旭橋の技術伝承と新北海道三大名橋への提案

Advanced Sophisticated Technology of Asahibashi Bridge and Proposition of Three-great Celebrated Bridges in Hokkaido

北海道大学名誉教授　　名誉会員　林川　俊郎 (Toshiro Hayashikawa)

１．まえがき

わが国の鉄製および鋼製の道路橋は、明治時代になってから外国製の材料を輸入して架設された。北海道内に架けられた鉄・鋼道路橋は次の 3 橋と言われている [1]。①豊平橋（明治 31 年、錬鉄）、②石狩川橋（明治 35 年、鋼材）、③旭橋（明治 37 年、鋼材）であり、いずれもトラス橋である。部材の接合はピン連結とし、アイバーが採用され、床版には針葉樹を主とした木床版を使用している。大正時代に北海道内で架設された鋼道路橋は以下の 2 橋のみである。①石狩大橋（大正 9 年、トラス橋）、②豊平橋（大正 13 年、タイドアーチ橋）であり、前者は木床版、後者は北海道内初のバックルプレートを使用した無筋コンクリート床版である。

昭和の時代になると、鋼橋が盛んに架けられた [2]。しかし、大東亜戦争（支那事変）が始まると、鋼材の入手が困難となり、必然的に鋼橋の架設は不可能となった。昭和 12 年に架設された留萌橋（ランガー橋）以降、終戦までの鋼橋は空白時代となった。北海道内に架けられた戦前の鋼道路橋はおおよそ 30 橋である。その中で、幣舞橋（昭和 3 年、鈑桁橋）には北海道初の鉄筋コンクリート床版が採用され、運河橋（昭和 11 年、鈑桁橋）は北海道における最初の全溶接橋である。ここで、「北海道三大名橋」と呼ばれる橋がある。①1924 年(大正 13 年)、札幌市の豊平橋（2 代目、タイドアーチ橋）、②1928 年（昭和 3 年）、釧路市の幣舞橋（初代、鈑桁橋）、③1932 年（昭和 7 年）、旭川市の旭橋（2 代目、タイドアーチ橋）である。豊平橋は 1966 年（昭和 41 年）に 3 径間連続箱桁橋（鋼床版）、幣舞橋も 1976 年（昭和 51 年）に 3 径間連続箱桁橋（鋼床版）に架け換えられ、当時の面影はない。当時の姿をそのまま残し、鋼道路橋として現存するのは 2 代目「旭橋」（1932 年、旭川市）のみである。

本研究の目的は「北海道三大名橋」の内、唯一、現存する「旭橋」（1932 年、旭川市）が約 90 年間にわたり、上部構造、下部構造、支承、床版等を取り換えることなく、架設当時の構造をそのまま維持している要因について検討する。また、旭橋の歴史的な背景、技術の伝承、橋梁形式および意匠について考察する。さらに、第一次道路整備五ヵ年計画が 1954 年にスタートし、高度経済成長期と重なるように北海道内の鋼道路橋の建設事例は急激に増加した。これら戦後、架設された膨大な道路橋の中から、戦前の「北海道三大名橋」と並び評される優れた道路橋を「新北海道三大名橋」と呼称することを提案し、具体的な 3 橋梁の選定について議論する。

２．旭橋の構造形式の特徴と技術の伝承

2-1　架設時の歴史的背景と橋梁形式の変遷経緯

現在の旭橋の位置に、明治 25 年 11 月、長さ 50 間、幅 1 間の木橋が架けられた [2]。その 2 年後に、北海道庁が高欄の付いた木橋（トラス橋）を架け、「鷹栖橋」と命名した。初代旭橋（写真-1）は、北海道庁技師山岡三郎の設計により、明治 37 年 7 月に竣工し、北海道内で 2 番目の鋼道路橋となった。初代旭橋の橋長は 342 呎（104m）、幅員 5 尺 2 寸（5.5m）、木床版のシュヴェットラートラス橋である。竣工と同時に、橋名は「鷹栖橋」から「旭橋」へと変わり、その橋名板は初代旭橋の橋門構に掲げられた。その後の旭川市は道北の産業、経済、軍事の拠点として発展する。旭橋は旭川市街の中央部に位置するばかりではなく、旭川駅と第七師団を結ぶ軍事的にも重要な橋であること、路面電車を通したいという地元の強い要望があること、さらに、交通量の増加と交通荷重の増大に伴い、急速に老朽化が進行したことにより、初代旭橋の架け換えが必要とされた。

