

日本橋と創成橋 二つの道路元標に残された共通遺伝子*

A Common Gene Shared by Two Origination Bridges of Nihonbashi and Sapporo Soseibashi

蟹江 俊仁**, 工藤 直矢***, 小泉 正樹****, 川端 良幸*****, 畑山 義人*****

By Shunji KANIE, Naoya KUDO, Masaki KOIZUMI, Yoshiyuki KAWABATA and Yoshihito HATAYAMA

概要

近年、創成橋が架設されている札幌市街中心部を流れる創成川と、それに沿う幹線道路が改修されアンダーパス化するのに伴い、その保存や移設に関わる検討が始められた。その中で、創成橋が担う歴史的・技術的背景に関する調査を行った結果、創成橋と日本橋はほぼ同時期に竣工し、わが国橋梁史の中で、従来式の石造アーチ橋から鉄筋コンクリートアーチ橋へと移行していく過程で生まれた、独特の「石造中詰コンクリートアーチ橋」であることが判明した。本論文は構造的な視点から見た両者の共通性と、そうなるに至った歴史的・人脈的関連性をアーチ橋の歴史の中で位置づけ、両橋に残された「共通遺伝子」について考察するものである。

1 はじめに

日本橋は、多くの名橋がひしめく首都東京においても、ひとときその輝きを放つ優美な二連石造橋であり、わが国の道路元標としても広く知られるところである。これに対し札幌創成橋は、札幌市中心部を流れる川幅わずか6m強の創成川に架けられた単アーチ石造橋であり、札幌市民にさえもその存在が十分に知られているとはいいがたい。強いてその共通点を挙げるとすれば、これまでは、日本橋が「日本の道路元標」であるのに対し、札幌創成橋は「北海道の道路元標」であるという程度での認識であった。しかしこの二橋は、明治末期の同年代に施工された石造中詰コンクリートアーチ橋であり、石やレンガ等による石造アーチから、鉄筋コンクリートアーチへと変化していく技術史の中で、両者をつなぐ橋渡しとしての共通性を有していると考えられる。

本論文は、両橋が架橋された明治40年代を中心に、石造アーチ橋と鉄筋コンクリートアーチ橋に加え、コンクリート中詰式のアーチ橋の歴史と変遷をたどりながら、二つの橋の共通性と、このような構造になった背景を、関連した技術者の系譜も含めて考察するものである。

2 日本橋と創成橋の概要

(1) 日本橋

明治中期、日本橋の架け替えは大きな話題となっていたものの、急激な西洋文明の導入に伴う費用増大に加え、日露戦争による国家財政の逼迫がその実現を先送りしていた。しかし、明治30年代も終わりに近づき、日露戦争に勝利したことも加わって、帝都の顔としての日本橋架け替えが急速に現実味を帯びてくる。折から、東京市への路面電車の導入などが決定され、それに伴う道路インフラの整備は急務となった。こうしたことから、東京市は日本橋の架け替えを決意し、明治39年、議会承認を得る。設計に当たったのは、米国留学から呼び寄せられた樺島正義のほか、樺島と同じ橋梁課に配属されていた米元晋一、さらに橋梁装飾には実績のある妻木頼黄博士である²⁾。ちなみに、橋梁が土木の構造家と建築の装飾家とのコラボレーションで設計されたのは明治19年に竣工した皇居正門石橋が最初とされている³⁾。現在、日本橋は優美な二連石造アーチ橋として知られ、1999年(平成11年)には重要文化財指定を受けている。日本橋の写真を写真-1に、その概要を表-1に示す。

米元自身による工事報告⁴⁾によれば、日本橋は輪石に花崗岩を使用し、両端橋台はコンクリート、中央橋脚部は花崗岩を積み立てた中にコンクリートを詰め込みその上にレンガを積んだ複合構造となっており、図面には各部のコンクリート配合も記載されている。また、輪石の間に鉄板やモルタルを挿入している点や、輪石に水が浸透しないように防水用の薄い土瀝青を布置している点などが構造的な特徴として挙げられる。

* Key Word : アーチ, 石造, コンクリート, 日本橋

** 正会員 博士 (工学)

北海道大学大学院工学研究科北方圏環境政策工学専攻
(〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

*** 学生会員 北海道大学大学院工学研究科

**** 正会員 札幌市 建設局

***** 正会員 株式会社ドーコン 構造部

***** 正会員 株式会社ドーコン 構造部

その中でも、ひときわ特徴的なのは二連アーチの両外側半分に、無筋コンクリートが用いられている点であり、その断面構造図は図-1 のようになる。すなわち、日本橋は純粋な石造アーチ橋というよりも、石材とコンクリートを用いた複合構造アーチ橋ともいべきものであり、平田⁹⁾もその点を指摘している。

(2) 創成橋

一方、創成橋に関する記録は、架設されている創成川の計画や名前の由来に関するもの、あるいは北海道の道路元標としての位置づけに関するもの⁸⁾を除くと、旧北海道庁札幌派出所発行の橋梁台帳⁷⁾(写真-2)以外にはないといってよい。そこに記されているのは、スパン、幅員といった基礎諸元のほか、設計員として「澤連蔵」という名が記されている。

構造形式については「石造橋」となっており、日本橋の竣工に先立つこと約一年、1910年(明治43年)4月、

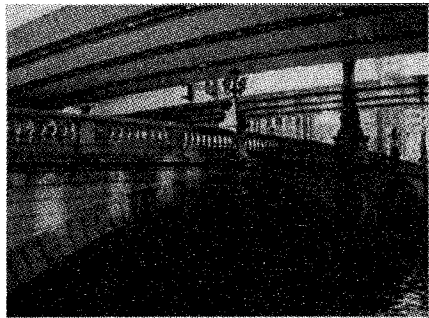


写真-1 日本橋 (撮影：工藤直矢)

表-1 日本橋の概要

構造形式	石造2連アーチ
設計者	米元 晋一 (構造) 妻木 頼黄 (装飾)
構造諸元	
橋長	49.09m
幅員	27.27m
スパン	21.21m
ライズ	2.73m
スパンライズ比	7.77
計画から竣工までの経緯	
明治39年	計画決定
明治41年9月	準備工事
明治42年6月	基礎工事
明治42年9月	橋台、橋脚工事
明治43年9月	上部工
明治44年4月	竣工

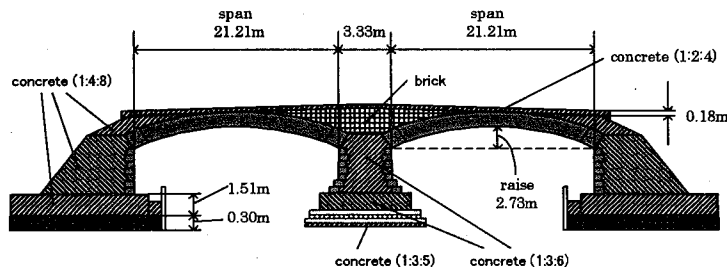


図-1 日本橋の橋軸方向断面図

注：'concrete' の後ろに付記されている数字はコンクリートの配合を示す。(セメント、細砂、碎石)の順¹¹⁾

当時の北海道庁に新設された札幌土木派出所に図面が引き渡され、同年10月に竣工したと記載されている。

創成橋が架けられている創成川は、明治年間、札幌市街中心部の治水と水運を担う堀として設けられたものであり、豊平川から開門を介してつながっている(図-2)。現在の創成橋は架橋から100年近くが経過しているものの初代のもではなく、木造橋として架設されてから札幌の開拓の歴史とともにその歴史を刻んできた。しかし、木造の創成橋はたびたび豊平川の氾濫により流出し架け替えが行われてきた。現在の創成橋架橋の経緯については、橋梁台帳によると「(先代の)土橋の腐朽」が原因とされている一方、1909年(明治42年)4月に札幌を襲った大水害により流失したことが原因との説¹⁰⁾もある。この水害は、当時の札幌における交通・物流上の重要橋梁である豊平橋でさえ橋台・橋脚の傾斜による通行不能に陥ったほどの「稀有の大水害」として報じられている⁸⁾。

