、1939 (昭和 14) 年に竣工し、2009 年に重要文化財に指定された。右岸側の部分が本堰堤と副堰堤で、緑に覆われた左岸側は方格枠による護岸、盛土工で、全体としては複合構造の堰堤である。堰堤高さは 63m で、副堤まで含めた全体の落差は 100m を越えて砂防堰堤としては国内有数の大規模堰堤である。

白岩堰堤は、1939 (昭和 14) 年の竣工以来、数多くの保全の手が加えられてきた。竣工 12 年目の 1951 年には、本堤の水通部の天端石の取替えが行われ、第 2 副堤の補強とともに第 3、第 5 副堤が追加され、さらに左岸側の盛土部の導流堤が新たに追加されている。この後もたびたび発生した洪水による転石や土石流で損傷によって、石材の取替えや護岸補修、擁壁の嵩上げ、水叩きの補強などの手が加えられてきた<sup>10)</sup>。

近年の補強としては、堤体本体ではないが、本堤付近の岩盤の安定化工事がある。白岩堰堤の右岸側は大規模土石流が衝突してできた若い岩盤である。この岩盤で表層の一部に崩壊が発生したことから、1999 年から 6 年間にわたり安定化のための工事が行われた。岩盤内側に掘削した 2 本のトンネル内部から合計 900 本のアンカーとケーブルボルトが岩盤斜面の表面近くまで施工され、不安定な岩盤を抑え込んでいる (Fig.25, 26)。

立山砂防全体で白岩堰堤が源頭部で土砂生産抑止の役割を持つのに対して、中流域で流下土砂を貯留する役割をもつのが登録文化財の本宮堰堤である (Fig.27)。

本宮堰堤は源頭部の白岩堰堤に対し下流側に位置する。堰堤は川のくびれた場所に位置し、上流側は幅が 500m もあり貯砂量は日本最大の 500 万  $m^3$  である

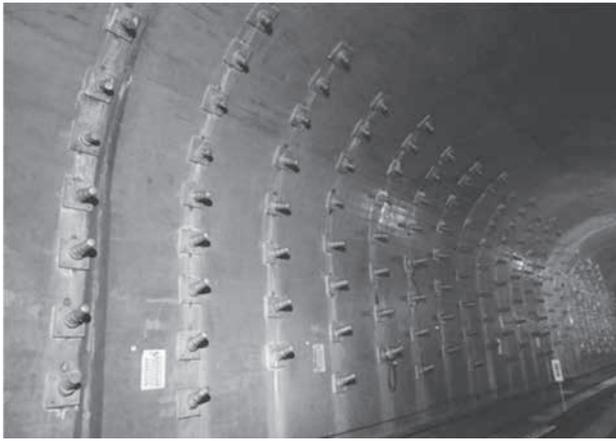


Fig.25 Inside of the tunnel for anchor cables to stabilize the bedrock (photo; July 2015)  
900 cables were installed to stabilize the bedrock

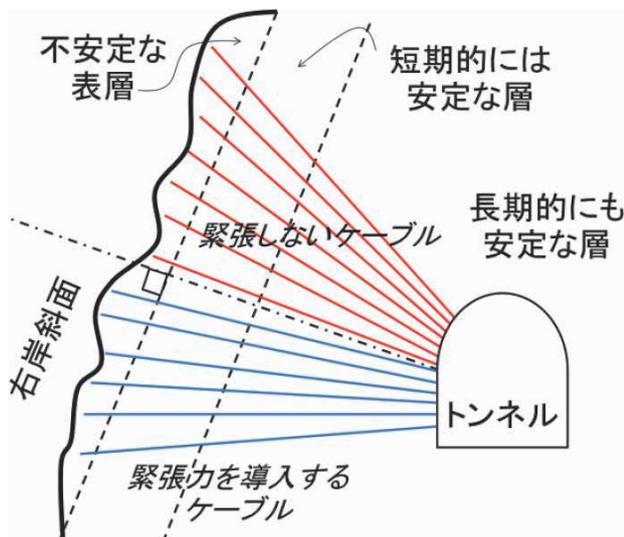


Fig.26 Image of stabilization to bedrock by anchor cables  
(Illustrated by author with reference to explanation panel at site)

(Fig.28)。堰堤は、長さ107m、高さ22mで、石積みされた外壁の中にコンクリートを打設した粗石コンクリート構造の重力式である。1935（昭和10）年に着工され、ケーブルクレーンのコンクリート打設設備等の機械化施工によってわずか2年の工期で昭和12年に完工した<sup>11)</sup>。本宮堰堤も度重なる洪水、転石による修復の連続で、当初の本堤に近接した第一副堤は破壊され、少し下流側に再建されているほか、補修が継続されている。

### 3.2. 海外の歴史的土木構造物保全の事例

#### 3.2.1 アイアンブリッジ

アイアンブリッジ渓谷は、世界遺産の中で、比較的初期（1986）に登録された歴史的土木構造物である。指定範囲は、アイアンブリッジ（Fig.29）を含み延長5kmの石炭、石灰等の鉱物資源を産するセバーン渓谷および、2つの支川の渓谷も含む一帯である。

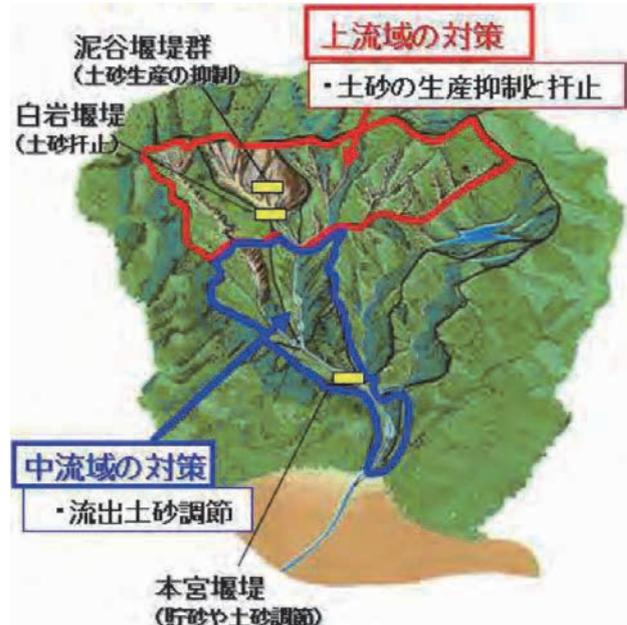


Fig.27 Tateyama Sabo System  
(Source: Efforts to Register the World heritage of Tateyama Sabo, R. Ishii, 2014)  
The Shiraiwai dam has a role of suppressing earth and sand production at the source head, while the Hongu dam has a role of storing the falling sediment in the middle region