写真-1　初代旭橋

写真-2　2 代目旭橋

北海道庁はこの要望に応えるため、昭和 2 年、北海道大学初代工学部長・吉町太郎一に設計指導を依頼した [3]。吉町は「旭川市のシンボルになるような橋を」と考えて、当時の内務省と協議して橋梁形式を決定した。予備設計は北海道庁技手・塩塚重蔵（大正 15 年、九大卒）が最初に取り組み、翌昭和 3 年 4 月に同技手・樋浦大三（昭和 3 年、北大卒）が参加した [4]。昭和 4 年 1 月の年明けに改築工事が決定され、直ちに本設計に着手し、僅か半年

後の 7 月に本設計が完了し、9 月には内務大臣の認可を受けた。当時、設計に使用した単位として、重さは噸・貫・封度、長さは尺・呎・吋等の種々の単位が用いられ、数少ない技術者が僅か半年余りで設計計算したことは驚異的なことである。2 代目「旭橋」（写真-2, 3）の渡橋式は昭和 7 年 11 月 3 日に行われ、橋門構には第七師団長佐藤己之助中将の揮毫による「誠」という文字を中心に、忠節・礼儀・武勇・真義・質素の軍人勅諭綱領を配した旭日章額が掲げられ、その除幕式が行われた [1)]。電車が橋の上を通過する時、車掌は「気をつけ！」と号令をかけたという。当時、2 代目「旭橋」は軍都旭川を象徴する橋であった。この額は終戦とともに撤去された。

写真-3　2 代目旭橋の額

2-2　構造形式の特徴と長寿命化対策

2 代目旭橋は図-1 に示すように、橋長 226m、幅員 18.3m、中央径間長 91.4m のブレーストリブ・キャンチレバー・タイドアーチ橋である。上部構造は中央径間をタイドアーチとし、側径間はワーレントラスとしている。中央径間のタイドアーチの両端の支承は可動支承であり、側径間の端部は固定支承である。下部構造は橋台 2 基、橋脚 3 基である。橋台は鉄筋コンクリート製であり、側面および前面の一部に花崗岩を積み上げている。橋脚は基礎に鉄筋コンクリートの柱を設け、通常水位以上の外面には花崗岩を施しており、両橋脚を鉄綾鋼で連結している。

タイドアーチ橋の下弦材には大きな張力が作用するため、高張力鋼が採用される。旭橋のタイにはドイツから輸入したウニオン・バウシュタール鋼を使用した。この高張力鋼は、鋼とクロムを含む低炭素鋼である。旭橋の補剛桁の構造形式は 3 径間連続補剛桁である。よって、外的には 2 次不静定構造である。中央径間のタイドアーチの突出部（キャンチレバー）両端にはロッキングカラムを挿入して、橋軸方向を可動としている。ロッキングカラムの上下端はピン結合であり、その上弦材と下弦材には長孔を有する冗材が用いられている。ロッキングカラムは温度変化による伸縮量を吸収し、不等沈下による 2 次応力の発生を防止している。したがって、旭橋の主要構造全体系としては、外的静定構造であり、内的 1 次不静定構造である。現在の旭橋の外観を写真-4 に示す。中央径間のタイドアーチの両端の支承は可動支承であり、突出部にはロッキングカラムを設置していることから、旭橋の主構造タイドアーチはオールフリー形式となり、橋軸方向の地震力に対して問題はない。しかし、橋軸直角方向の地震力に対して、旭橋の主構造タイドアーチはトップヘビーであり、下部構造の橋脚の主鉄筋および帯鉄筋の量的な不足から問題がある。とくに、レベル 2 の地震動については耐震性能向上の対策が必要である。旭橋の外観を損ねない範囲で、両橋脚を連結している鉄綾鋼にエネルギー吸収部材を挿入する、あるいは、上部構造の上横構に座屈ブレース材、ダンパー、低降伏点鋼を挿入するなどの制震対策が必要である。

旭橋の床版は、バックルプレートを用いた無筋コンクリートである。バックルプレートは中央部を凹にした板厚が 6mm から 8mm 程度で、1 辺が 1m ほどの長方形を成し、周辺をリベット結合する。鋼板の中央部には直径 19mm の孔が開けてある。このバックルプレートを格子状に組んだ縦桁と横桁との間に設置し、鋼板の周辺をリベット接合して鋼製の床版を作成する。バックルプレートにはスタッドや、形鋼、ずれ止めは無く、無筋コンク