これらの情報を整理してみると、流失までにはつながらなかったとしても、土橋であった先代創成橋がこの水害により大きな損傷を受けた可能性はきわめて高く、現在の創成橋への架け替えの機運はこのとき生まれたものと思われる。そして水害から一年後に設計図書が完成、その半年後には竣工を迎えることとなる。当時、馬鉄や路面電車の通行も考慮して幅員は約13mと広いものの、スパンはわずか6mあまりと小さい橋ではあるが、施工自体が半年で完了したことは驚きに値する。創成橋の概要を表-2に、また側面構造図と現在の創成橋の状況を、それぞれ図-3と写真-3に示す。なお、表-2に示された数字は橋梁台帳に基づくものであるが、最近の調査によると幅員は1m近く大きく、橋長はやや短めのようなのである。

葛西⁹⁾らによれば、北海道には石造アーチ橋と呼ばれるものが、現時点では札幌創成橋を含めて三橋しか確認できておらず、スパンドレルの石の積み方からその形式を「長崎式」と分類している。しかし、スパンライズ比が6以上と日本橋同様きわめて大きく、アーチ構造を成立させるために高い水平方向変位の拘束が要求されるにも拘わらず、架橋地点は豊平川扇状地に人工的に設けられた「堀」である創成川であることから、石造アーチ橋としての成立性には疑問が残された。なお、山口がまとめたデータ¹⁰⁾等を参考に石造アーチ橋のスパンライズ比について見てみると、6を越えるスパンライズ比は極めて珍しいことが分かる。

また、昭和53年に行われた高欄をはじめとする大改修時には、アーチ石の一部で脱落が確認されていることも、石造アーチとしての構造に疑問を感じさせる。こうしたことから、解体・保存に際し札幌市が立ち上げた「創成橋保存技術検討委員会」では、文献調査のほか、部分的なコアボーリングや地中レーダーを用いた非破壊検査等を実施し、多角的な検討を行うこととなった。

3 札幌創成橋の調査結果

(1) 外観調査

創成橋の外観調査を実施し、石材の種類と使われ方、ならびに損傷状況などを整理した。

a) 使用石材

橋梁台帳によれば、札幌硬石と登別軟石の二種類が用いられているとされている。しかし、今回の現地調査の結果、登別軟石とされている石材は、「札幌軟石」の特徴をほぼそのまま呈しており、「登別軟石」としての記載に疑義が生じた。本論文では、産地の違いよりも、石材の物理物性等に起因する構造成立性や損傷状況の把握に注目することから、以下ではこれを「札幌軟石」として記述することとする。

さて、これらの石材のうち、札幌硬石が用いられているのは橋軸直角方向の両端部のみであり、それ以外のアーチ石には札幌軟石が使用されている。札幌硬石は強度の比較的高い安山岩質の石であるのに対し、札幌軟石は圧縮強度で札幌硬石の約1/5と小さい上、吸水率が高く風化しやすい凝灰岩質の石である。このため、札幌軟石は加工しやすい代わりに、船舶の衝突等による損傷や風化を受けやすいと言える。これらの石材の強度試験結果を表-3に示す。なお、上部の高欄(写真-3参照)には、擬宝朱を配した登別中硬石が用いられているが、これは1978年(昭和53年)に部分改修された際に持ち込まれたもので、架橋時には札幌軟石が用いられていた。この改修時の記録によれば、札幌軟石による高欄の風化が著しかったことが記されている。

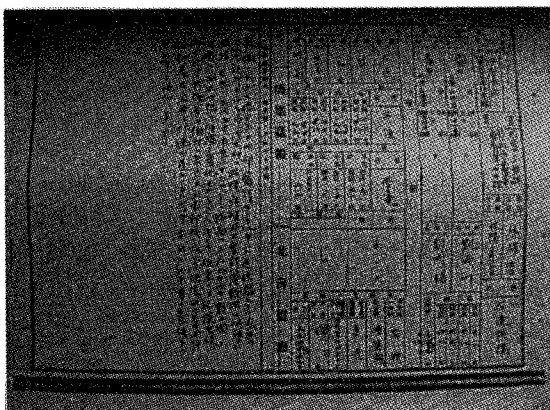


写真-2 橋梁台帳

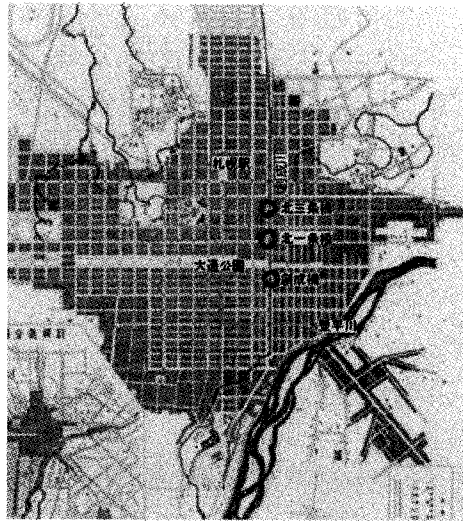


図-2 札幌創成橋位置図(大正10年の地図に著者加筆)

表-2 創成橋の概要

構造形式	
構造形式	石造単アーチ
設計者	澤 連蔵
構造諸元	
橋長	7.33m
幅員	13.25m
スパン	6.38m
ライズ	1.05m
スパンライズ比	6.08
経緯	
明治42年4月	流出あるいは損傷
明治43年4月	着工
明治43年10月	竣工

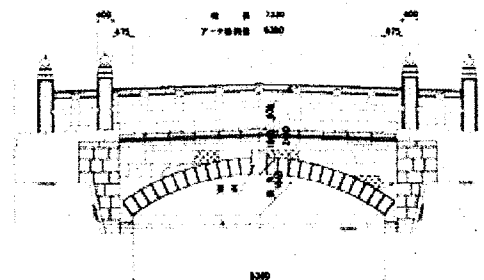


図-3 創成橋の側面構造図

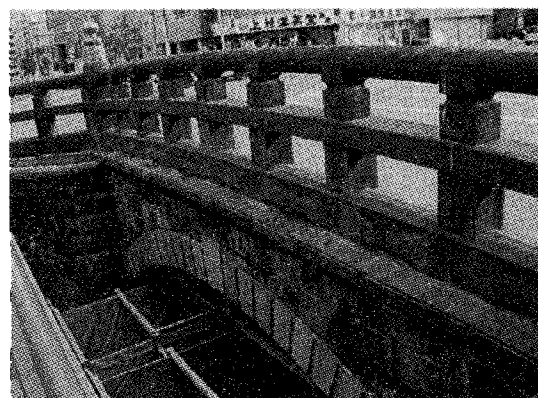


写真-3 創成橋(撮影:工藤直矢)

表-3 使用石材と強度

	札幌軟石	札幌硬石
石材使用割合	約 80%	約 20%
使用箇所	アーチ橋幅中央	アーチ橋幅端部
圧縮強度	約 20 MPa	約 100 MPa

b) 損傷・脱落状況

アーチ底面の損傷と脱落の状況を調査した。目視ならびに表面のレーザー測定の結果、数箇所の脱落箇所が認められ、脱落した石を戻して目地にモルタルを詰めた修復痕や、脱落部分に石材を戻さず、直接モルタルで充填した箇所などが確認された。また、損傷により大きくえぐられた箇所も複数見られ、その深さは最大で 10cm 程度にも及ぶことが確認された。これらの損傷はいずれも札幌軟石部分であり、写真-4 に損傷の状況を、また図-4 にアーチ底面の損傷状況図を示す。

