

世界文化遺産の構成資産白糸の滝に架けられた 滝見橋のデザイン

関 文夫¹・佐藤 和幸²・伊東 靖³・石原 大作⁴・天野 光一⁵

¹正会員 工博 日本大学工学部土木工学科(〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台
1-8-14, Email:seki@civil.cst.nihon-u.ac.jp)

²非会員 富士宮市都市整備部(〒418-8601 静岡県富士宮市弓沢町150番地,
Email:toshi@city.fujinomiya.shizuoka.jp)

³正会員 パシフィックコンサルタンツ株式会社交通基盤事業本部(〒163-6018
東京都新宿区西新宿6-8-1, Email: yasushi.itou@tk.pacific.co.jp)

⁴正会員 修士 パシフィックコンサルタンツ株式会社交通基盤事業本部(〒163-6018
東京都新宿区西新宿6-8-1, Email: daisaku.ishihara@tk.pacific.co.jp)

⁵正会員 工博 日本大学工学部まちづくり工学科(〒274-8501 千葉県船橋市習志野
台7-24-1, Email: amano.kouichi@nihon-u.ac.jp)

国の名勝及び天然記念物となっている白糸の滝は、2013年世界文化遺産の構成資産に登録された。滝見橋は、この白糸の滝の中に架け替えられた歩道橋で、滝の視点場までの主要動線として、計画されたものである。事業計画にあたり、世界文化遺産登録と並行しながら文化庁、環境省との協議を重ね、名勝及び天然記念物「白糸ノ滝」整備委員会で議論を重ねながら計画を進めた。ここでは、世界文化遺産という環境条件及び、白糸の滝の水飛沫の多い環境下で、どのように設計が行われたのかを紹介する。

キーワード: 世界文化遺産, 天然記念物, 長寿命化橋梁, アーチ橋, コンセプチュアルデザイン

1. はじめに

2013年6月26日「富士山—信仰の対象と芸術の源泉」がユネスコの世界文化遺産に登録された。白糸の滝は、この世界文化遺産の構成資産No. 24として登録されている他、国内では、国の「名勝」及び「天然記念物」となっている。世界文化遺産登録にあたり、白糸の滝周辺の整備計画が行われ、滝見橋の架け替えが決定された。滝見橋は、この白糸の滝に計画された橋梁で、世界文化遺産及び国の名勝及び天然記念物という環境条件及び、白糸の滝からの霧状の水滴が飛来する多湿環境下で橋梁の設計検討を行ったものである。

ここでは、架橋位置の選定、周辺環境への配慮して橋体をコンパクトにしたこと、滝からの水飛沫が多く、湿度の環境下での長寿命化するために、バランスド扁平アーチ(Balanced Flat Arch 以下BFAという)構造という構造形式を創出した。ここではこのBFA構造を用いたコンセプチュアルデザインの考え方を記すものである。

2. 滝見橋の設計条件

(1) 滝見橋の架橋位置

架橋位置の静岡県富士宮市の白糸の滝(写真-1)は、富士箱根伊豆国立公園内であること、世界遺産構成資産であることから、環境省、文化庁との協議、指導が行われた。整備計画にあたり、名勝及び天然記念物「白糸ノ滝」整備委員会(委員長土隆一)で議論を重ねている。その中で滝見橋は、白糸の滝へのアクセス動線となっている他、白糸の滝の視点場ともなる橋梁であり、動線計画や橋体のボリューム、橋種等様々な議論が行われた。

架橋位置の選定は、何案(図-1, 2)か検討されたが、①案は、アクセス動線をスムーズにした案で、橋長46.0m、②案は、人工物である極力小さくした案で橋長39.0mである。各案毎に、橋台位置や河川護岸との取合い、護岸構造物の安全性、歩経路との関係、コスト、施工性、景観への影響、環境への影響が議論された。①案は、名勝及び天然記念物「白糸ノ滝」保存管理区分の第一種保護地区



