

世界遺産白糸の滝に架橋された滝見橋(1)設計と構造発想

日本大学理工学部
静岡県富士宮市役所
パシフィックコンサルタンツ(株)

正会員 工博 ○関 文夫
佐藤和幸
伊東 靖

1. はじめに

2013年「富士山—信仰の対象と芸術の源泉」が世界文化遺産に登録され、その構成資産である白糸の滝の周辺整備が行われ、滝見橋が架け替えられた。滝見橋は、世界文化遺産および国の名勝及び天然記念物という環境であること、白糸の滝からの霧状の水滴が飛来する環境下において設計を行ったものである。これらの条件を満足するために、周辺環境への影響に配慮して地形の改変を極力抑え、橋のボリュームをコンパクトな形状とし、維持管理コストの低減を図るためにインテグラル構造から発展した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が創出された。ここでは、滝見橋の設計と構造発想について報告する。

2. 滝見橋の設計概要

2.1 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ほか、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などのさまざまな議論が行われた¹⁾。

架橋位置の選定は、複数案の検討がなされたが、最終案は2案に絞られた(図-1)。A案はスムーズな動線を優先した案で橋長46.0m、B案は人工物である橋梁を極力小さくした案で橋長39.0mである。各案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。最終的には、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などの議論がなされ、B案に決定した¹⁾。