(2) 試掘調査

橋軸直角方向端部のアーチ頂部付近で、表面のアスファルトを撤去後、アーチ石が露出するまで掘削を行い、その内部構造と石材間の合口の状況を調査するとともに、水平 1 箇所、鉛直 2 箇所のコアボーリングを行った。調査位置図を図-5 に示す。

a) 橋面掘削調査

橋面掘削時の状況を写した写真-5 に見られるように、アーチ頂部付近では比較的粒径の大きい礫などによる中詰がされているとともに、アーチ石上面には、橋梁台帳に示されているとおり、三和土と思われる厚さ 3~4cm の層が施されており、止水対策としての役割を持っていたのではないと思われる。なお、三和土とは土に石灰等を混ぜて固めたものであるが、創成橋の場合、湿った粘性土のように見受けられた。

b) 合口部の構造と形状

また、橋面の試掘により、アーチ石上面の状況が明らかとなり、各アーチ石の間には厚さ 1~3cm のモルタルが詰められていること、またその厚さはアーチ上面で厚く、下面（底面側）で薄いことが分かった。このアーチ石間の間隔は従来の石造アーチ橋に比べて大きく、アーチ石の加工精度もやや粗いものと思われる。

c) コアボーリング調査

コアボーリング調査の結果、起拱部付近と橋台内に無筋コンクリートが打設されていることが判明した。水平コアボーリングの結果検出されたコンクリートの写真は写真-6 に示すとおりである。

写真-6 左に見られるように、壁石部分の石材コアに続いて粗骨材を含んだコンクリートがサンプリングされた。また、写真-6 右はコアボーリング後の坑内を写したもののだが、手前の壁石からコンクリートへと貫通していることが確認できた。

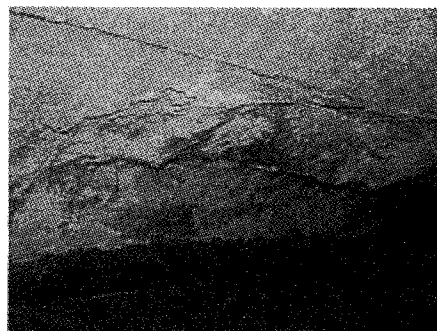


写真-4 アーチ底面の損傷によるえぐれ (撮影：工藤直矢)

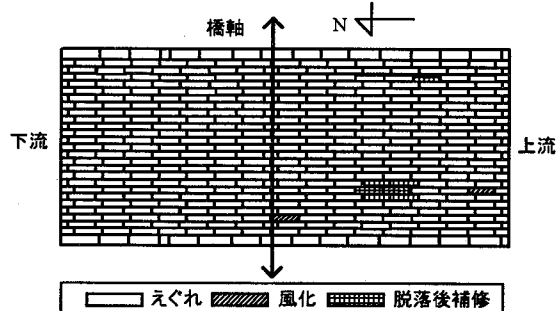


図-4 アーチ底面の損傷状況図

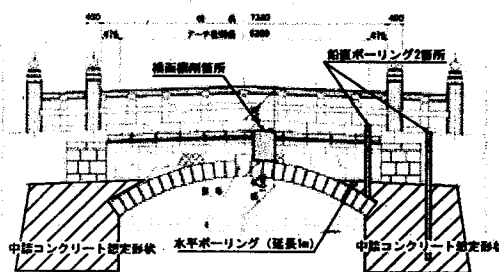


図-5 試掘およびボーリング位置図



写真-5 掘削後のアーチ石上面 (撮影：工藤直矢)



写真-6 水平コアボーリングで確認されたコンクリート (左：壁石と中詰コンクリート、右：ボーリング坑内の様子)

こうしたことから、コンクリートの存在が予想される部分を図-5中に合わせて示してみた。アーチ内部におけるボーリングは鉛直方向1箇所と水平方向1箇所のため、アーチ内部でのコンクリートの形状は特に推測が難しい。しかし、アーチ頂部付近の橋面掘削ではコンクリートが確認されていないこと、スパン端部からそのスパン長の1/4程度のところでアーチ石の脱落が見られることなどから、両側の起拱部から概ねスパン長の1/4程度（ライズの半分程度の高さ）までは中詰コンクリートが入っているのではないと思われる。

このようなスパンライズ比の大きい（扁平な）アーチ橋を造る場合、橋台および起拱部における水平方向変位の拘束が極めて重要であり、アーチ内部よりもむしろ、これらの部分における中詰コンクリートの果たす役割は非常に大きいものと考えられる。

(3) 調査結果のまとめと考察

橋台内部、およびアーチ上部のうち橋台に近い部分には中詰として無筋コンクリートが使用されていることが判明した。また、アーチ石の上面には三和土による止水処理が施されており、吸水性が高く風化しやすい札幌軟石の特性を考慮したものと思われる。また、アーチ石間の合口には最大で1~3cmにも及ぶ比較的厚いモルタルが使われており、石材の噛み合わせによりアーチを構成する従来の空積石造アーチとは異なった構造となっている。これらの特徴から、創成橋は石造アーチ橋ではなく、石材とコンクリートを用いた複合構造であると言え、日本橋と同種の構造形式であると考えられる。

また、高欄部分には擬宝朱が用いられており装飾を施そうとした明らかな意図が感じられる上、輪石部分には日本橋や二重橋と同様の「江戸切り瘤出し加工」が施されている点が特徴的である。輪石部分の「江戸切り瘤出し加工」とは、輪石の石材表面を壁石の表面よりも外側に張り出すように加工した伝統的な加工方法のひとつ¹²⁾であり、石工の間では「淀を切る」とも呼ばれる技法である。

4 アーチ橋梁の形式の変遷

日本橋に関わる文献調査および創成橋の現地調査等から、この両橋は従来の石造アーチ橋ではなく、また鉄筋コンクリートアーチ橋にも分類されない、「石造中詰コンクリートアーチ橋」であると判断した。そこで、両橋が架設された明治末期を中心に、石造アーチ橋および鉄筋コンクリートアーチ橋の製作年代を整理し図-6（次頁）にまとめるとともに、「石造中詰コンクリートアーチ橋」の位置づけについて考えてみる。

(1) 明治年間の石造アーチ橋

わが国の石橋の歴史は長く、琉球や九州を中心に、多くの石積アーチ橋が作られてきた実績がある¹³⁾。紅林ら

¹⁴⁾が示した東京における石造アーチ橋の中から、明治時代のものを抽出し、その架橋数と架橋年代（10年刻み）を整理してみると図-7のようになる。この中には、日本橋も含まれているため、純粋な「石造アーチ橋」だけではないが、図から明らかなように、1870年代からおよそ10年間の間に多くの石造アーチが作られていることがわかる。

これは当時の時代背景と照らし合わせて考えると容易に説明がつく。明治維新とともに訪れた文明開化の波ののり、耐久性にすぐれた石造アーチ橋がまず、次々と建設された。この最初の10年間においては、空積みをもとにした従来の石造アーチ橋であったと考えられる。しかし、明治も中期になってくると、わが国の社会資本整備の中でも鉄道網の構築が重要性を増し、重量の大きな鉄道車両を通行させるため、鋼製トラス橋やレンガ積みアーチ橋などの導入実績が進む¹⁵⁾、¹⁶⁾につれ、石造アーチ橋の建設が減少することになったと思われる。石造アーチ橋がわずかながら再び架橋されるようになるのは、1900年代からの20年間、明治末期であり、都市内交通の要として路面電車の導入や、自動車交通への対応などから、道路橋においても耐荷性能の高い橋梁が求められたものと考えられる。日本橋や創成橋もこの時代に含まれるものであり、石造アーチ橋建設のほぼ最終世代にあっている。なお、大正4年から始まった第一次世界大戦による鋼鉄類の価格の暴騰から、当時東京市の技師であった樺島正義はやむなく無筋コンクリートアーチ橋を四橋手がけている¹⁷⁾ことを付記しておく。

