

## 技術ノート

## あやとりはしの設計・製作・架設

Design, Fabrication and Construction of AYATORI Bridge

水木 彰\*  
Akira MIZUKI鴨野一夫\*\*  
Kazuo KAMONO村山武文\*\*\*  
Takefumi MURAYAMA上田高司\*\*\*  
Takashi UEDA上農勇\*\*\*\*  
Isamu JOUNOU杉山清高\*\*\*\*\*  
Kiyotaka SUGIYAMA

This bridge was designed in the form of a three chord-truss, monotonously curved in horizontal plane with the purpose that scenery from the bridge might change. The upper chords and lower chords have an S-curve with a curvature of  $R=60m$  and  $33.7m$  respectively. Its longitudinal alignment also contains an S-curve. Consequently, the design, fabrication and erection of this bridge members and panel points required three-dimensional considerations.

This report summarizes the main points of these considerations in relation to the design, fabrication and erection.

*Keywords : AYATORI Bridge, three-chord truss, curved bridge, CAD*

## 1. まえがき

中山町は、鶴仙渓修景整備事業を推進すべく、基本構想「勅使河原宏氏 鶴仙渓を活ける」を掲げ、デザインが草月流家元・勅使河原宏氏、設計が金沢工業大学水野一郎教授および株金沢計画研究所のもとで進められた。

橋のデザインは、過去にとらわれない、単なるAからBへの単純な直線的移動を促すものとしてではなく、写真-1のような曲線を重視し、ねじりに強い三角形を基本とした単純曲線三弦トラスが立案・決定された。

平面的には、曲線半径60 mのS字曲線の上弦材と曲線

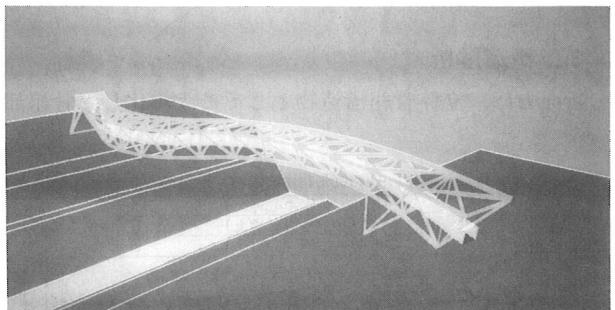


写真-1 コンピュータグラフィック

半径33.7 mのS字曲線の下弦材からなっている。また、縦断形状においても、水平から12%の勾配にまで変化し、そして水平に戻る。この流動的な線形を直線的な三角形断面によって構成し、微妙な調和を保つようにした。

この三主構によって形成される空間内に、吊構造の歩廊を配することにより、人は橋桁に近づいたり遠のいたりしながら、友人などとの会話を楽しんでいるあいだに、目に映る景色が変化していく。本橋のデザインでは、橋と出会い、そして橋を媒介として、意外な景色の展開を楽しめることを狙っている。本文は、本橋の設計・製作・施工について、その概要を述べるものである。

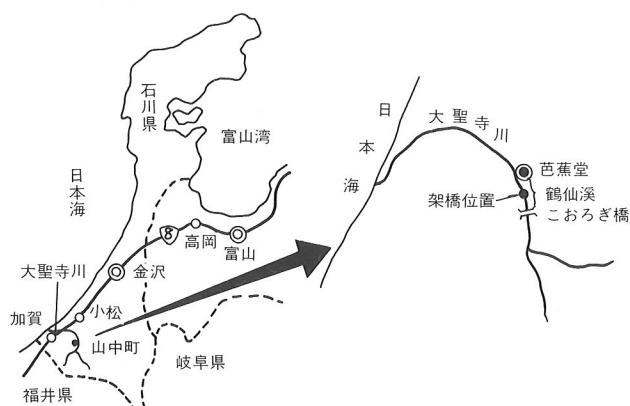


図-1 架橋位置

## 2. 橋梁概要

\*川田工業(株)富山本社技術部設計課課長 \*\*川田工業(株)富山本社技術部設計課係長 \*\*\*川田工業(株)生産事業部富山工場生産技術課  
\*\*\*\*川田工業(株)富山本社工事部工事課係長 \*\*\*\*\*川田工業(株)富山本社工事部工事課