2.2 滝見橋の橋梁諸元

滝見橋の橋梁諸元を(表-1)、一般構造図を(図-2)、全景を(写真-2)に示す。

表-1 滝見橋の橋梁諸元

橋名	滝見橋
架設位置	静岡県富士宮市
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



写真-1 滝見橋と世界遺産構成資産の白糸の滝



図-1 滝見橋の架橋位置検討案



写真-2 滝見橋の全景

側面図 S=1:100

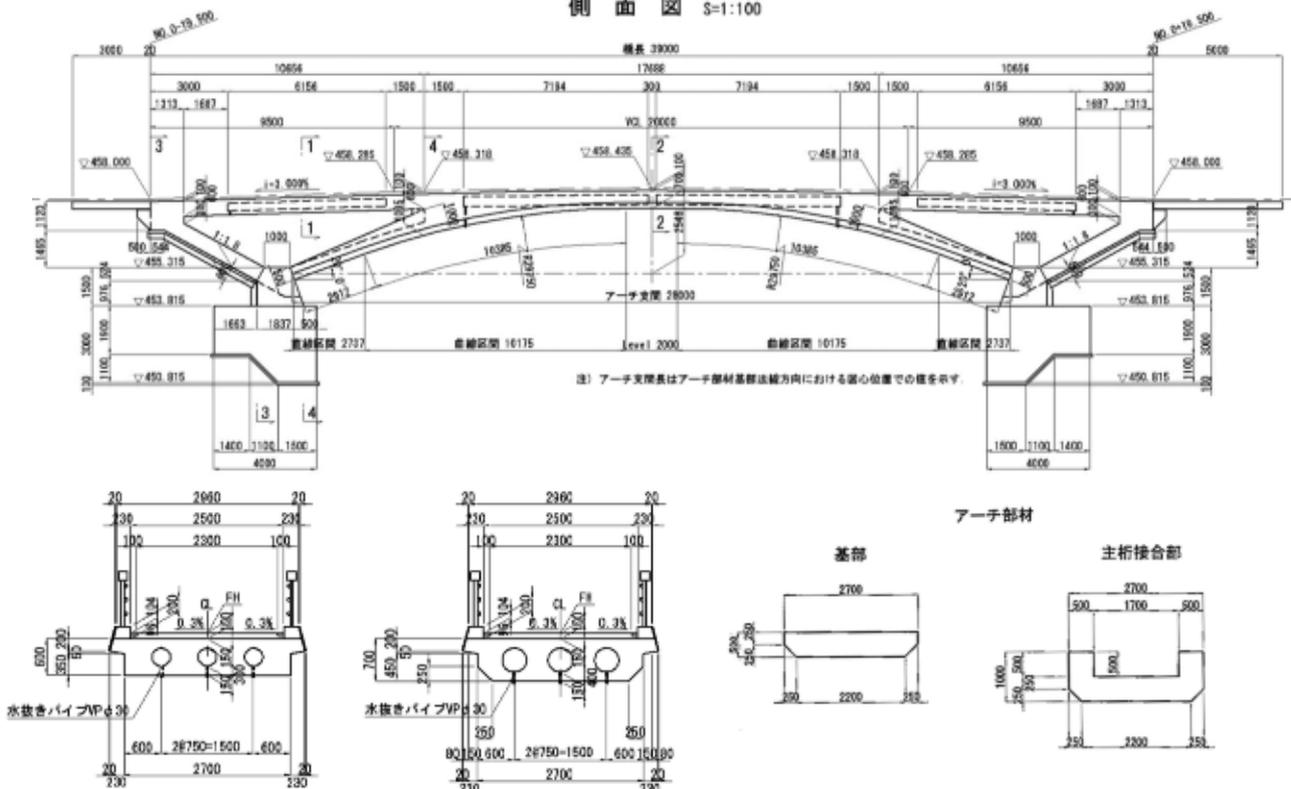


図-2 滝見橋の一般構造図

3 滝見橋の設計主旨

3.1 設計主旨

滝見橋の設計主旨は、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（周辺地形の改変を極力控える）、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（長寿命化や低維持管理コスト橋梁の発想）、そして観光地として、観光客をもてなす（主役の滝の景観を邪魔せず、観光客の記憶に残る）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、橋の構造や、造形、動線、材料、ディテール、コスト、施工条件などについて工学的な判断が求められた²⁾。工学的には、架橋位置の地盤が、G.L.+453.8mに古富士の地層で、比較的良好なN値50の岩盤が確認できたこと、施工条件としては架橋位置までのアクセス道路が狭く、大型車の通行が困難であるため、建設資材の運搬が制約された。

文化庁文化財部との協議においては、周辺地形の改変を極力控えること、橋体をコンパクトにまとめ構造物の露出を抑えること、コンクリートや高欄などの構造物の明度を抑えることなどの指導があった。

この橋の実現のために、各種制約条件をクリアし、既往の構造形式に捉われずに、コンパクトな橋体になる可能性のあるインテグラル構造を基本構造として、構造と造形の発想を行った。

3. 2 構造発想

橋長 39m という歩道橋の構造計画で、従来のポータルラーメン構造では、主径間が 29m 程度となることから、主桁高さが 1.5m 程度となるだけではなく剛結部が武骨となり人工的な印象となることが懸念された。また、剛結部にπラーメン構造の発想を適用して主径間を 18m 程度とすることで、主桁高さを 0.9m 程度まで低減することはできたが、造形としては高速道路にある跨道橋の印象が強く、周辺の自然景観とは馴染まない造形となった。そこで、πラーメン構造の頬杖をさらに桁中央まで寄せて、主径間のスパンを小さくし桁高を 0.7m までに抑え、内側に曲線のあるような頬杖形状とすることで、アーチ構造へとシフトして考えた (図-3)。長寿命化と低維持管理コストという課題を美しい造形と両立させる様に検討した。

最終的には、スパンライズ比 1/12 という扁平なアーチ構造となり、アーチスプリング部で発生する水平力を極力バランスさせるために、控え斜材を有したバランスド構造とし、プレストレスによって水平力をキャンセルさせた構造になった (図-4)²⁾。πラーメン構造とアーチ構造の両方の性格を有する BFA 構造が生まれた。この構造形式の原型は、建築家ゲルト・ローマーによって、ライン川のシアースタインに架橋されたアーチ橋で見られる³⁾。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。