Fig.28 Main dam and reconstructed No.1 sub dam (photo; October 2013)  
Original No.1 sub dam located just downstream of main dam was destroyed by rolling rocks and new sub dam was reconstructed few meter downstream of the original position

アイアンブリッジはスパン30.63m（100ft. 6in）で、トーマス・ブリチャード（1723-1777）によって設計され、製鉄業者エイブラハム・ダービーⅢ（1750-1789）によって施工された。当初は鉄や石炭・石灰石を川の対岸へ輸送するために使用されていた。現在は歩行者の通行用に利用されている。

アイアンブリッジを含む世界遺産の管理は、アイアンブリッジ渓谷博物館、2つの地元行政機関の他、土地、施設所有者と多岐にわたる。実質的な管理の運営グループが設置されてマネジメント計画<sup>[11]</sup>に沿って維持保全、



Fig.29 The Iron Bridge from left bank (photo; November 2014)

利活用運営がされている。

この計画では、アイアンブリッジの構造よりも一般者が接する産業遺産が点在する周囲のまち並みにかかわる部分が主体を占め、アイアンブリッジの構造本体の維持保全は、特殊な専門的な部分として扱われている。

これまでのアイアンブリッジ本体の保全については、1784年に最初のクラックが報告されて以来、大規模な補修を含めた保全が継続的に行われている (Table 2)。

アイアンブリッジのある渓谷一帯は、石炭層の不安定な地盤で、最初の対策は、1783年7月に橋の下流左岸

Table 2 Variation and maintenance history of Iron Bridge

| 年月        | 変状, 保全の履歴                     |
|-----------|-------------------------------|
| 1783年7月   | 下流左岸側に長さ30mの護岸を新設             |
| 1784年12月  | 右岸側の橋台にクラックが発生                |
| 1787年~88年 | 高欄の塗装塗り替え                     |
| 1791~92年  | アーチリブに横梁を追加して補強               |
| 1792年12月  | 右岸側橋台の補強                      |
| 1795年2月   | 洪水で水没 (他の橋は流失)                |
| 1801年     | 橋台移動でアーチの放射部材が破断              |
| 1803年     | 橋台の背後の壁と背面土を撤去され木製トレスルで支持に変更  |
| 1823年     | 木製トレスルを鑄鉄アーチに架け替え             |
| 1845年     | アプローチのアーチの補修                  |
| 1879年     | アプローチのアーチの補修                  |
| 1843年     | ガス管を添架 (左岸側から右岸側へ供給)          |
| 1900年代    | 橋台間の移動による歪対策として錬鉄ブレース材の追加, 補強 |
| 1911年     | アプローチのアーチの補修                  |
| 1934年     | 国の記念物に指定され車両の通行止め             |
| 1950年     | サロップ郡に移管 橋台の移動継続              |
| 1969年     | コンサルタントの詳細点検実施, 補修工法を提示       |
| 1972年~75年 | 橋台軽量化, 橋台間地中梁, 橋台内RC隔壁新設      |
| 1980年     | 全面足場による塗装工事                   |
| 1986年     | 世界遺産指定                        |
| 1999年     | 詳細調査 (補修, 塗装計画および考古学的調査)      |

(Note: Table 2 is compiled by author based on reference 12 and 13)

側に長さ30mの護岸を新設して北岸の滑り込みを防止するものであった。これ以後200年以上に亘り変状の発生とそれに対する保全が延々と行われてきた<sup>12),13)</sup>。現状のアイアンブリッジに残る数々の補修, 補強, 変状から過去の保全の状況が克明に読み取ることが可能である。アイアンブリッジ本体の保全については、鑄鉄部材を中心に変形, 腐食, 破断といった明白な劣化の傾向が見られる (Fig.30-32)

### 3.2.2 ポンテカサステ水路橋

1805年に開通したポンテカサステ水路橋と運河は、2014年時点では、年間1万艘の観光用のボートが航行し、25,000人の歩行者が運河の側道を渡る供用下にある土木施設である。世界遺産の指定範囲は、全長18kmの運河と水路橋である。設計はトーマス・テルフォード (1757-1834) による。

水路橋は、運河が渓谷を越えるために建設されたもの

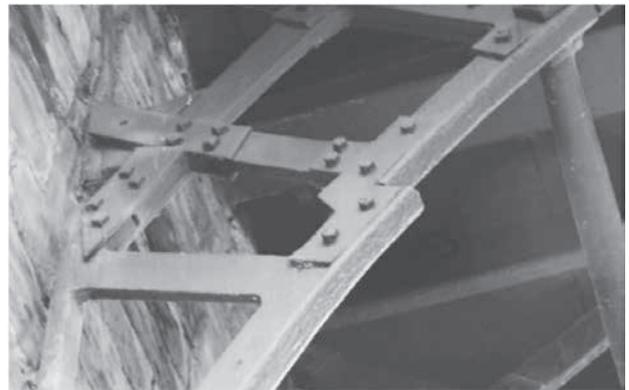


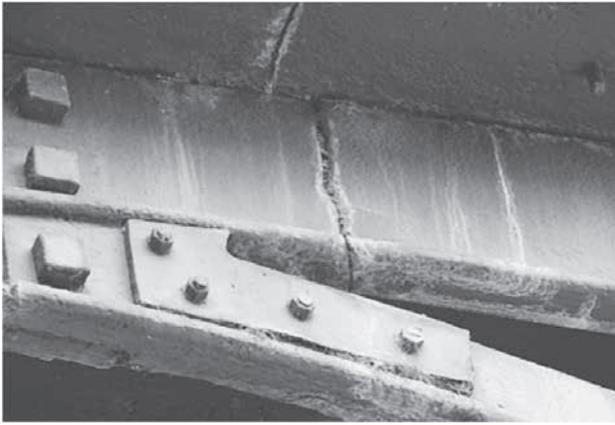
Fig.30 Misalignment of connection of arch rib at approach span of right bank (photo; November 2014)

Misalignment caused by land slide was spliced without adjusting



Fig.31 Surface of iron member near bearing of arch at left bank (November 2014)

Members have been seriously deformed by corrosion. It seemed that the poor water handling near the arch fulcrum has promoted member erosion for many years.