写真-1 国の名勝及び天然記念物の白糸の滝と旧滝見橋

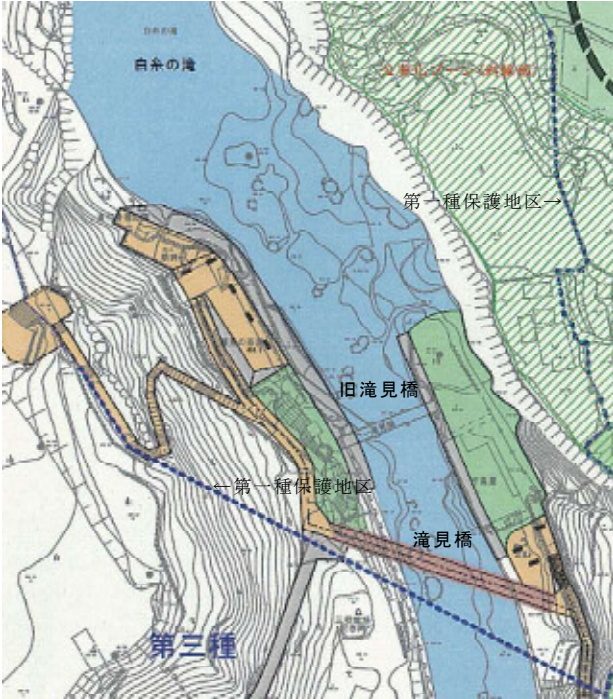


図-1 滝見橋の架橋位置検討①案



図-2 滝見橋の架橋位置検討②案

(世界文化遺産構成資産)内に左右岸の橋台が構築されること、②案は、左岸は第一種保護地区(世界文化遺産構成資産)内に構築されるものの右岸は第三種保護地区となる。最終的には、文化庁文化財部との協議により、第②案が、第一種保護地区内への人工物が少なくなること、橋体が最もコンパクトになり、周辺環境への影響も少ないこと等が議論され決定されている。

(2) 滝見橋の設計条件

①地層

白糸の滝は、古富士の地層と新富士の地層の間から流れている落差20m程度の伏流水である。架橋位置の橋脚位置となる護岸天端は、G.L. + 453.8m付近であり、古富士の地層となる。ボーリングデータによると、表層が礫混りシルトであり、その約2m下には、N値50となる凝灰角礫岩の地層となり比較的良好な地盤である。

②施工条件

架橋位置までのアクセス道路が狭く、大型車の通行は困難である。建設資材の運搬が、設計の大きな制約となる。

③周辺環境

架橋位置周辺は、常時滝からの霧状の水滴が飛来することから、腐食を伴う金属製の材料の使用には配慮が必要である。

④幅員

周辺階段施設、既存橋梁の幅員(2.1m)を参考に、有効幅員2.5m程度として検討する。

3. 滝見橋の基本設計

(1) 滝見橋の設計主旨

滝見橋の設計は、架橋位置の環境に配慮したことである。滝見橋の環境とは、自然が創出した白糸の滝という自然景勝地へ配慮することと、滝からの霧状の水滴が飛来する湿度の高い周辺環境に配慮すること、そして観光地として、観光客をもてなす施設としての環境という3つの環境に配慮することとした。

これらの環境に即した設計を行うために、橋自体の構造や、造形、動線、材料、ディテール、コスト、施工条件など工学的な判断が求められることを礎とし、永く使える橋を目指して設計したものである¹⁾。この橋の実現ために、既往の構造形式に捉われずに、構造と造形を一体的にデザインすることとし、長寿命化と高い性能性を保持しながら、橋体自体を非常にコンパクトにまとめ、印象に残る造形を創出したところにある。

(3) 基本構造の検討

滝見橋の基本構造の検討は、図-3～図-5に示すような3種類の構造で検討が行われた。架橋位置の設計条件（大型車の通行不可、霧状の多湿環境、良好な地盤条件等）からコンクリート橋を主体に構造検討を行った。

第①案PC桁橋案は、桁高が約1.8m程度なることから人工物の露出が多く却下された（図-3）。第②案PC吊床版橋案は、構造物の露出は少ないものの左岸側の地層に亀裂等を有すること、他碛式のため将来的に不安材料となることから却下された（図-4）。第③案コンクリートアーチ橋案が、基本的には検討形式として、委員会等では選定された（図-5）。

その後、文化庁文化財部との協議においては、コンクリート構造物は、人工的な印象が大きいことから、通常使用される他の橋種との比較により橋種の決定をするように指示された。その内の一つである鋼製吊橋（図-6）は、使用する部材が線材で桁も薄く、着色も可能であることから、自然景観に調和しやすいという理由であった。吊構造では、左右岸のいずれかに拱台（アンカレッジ）を構築することになり、現地の地形の改変を伴うこと、主塔という人工物が突出すること、吊材が空間内に構築されることを説明し、協議を重ねた結果、第③案のコンクリートアーチ系で方針決定された。滝見橋の橋梁諸元を表-1に示す。本橋の計画・設計・