本橋は、三弦トラスとして三本の弦材間を結ぶ斜材、横構、支材が三角形断面を立体的に構成しているため、横断面の変形が少なく、ねじれ抵抗の大きい断面となっている。

本橋の一般図を図-2に、主要諸元を以下に示す。

#### 橋梁諸元

主構長：83.577 m

支間長：66.861 m

歩廊長：94.709 m

橋格：歩道橋

幅員：1.5 m

床組：木床版（ノンスリップゴム付き）

雪荷重：2.5 m（積雪高）

風荷重：基本風速 40 m/s

本橋は、S字形曲線橋であり、ねじれに対処するため、支点が脚を大きく開いた形状を採用した。

この支点の配置は、図-3に示すように、構造物全体が各支点を結ぶ範囲内に入る位置に対称に配した。これにより、常時死荷重によって生じる反力は負反力となることはなく、また群集荷重が載荷された状態でも負反力とならない安定した状態を保つ構造系となっている。

表-1に支承反力計算の結果を示す。

### 3. 構造解析

断面力は、立体骨組構造物としてモデル化し、骨組部

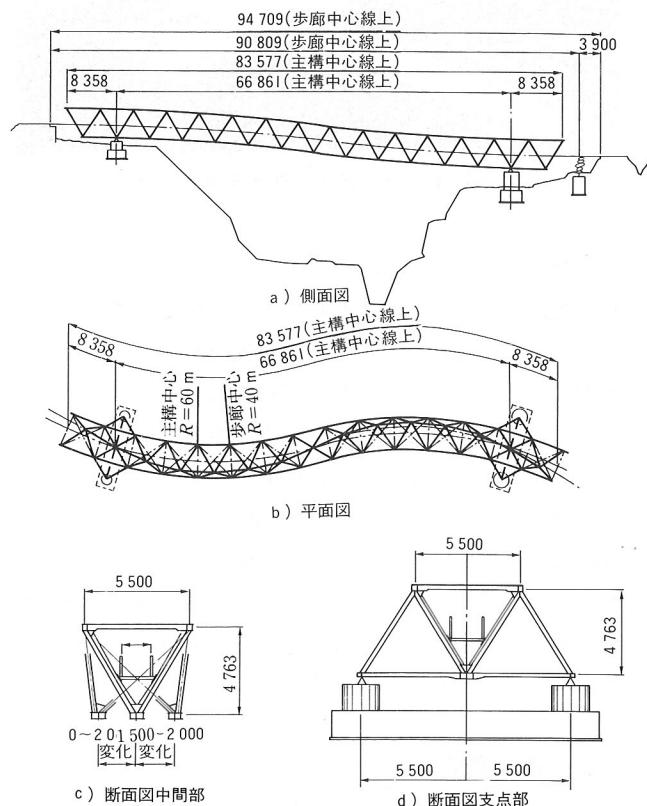


図-2 一般図

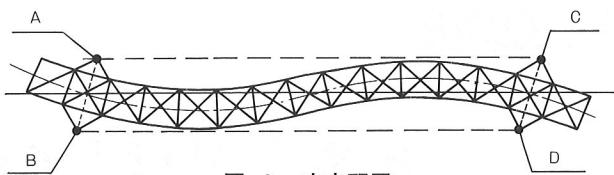


図-3 支点配置

表-1 支承反力値

荷重項目	支承反力(t)			
	A	B	C	D
① 常時死荷重	35.8	77.2	75.6	37.6
② 群集荷重(+)	6.8	14.0	13.6	7.1
③ 群集荷重(-)	-0.6	0.0	0.0	-0.5
④ 風荷重	-10.1	9.1	-11.0	12.0

材はS字形曲線によるねじれの影響が大きく作用すると考えられ、上下弦材・斜材・支材そして横構の全てを考慮した剛結トラスとして解析した。

#### (1) 上下弦材の設計

立体骨組解析による上弦材の軸力の流れを、図-4に示す。通常、支間中央で軸力は最大となるが、本橋では支間中央からはずれた部分で最大値が発生している。

これは、S字曲線のねじれによるもの、および図-5に示すように下弦材と上弦材の位置関係変化により左右両弦材の軸力負担率が変わる要因によるものと考えられる。

上弦材、下弦材の断面は、格点剛結による曲げ剛性を考慮し算定した。この曲げ剛性を考慮したことによる応力度は、約200~300 kg/cm<sup>2</sup>に達している部分もある。