3. 3 BFA 構造の構造特性

アーチ構造(アーチスパン:L, ライズ:H)はスパンライズ比 (H/L) の変化によって発生する軸力、曲げモーメントが変化する。ここでは、H/L=1/8 よりも低いアーチを扁平アーチと呼称し、BFA 構造に係る軸力、曲げモーメントの変化量を解析した⁴⁾。解析方法は、アーチスパンを一定にし、骨組モデル(図-5)の H/L を変化させ、H/L=1/6~1/14 の 9 通りとした。解析条件は、荷重が自重のみで、支点条件はアーチ両端が固定、斜材も固定とした。

アーチに作用する軸力、曲げモーメントをスパンライズ比毎に示す。軸力は、スパンライズ比が 1/8 より扁平になるにしたがって増加し、1/12 から急激に増加する(図-6)。アーチクラウン部の曲げモーメントは、スパンライズ比 1/8 以下で安定しているのに対して、BFA 構造は 1/12 程度から急激に増加する。(図-7)。

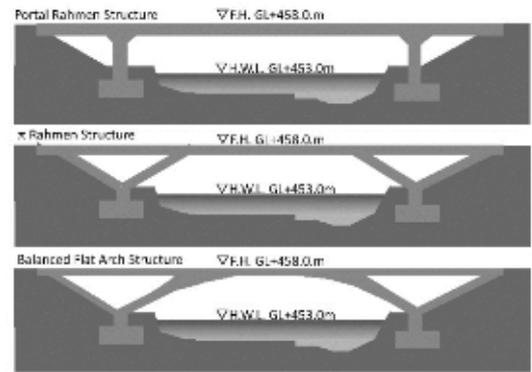


図-3 滝見橋の構造と造形のスタディ

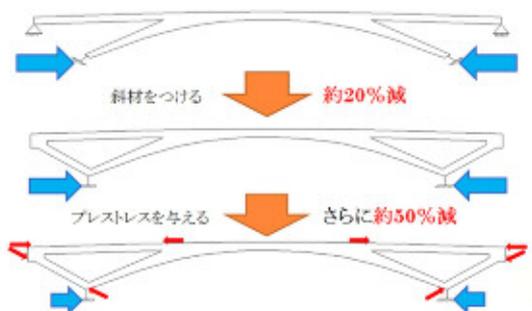


図-4 BFA 構造の水平力の考え方

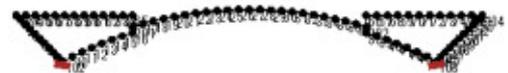


図-5 BFA 構造の骨組モデル

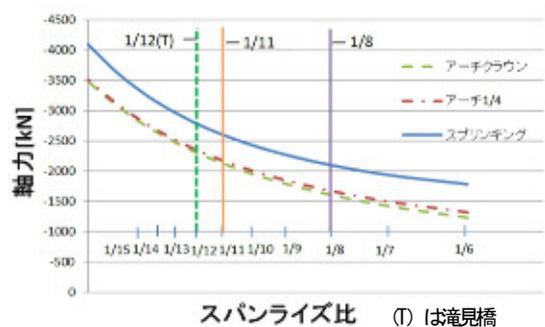


図-6 BFA 構造の軸力

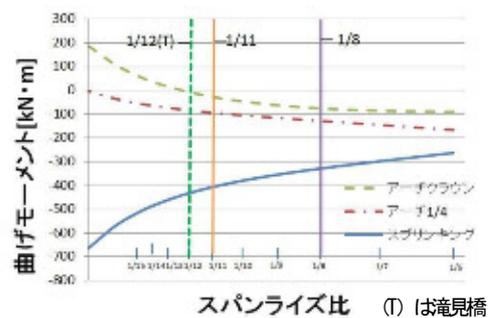


図-7 BFA 構造の曲げモーメント

3. 4 バランスドアーチのプロポーシオン

BFA 構造は斜材を設けることでバックステイ効果が生じ、水平力が減少する⁶⁾。ここでは、斜材の効果を確認するために、側径間の1の長さをパラメータとして、プロポーシオン $1/L2=1/3\sim 2$ になるように斜材の長さを変化させ、構造解析を行った(図-8)。この時、側径間(1)と主径間(L1+L2)とし、バランスドアーチ比を $1/L2$ 、バランスドアーチスパン比 $1/(L1+L2)$ とする。