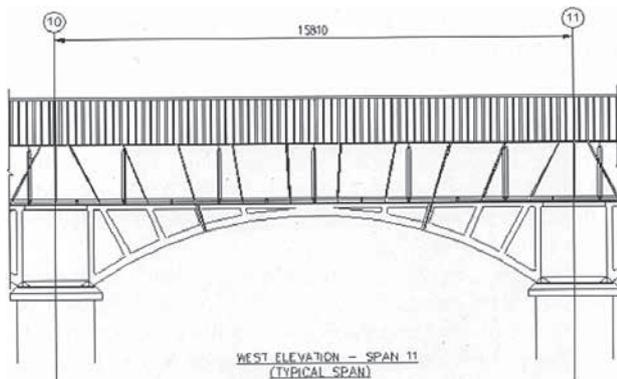
**Fig.32 Crack of longitudinal member near span center (photo; June 2015)**

Since corrosion is observed inside of the crack groove, many years have passed after the crack had occurred. Similar cracks can be found in other part of the bridge.

で、両側の2基の橋台と18基の石造橋脚がスパン15.81mの19連のアーチを支え、その上に幅3.4m、高さ1.6mのトラフ型の水路が載った構造 (Fig.33) で全長307mである。アーチ、トラフとも鑄鉄のパネルのセグメントで構成され楔、ボルトで連結されている。1スパン分あたりのトラフは、11個のセグメントが連結されている。上げ越しをしてパネルをボルト、楔で結合して組立て、桁の自重、水の重量によってセグメント相互を圧着する石造アーチの技術を応用した工夫がされている。

ポンテカサステ水路橋の大規模補修は、1975年に発見された鑄鉄アーチの破断の補修である。補修方法は、鑄鉄アーチ全体を新規の鋼アーチへの取替であった<sup>14)</sup>。これ以外の箇所では、水路の脇を通る幅1.2mのトウパス (歩道) を除いてアーチ、トラフおよび手摺までも含めほとんどが建設当初のものが使われている。

1999年から2000年にかけて、1スパン分を対象に、一部のトラフの解体が試みられ、継手のシール材、ボルトなどの調査とともに、ブラスト処理、機械ケレンで下



**Fig.33 Main span of Pont Cysyllte Aqueduct**  
Sources: Reference 14) p.17, Figure 3)  
An arch rib is composed of 3 parts and a girder is 11 divided trough girder

地処理の後、再塗装された。200周年前の2003から2004年には全面的な改修工事が行われた。小規模の補修については、水路トラフの上フランジ、継手部など多くの箇所で見視確認できる (Fig.34)。



**Fig.34 Upper part of web plate was repaired by patching work (photo; June 2015)**

Similar repairing works can be found all over the girders

### 3.2.3 フォース鉄道橋

フォース鉄道橋は、全長2,528.7mでカンチレバートラスのスパンは521.3mで、建設当時世界最長であった。1880年代は錬鉄から鋼への移行期で、機械、造船などの他の構造分野に対して保守的であった橋梁分野で最初に本格的に鋼を使用したのがこのフォース鉄道橋であった (Fig.35)。鋼材は51,000t、リベットは650万本が使用された。



**Fig.35 Forth Railway Bridge**  
Before starting maintenance project (photo; April 1993)

管理者のネットワークレイル (Network Rail Co.) が1999年から開始した保全プロジェクトでは、供用下にある橋梁の安全性維持するための維持保全が文化財としての価値を意識して進められてきた<sup>17)</sup>。創建後に取り付けられた塗装作業用の金物類の一部は撤去され元に戻

された。プレースの綾材などで腐食の進んだアングル等の小断面の部材やリベットも変状のあるものは撤去され新規の丸頭のボルト、キャップ付きのボルト等に交換された。塗装については、ブラスト処理 (Sa2 1/2) の上、ジンクリッチプライマー、エポキシ、ウレタン塗料に塗り替えが実施された<sup>[12]</sup>(Fig.36)。



**Fig.36 Removing old paint films by blasting(Photo; June 2005)**  
Horizontal members at tower are sealed for blasting

### 3.2.4 ビスカヤ橋

ビスカヤ橋は、スペイン北西部のビスカヤの西部で、ネルビオン川がビスケー湾に注ぐ河口に位置する。供用下にある運搬橋では1889年竣工で、世界最古である(Fig.37)。



**Fig.37 Vizcaya transporter Bridge (A view from the right bank, photo; June 2015)**

本橋の形式は、架橋位置が河口部であり、上流側にある工場などからの航行船舶のための桁下空間の確保からアプローチが不要となる吊橋形式の運搬橋が考案された。桁長は164mで桁下空間は水面からの高が45mある。

世界遺産の指定の範囲は、アンカレッジまでの橋の構造部分と、橋の上下流の河川沿い、および右岸側のかつ

て左岸側の工場に通った労働者の住居地域の一部を含む。

両岸の塔の頂部のサドルで支持された鋼綆り線のケーブルが左岸側の斜面の途中に、右岸側は地上でアンカーされている。

ゴンドラの渡河に要する時間は2分程度で、一度に6台の車と300人の歩行者を運べる。

1937年のスペイン内戦によって右岸側アンカレッジが爆破され桁が落下したが、4年後の1941年に再建された。従って、塔のみが1889年のオリジナルで桁、ケーブル等は再建時に鋼によって更新されている<sup>15)</sup>。

全体的に部材各部の板厚が薄く、塔のプレース材は、1継手にリベットが1本である。錬鉄ではあるが河口部に近く海塩の影響で、腐食による部材の減厚が進行している(Fig.38)。

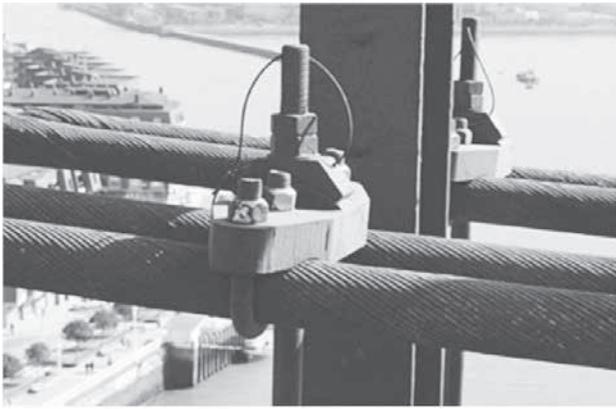


**Fig.38 Strat of tower of Vizcaya transporter Bridge (photo; June 2015)**  
Thickness of the web plate seems to decrease by corrosion

ゴンドラからの輪荷重は桁で支持されるレールに伝わり、レールから桁の定着を経てハンガーから主ケーブルへと流れる。このゴンドラの輪荷重を直接受ける部分は供用下の構造物として荷重の変動も大きく安全を確保し、機能維持の管理上重要な部分である。ハンガーケーブルの定着部のほとんどの部材はボルトで取り付けられており、新規な部材に取り換えられていることが識別できる(Fig.39)。この事例は、日常的に稼働している文化的価値を持つ土木建造物の維持管理のあり方に多くの示唆を与えている。運搬橋としてゴンドラを定期的に運航させる構造物の本来の機能の維持は、動態保存の重要な維持保全であり土木文化財の価値に含まれる。軌道回りの消耗品の交換を許容する世界遺産のビスカヤ橋は、これを具体的に示している。

### 3.2.5 リドー運河

リドー運河は、カナダのオタワとオンタリオ湖畔のキングストンを途中リドー川や、湖を経由して結ぶ全長



**Fig.39 Connection between main cable to hanger rods (photo; June 2015)**

Upper end of hanger rods are connected to a piece of member which rests on main cable. These parts are governed by live load (wheel load) directly and exchanged regularly.