図-3 第①案PC桁橋案



図-4 第②案PC吊床版橋案



図-5 第③案コンクリートアーチ橋案



図-6 第④案鋼製吊橋案

表-1 滝見橋の橋梁諸元

橋名	滝見橋
架橋位置	静岡県富士宮市白糸の滝
橋長	39.0m
橋種	プレストレストコンクリート橋
構造形式	バランスド扁平アーチ構造
有効幅員	2.5m
橋格	歩道橋 3.5kN/m ²

表-2 滝見橋の関係者一覧

事業計画	富士宮市
計画Ad.	日本大学理工学部 天野光一
設計監修	日本大学理工学部 関文夫
構造設計	パンフィックコンサルタンツ株式会社 伊東靖、石原大作
施工	ドーピー建設工業

(4) 動線計画と基本形状

アーチ系構造形式を受けて、左右岸の歩経路をつなぐG.L.+458.0mの動線と、護岸天端G.L.+453.8mを繋ぐ検討をした（写真-2）。桁上の動線と護岸天端からアーチリブ上を歩かせることによって、多彩な視点場が生まれぬか検討した。①案と②案は、アーチリブ上を歩くことによって、左右護岸レベルと橋梁床レベルの動線を往来できるようにしたものである。検討の結果、この規模の橋では、橋体ボリュームが大きくなり、周辺の存在感が大きくなり過ぎることが懸念された。最終的には③案の橋面上のみとした。

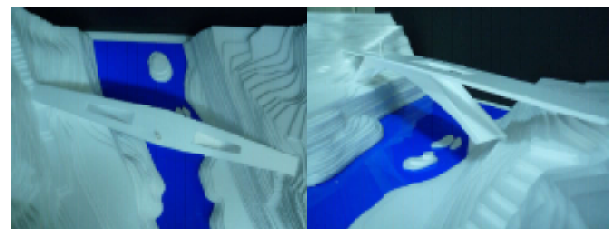


写真-2 アーチ橋の歩行経路検討①案

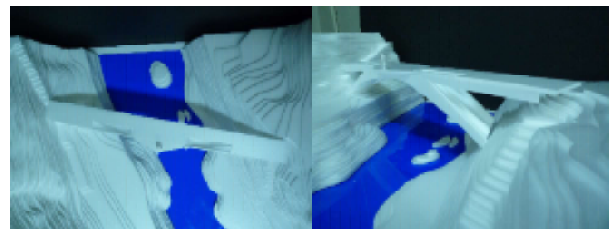


写真-3 アーチ橋の歩行経路検討②案

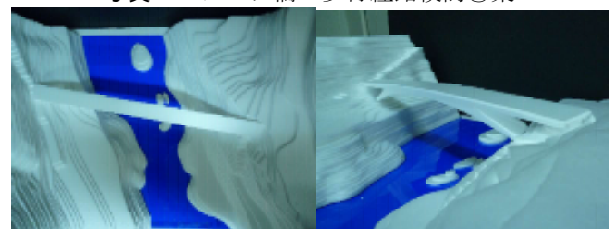


写真-4 アーチ橋の歩行経路検討③案

4. 滝見橋の詳細設計

(1) コンパクトブリッジデザイン

①地形の変更を極力控えた設計

小規模吊橋では、一般に左右岸に拱台（アンカレッジ）が必要なため、大きな地形改変を伴う場合が多い。また、両護岸の構造を保持しながら橋脚工事を進めるために、河川護岸からの掘削距離に配慮して、橋脚位置を選定した。ここでは、自碇式構造となるBFA構造の採用により、地形の改変を極力控えた設計とした。

②BFA構造の設計

一般にアーチ構造では、スパンに対してライズ（アーチの反り）が、 $1/5 \sim 1/8$ （スパンライズ比）となる。ここでは、 $1/8$ より小さなスパンライズ比に対して扁平アーチ橋と呼称し、多径間のアーチ構造のようにアーチ部材や斜材部材を用いて水平力のバランスを図った構造をバランスド構造と呼称している。これら両方の構造特性を有した構造をバランスド扁平アーチ構造とし、BFA構造と呼ぶことにした。