$1/L2$ が高くなることでアーチスプリング部の水平反力は減少し、鉛直反力は増加する(図-9)。水平反力と鉛直反力の値のバランスを考慮すると、BFA 構造は $1:L2:L1=11:10:10$ が最適なプロポーシオンであることが分かった(図-10)。

滝見橋では、側径間の地形の関係から、 $1:L2:L1=8:10:11$ のプロポーシオンとなった。

3. 5 コンパクトに見せるための造形デザイン

アーチリブの端部は、大きくそぎ落とした造形とし、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、100 mm, 250 mm, 500 mmとした(写真-3)。張出し床板と地覆端部は、ハイライトになるように斜めの形状とし、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-4)。

4. まとめ

世界文化遺産の構成資産白糸の滝に架橋された滝見橋の設計について報告した。コンパクトな橋体と耐久性の高い構造そして維持管理コストの低減等、現地の様々な要求事項、設計条件からコンセプトデザイン⁵⁾を行い、架橋位置や周辺環境への配慮したデザインを示した。構造発想として、バランスド扁平アーチ構造という新しい構造要素が創出された。この構造要素は、インテグラル構造の長スパン化にも寄与できる発想であり、BFA 構造の可能性を期待できるものとなった。

最後に、本プロジェクトにご協力戴きました関係諸氏皆様に感謝の意を表します。

[参考文献]

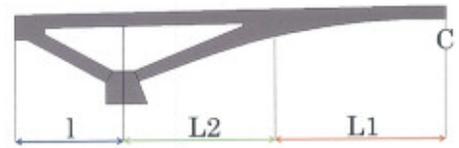


図-8 側径間と主径間のプロポーシオン

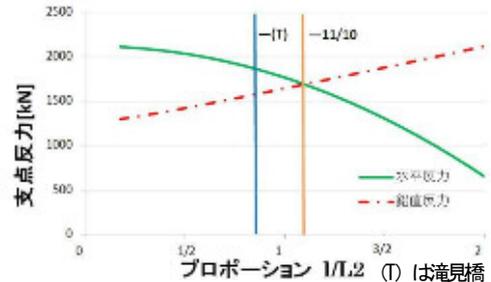


図-9 プロポーシオンから見た反力



図-10 BFA 構造の最適なプロポーシオン

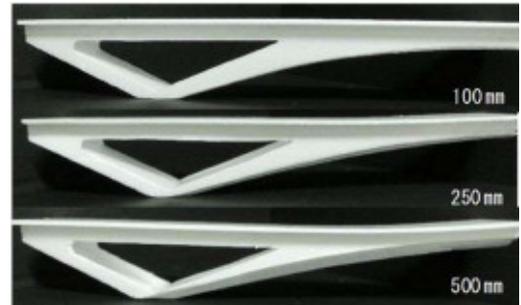


写真-3 アーチリブ形状のスタディ模型



写真-4 滝見橋のアーチリブと全景

1) 関文夫, 佐藤和幸, 伊東靖, 石原大作, 天野光一; 世界文化遺産の構成資産白糸の滝に架かる滝見橋のデザイン, 景観・デザイン研究講演集 No. 9, pp. 117~122, 2013. 12
 2) 五味傑, 橋本直樹, 秋葉芳之, 関文夫: バランスド扁平アーチ構造の構造特性とその挙動に関する研究, 平成 25 年度日本大学理工学部学術講演会予稿集, pp. 521~522
 3) Fritz Leonhardt : Brücken, Deutsche Verlages-Anstalt, 1982
 4) 山田真弘: バランスド扁平アーチ構造の構造特性と最適スパンに係る研究
 5) Mike Schlaich, 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 - 145, 2006