202km の運河である。1832 年の開通以来、現在でも観光用として使われ、北米で生きた水路として機能を継続する唯一の運河である (Fig.40)。規模はヨーロッパの運河よりも大きく、蒸気船の通行を目的として建設された世界で最初の運河のひとつで、幅 7.9m の船まで航行できる。



**Fig.40 8 water gates at the entrance of Rideau Canal from the Ottawa River (photo; August 2015)**

リドー運河は、米英戦争 (1812-14) の後、アメリカからの軍事的な脅威に備えるために、植民地経営の大動脈であった国境のセントローレンス川をバイパスするルートとして、1826 年から 8 か年かけて建設された。運河は、国指定の史跡と歴史と自然の保護区となって、カナダ公園管理局 (パークス・カナダ) により運営、管理がされている。

リドー運河の両端のオンタリオ湖とオタワ川は標高差 23m であるが、その経路は丘陵地帯であるために、キングストンからオタワまでの運河縦断線形は、一旦 50m 上昇し、その後 73m 下降する。この標高差のため

に、27 か所にロックステーションが設置され、全部で 49 基 (内 2 基後年追加) の閘門が設置されている。

1826 年に監督に指名されたロイヤル・エンジニアのジョン・バイ中佐 (John By 1779-1836) は、作成済みの計画を変更し、水路開削を最小限とするために、スラック・ウォーター (Slack water) 運河工法を採用した。この工法で建設されたことも、リドー運河の規模の大きさとともに、ヨーロッパの運河と異なる点となっている。

この工法は、急流のある個所は、ダムを築くことでその一帯の水位を上げて静水面を確保する方法である。この方法によれば、急傾斜や低地を避けてルートを迂回せずに水路を確保できる。一帯の川沿いはダム湖で水没することになるので、村落がある場合は難しいが、リドー運河沿いは建設当時未開地であったのでこれを可能とした。リドー運河は自然の湖や人造湖を辿ることで、全長約 202km のうち、新たな水路の開削は 19km 程度で済んでいる。全ルートの最高標高点付近では、長さ 16km に及ぶ落差 16m の急流の溪流個所に高さ 19m の石積アーチダム (Fig.41) が築かれて、4 つの閘門で落差 95m 分を克服している<sup>16)</sup>。

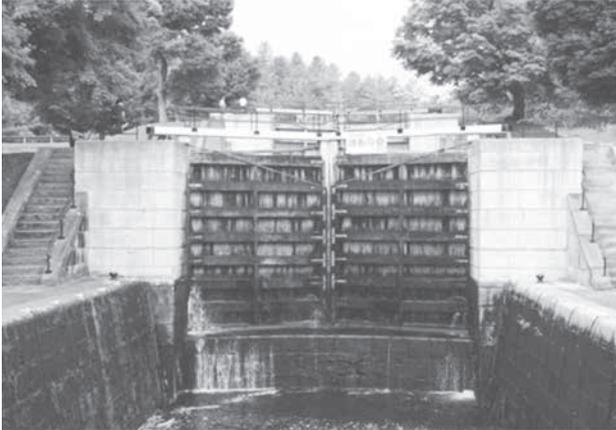


**Fig.41 Arch dam was constructed for slack water methods (At Johns Falls, photo; August 2015)**

運河の維持保全については、供用下にある水路として管理者のパークス・カナダがゲートの開閉などの運営とともに施設全体の維持保全にあたっている。ゲートなどの設備の補修には、直営の工場が運河ルートの中地点 (Smiths Falls) にあり交換の部材などが作成されている。

1831 年建設の 47 か所の閘門の木造ゲートは、すでにオリジナルのものではないが、鋼製に変更された 1 か所を除き建設当時と同じ木造で定期的に交換されている。ゲートの開閉は、3 か所については油圧に変更されているが、その他はすべて人力によっている。閘門の石材については、閘室の側壁の石材接合面や、ゲートの軸を受

ける部分でクラックの修復がされているほか、石積を全面的にコンクリートで取替えた箇所（Fig.42）や、ゲートを受ける位置を変更したものもある。閘室壁面の石材は劣化が見られるのに対し、アーチダムの石材は変状が見られない。オリジナルの形状を変更したものとしては、3基連続する建設当時の閘門を廃止し、すぐ脇に運河のバイパス化を図り、ここに3つの落差を1つの閘門で統合し、開閉も油圧式を採用した箇所がある（運河中間地点付近のSmith's Falls）。



**Fig.42 Repaired wooden gate (At Johns Falls, photo; August 2015)**  
Both sides of the wing wall were repaired by exchanging the material from original masonry to concrete

## 4. 考察

### 4.1 全般

歴史的土木建造物は、文化財としての管理計画を本来の機能を継続させることとの折り合いの中で実施することが常に求められる。このため文化財としての価値である歴史的土木建造物の物理的構造やその構造的特徴、材料を継承しつつ、構造物や施設として劣化の進行を抑制して本来機能継続のための条件を維持する管理の技術や体制が重要となる。この中には、建設当時と異なった自然環境や新たな社会の要請などの社会条件の変化に応えるために、当初材料などの更新や変更を含む保全方法を選択する判断もありうる。しかし、この場合、機能継続を理由に文化財としての価値が損なわれないことがないように、両者のバランスをとるための方策をぎりぎりまで求めることは言うまでもない（より具体的には5.3「保全の方向性」参照）。

調査を行った15の事例でみたように、個別の構造物の条件に支配される部分が多く、必ずしも一律の方法が適用できる訳ではない。このため対応策に単純な標準的な方法を適用することは困難である。

今後、歴史的土木建造物の保全事例が増加してゆく中で、多様な文化を認めることで木造建造物の真正性に新たな解釈がされたことと同様に、本来機能の継続が求められる保全における真正性や完全性の解釈をめぐる整理が必要となる。