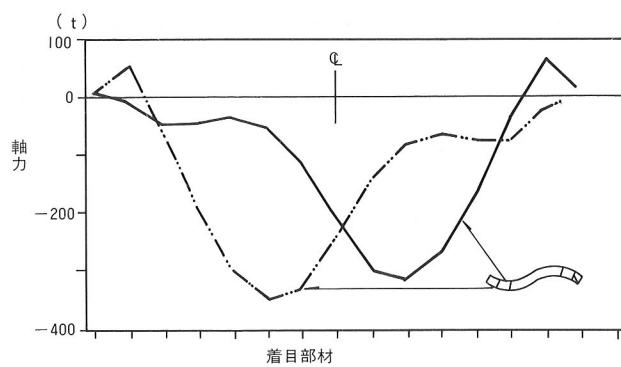


図-4 上弦材軸力図

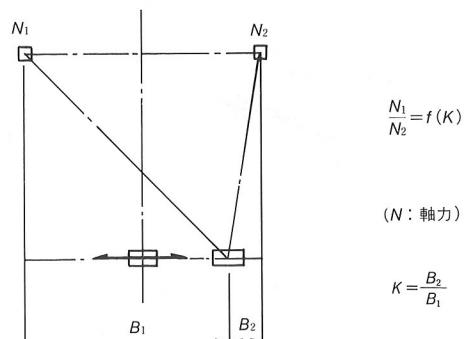


図-5 上弦材軸力の負担

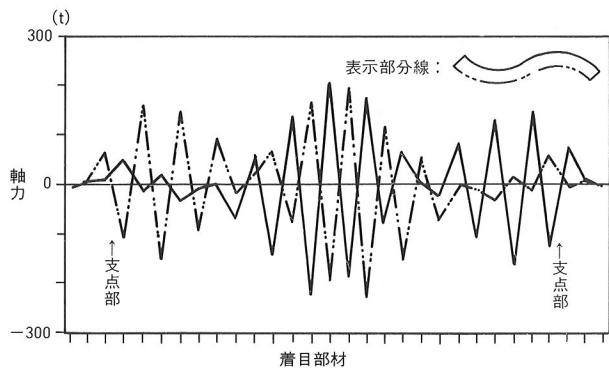


図-6 斜材軸力図

## (2) 斜材

図-6に示すように斜材軸力についても、S字曲線などによる影響が大きく、両支点側よりも左右両ねじりモーメントの交差部である支間中央で最大値となっており、直線橋とはまったく異なる挙動を示している。

## (3) 格点部の設計

本橋の格点部構造は図-7に示すように非常に複雑なものとなることから、ガセット厚については、以下の方針で検討し決定した。

① 道路橋示方書および本四公団トラス格点構造設計指針（案）（昭和51年3月）により検討を行う。

② ガセット内内の応力・隔板の応力は、格点部に集中する弦材、斜材、支材、横構などの軸力、曲げモーメントにより発生するが、本格点部は各部材が複雑に交差した構造であるため、FEM解析することによって安全性を確認する。

本格点部の特徴は、相対する斜材間に隔板が割込んだ構造である。隔板は、両側からの斜材軸力によって曲げモーメントを受けるが、その大きさは、斜材の水平分力、相対する斜材の偏心量、そして格点部の剛度によると考