BFA構造の原型は、建築家ゲルト・ローマー（Gert Lohmer）によって、ライン川のシアースタイン（Schierstein on Rhine）に架橋されたアーチ橋で見られる²⁾。このアーチ橋は、 $1/15$ という扁平な構造とし、アーチ背面に斜材（バックステイ）を設けて水平力をキャンセルさせた構造である。

滝見橋では、橋面高さの制約、河川のH.W.L.の制約からスパンライズ比を $1/11$ とした。BFA構造は、拱台に大きな水平力が作用するため、背面に斜材を設けたバックステイ構造によってその水平力の20%がキャンセルし、プレストレス力によりさらに50%、合計60%の水平力をキャンセルした。この構造により、バランスの良いコンパクトな構造にすることが可能となった。応力のクリティカルな位置は、支間中央より、支間 $1/4$ 点での曲げモーメントの影響が大きく、梁性を高くすることで、対処している。

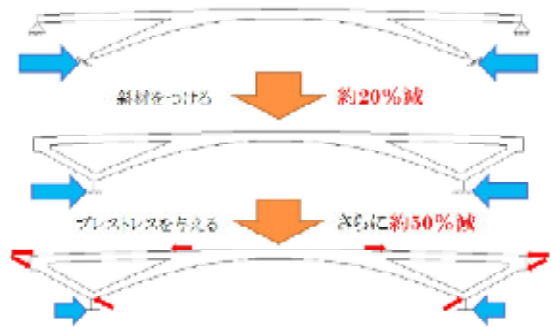


図-7 BFA構造の水平力に対する考え方

③コンパクトに見える造形設計

アーチリブの端部は、大きくそぎ落とした造形とし（写真-5）、見かけ上スレンダーな形状として検討した。パラメータは、100mm、250mm、500mmとした（写真-6）。張出床板によりアーチリブには、陰影が生じ、全体的にコンパクトに見える造形デザインを展開している（写真-7, 8）。最終的な一般図を図-8に示す。

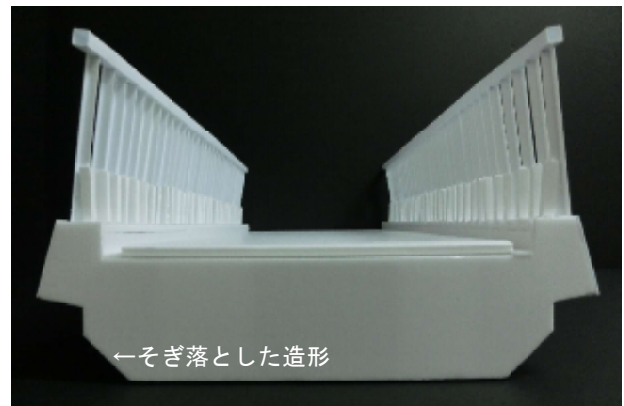


写真-5 アーチリブ造形の検討

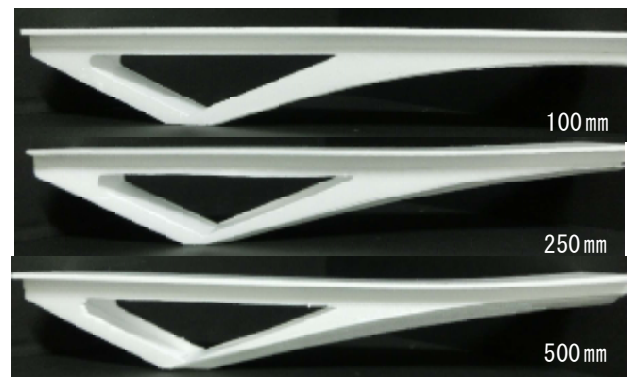


写真-6 アーチリブ造形(そぎ落とし)の検討



写真-7 最終のアーチリブ造形(そぎ落とし250mm)

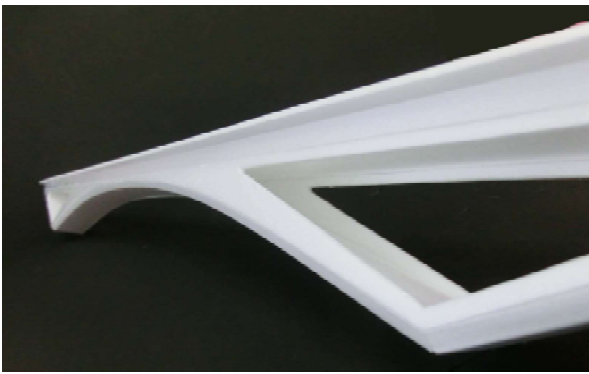


写真-8 最終のアーチリブ造形 (そぎ落とし250mm)