### 4.2 調査事例に共通する保全への配慮

歴史的橋梁の保全の各事例を通じて、共通的な配慮がされている事例を抽出すると以下のとおりである。

#### 4.2.1 歴史的価値の尊重

供用下をしていることにより構造的な性能が満たされることは当然であるが、同時に文化財としての価値を尊重する補修、補強への配慮がいずれの事例で行われている。このために、どの事例も、保全計画を策定するにあたり、建設の背景、適用された技術・意匠・工法などの歴史的価値に関わる情報が収集されている。

歴史的価値は、他の橋梁では代替できない唯一性を持ち、かつ、一度失われれば取り戻すことが困難となる。調査をした事例では、程度は異なるが、既存の構造部材を可能な限り残存させる配慮がなされている。この配慮は、清洲橋のダンパー追加や、永代橋の水平支承の追加のように、部材を取り替えることよりも、部材追加で構造性能を維持する保全方法に表れている。その時点の技術によって現在とは異なる新たな代替措置など、その時代の知識や技術を駆使した対応の可能性を残すことは必要である。

#### 4.2.2 構造性能の確保

橋梁構造の要求性能を確実に満たすことは、通常のエンジニアリングの範囲として実践されている。重要な点は、技術基準の要求性能の確保を文化財の保全と整合性をとりながら対策を講じる点にある。各事例では、例えば、美濃橋のコンクリート塔にカーボン繊維を巻き付けることで形状変更なしに、耐震性を付与する方法では、構造性能確保と歴史的価値継承の折り合いを見出す工夫がされている。撤去されれば永遠に失われてしまうような橋梁については、霞橋のように部分の移転保存もありうる。

永代橋、清洲橋は、部材を取り換えることなしに、新たな部材追加によって耐震基準でレベル2を満たすように構造性能が確保された好例である。ただ、白岩堰堤のように建設当時の工法である粗石コンクリートの再現などは構造性能確保の観点から困難であり、今日のコンクリート、その他の工法を採用することや、多くの鋼橋では当時の継手工法であるリベットを施工面からの制約により、高力ボルトで代えることは今後の類似事例でもありうる。

#### 4.2.3 ミニマム・インターベンション（最小限の措置）

旧揖斐川橋のコンクリート被覆された橋脚では、内部からの耐震補強の将来における可能性を考慮して既存部分の改変は最小限に留めたように、撤去を抑え、部材追加でミニマム・インターベンションとすることは重要である。これによって将来における、別の補修方法を講ずる可能性を残すことになる。

#### 4.2.4 全体構造の保全

劣化の各部ごとに、部材の追加を主体とする補修、補強方法がとられるが、同時に全体の価値を損なうことの無いように部分と全体のバランスを配慮することが求められる。永代橋の水平支承の桁下空間に与える影響を考えたデザインなど、部分の変更が全体にどのような影響を与えるか、その影響を最小とするような全体性への配慮が必要である。

### 5. 結論

#### 5.1 価値と保全の関係

土木構造物は本来機能の継続のために構造部分の改変を伴うことがあり得るが、今回の調査対象では、例外なく各時代において大きな補修、補強、改変の手が加えられていることが確認された。これは、文化財であっても寿命は有限であり、特に供用下の歴史的土木構造物では時間とともに劣化があることを前提とした保全が必要であることを示している。このことは、植物性材料である木造構造のように、無機材料に対して劣化サイクルの早い場合にも共通する。伝統的文化財である絵画、工芸品、仏像などにあっては、修復、復原などはあっても、時間とともに使用によって劣化をするという積極的な時間軸の概念は存在しない。しかし、調査事例では、時間の経過によって発生した劣化が数多く確認され、それぞれ補修や補強が施されている。

アイアンブリッジでは地中梁が追加される他、アプローチの石積アーチの中込土の軽量化や破損部材の補強が随所に行われている。さらに、現状のアイアンブリッジは劣化が進行しており、マネジメント計画での構造物本体に対する保全への回帰が必要と考えられる。

ポンテカサステ水路橋では、19スパンのうち1スパンは鋼アーチに新規取替えがされている。ビスカヤ橋では、当初の錬鉄製の桁および、ケーブル全体が建設後48年目の1941年の再建で取り換えられている。また、再建以後も、直接輪荷重を受けるハンガーケーブルの定着部近傍は相当数が新規材料に交換されている。

#### 5.2 真正性と構造機能性の関係

フォース鉄道橋では大規模な交換は多くはないがブ

レース部材やリベットなどの交換がされている。リドー運河では47基の当初からの閘門のゲートはすべて後年取替え、改造がおこなわれている。

このように本来機能継続のために、調査対象の世界遺産では部材の取替えが選択されているが、いずれもオーセンティシティの要件は満たしていると評価されている。これは国内の事例である重要文化財においても同様である。

旧揖斐川橋梁では、レンガ積橋脚がコンクリートで補強をされ、上部工の腐食や損傷箇所はそれぞれ補強がされており、今後も補修が計画されている。美濃橋、長浜大橋、清洲橋、永代橋、勝関橋などの供用下にある橋梁でも機能継続の補修補強がされている。防災に直結する白岩堰堤では、劣化や損傷に対する補修の連続である。

以上のように世界遺産、および重要文化財の今回の調査対象の供用下にある歴史的土木構造物では、例外なく建設後のそれぞれの時代において補修や補強の手が加えられた結果として現存する。

土木構造物は、建設後の保全が、現存することを支えていることを考えれば、評価の対象は、建設時の構造物そのものに加えて、その後の補修、補強の行為が含まれると考えることもできる。建設後の保全の手が付加されて、有形文化財の形を継続しているという意味で、文化財の価値に繋がっているという解釈である。

例えば、歴史的土木構造物の中でも吊橋などの引張力が卓越した構造物では、200年を超えて存続するものは皆無である<sup>[13]</sup>のに対し、圧縮力を受ける石造アーチでは、2000年を越えて自動車交通に供用されているものもある。構造や材料の特性と時間の経過による劣化を考慮した保全の手を加えることで文化財の長寿命化、すなわち価値の継承は可能となるはずである。

木造建築においては、「多様な文化」の存在を認めることでオーセンティシティの解釈の拡張がおこなわれてきた。これと同様な文脈で、「多様な構造物」として文化財の価値の整理が必要となる可能性があると考えられる。ただ、歴史的土木構造物の無制限な改変に拡大解釈がされないための方策も十分固めておく必要がある。