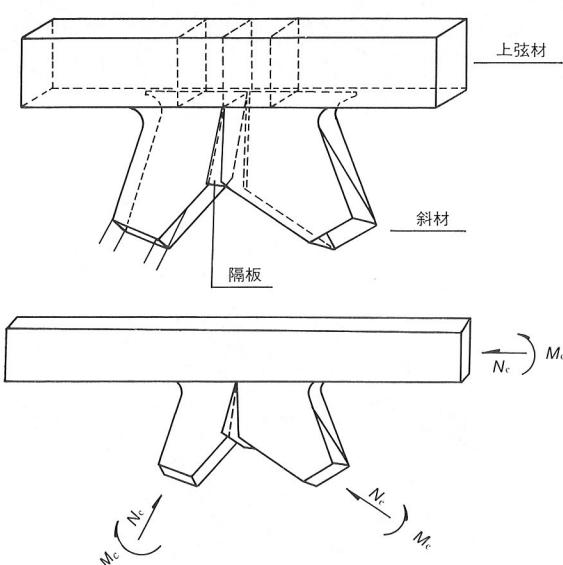


図-7 格点部およびFEMモデル図

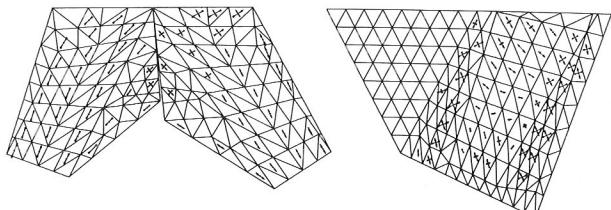


図-8 ガセット・隔板の応力度

えられ、FEM解析によりその検討を行った結果を図-8に示す。

これらの検討の結果、いずれにおいても、充分安全であることを確認した。

## (4) 剛度

S字形の曲線橋であり、群集荷重によって生ずるたわみが大きいことが、歩行者に不安感を与える要因となることも考えられる。解析によると本橋は、群集荷重満載時（全荷重：34.6 t）でたわみ量が26.6 mmであり、これをたわみ度で示すと1/2500である。この結果、本橋は非常に剛度の大きいものとなっている。

また、S字曲線の凸部に偏載させた場合には、最大11.8 mmのたわみ量となり、上弦材間の横断たわみ差は3.8 mmである。これは横断勾配0.07%に当たり、本橋は振り剛度についても、剛度の大きい構造となっている。

## (5) 応力測定

本橋が従来にない独特な形状をもつ橋梁であることから、載荷試験による応力測定を行った。測定は、工場仮組立時に桁を多点支持状態から支点支持状態へ移行させ、自重載荷状態で実施した。

図-9に示すように、各部材において計算値と測定値はよく合致しており、本解析が正しく、実橋の挙動を評価していることを確認した。

## 4. 工場製作

### (1) 原寸工程

写真-2に示すように本橋の特殊形状により、主構はも

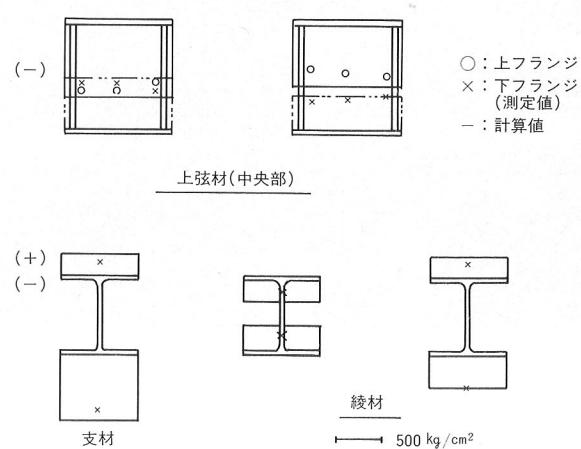


図-9 応力測定結果

もちろん、付属物においても展開作業が要求されるため、従来の二次元CADでの原寸作業は非常に複雑で作業量も膨大なものになると予想された。そこで原寸作業を開始するにあたり、三次元CADを導入することになった。

これは、特に格点部における部材相互の取合い確認、そして高精度の部材製作が要求される本工事にとって必要不可欠のものとなっている。

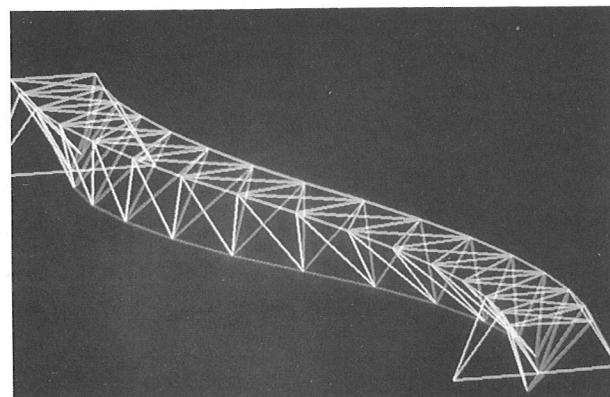


写真-2 等角投影図

CAD作業の進め方は、基本座標の入力から始まり、次に主構の肉づけ、ガセットの肉づけ、歩廊、高欄という順序で行い、そして、各々の展開作業に入ることとした。ほとんどの部材が“展開を要する”，この事が最大のネックである。これはCAD導入時に予想されていたことではあったが、実際行うと作業量があまりにも多く、負担がかかりすぎたために、二次元CADとの併用を余儀なくされた。まず、三次元CADにて展開の基本をつくり、それを利用して、二次元CADで部材の肉づけを行った。これにより、後に続く原寸作業もスムーズに進み、当初の工程通りに作業が終了した。なお、写真-3に三次元CAD結果の一例を示す。