写真-4　現在の旭橋

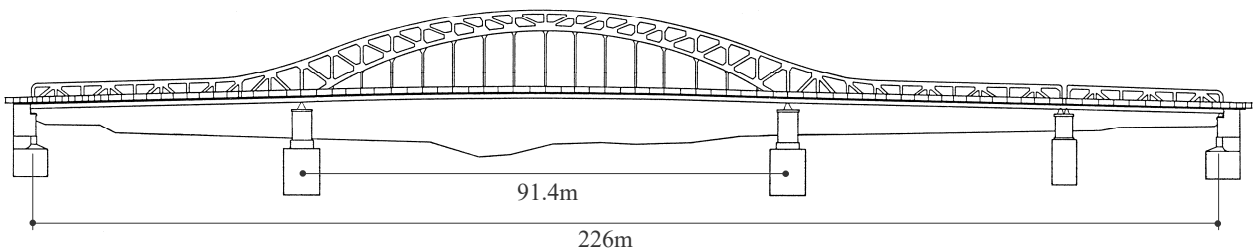

図-1　旭橋側面図

リートとの合成作用はない [5]。このバックルプレートの上に、車道部においては中央で 19cm、端部で 11cm のシンダーコンクリートを打設し、その上に、5cm の中間層、1.8cm の表層をもつシートアスファルトを施工した。ここで、シンダーコンクリートは石炭の燃えかすとセメントを練り混ぜたものであり、橋床の軽量化を狙ったものである。このように、バックルプレートを使用した床版は、旭橋の竣工時（1932 年）から現在（2022 年）まで約 90 年経過しているが、表層のシートアスファルトの摩耗による損傷の補修を一部行ったものの、バックルプレートおよびシンダーコンクリートの破損はなく、一度も補修を行ったことはない [3]。当然のことながら、縦桁および横桁上の無筋コンクリートには負の曲げモーメントが発生し、引張応力による構造的なクラックが生ずる。また、乾燥収縮、クリープ、温度差等により、無筋コンクリートにはひび割れが発生する。無筋コンクリートに発生したひび割れは、やがて、貫通したクラックとなり、さらに、水分が補給されると、鋼板やコンクリートの強度を一気に低下させる。しかし、旭橋のバックルプレート中央部には直径 19mm の孔が開けてあることから、速やかに、水分が排出される。冬期間、旭橋の床版下面を桁下から見上げると、氷柱（つらら）が垂れ下がっていることが確認できる。この現象は、雪解け水や雨が無筋コンクリートのクラックを通過して、バックルプレート中央部の孔から水分を排出していることの証左である。旭橋の床版にバックルプレートを使用したことが、結果的に橋の長寿命対策となった。

アーチ橋の入口と出口には、横方向の変形を防ぐために必ず橋門構を設置する [5]。旭橋の橋門構はフィーレンデール型で、その腹板高さは 1.6m から 2.5m ほどである。その当時、幅の広い鋼板を入手することが困難であったことから、腹板の中央部を電弧溶接で接合している。また、補強リングに使用しているアングル材（山形鋼）も電弧溶接で製作している。積雪寒冷地である旭川市において、例え、鋼橋の一部である橋門構に電弧溶接を施したことは、その当時の橋梁技術レベルの高さを知ることができる。

2-3　橋梁技術の伝承と人脈

明治 9 年（1876 年）当時、米国マサチューセッツ州立農科大学長であったウイリアム・スミス・クラーク博士（1826-1886 年）は北海道開拓使の招きにより、札幌農学校の教頭として来道した。その時、ウイリアム・ホイラー教授（土木工学、数学、英語学）と P.D.ペンハロー教授（化学、植物学、農学）を同伴した。ホイラー（1851-1932 年）は帰国する明治 12 年（1879 年）までに、「札幌圏交通輸送体系検討書」、「室蘭札幌間鉄道敷設計画書」、「黒松内山道改修計画書」、「石狩川水利測量手続書」、「豊平橋災害復旧計画書」等を開拓使に提出した [3]。さらに、ホイラーは洪水で何度も流失した豊平橋（木製トラス橋、橋長 34 間、幅員 3 間）を設計し、明治 11 年 10 月に竣工した。また、ホイラーの設計指導により建設された札幌農学校演武場（現札幌時計台）は明治 11 年 6 月に工事がスタートし、同年 10 月 16 日に落成した。彼の教えを受けた札幌農学校 2 期生からは廣井勇、内村鑑三、新渡戸稲造、宮部金吾、南鷹次郎らの優秀な人材を輩出した、ホイラーの指導力は驚嘆に値する。