ただし、九州や沖縄においては、石工たちによる高い技術がその後も引き継がれ、現代でも供用されている石橋も多く存在する。これらの橋の中には、設計施工された時代に想定されたよりもはるかに大きな荷重を支え、地震にも耐えて立派にその役目を果たしているものもある。したがって、わが国独自の石造アーチ橋がこれらの荷重に耐えられないということではなく、明確な設計理論に裏打ちされた欧米の設計技術の導入が、その出番を減少させるようになったと考えるべきであり、道路橋への鉄筋コンクリートの導入と深い関連があると考えられる。

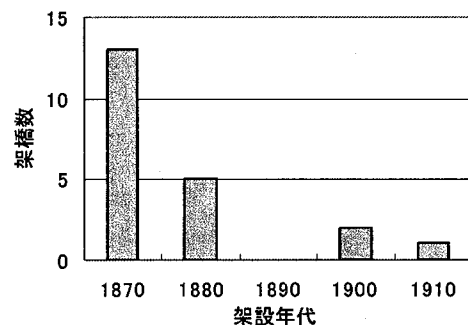


図-7 東京における架設年代と石橋架橋数
(出展：紅林らの文献²⁶⁾表-5より抽出)








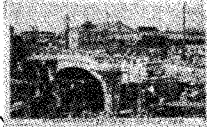




架設年代		石造アーチ橋	石造中詰コンクリートアーチ橋	RCアーチ橋
1877	明治 10	 常磐橋 (東京都)		
1887	明治 20	 皇居正門石橋 (東京都)		
1904	明治 37			大岩橋 (京都府)
1909	明治 42	 心齋橋 ¹⁹⁾ (大阪府)		北三条橋 ²⁶⁾ (北海道)  広瀬橋 ¹⁹⁾ (宮城県) 
1910	明治 43		創成橋 (北海道) 	
1911	明治 44		日本橋 (東京都) 	吉田橋 ¹⁹⁾ (神奈川県) 
1913	大正 2			四条大橋 ¹⁹⁾ (京都府) 
1920	大正 9			新常盤橋 ¹⁹⁾ (東京都) 
1926	昭和元			常盤橋 (東京都) 
1927	昭和 2			聖橋 (東京都) 

図-6 石造および鉄筋コンクリートアーチ橋と中詰コンクリートアーチ橋の歴史

(2) 明治期を中心とした鉄筋コンクリート橋

一方、大正期に入ってから施工が本格化する鉄筋コンクリート橋の技術史を振り返ってみる。わが国で最初にポルトランドセメントが製造されたのが1875年(明治8年)である。1903年(明治36年)には、神戸の若狭橋が完成しており、これがわが国最初の鉄筋コンクリート橋と言われている。これに遅れること4ヶ月、同じ1903年に田邊朔郎によるメラン式鉄筋コンクリート橋である琵琶湖疏水橋が完成し、翌年にはわが国初の鉄筋コンクリートアーチ橋である大岩橋が京都で竣工している¹⁸⁾。

廣井勇は、1903年(明治36年)、工学会誌において近代的な鉄筋コンクリート理論である「鉄筋混凝土橋梁」を発表した。その内容は単に欧米先進国の技術の翻訳ではなく、独自の知識や見解も含めた理論として紹介されている¹⁹⁾。その廣井勇が本格的な鉄筋コンクリートアーチ橋の監修をしたのが、1909年(明治42年)架橋の宮城県広瀬橋(設計は宮城県技師杉野茂吉)¹⁹⁾である。

その後、東京や大阪では、鉄筋コンクリートアーチ橋が建設されることになる。たとえば、東京においては鍛冶橋、新常盤橋、昌平橋、万世橋、聖橋などである。これらにおいて特徴的なことは、年代が古いものはスパンドレル部分に石造アーチを思わせる石材が使われていることであり、時代が経つにしたがってそのような装飾がなくなっていくことである。大正年間末期の関東大震災以降、首都圏では隅田川橋梁群を含め多くの復興橋梁が出現し様々な構造形式の橋梁が架橋されたが、鋼橋と鉄筋コンクリート橋により石造中詰コンクリートアーチ橋も含め、石造アーチに分類される橋梁の出番は大きく減少することとなる。

(3) 中詰コンクリートアーチ橋

既述したように、明治初期から中期にかけては、重量構造物である鉄道車両の通行を考慮した鉄道橋で、耐荷性能の高い鋼製トラス橋やレンガ積みアーチ橋などが造られることになる。その後、レンガ積みしたアーチの内部に無筋コンクリートを中詰した「レンガ積み中詰コンクリートアーチ橋」が出現することになる。道路橋において初めてこの形式が採用されたのは、倉田吉嗣設計による日光橋であるとされている。紅林ら¹⁴⁾によれば、1891年(明治24年)に建設されたこの日光橋は、わが国初の無筋コンクリートアーチ橋として1899年(明治32年)に架橋された神戸の山ノ後土橋に先立って、橋梁上部工に本格的にコンクリートを使用した最初の橋と位置づけており、明治中期に石造やレンガアーチ橋とされているものの中に、中詰コンクリートを用いた橋の存在を示唆している。

これに従えば、レンガ積みアーチの内部にコンクリートの中詰を行ったのが1891年(明治24年)であり、途中無筋コンクリートアーチ橋を挟んで、創成橋と日本橋のような石造中詰コンクリートアーチ橋がそれぞれ1910年(明治43年)、1911年(明治44年)に建設され

たこととなり、技術の進展の歴史として自然な流れが感じられる。これまでの調査によれば、石造中詰コンクリートアーチ橋の存在は、創成橋と日本橋を最後にその後は確認できておらず、大正年間に入ってから鉄筋コンクリートアーチ橋の建設ラッシュを考えれば、両橋は石造アーチ橋から鉄筋コンクリートアーチ橋へと進化していく技術史の中で、その橋渡し役であったと考えられる。

5 石造および鉄筋コンクリートアーチ橋をめぐる明治期の技術者

石造アーチ橋が九州や沖縄を中心とする石工などの「職人」の技術から、設計理論や装飾性を踏まえた工学的技術に進化し、橋梁とともにその「技術者」の名が記されるようになったのは明治期以降のことである。ここでは、東京圏、関西圏と北海道における石造アーチ橋に関わる歴史と人的系譜について考える。

(1) 東京圏における歴史と人的系譜

東京の石造アーチ橋の建設は、1873年(明治6年)の万世橋に始まり、1889年(明治22年)の皇居正門石橋まで18橋が建設されている。その後やや時間をおいて、1906年(明治39年)に宮益橋、1907年(明治40年)に小金井橋が建設されて、1911年(明治44年)、石造中詰コンクリートアーチ橋である日本橋へとつながっていく¹⁴⁾。写真-7は、1877年(明治10年)架設の常磐橋、写真-8は皇居正門石橋であり、いずれも石造アーチ橋である。これらの写真からも明らかのように、石造アーチ橋は日本橋に比べてスパンライズ比が小さく、大きな円弧が描かれていることがわかる。