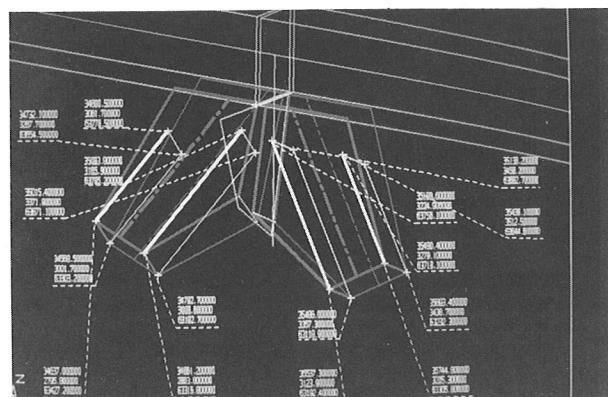


写真-3 格点部の詳細

## (2) 製作工程

製作段階においても、本橋の形状・精度確保は非常に困

難と考えられ、計画時より下記の問題点が提示された。

- ① 立体的に組み上げられる部材相互の取合い関係に、どの様にして整合性をもたせるか。
- ② 複雑に交差する弦材と斜材の格点部付近の溶接性。
- ③ 溶接ひずみに対する部材精度の確保。

これらについて、下記のように対処した。

### a) 部材の組立と取合い

通常の部材の単品製作では立体組立時の良好な取合い確保はむずかしいと予想されたので、部材を一般部と格点部に細分化し、それらの部材を写真-4に示すように工場内にセットした仮設吊台上に、製作時格点座標に合わせて立体的に配置し組付け仮溶接した。

この座標管理による組立は、仮組立作業にも応用し、その精度が確保された。

### b) 格点部の溶接性

弦材に入る斜材の進入角度が全て異なるため、施工前に格点部の模型を作成し、実際に使用される溶接機器を持ち込み、溶接時の開先角度、裏はつり面の検討、溶接作業空間等を入念にチェックし施工性の確認をした。

### c) 溶接ひずみ等

斜材が一点に集中する下弦材は、箱断面の二重構造になるため、溶接量や順序によってはソリやねじれを生じるおそれがあるので、詳細設計の段階で各部門と打合せ

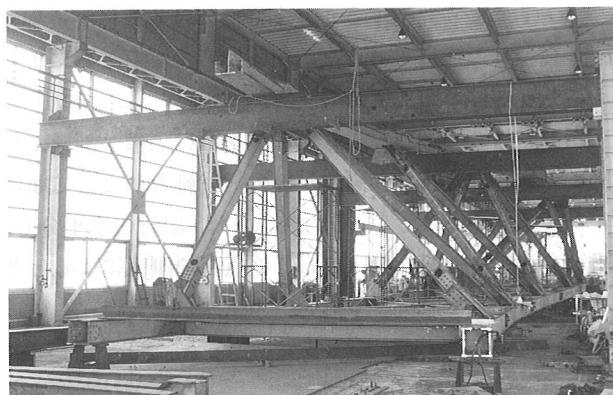


写真-4 工場組立状況



写真-5 仮組立全景

を重ね、組立や溶接順序を考えたディテールとなるよう計画した。

今回の製作は、曲線三弦トラスという複雑な構造にもかかわらず、積極的な事前対策と各部門との協議により作業中特別な支障もなく、無事製作工程を終えることができた。なお、写真-5に仮組立全景を示す。

## 5. 現場架設

本橋の架設工法の選定は、以下の点を考慮して行った。

- ① 景観を極力変えないよう事前協議し、立木の伐採は最小限に2本程度とする。
- ② 輸送経路が温泉街を通るため、搬入が制約される。
- ③ 河川内へのベント建込みは、河川管理・景観への配慮から限られたものとなる。
- ④ 架設ヤードも、限られた広さである。
- ⑤ 両岸の修景工事と同時施工が可能な工法とする。