#### 5.3 保全の方向性

歴史的土木構造物全体に対して、その保全について共通的・一般的に表現することは、単に考え方を示すのみとなって実務的な有効性を欠くことになる。ここでは、調査対象で確認されたことをもとに、主として補修、補強に関する事項をやや具体性をもって述べることで歴史的土木構造物の保全の方向性を示す。

a) 土木構造物はそれが機能することより損傷、損耗が発生することを前提として維持管理が行われている。供用下にある歴史的土木構造物は、時間とともに劣

化をするという認識のもとに、予防保全の考えを入れた保全計画とする必要がある。

- b) 主要部材の補修、補強では、鉄、鋼構造においては、腐食、リベット脱落などは、傷んだ箇所を部分的に、最小範囲で一体的に取り換えることを基本とする。部材を構成するフランジやウェブの腐食個所のみを交換をパッチワーク、サンドイッチ板当て継ぎなどの工法である。1818年建設のコールポート橋はこの工法をもって、地域交通の要請から通行荷重を引き上げたことは極めて貴重な供用下にある歴史的土木構造物の保全事例である。
- c) 傷んだ箇所のみを部分的に取り換えるという原則を常に採用することは、実務的には難しい。力学挙動が支配する部位では、新旧部材間での応力分担の信頼性が不明確である場合もある。傷んだ箇所の取替えに加え、新たに部材や装置などを追加する構造系の変更でオリジナル部材の負担を軽減させる方法も許容する。アイアンブリッジのアーチ両支点部をつなぐ地中梁の追加や、清洲橋のダンパーの追加はこの例である。
- d) 構造体の中で荷重変動を受ける部分や、特に時間とともに材質上の劣化条件が厳しい個所については、ビスカヤ橋の軌道付近の部材やリドー運河の閘門のゲートが常時交換されているように、既存部材の修理を基本としつつも、構造物の安全確保、機能継続のために同じ設計の代替品の適用を許容する。
- e) 劣化部分はそれ以上の劣化の進行速度を遅らせることに留め、部材を追加することで、オリジナル部材の負担を軽減して追加部材との協働で、全体として構造機能を継続する方法もあり得る。これは清洲橋や永代橋のL2耐震補強の方法の同じ考え方であるが、個々の構造特性に応じて部材を追加することで応用ができる補強、補修方法である。
- f) 劣化部分は荷重の作用下では、相応に応力を負担しており、この部分を単純に取り換えることは、常時荷重の作用下にある主部材では困難であり、残る健全部分の負担軽減になりにくい。このため部材を追加して、これに作用力をバイパスさせ、健全部分の負担を軽減し、全体として耐力の維持を図る。美濃橋のケーブル補強方法で反映されている方法であるが、これも応用可能な補強、補修方法として保全の一つの方向性を示す。

(本論文は、平成26年度～平成28年度のJSPS科研費JP26420650の助成を受けて実施した研究成果である。)

## 註釈

- [1] 近年5か年の文化庁の文化財統計によれば、近代以降の重要文化財（建造物）の指定件数は、2012年の合計4521件のうち、「産業・交通・土木」が226件であったのに対し、2016年にはそれぞれ4826件、257件であった。土木関連の5か年の増加は30件であった。登録有形文化財については、2012年の合計9262件に対し、「土木構造物は」536件、2016年には、それぞれ、11039件、602件であった。土木関連の5か年の増加は66件であった。重要文化財、登録有形文化財とも、各年度の土木関連は全登録数の5～6%で推移している。土木学会選奨土木遺産については、初回の2000年度で10件の登録がされ、その後2005年からは20件台となり2016年代の24件に至っている。累計登録数は、2016年で347件となった。
- [2] 例えば、日経新聞（平成28年11月5日朝刊）で「近場でインフラツーリズム、ダム・橋集客呼び水に」の見出しでダムや橋などを観光資源として活用するインフラツーリズムが首都圏で広がりつつあることを報じている。必ずしも歴史的土木構造物に限るものではないがインフラ施設への社会の関心の高まりの一端を示している。
- [3] 世界遺産における土木構造物や産業遺産の事例は、世界遺産全体からみれば必ずしも多くはないが、2000年以降増加の傾向にある。例えば近年では2015年に登録された「明治日本の産業革命遺産」やイギリスの「フォース鉄道橋」がある。土木遺産の増加傾向の背景には、世界遺産登録の偏りをなくすために文化遺産の範囲を拡大する動きがある。1994年12月にタイで開催された第18回世界遺産委員会において世界遺産一覧表における不均衡の是正及び代表性、信頼性の確保のためのグローバルストラテジーがこれである。国際記念物遺跡会議（ICOMOS）と国際産業遺産保存委員会（TICCIH）でも、共同原則（産業ヘリテージを継承する場所、構造物、地域および景観の保全に関するICOMOS-TICCIH共同原則、最終版）で、産業遺産の評価対象の範囲の拡張が示されている。この「グローバルストラテジー」の一環で実施した登録リストの分析である「The World Heritage List: Filling the Gaps -an Action Plan for the Future An Analysis by ICOMOS, Feb. 2004」の15頁に示される表（Part A: Typological framework based on categories）に、地域、時代とともにテーマ別に「歴史的建築」、「宗教関連資産」、「軍事遺産」など14のテーマ別のカ

テゴリーに区分されており、土木構造物はこの中で「農業、産業、技術資産」の類型区分に含まれる。2004年時点で登録されている世界文化遺産全体1459件のうち、この類型に属するものは69件(5%)ある。「農業、産業、技術資産」は、内容別に、①「記念物(工場、橋、水管理システム(ダム、灌漑など))」、②「建築物群(農業集落、工業地域)」、および③「遺跡(農地システム、ぶどう畑、農業景観、水管理システム(ダム、灌漑など))、鉱山、鉱山景観、運河、鉄道など」の3つのカテゴリーに分けられるが、半数以上が農業と産業に関するものが占めており、土木構造物は残りの半数以下で、鉄道、港湾、橋、水路橋、運河(①、③の一部)が該当する。

[4] 土木学会では、2007年に「鋼構造委員会歴史的鋼橋の補修・補強に関する小委員会」が「鋼構造シリーズ14歴史的鋼橋の補修・補強マニュアル」を発行し、2009年には「歴史的土木構造物の保全技術に関する連合小委員会」が「歴史的土木構造物の保全」を発行した。また、国際基準のISOでは、2010年度に改訂された「既存構造物の評価(ISO13822:2010, Bases for design of structures - Assessment of existing structures)」に、従来からの構造物の耐力にかかわる事項に加えて、歴史性、文化性も考慮すべき要求事項として追加された(付属書の形式で「追補I:歴史的建造物(Annex I: Heritage Structure)」が追加)。