一方、東京圏で最初に造られた鉄筋コンクリートアーチ橋は、鋼製トラス橋として知られた横浜吉田橋の二代目吉田橋(写真-9)であり、日本橋と同じ1911年(明治44年)に竣工している¹⁹⁾。また、東京ではそれに遅れること3年、1914年(大正3年)の鍛冶橋が最初とされている²⁰⁾。その後、1920年(大正9年)の新常盤橋(写真-10)や1926年(昭和元年)の常盤橋(写真-11)などを経て、1927年(昭和2年)の聖橋(写真-12)へとつながっていく。

これらの展開を改めて整理すると、文明開化に沸く東京でまず石造アーチ橋の建設が明治前半ばまで進むことになるが、明治20年代半ば頃より鋼橋やレンガ積みアーチ橋などの出現とともに、その架設数は減少していくこととなる。しかし、明治末期から大正にかけて、従来の石造アーチ橋よりもスパンライズ比が大きい鉄筋コンクリートアーチ橋が多数建設されるようになり、開腹アーチ(オープンスパンドレル)形式の聖橋等の出現により鉄筋コンクリートアーチ橋の設計・施工技術は完成度を高めていく。こうした歴史の中で、日本橋は、レンガ積み中詰コンクリート橋に端を発する「中詰コンクリート型」アーチの最終発展形と言えるのではなかろうか。

そこでこれらの橋に係わり合いのあった技術者たちの系譜を整理することとした。明治初期から中期にかけて、東京市の橋梁設計に携わった技術者として、原口要、原龍太、金井彦三郎らが知られるが、その中の一人に倉田吉嗣がいる。彼らは明治10年代から明治30年代にかけて多くの名橋を手がけているが、その多くは当時盛んであった鋼製トラス橋であった⁵⁾。その中で、最初に橋梁上部工に本格的なコンクリート利用を行ったレンガ積み中詰コンクリートアーチ橋の設計にあたったのが、倉田吉嗣である。彼は、鋼製トラス橋の設計に携わる傍ら、新材料としてのコンクリートの可能性を考え、レンガ積みアーチの内部にコンクリートを充填したのではないかとと思われる。この時代、「Plate Girder Construction」を

出版し、鋼橋の分野で米国でも高い評価を受けていた廣井勇¹⁸⁾は帰国して北海道庁の技師長を務めていたが、1903年(明治36年)には自身の理論も交えた「鉄筋混擬土橋梁」を工学会誌に発表しており、新しい時代の材料としてのコンクリートや、それをういた鉄筋コンクリート理論への注目が高まっていく時期であったと考える。倉田吉嗣は1854年(安政元年)長崎の生まれで、東京大学理学部土木工学科を卒業し、内務省勤務を経て、東京府技師等に奉職し、数々の橋梁設計に携わることになる²¹⁾。1896年(明治29年)に東京湾築港設計に関わる調査委託を東京市区改正委員会から受ける傍ら、東京帝国大学工科大学土木工学第三講座において教鞭をとることになる。

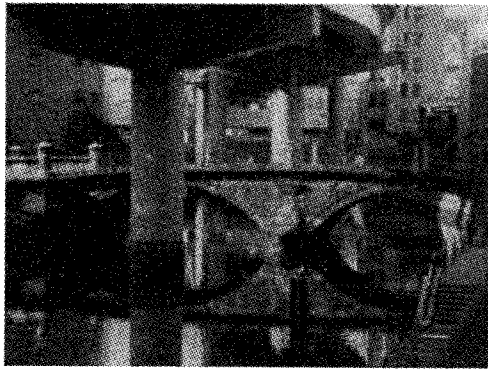


写真-7 常磐橋 (撮影：工藤直矢)

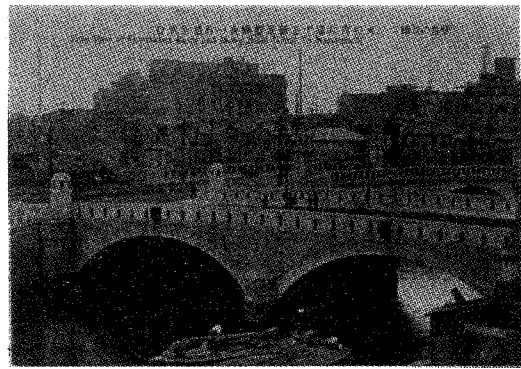


写真-10 新常磐橋¹⁹⁾



写真-8 皇居正門石橋 (撮影：工藤直矢)

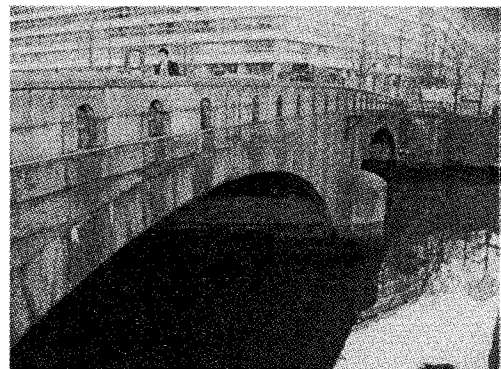


写真-11 常磐橋 (撮影：工藤直矢)

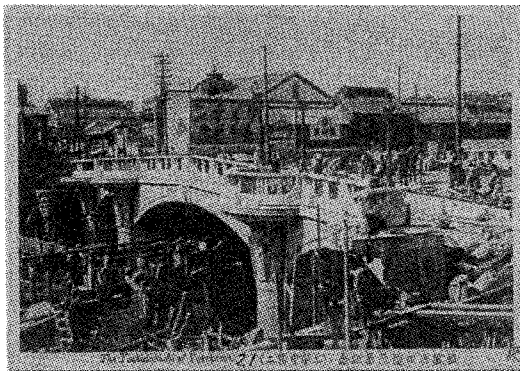


写真-9 吉田橋¹⁹⁾

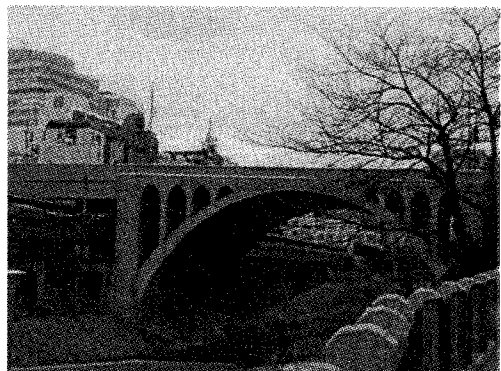


写真-12 聖橋 (撮影：工藤直矢)

しかし、1899年（明治32年）結核の病に倒れ、翌年46年の短い生涯を閉じることになる。実は、この倉田吉嗣の後を受けて、1899年、東京帝国大学土木工学第三講座の教授に就くのが、廣井勇なのである²²⁾。両者をめぐる直接的な関係性は現時点では確認されていないが、新材料としてのコンクリートの利用を図った倉田吉嗣から、当時最先端の鉄筋コンクリート理論を提唱した廣井勇へと続く人脈面での技術的連続性がここに見られるのである。

さて、廣井勇が工学会誌に鉄筋コンクリート理論を発表した後、鉄筋コンクリートアーチ橋である宮城県広瀬橋（1909年（明治42年）竣工）の監修にあっている時代、日本橋の架け替えが議会承認されているのである。廣井は、東京帝大における最初の弟子であり、当時米国留学中であった樺島正義にその設計の仕事を紹介したのが1906年（明治39年）、樺島は直ちに当時の東京市技師長で東京帝大教授でもあった中島鋭治に受諾の意思を伝えている²³⁾。東京市の技師として採用された樺島はまもなく新設の橋梁課長となり、東京帝大で二年後輩の米元晋一とともに日本橋の設計に当たることとなる。