ホイラー教授から土木工学を学んだ廣井勇（1862-1928 年）は日本の近代土木工学確立の礎を築いた教育者であり、かつ、技術者である。札幌農学校卒業後、直ちに開拓使鉄路課に勤務し、北海道最初の鉄道である小樽―幌内間の工事に従事した。その後、ホイラー教授を頼って渡米し、ミシシッピー川改良工事、橋梁の設計および製作に携わった。明治 20 年（1987 年）札幌農学校助教授に任ぜられると同時に、当時橋梁工学の中心地であったドイツへの留学を命ぜられ、土木工学、水理工学を研究した。明治 22 年（1889 年）に帰国し、札幌農学校教授に昇任した。翌年、北海道炭鉱鉄道会社、北海道土木課長を兼務、小樽築港工事、函館港改良工事に従事した。岡崎文吉（1872-1945 年）は、明治 21 年（1888 年）に札幌農学校工学科に 1 期生として入学し、廣井勇教授から土木工学、橋梁工学を学び、卒業後は 21 歳の若さで明治 26 年（1893 年）、札幌農学校助教授に就任した。明治 29 年（1896 年）に北海道庁技師となり、プラットトラス型の錬鉄製の初代豊平橋（橋長 64.4m）を廣井勇教授の指導の下に設計した。その後、廣井勇は明治 32 年（1899 年）に東京帝国大学工科大学教授に転任し、わが国各地の港湾、河川、水力発電工事、橋梁設計指導に従事した。廣井勇教授の設計指導の下、北海道庁技師の山口敬助と同技手の高橋勝衛によって設計された 2 代目豊平橋（写真-5）は 3 年あまりの歳月をかけて大正 13 年（1898 年）に完成した。廣井勇が東京帝国大学工科大学の教授時代に教育した学生には、青山士、太田圓三、増田淳、八田與一、田中豊、宮本武之輔、石川栄耀らの錚々たる逸材を土木界に送り出し、彼らは海外に雄飛し活躍した。

写真-5　二代目豊平橋（大正 13 年竣工）

吉町太郎一（1873-1961 年）は、明治 31 年（1898 年）東京帝国大学工科大学土木工学科を卒業、同年同大学の助教授として廣井勇教授の教育研究指導を受け、明治 35 年（1902 年）から 3 年間欧米に留学し、大正 13 年（1924 年）北海道帝国大学に工学部設立の際、工学部長として迎えられ、同時に土木工学科橋梁学講座の教授を担当した [6]。吉町太郎一教授は、昭和 2 年（1927 年）に北海道庁の依頼により、2 代目「旭橋」（1932 年、旭川市）の設計指導を行った。その当時、大正 12 年（1923 年）9 月 1 日に発生した関東大震災により、隅田川に架かる橋梁は甚大な被害を受けた。震災復興橋梁として、相生橋、永

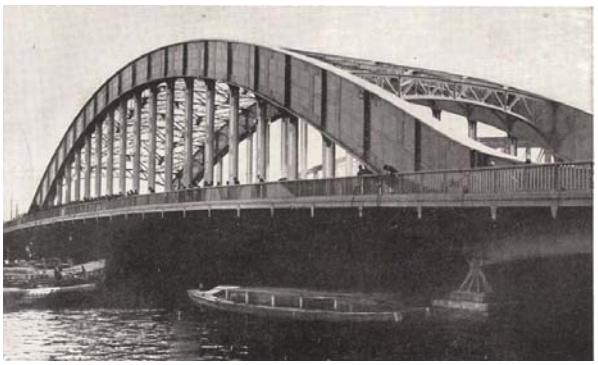

写真-6　永代橋（大正 15 年竣工）

写真-7　清洲橋（昭和 3 年竣工）

代橋（写真-6）、清洲橋（写真-7）、両国橋、蔵前橋、厩橋、駒形橋、吾妻橋、言問橋が架け換えられた。その中でも永代橋と清洲橋は隅田川橋梁の顔とされ、それぞれ「帝都東京の門」と「震災復興事業の華」と謳われた[7]。永代橋はドイツ・ライン川に架かるルーデンドルフ鉄道橋（レマゲン鉄橋）をモデルにしたタイドアーチ橋であり、大正 15 年（1926 年）に竣工した。清洲橋はドイツ・ケルン市にあったヒンデンブルク吊橋をモデルにした自碇式吊橋であり、昭和 3 年（1928 年）に竣工した。いずれも廣井勇の教え子である田中豊と太田圓三が橋梁復興に参画している。

樋浦大三（北大土木 1 期生）は昭和 3 年（1928 年）、北海道帝国大学工学部土木工学科を卒業すると同時に、北海道庁技手として土木部道路課勤務となり、旭橋の設計を担当する。樋浦は計算機を廻し、製図と資料を作成し、吉町太郎一教授の指導を受けながら、吉町の設計手法を学んだ。結局、樋浦は旭橋の工事着手から竣工まで指導監督に従事した。その後、樋浦大三は昭和 18 年（1943 年）台北帝国大学工学部に教授として赴任し、構造力学と橋梁工学講座を担当した。さらに、昭和 28 年（1953 年）に東北大学工学部教授として大学院工業研究科と土木工学第二講座を担当した[4]。