[5] 例えば、2016年10月から保全・活用計画が開始された登録有形文化財の歴史的鋼橋である森村橋(静岡県小山町)がある。森村橋は1906(明治39)年建設の、単純プラットラス(スパン39.013m, ピン構造)であるが、オリジナルの部材は極めて腐食が激しい状態にあるが、橋本来の機能(歩道橋)を再生させる計画で、劣化腐食した構造物部材の文化財価値をどこまで残すかという基本的な課題に直面している。また、高知県の重要文化財の上路ワーレントラスの犬吠橋は、大正13年建設の森林鉄道の橋から道路橋に転用されていたが、平成28年10月に、斜材の腐食によって斜材が破断し通行止めとされている。これらの事例は、今後も発生する可能性がある氷山の一角である。地震被害を受けた伝統的な文化財の熊本城の場合のような再生と異なり、通常のインフラ施設の一部として維持・保全を行う体制の中で、文化財価値をもつ供用下にある歴史的土木構造物の保全は、撤去のリスクも含め、多くの課題がある。

[6] 歴史的土木構造物を国指定重要文化財、登録有形文化財、および土木学会「現存する重要な土木構造

物2800選」に登録・指定された土木構造物全体の中で供用下にあるものと捉えると、2014年時点での総数は3481件である。建設時期は、明治以前(～1868)、明治時代(1868～1912)、大正時代(1913～1926)、昭和前期(1926～1945)、昭和後期(1946～1989)、平成(1989～)を時代区分とすれば、昭和前期が1252件(36%)と最も多く、次いで明治が1140(32.8%)、大正時代、878件(25.2%)と続き、明治以前と昭和後期がほぼ同数の1.4%で、日本の歴史的土木構造物のほとんどは明治、大正、昭和前期の間に建設されたものである。各時代の年数は、それぞれ明治が45年、大正が15年、昭和前期が20年と異なるため、年あたりの件数とすると、明治が25.3件、大正58.5件、昭和前期62.6件となり、時代が下るにしたがって歴史的土木構造物が増加している。しかし、第二次世界大戦以後に建設された現代に属するものがほとんど含まれていない。第二次世界大戦以後に建設されたものとして、有形登録文化財では、信楽高原鉄道第一大戸川橋梁(PC桁、1954年建設)、東京タワー(1958年建設)等がある。選奨土木遺産では鳴子ダム(1957年建設)、湘南港(1964年建設)等が登録されている。しかし、総数からすれば、極めて少ない。構造別に見ると、全体の40%近くの1293件が、橋梁で占め、次いで土木施設639件(20%)、隧道、307件(10%)、河川、海岸構造物、182件(6%)、水門、123件(4%)となっている。各時代の構造物別の分布で見るといづれの時代も橋梁の占める割合が大きい。明治については河川、海岸構造物の比率が他の時代よりも高い。なお、戦後に建設された土木構造物の文化財調査(近現代の建造物調査)については、2016年現在ではまだ着手したばかりであるが、今後調査が進むことで、戦後に建設された歴史的土木構造物数が急速に増加することが予測される。

[7] 例えば、19世紀前半からインフラの整備が進み、歴史的土木構造物の事例が多いイギリスでは、土木技術の範疇として、維持、保全に関する調査、研究がされている。イギリス土木学会(ICE: The Institution of Civil Engineers)では、「橋とインフラストラクチャー賞(Bridge and Infrastructure Award)」を1999年に創設し、以後毎年優れた歴史的土木構造物の保全事例の表彰を、維持、保全技術の向上を狙って実施している。近年では、これまで蓄積されてきた既設の土木、建築構造物の保存、再生、長寿命化に関する広範な情報を収納したデータベース(Circe; Conservation Resource for Civil Engineers)を構築して、歴史的土木構造物の維持・保全の調査、研究や計画のためにウェブ上で提供し

ている。

<https://www.ice.org.uk/disciplines-and-resources/best-practice/conservation-resources-for-civil-engineers>

- [8] 国内の調査対象の件数は、総数 3,481 件の国内の土木構造物の遺産産群全体を包括的に説明するためのサンプル数としては、必ずしも十分とは言えず、導出される考察には、偏りが含まれることはありうる。ただ、他の事例との比較対象として土木遺産の保全の考察に有益な情報を提供する。
- [9] ICOMOS の分類による土木構造物を含む世界遺産は、2015 年登録分までで、合計で 29 件である。これらの内容を具体的に示すと、「オランダのスホクランドとその周辺」、「アムステルダム防塞線」、「青城山と都江堰水理システム」(中国)、「グラン・プレの景観」(カナダ) 他、ダム、堰、干拓、灌漑、堤防などの利水・治水関連施設が 10 件、「アンデスの道路網カパック・ニャン」(アルゼンチン他) が 1 件、「インドの山岳鉄道群」など鉄道が 3 件、「リバプール海商都市」(イギリス) など港湾が 2 件、「アイアンブリッジ」(イギリス)、「ビスカヤ橋」(スペイン)、「フォース橋」(イギリス) など橋梁が 4 件、「ボンデュガール」(フランス)、「ポンテカサステ水路橋」など水路橋が 4 件、「ミディ運河」(フランス)、「リドー運河」(カナダ)、「大運河」(中国) など運河・閘門が 5 件である。29 件の中で 1/3 を干拓、灌漑、堤防、堰などの利水・治水関連の施設が占める。調査対象の選定では、機能維持において土木文化財の保全の要求条件としてトレードオフの関係になることの多い力学的挙動の支配を受ける事例を含むものとして施設よりも構造体が主体をなす事例とした。このため利水・治水関連施設を除いた 19 件(道路 1、鉄道 3、港湾 2、橋梁 4、水路橋 4、運河 5)の中で、件数の多い橋梁(運搬橋含む)から 3 件、水路橋から 1 件、運河から 1 件の合計 5 件を調査対象として選定した。また、調査対象の補足として、当該土木遺産の成立に密接に関連する事例も調査を行った。なお、母集団の総数が少数であることから、含まれる個々の遺産の特質が遺産群全体へ与える影響が大きくなる傾向がある。19 件の母集団に対し 5 件の調査対象の選定とサンプル抽出割合は高いが、導出される考察結果は、遺産群全体の包括的説明にはなりにくい可能性は残る。ただ、他の事例との比較対象として土木遺産の保全の考察に有益な情報を提供する。

なお、国内の文化財保護の考え方に基づく重要文化財と、世界遺産の文化財価値の成立経過、環境は異なる。しかし世界文化遺産奈良会議(1994 年 11

月)における奈良宣言や、その後の産業遺産への評価、国内における土木遺産の保全事例などにより評価基準に相互の影響もみられる。したがって、本論文では両者を調査の対象とすることによって維持、保全の基準となる文化財価値の普遍性をより高めることを意図した。