ここまでの人的つながりを考えれば、日本橋は「東京で初の鉄筋コンクリートアーチ橋」として設計される可能性も考えられたであろう。しかし、その構造形式が鉄筋コンクリートにならなかったエピソードが米元晋一の回想録²³⁾に記されている。

「あの時私は鉄筋コンクリートでやってはどうですかといったら中島先生に叱られまして、もし失敗したらどうするか、石橋でやれといわれたのでした。」

すなわち、米元は当時としては最先端技術である鉄筋コンクリート橋による設計を提案しているのである。しかしこの提案に対し、東京市の技師長でもあった中島鋭治は石橋で造ることを主張し、米元の鉄筋コンクリート案を棄却している。こうして実際の設計を担当する樺島や米元は、その構造形式に関する検討の結果、最終的に石造アーチの構造形式を持ちながら、高い載荷能力が理論的にも説明できる「石造中詰コンクリートアーチ橋」を選択することになったのではないと思われる。なお、廣井勇は、日本橋の設計や施工が本格化する1907年（明治40年）から1909年（明治42年）の7月まで、国費による長期の渡欧・渡米の任につき、不在であったことも興味深い。

(2) 関西圏における歴史

関西圏においては、1899年（明治32年）神戸市において無筋コンクリートアーチ橋である山ノ後土橋が架設されている。レンガ積み中詰コンクリートアーチ橋の日光橋から8年後のことであり、1903年（明治36年）の鉄筋コンクリート橋である神戸若狭橋、琵琶湖疏水橋や、翌年の大岩橋へとつながっていく。東京圏では1911年

（明治44年）の横浜吉田橋が最初の鉄筋コンクリートアーチ橋とされていることから、関西では東京圏よりも一足早く鉄筋コンクリートの利用が始められるようになったと思われる。このようにして見てみると、田邊朔郎や廣井勇がリードした鉄筋コンクリート理論に基づいた実践的な橋梁建設が技術的に可能になったのは、明治30年代の半ば以降であり、本格的な鉄筋コンクリートアーチ橋の時代は明治末期に始まると言える。この意味で、関西圏における最初の鉄筋コンクリートアーチ橋である大岩橋から、これまでの調査では次の鉄筋コンクリートアーチ橋と考えられる1913年（大正2年）竣工の四条大橋（京都）まで、およそ十年近くに及ぶ空白期間における鉄筋コンクリートアーチ橋、あるいは石造中詰コンクリートアーチ橋の歴史を再考する必要があるのではないだろうか。また、大阪において最初で最後の石造アーチ橋とされている橋梁に、心齋橋（写真-13）がある¹⁹⁾。これは鶴見緑地に移設された鋼製トラス橋の後を引き継いで架設されたものであるが、竣工は1909年（明治42年）となっており、宮城の広瀬橋と同じ年である。すなわち、東京圏より一足先に鉄筋コンクリート橋が架設され、時代の先鞭をつけたと思われる関西で、今一度石造アーチ橋への回帰が起こったことになる。

石造アーチ橋としての心齋橋については今後も引き続き調査が必要であるが、スパンライズ比は現存する写真等から概算したところ日本橋や創成橋に近い6.0程度と思われる上、スパンドレルの石積形式が鉄筋コンクリートアーチ橋の側面に石造橋を模すように石材が張られた東京の昌平橋や万世橋に似ていることから、鉄筋コンクリートアーチ橋としての可能性も含め、その構造に関わる調査は大いに興味があるところである。

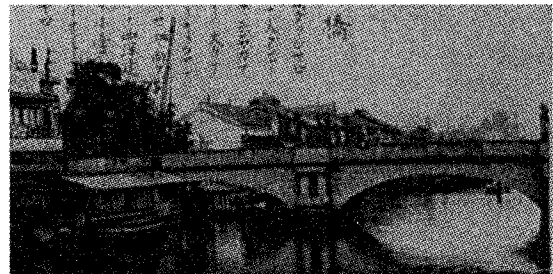


写真-13 心齋橋¹⁹⁾（著者によるクローズアップ加工）

(3) 北海道における歴史と人的系譜

さて、北海道における歴史について考えてみる。既述したように、創成橋を石造橋とすれば、現在北海道内に三橋の石造アーチ橋が残っていることになる⁹⁾が、創成橋を除く二橋である白川橋は1881年（明治14年）、函館山軍用一号橋は1897年（明治30年）以前の建設とされており、その構造形状からいわずに石造アーチ橋と考えられる。

一方、北海道における最初の鉄筋コンクリートアーチ橋は、1909年（明治42年）架設の北三条橋（写真-14）

とされている²⁴⁾。北三条橋は、創成橋と同じ創成川に設けられた橋で、その位置は創成橋の下流わずかに 400 m 程度しか離れていない。昭和 18 年に発行された北海道庁土木部道路課の橋梁現況調査²⁵⁾によれば、その上部構造は「鉄筋混擬土充〇式拱橋」ⁱ、下部構造は「橋台混擬土重力式」となっており、鉄筋コンクリートが使用されているのは間違いないと思われる。しかし「充〇式」と書かれた部分から、石造アーチの内部に一部鉄筋を含むコンクリートが中詰されていた可能性も否定できず、いわゆる鉄筋コンクリート理論に基づく「鉄筋コンクリートアーチ橋」であったと断言することは、この資料だけでは難しい。ただし、ここで重要なことは、廣井が手がけた鉄筋コンクリートアーチ橋である広瀬橋と同じ年に、北海道においても鉄筋コンクリートを用いた橋が架設されていたことであり、同じく北海道庁の橋梁現況調査によれば、この北三条橋と創成橋の中間に位置する北一条橋も 1927 年（昭和 2 年）に完成しており、その上部構造形式は「鉄筋混擬土拱橋」となっている。

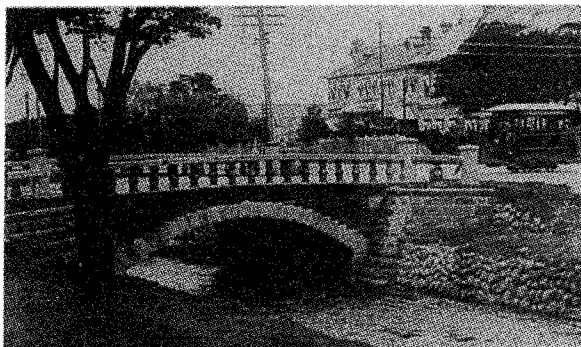


写真-14 北三条橋²⁶⁾ (著者によるクローズアップ加工)

以上より、北海道においては比較的早い時期に北三条橋という鉄筋コンクリートを用いたアーチ橋が架設されたにも関わらず、その翌年竣工の創成橋は、無筋コンクリートを用いた石造中詰コンクリートアーチ橋に回帰していることが分かる。北一条橋を含む、札幌の中心部に隣接して位置するこれら三橋はいずれもアーチ形状をしている上、鉄筋コンクリートの利用も技術的には可能であったにもかかわらず、なぜ創成橋だけが石造中詰コンクリート橋になったのか、疑問が残るところである。その理由についての推論はいくつかが考えられる。

そのひとつは、急速施工の必要性、あるいは工事費の低減といった理由である。そもそも創成橋の架け替えが必要となったのは、1909 年（明治 42 年）4 月に札幌を襲った豪雨による流失あるいは損傷が原因と考えられる。それまでも木造橋の多かった札幌市内の橋梁は軒並み流失したことが分かっており、豊平川にかかる鋼製トラス橋である豊平橋でさえも、修復不可能なほどの被害を受けている。このため、幹線道路にかかる重要橋梁は早急