(2) 長寿命化橋梁の設計

① ノーシュー・ノージョイント構造

架橋位置の多湿な環境に配慮し、金属製の支杓・伸縮装置などの橋梁付属物は設置しない設計とした。アーチスプリング部でのヒンジの有無について検討したが、アーチ部材、主桁で、断面力の大きな差が無かったため、剛構造とした。BFA構造は、斜材と側径間、アーチを含めたトラス構造に剛結の橋脚を設置したポータルラーメン構造のような挙動を示すことが解った。

② 高いリダンダンシー

コンクリート系のアーチ橋は、耐震性能も高く、振動特性も揺れづらい構造であるが、合わせて河川のH.W.L.を越えた水位に対しても橋体が流出しないようにした。H.W.L.でG.L.+453.0m、H.H.W.L.でG.L.+455.3mの水位でも支障のない構造としたこと、さらに想定外のG.L.+457mクラスの水位でも、橋が流出されることがないように構造、造形とし、高いリダンダンシーで設計されている。

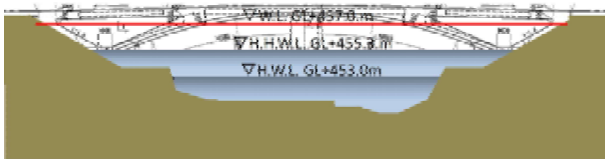


図-9 滝見橋と洪水水位の関係

③ 長寿命化のための水仕舞い設計

橋体面の水仕舞いに配慮するために、地覆形状の水切り形状 (図-3)、汚れ防止のための撥水性塗装を行い、ディテールにも配慮した³⁾。

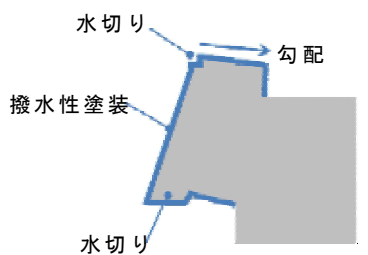


図-10 地覆の水仕舞い



写真-9 高欄イメージ (CG合成)

④ 高欄

高欄の設計は、非鉄金属であるアルミ製高欄とした。塗装色は、国土交通省が策定した「景観に配慮した防護柵の整備ガイドライン (案)」に準拠してダークグレイ 10 YR 3.0 ~ 4.0 / 0.25 ~ 0.5 とした。イメージ図を写真-9に示す。

5. おわりに

世界文化遺産の構成資産内、国の「名勝」及び「天然記念物」という設計条件の高いポテンシャルをもつ位置に架橋された滝見橋の設計を報告した。その設計主旨は、環境に即した材料を用いて、構造物のボリューム、構造、造形に配慮したものとなった。維持管理費用の負担も少なくなるように配慮し、永く使われるように検討した結果、ノーシュー、ノージョイントのBFA構造という形式の橋梁となった。また、滝見橋には、鉄筋やコンクリートの多くのひずみ計や応力計を埋設することができ、現在計測中である。計測データの分析から構造モデルの評価やBFA構造の橋長の適応支間を分析したいと考えている。

2013年末に、橋及び周辺の環境整備の完成を持って、白糸の滝が再公開される予定である。世界文化遺産「富士山—信仰の対象と芸術の源泉」の構成資産白糸の滝に多くの観光客が訪れ、滝見橋が、訪れた観光客の記憶の片隅に残ることを切に願いたい。

参考文献

- 1) Mike Schlaichi, 関文夫 (抄訳): 歩道橋の設計ガイドライン, 橋梁と基礎, vol. 40, No. 8, pp. 140・45, 2006
- 2) Fritz Leonhardt: Bruken, Deutsche Verlags-Anstalt, 1982
- 3) 関文夫, 山口徹: 13年経過した雷電廿六木橋のコンクリート表面性状の変化と水仕舞効果について」景観・デザイン研究講演集No. 7, pp. 289~294, 2011. 12