- [10] 清洲橋、永代橋の 2 橋については、筆者を含む東京都が設置した「国指定重要文化財橋梁の長寿化検討委員会」で審議を行って、耐震補強計画が作成された。
- [11] 世界遺産登録の公共領域での不適切な建設行為や材料を減らし、修正することや多数の関係機関との調整を支援するためのガイドで地元自治体、イングリッシュヘリテッジにより 2011 年 8 月に作成された。世界遺産指定範囲内の、舗装、階段、手摺の素材、標識、各種施設などの整備に対して地場の材料を使用するなど具体的な事柄が規定されている。(Public Realm Design Guide, Colin Davis Associates August 2011)
- [12] 最小限の損傷部材の取替え、竣工後の追加物の撤去、とともに塗装については、耐久性と特徴のある色彩(フォース橋レッド)を目指した(ヒストリック・スコットランドの担当者からのヒアリング(2014.11)、および、「Nomination Document, The Forth Bridge Nomination for Inclusion in the World Heritage List, Historic Scotland for the Forth Bridge Forum, pp.70-71. 2014」)による。
- [13] 1820 年建設の現存世界最古の道路吊橋のイギリスのユニオン吊橋は、1900 年にケーブルの追加など多くの保全がされてきたが、劣化が進み、イングリッシュヘリテッジの存続の危機にある遺産に指定された。(五十畑弘、存続の危機にあるユニオン吊橋(イギリス)、橋梁と基礎, VOL49, pp.58-61, 2015.3)

## 参考文献

- 1) 小坂潔彦, 小坂井実, 重要文化財旧揖斐川橋梁の現状と課題(修理・活用計画経過報告) 修理計画検討委員会資料, 土木史研究講演会, 土木学会, vol.34, 2014, pp.105-110
- 2) 五十畑弘, 鈴木淳司ほか, 錬鉄, 鋼移行期における橋梁材料に関する考察—旧江ヶ崎跨線橋 200ft トラスの事例より—土木学会論文集 D2 (土木史), Vol.18, No.1, 2012, pp.96-106
- 3) 島崎武雄, 山下正寛, 三角西港の築港に関する研究, 日本土木史研究発表会論文集, Vol.1, 1981, pp.91-98
- 4) 五十畑弘, 神戸布引ダム, および関連施設の建設,

- 土木史研究, 第 19 号, 1999, pp.281-292
- 5) 崔静妍ほか, 重要文化財美濃橋の耐震診断を含む修理検討事例報告, 土木史研究講演会, 土木学会, vol.34, 2014, pp.119-128
  - 6) 中村徹立ほか, 重要文化財横利根閘門の保全対策について (東日本大震災を受けた被災等に対する修理), 土木史研究講演会, 土木学会, vol.34, 2014, pp.129-36
  - 7) 国指定重要文化財橋梁の長寿命化検討委員会報告書, 東京都建設局, 2014, pp.170-97
  - 8) Isohata, H.; A Study on the Conservation of Operating Historical Bridges -Recent Experience in Japan-, *Proc. of International Conference of Structure and Architect 2016*, DVD Version.
  - 9) 近藤博貴ほか, 歴史的鋼橋 (長浜大橋) の補修工事について, 橋梁と基礎, vol.47, 6号, 2013, pp.24-28
  - 10) 白岩砂防えん堤保存管理計画検討業務委託報告書, (財) 砂防フロンティア整備推進機構, 平成 21 年
  - 11) 青木堅司, 河川工事に直結する砂防工事について, 併せて立山砂防工事の概要, 新砂防, vol.1952(1952), No.8, 1952, pp.1-6
  - 12) ネイル・コッソン, バリ・トリンダー著, 五十畑弘訳, アイアンブリッジ, 建設図書, 1989, pp.66-73, 177-186
  - 13) Neil Cossons, Barrie Trinder, *The Iron Bridge 2<sup>nd</sup> edition*, 2002, pp.52-56
  - 14) Mark Duquemin, *Preservation of Pont Cysyllte Aqueduct -Supreme Structural Achievement of the Canal Age, Proc. of Thomas Telford 250<sup>th</sup> Anniversary*, Royal Society of Edinburgh, 2007, p.17
  - 15) A. Trimino, *Vizcaya Bridge, Transbordor de Vizcaya*, 2011, pp.98-119
  - 16) R. Legget, *The Jones Falls Dam on the Rideau Canal, Ontario, Canada, Transactions of the Newcomen Society, Volume 31, 1957 - Issue 1*, 1957, pp.205-2011

(H 28 . 11 . 25 受理)

## Biographical Sketches of the Author



Hiroshi ISOHATA, PhD. (Eng.), JSCE fellow, Exec. Pro. C. E. (Materials and Structures), P. E., Jp (Materials & Structures), APEC Engineer (Civil/Structure)

Professor, Department of Sustainable Engineering, College of Industrial Technology, Nihon University

Hiroshi ISOHATA, received his B. Sc. in 1971 from College of Industrial Technology, Nihon University, Japan and received his doctoral degree in 1996 from College of Science & Technology of Nihon University, Japan. Since 1971 to 2004 he is working in Steel Structural Division of NKK Corporation (present JFE Engineering Co.) which is combined with Kawasaki Steel Corporation in 2002.

Since 2004 to present he is a professor of Civil Engineering Department and Department of Sustainable Engineering, College of Industrial Technology of Nihon University.

After 14 years professional practice as bridge design engineer he was appointed the Manager & Civil Engineer of NKK London office in 1985. During his stay in London he started his research work on historical aspect of civil engineering including iron and steel bridges. After he returned to Tokyo, he was appointed Senior Manager and has been involved in some bridge projects including Tokyo Transit Bay Road as a head of the business section. His study on civil engineering history has been continued and his papers and articles on the study exceed more than 50. He published many *books including A hundred year old bridges* (2014, JSCE), *Conservation of historical engineering works* (2010, Kajima Publishing. Co.), *Bridge its basics and mechanism* (2013, Shuwa System Co.) and *Manual for repair and strengthening of historic iron and steel bridges* (2006 JSCE).

He is a member of Japan Society of Civil Engineers (JSCE) and was a chairman of Committee of Repair and Strengthening of Historical steel bridges, 2004 to 2007, a chairman of Committee of Conservation of Historical Engineering Works, 2014-2015, a chairman of Committee of Publishing Culture Award on Civil Engineering, JSCE and he is a member of 2nd Expert Committee of Cultural Property Council, Agency for Cultural Affairs from 2014 to present.