に補修する必要があったと同時に、近代化に向けて路面電車などの重量構造物にも耐えられる橋梁建設が必要となった。北海道最初の鉄筋コンクリート橋である北三条橋はこの水害のわずか 2 ヶ月後に竣工しており、ほぼ竣工間近であった同橋はその被害を免れたものと思われる。したがって、従来の木橋では要求される機能を満たせず、さりとて鉄筋の入手や加工に時間がかかる可能性のある鉄筋コンクリート橋は避け、石造中詰コンクリート橋梁が採用されたと考えることもできる。事実、創成橋はこの水害の一年後の 1910 年（明治 43 年）4 月に着工し、わずか半年後の同年 10 月に竣工している。

また、興味深いのはその施工費の比較である。北三条橋が 1909 年（明治 42 年）の単価で約 30,000 円の工事費²⁵⁾であるのに対し、翌年の創成橋はわずか 5,400 円で造られている²⁷⁾。当時の最先端技術でありその丈夫さは北三条橋で認められたとしても、水害によって被った甚大な被害の復旧に向けての予算的な制約があった可能性も考えられる。ちなみに、創成橋から遅れること 17 年、1927 年（昭和 2 年）に竣工した鉄筋コンクリートアーチ橋である北一条橋の工事費は約 15,000 円であり²⁵⁾、技術の先駆けともなった北三条橋がいかに高価であったかがうかがわれる。

また、今ひとつの可能性は、人的系譜にもある。札幌が未曾有の水害を受けた 1909 年（明治 42 年）、廣井は東京帝大第三講座の教授兼任で北海道庁の技師長も務めており、片や北海道庁の治水の責任者として技師を務めていたのが、廣井の札幌農学校時代の一番弟子である岡崎文吉^{28),29)}である。水害発生時には、廣井は長期の渡欧・渡米中であったものの、北海道で最初の鉄筋コンクリート橋である北三条橋の計画や設計に何らかの関与をしていたと見るのは自然と考える。北海道庁は 1909 年（明治 42 年）の水害による豊平橋の損傷をうけて、当時の北海道庁技師 4 名による「豊平橋設計委員会」を 1910 年（明治 43 年）に組織する。そのメンバーは治水部門の責任者である岡崎をはじめ、土井良太郎、谷口三郎、越水義勇であった²⁸⁾。このうち、土井²⁹⁾は東京帝大出身で日本橋の設計にあたった樺島正義の同級生であり、谷口三郎²⁹⁾も東京帝大を卒業して北海道庁に入った新任の技師であった。帝都東京では樺島や米元による日本橋の架け替え工事が進展中であり、その規模は大きく違うとは言え、北海道の道路元標でもある創成橋の早期復旧に向けて何らかの情報提供や情報交換がなされたことも考えられる。

また、明治 40 年代は、水害による復旧も含め、現在の札幌の骨格ともなるさまざまな都市インフラが整備された時期でもあり、東京市と北海道庁の間には密接な技術交流が見られるのである²⁸⁾。たとえば 1907 年（明治 40 年）には、わが国近代公園の設計者として知られ、当時東京市役所嘱託員であった長岡安平に現在の中島公園や円山公園の設計を依頼したり、1909 年（明治 42 年）には東京市の技師になっていた同氏に大通公園の設計も委嘱している。また、上下水道の整備にあたって、その

i 著者注：原本は複写しか残っておらず、「〇」の部分の文字は判読が不能。少なくとも「充填式」の「填」という文字には見えない。

敷設計画の任を受けた道庁の土井良太郎技師は、1910年（明治43年）、当時東京市水道顧問を務めていた東京帝大時代の恩師、中島鋭治に相談をもちかけ、その年の7月には、中島を招いて小樽における水源調査なども行っている。こうしてできたのが奥沢ダムを含む小樽創設水道であり、この時期の東京市と北海道庁との関係はきわめて緊密であったと見える。なお、小樽築港工事をはじめとして長らく北海道技師としてそのインフラ整備に尽力してきた廣井勇は、明治40年から明治42年まで国費による渡欧・渡米をして不在であったことを改めて書き添えておく。日本橋の設計にあたって「鉄筋コンクリートの利用」を米元に思いとどまらせた中島が、創成橋の設計にどの程度の影響を持っていたのかは現在のところ想像の域を出ないが、同時期のアーチ橋である日本橋と創成橋は、結果として、石造中詰コンクリートアーチ橋という構造形式の歴史の最終ページを飾ることになったのである。

なお、創成橋の設計者として橋梁台帳に名を刻む「澤連蔵」に関わる記録は、当時の人名録にわずかに残るのみである³⁰⁾。澤は、1870年（明治3年）3月長岡に生まれ、東京の攻玉社で数学や測量学を学んだ後、北海道に渡り、刑務所の看守等を経て、北海道庁に土木技手として採用される。その後、土井良太郎の部下として室蘭土木派出所勤務³¹⁾等を経て、1910年（明治43年）、新設された札幌派出所勤務となり、谷口三郎の部下として創成橋の設計に携わったことになる。澤の土木技術者としての記録はほとんどなく、大正年間になって小樽市の技師となったことが残されているが、その後の動静については不明である。ところで、レンガ積み中詰コンクリートアーチ橋を設計した倉田吉嗣は、東京帝大で教鞭をとる傍ら、長く攻玉社で後進の指導にあっていた。倉田が攻玉社で教鞭をとると入れ替わりに、澤が弱冠16歳で攻玉社を離れたことは、偶然とは言えその後の因縁を象徴するようで面白い。1886年（明治19年）のことである。ここに紹介した主な技術者の関連性を整理すると、図-8の通りとなる。なお、図中の括弧書きの数字は生誕年を示している。

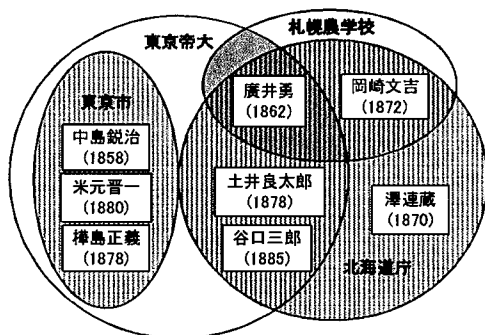


図-8 主な技術者の関係

6 土木実用「アーチ」設計法との比較

日本橋と創成橋は、石造アーチ橋と鉄筋コンクリートアーチ橋の中間に位置する石造中詰コンクリートアーチ橋という構造形式をとっているが、その設計は石造橋として設計されたのか、無筋コンクリートアーチ橋として設計されたのかは、技術史の中での位置づけとして重要な関心事である。両橋の設計計算書は残っておらず、日本橋の工事報告書だけでは判然としない部分も多いが、当時のアーチ設計の考え方や技術を知るために、その時代に出版された技術書を調査した。その中で、1907年に初版発行された土木実用「アーチ」設計法³²⁾の内容は極めて興味深い。

これは、当時最先端の欧米のアーチ設計技術を紹介する専門書であり、適切なスパンライズ比のとり方や橋台・橋脚の厚さなどを求める方法を示している。その中でも特に興味深いのは、わが国独自の石造アーチとは異なる構造形式を推奨している点である。たとえば、アーチ起拱部および橋台に無筋コンクリートを利用することや、石材間の合羽にモルタルを詰め込むこと、ならびに鉛板や鉄板を合羽に適用して石材間のなじみをよくすることなどであり、アーチ石上面における止水対策として、モルタルや粘土、土瀝青を用いることなども紹介されている。これらは、日本橋や創成橋に共通している事項と符合する。