このように、北海道三大名橋のひとつ「旭橋」が誕生したことにより、「ホイラー」⇒「廣井勇」⇒「吉町太郎一」⇒「樋浦大三」へと橋梁技術の伝承が成された。

３．新北海道三大名橋の提案

国土交通省「道路統計年報」の橋梁の現況データによると、北海道が最も橋梁数が多く 13,451 橋である。北海道開発局が管理する橋梁は 4,385 橋、札幌市は 1,280 橋ほどである。ほとんどが戦後、架設された橋梁である。この中から、「新北海道三大名橋」に相応しい橋梁を以下に 3 橋選出し、その架橋内容を記述する。

第一として、室蘭市陣屋町と対岸の絵柄半島にある祝津町を結び、室蘭港を跨ぐ東日本最大級の吊橋である「白鳥大橋」（1998 年竣工）を選出する。白鳥大橋は、橋長 1,380m、幅員 14.25m、鋼床版箱桁を補剛桁とする 3 径間 2 ヒンジ補剛吊橋である。白鳥大橋には 2 つの側塔があり、側塔が主ケーブルを支えることにより、主塔やアンカレイジの規模を抑えている。主塔基礎は祝津側で 57m、陣屋側で 73m となり、世界で初めて地中連続壁剛体基礎工法が採用された。ケーブル架設では、世界で初めてＳ字形のワイヤーを使用したケーブル・ラッピングを行った。補剛桁にはフェアリングを取り付け、強風や着雪時でも桁が安定するように耐風安定対策を施している。

第二として、帯広市と音更町を結ぶ幹線道路・国道 241 号に位置し、十勝川を跨ぐ PC 斜張橋として日本国内最大級の規模である「十勝大橋」（1996 年竣工）を選出する。十勝大橋は橋長 501m、幅員 32.8m、PC4 室箱桁を補剛桁とする 3 径間連続 PC 斜張橋であり、日本一の床面積を誇る。冬季の車道への落雪防止対策が施されている。

第三として、上川町三国地区の一般国道 273 号に位置し、石狩川を跨ぐ耐候性鋼材裸使用した「三国橋」（1983 年竣工）を選出する。三国橋は橋梁 106m、幅員 7.5m、RC 床版を有する 3 径間連続鋼鈑桁橋である。主桁間隔は 2.2m で 4 本主桁であり、三国橋は一等橋（TL-20）である。本橋は北海道土木技術会鋼道路橋研究委員会が全国に先駆けて作成した「北海道における耐候性鋼材裸使用の道路橋の設計及び施工指針」[8]に基づき、設計、製作、架設された鋼道路橋である。約 40 年経過した現在において、三国橋の主桁、横桁、対傾構、横構、溶接部、桁端部、高力ボルト等において安定錆が発生しており、風通しの良い架橋地点の景観にも適合している。

４．あとがき

本研究は「北海道三大名橋」の内、唯一、現存する「旭橋」（1932 年竣工）の歴史的な背景と変遷、構造的な特徴、長寿命化対策、橋梁技術の伝承と人脈等について検討した。さらに、戦後、北海道内に架設された膨大な数の橋梁から、優れた橋梁を「新北海道三大名橋」とすることを提案し、①白鳥大橋（1998 年竣工）、②十勝大橋（1996 年竣工）、③三国橋（1983 年竣工）を選出した。

参考文献

1) 北海道土木技術会鋼道路橋研究委員会：北海道における鋼道路橋の歴史，1984. 6.
2) 佐々木光朗：北海道の鋼道路橋の歴史，北海道土木技術会鋼道路橋研究委員会講演講習小委員会，1974. 2.
3) 旭橋 60 周年記念誌：北海道開発局旭川開発建設部，1993. 12.
4) 北大工学部土木一期会：北大工学部土木の源流，増補改訂版，pp. 317-321. 1987. 12.
5) 林川俊郎：橋梁工学，朝倉書店，2000. 4.
6) 北大工学部五十年史編集刊行委員会：北大工学部五十年史，1975. 3.
7) 加藤三兼・林川俊郎：旭橋の歴史に見る橋梁の意匠に関する一考察，土木学会北海道支部論文報告集，Vol. 60，pp. 160-163，2004. 2.
8) 北海道土木技術会鋼道路橋研究委員会：北海道における耐候性鋼材裸使用の道路橋の設計及び施工指針，1981. 7.