これらの諸条件より、図-10に示すようにクレーン架台を設けたトラッククレーンベント工法と、流水部の斜吊り工法を併用した工法となった。

架設は、両岸から行い中間部で閉合を行うこととした。本橋は独特な形状であるため、部材のたわみ角、取付角が微妙に影響し、部材接合ができなくなることから、測定には正確を期した。また、全格点支保工建込みができ

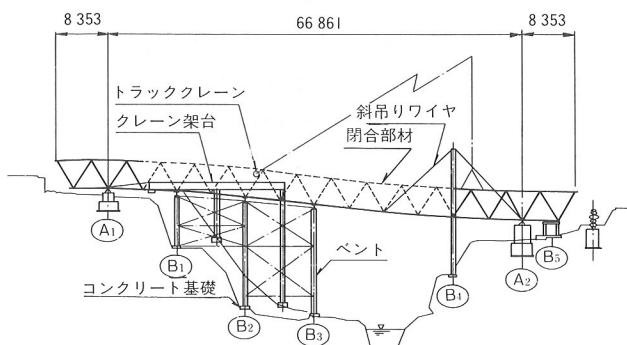


図-10 架設一般図

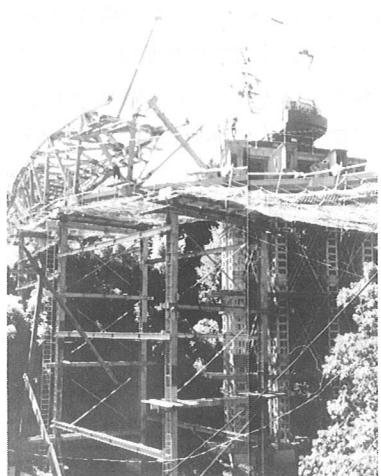


写真-6 現場架設

ないことから、支保工間のわずかなたわみにより、上弦材、横構のボルト挿入ができない状態が考えられた。そのため、ジャッキによる前後支保工高の調整などにより部材の接合を行うこととした。以上の施工計画のもと、架設を行い、無事8月末に閉合を終えた。写真-6に現場架設の状況を示す。

## 6. その他

### (1) 歩廊

歩廊は、歩くたびに伝わってくる振動を楽しめるようになれる易い構造とすることから、トラスの中を通り、トラスから吊り下げられた空中歩廊となっている。

床は、12%の縦断勾配に対応するため、ノンスリップゴムを貼った木床版となっている。

### (2) 塗装

塗装は、山々の緑や渓谷など周囲の景観を考慮するため、コンピュータグラフィックによるシミュレーションの実施、および現地での打合せを重ねた。その結果、勅使河原宏氏の推された赤味がかった紫色、ワインローズに決定された。

## 7. あとがき

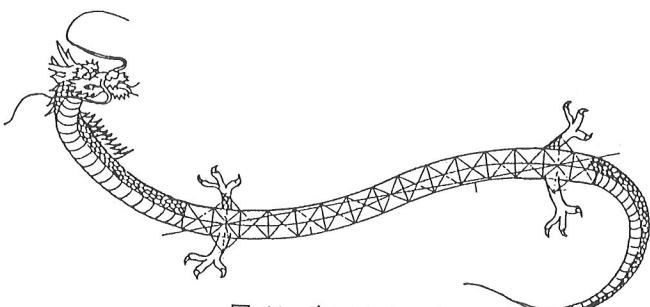


図-11 竜のイメージ

本橋は、様々な分野の人々の参画のもとに立案され、従来の橋梁形状やイメージにないものとなっている。

A地点からB地点へ、単に渡るだけのものとしてではなく、限られた空間の中で否応なく、橋そのものと人間が関わりをもち、そして橋の内から見る景観が自然と変化していく、平面的にも縦断においてもS字曲線となり三次元的な変化・移動を人に強いる形をもった橋である。

本橋の架橋位置は、道明が渕と呼ばれる竜にちなんだ伝説のある所である。そのため本橋の形状から、図-11のような竜もイメージできる。

近年、橋に対して文化性を導入し、ロマンチックな感覚をかもしだす配慮をする傾向があるが、本橋もその一端を担えれば幸いである。

最後に、本橋を計画された山中町、草月流家元・勅使河原宏氏、金沢工業大学・水野一郎教授、他関係各位に心よりお礼を申し上げます。