また、紹介されている計算例の一つとして、要石の大きさをスパンライズ比からの算定方法がある。そこに示されているトラウトウィン氏の方法はいわゆる経験式に相当するもので、これによれば要石の厚さは、

$$d = \frac{1}{4} \sqrt{R + \frac{1}{2}S} + 0.2$$

という公式によって求められるとなっている。

但し、 d ：要石の厚さ(ft)、 R ：円弧の曲率半径(ft)、 S ：径間の長さ(ft)である。

この式に日本橋及び創成橋の基本データを代入すると、下記の通りとなり、両者はほぼ一致していると言える。

(トラウトウィン氏の方法による計算結果)

日本橋： $d = 0.849(m)$ 創成橋： $d = 0.465(m)$

(実際の大きさ)

日本橋： $d = 0.85(m)$ 創成橋： $d = 0.45(m)$

現時点で、土木実用「アーチ」設計法が両橋の設計に用いられた明確な根拠はないものの、同書に基づいて簡単な検討を行った結果、表-4に示すような結果が得られた。すなわち、構造の要となるアーチ部分は石積によるアーチ効果が十分期待できるように設計した上で、上部工や橋台内部にはコンクリートの利用を前提としていた可能性があると思われる。なお、両橋ともにこの土木実用「アーチ」設計法との整合性が薄いと考えられるものにスパンライズの設定がある。土木実用「アーチ」設計

法によれば、推奨されているスパンライズ比は美観も考慮して4~5であるのに対し、両橋ともにこれよりも大きく、アーチ形状が扁平にデザインされている。その背景については今後検討を加える必要があると考える。

表-4 土木実用「アーチ」設計法との整合性

	日本橋	創成橋
スパン・ライズの設定	△	△
輪石の厚さ(頂部)	○	○
輪石の厚さ(起拱線部)	○	未調査
橋脚の厚さ	○	
橋台の厚さ	○	1.074・1.790m(推定)
橋台の高さ	○	1.791m(推定)
アーチ上部の止水対策	○	○
輪石の継目の処理	○	○

○：アーチ設計法との整合性が認められる

△：アーチ設計法との整合性が薄い

7 まとめ

日本橋と札幌創成橋は、時期をほぼ同じくして造られた橋梁であり、わが国の道路元標および北海道の道路元標としての共通性を有する上、その構造形式も「石造中詰コンクリートアーチ橋」という特殊な形式であることが判明した。このような形式の橋梁は現在のところ、この二橋以外には見当たらない上、技術史の上からも石造アーチ橋から鉄筋コンクリートアーチ橋へとつながっていく中での過渡的構造形式であり、その歴史の最後を飾るものと思われる。この一連のアーチ橋の歴史を簡単に示したものが図-9である。

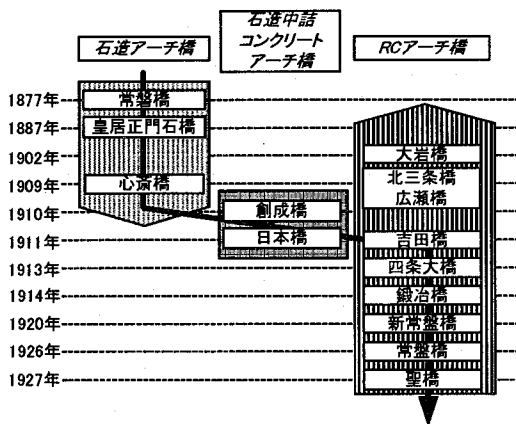


図-9 アーチ橋梁の時代的変遷

このような構造形式を採用するに至った背景についてはさらなる調査を行う予定だが、東京圏と北海道におけるアーチ橋梁の発展の歴史と人的系譜、その設計思想や設計方法などに関する検討結果は、両者に共通の遺伝子の存在を予感させるに十分なものであり、保存・移設に向けての創成橋の歴史的価値の評価において考慮すべきものと考えられる。

謝辞：本研究は札幌市役所「創成橋保存技術検討委員会」活動の一環として行ったものである。調査・研究にあたっては、委員長小林俊郎先生をはじめ、委員会委員、札幌市役所関係者の皆様、ならびに土工の立場から貴重なご意見とご協力を賜った真壁石材の真壁克友氏に、深く感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 三浦 宏：札幌のお江戸日本橋「創成橋」、北の交差点、財団法人北海道道路管理技術センター、Vol.9、2001
- 2) 樺島正義：『樺島正義自伝 市役所編』、土木学会図書館蔵書
- 3) 伊東孝：『東京の橋-水辺の都市景観』、鹿島出版会、pp.63-68、1986。
- 4) 米元晋一：日本橋改築工事報告、工学会誌、第359号、pp.61-75、1913
- 5) 平田翰那：『国土を創った土木技術者たち』、鹿島出版会、2000
- 6) 札幌市教育委員会：『さっぽろ文庫・札幌の橋』、北海道新聞社、1979。
- 7) 札幌土木派出所：『(札幌支廳管内) 假定縣道南海岸線橋梁臺帳』、北海道庁、1910。
- 8) 北海タイムス、明治42年4月9日、第6,632号、1909
- 9) 葛西 章ほか：北海道に現存する石橋の現況に関する調査、土木史研究論文集、Vol.22、2002
- 10) 山口祐三：『石橋は生きている』、葦書房、1992
- 11) 長瀧重義：『コンクリートの長期耐久性、小樽港百年耐久性試験に学ぶ』、技報堂出版、pp53-56、1995
- 12) 上原敬二：『テラス・石積工』、加島書店、pp.159-160、1983
- 13) 山口祐造：『拱石橋の設計・施工要領』、1994。
- 14) 紅林章央ほか：東京・三多摩地域における木・石・れんがの橋の発展に関する研究、土木史研究論文集、2005
- 15) 藤井郁夫：道路橋の明治・大正・昭和、土木史研究論文集、Vol.22、pp.329-332、2002
- 16) 小西純一ほか：明治時代に製作された鉄道トラス橋の歴史と現状(第4報)、第8回日本土木史研究発表会論文集、pp.134-141、1988
- 17) 中井祐：『近代日本の橋梁デザイン思想』、東京大学出版会、pp.87、2005
- 18) 中井祐：『近代日本の橋梁デザイン思想』、東京大学出版会、pp.34-35、2005
- 19) 土木図書館：『絵葉書に見る日本の橋』、柘植書房、1992
- 20) 中井祐：『近代日本の橋梁デザイン思想』、東京大学出版会、pp.68、2005
- 21) 工学会誌雑記：故正五位勲六等工学博士倉田吉嗣ノ略伝、工学会誌223号、工学会、pp.632-637、1900
- 22) 高崎哲郎：『山に向かいて目を挙ぐ』、鹿島出版会、pp.275、2003
- 23) 米元晋一、米元卓介：日本橋の思い出、土木学会誌、Vol.49-11、pp.47-48、1964。
- 24) 社団法人日本コンクリート工学協会北海道支部：『北海道におけるコンクリートの歴史』、日本コンクリート工学協会、pp.68、2003
- 25) 北海道庁土木部道路課：『橋梁現況調査』、北海道庁、1943
- 26) 『札幌名勝繪はがき』、北海道繪葉書倶楽部、発行年不詳
- 27) 『石狩川治水の祖 岡崎文吉』、北海道開発局石狩開発建設部、1998
- 28) 札幌市教育委員会：『新札幌市史』、北海道新聞社、Vol.3-3、pp.102-391、1994
- 29) 藤井肇男：『土木人物事典』、アテネ書房、2004
- 30) 金子郡平、高野隆之：『北海道人名辞書』、北海道人名辞書編纂事務所、pp.218-219、1914。
- 31) 『北海道庁職員録』、北海道立文書館蔵書、1907
- 32) 松永 工、飯田耕一郎：『土木実用「アーチ」設計法』、博文館、pp.206-382、1907