

# 明治期日本における組積アーチ橋の展開と設計理論の導入

坂本 いくる<sup>1</sup>・中井 祐<sup>2</sup>

<sup>1</sup>非会員 東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1, E-mail:sakamoto@keikan.t.u-tokyo.ac.jp)

<sup>2</sup>正会員 工博 東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1, E-mail:yu@civil.t.u-tokyo.ac.jp)

日本において、九州・沖縄以外の地域では、組積アーチ橋の架橋はほとんど明治期に限られている。こうした組積アーチ橋が、明治期の近代化の中でどの様に展開していったのか、その様子を設計理論の導入過程に着目して整理した。その結果、明治末期に図解法の導入が進んだ時期があり、その理論を活かして設計された橋として、東京市の市街橋では日本橋が唯一の例である可能性が高いことが分かった。また、明治中期に組積アーチ橋が普及しなかった理由、日本橋が組積アーチ橋で架けられた背景についても考察を加えた

**キーワード:**組積アーチ橋, 近代化, 設計理論, 図解法, 日本橋

## 1. はじめに

紀元前後に始まるとも言われる日本の橋梁史の中で、組積アーチ橋が初めて日本の歴史に姿を現すのは1451年である。これは、組積アーチ橋が世界で初めて使用されたのが紀元前3000年頃であることを鑑みると、非常に特殊だと言える。その後も、組積アーチ橋の架橋は九州に限定されており、九州以外で組積アーチ橋が架けられたのは明治に入ってからであった。東京市では1873 (明治6) 年～1879 (明治12) 年にかけて12橋の石造アーチが架けられたが、その後1911 (明治44) 年まで組積アーチの市街橋は全く架けられなかった。近代化の最先端であった東京において30年以上も架橋が行われなかったことは、着目すべき事実である。1911 (明治44) 年に架けられた組積アーチ橋は日本橋である。前述の様に当時、組積アーチ橋は全く主流では無かったにも関わらず、首都東京の中心を担う日本橋には、石造アーチが採用されたのである。この事実は非常に特異であり、組積アーチ橋の日本での展開を追う上で重要になるのではないかと考える。そして日本橋の架橋後、組積アーチ橋は鉄筋コンクリートに取って代われ、大正時代にはほとんど架けられなくなる。なぜ日本において組積アーチ橋は普及することなく衰退してしまったのだろうか。また、そんな中でなぜ日本橋は組積アーチ橋となったのだろうか。

明治期の組積アーチ橋に関する研究には、九州の組積アーチ橋に関する一連の研究<sup>1)2)3)</sup>や山形の石造アーチに

関する井上らの研究<sup>4)</sup>、レンガ構造物に関する小野田の一連の研究<sup>5)6)7)</sup>などがある。また、明治期の橋梁史、橋梁デザイン史に関するものとしては、伊東や中井の研究など<sup>8)9)10)11)12)13)</sup>がある。更に、馬木<sup>14)</sup>、伊東<sup>9)</sup>、中井<sup>15)</sup>は日本橋に関する研究を行っている。しかし、組積アーチ橋の設計理論の導入に着目した研究は存在しない。

そこで本論文では、組積アーチ橋が日本で普及しなかった理由及び、組積アーチ橋である日本橋の持つ意味と組積アーチ橋となった背景に迫ることを目的とし、組積アーチ橋の設計理論の導入過程に着目して研究を行う。まず、明治期の組積アーチ橋架橋の概況について数的・地理的変遷を記す。次に、欧米からの設計理論の導入過程を整理する。そして、それらを重ね合わせる事で、導入された設計理論がどのように橋梁として結実していったのか、各時代の組積アーチ橋はそれぞれ何を安全性の根拠として設計されていたのかといった組積アーチ橋展開の全体像の把握を試みた。そしてそれ等を元に、組積アーチ橋が普及しなかった理由及び、日本橋の意味について推察する。最後に、組積アーチ橋日本橋が実現した背景についても、考察を加えた。

## 2. 明治期の組積アーチ橋架橋の概要

まず最初に、明治期に日本における組積アーチ橋架橋の概要を記す。この際、組積アーチ橋の抽出には、藤井郁夫の『橋梁史年表 (BC～1955)』(1992)<sup>16)</sup>を用いた。こ

これは紀元前から1955（昭和30）年までに架橋された橋梁を形式・径間・スパンなどのデータと共に年表にしたもので、橋梁形式や材料・地域など関係なく網羅的に橋梁が記されている。橋梁の一覧を示した資料は他にも存在するが、ほとんどが材料、地域、建設主体等の何かしらの条件下で抽出されており、日本で架設された組積アーチ橋をを網羅的に記している資料は他には存在しない。小さい橋など記載のない橋も存在するが、組積アーチ橋の架橋の変遷を大局的に見る上では、問題ないと考え、今回はこの資料をもとに組積アーチ橋の数的、地理的変遷を追うこととした。

初めて日本に、組積アーチ橋が架けられたのは、1451年の沖縄県の長虹堤であるとされている。沖縄が琉球王国であったことを鑑みると、1634年に長崎眼鏡橋が架けられたことで、ようやく日本に組積アーチ橋が誕生したと言える。しかし、九州における組積アーチ橋の架橋は、石工集団による架橋であり、その技術が一子相伝であったため九州・沖縄以外には広まらなかったと一般に言われている。

九州・沖縄以外に組積アーチ橋が広まり始めたのは、明治に入ってからである。明治期に架けられた組積アーチ橋を地域別に並べたものを表-1に示す。明治に入ると、石やレンガは不燃の材料として注目され、文明開化の象徴として<sup>9)</sup>東京でも12の石造アーチ市街橋が架けられた。これらの石橋の架橋は、九州の石工であった橋本勘五郎を東京に呼び寄せて架橋したのが始まりであり、欧米からの技術というよりは、九州石工集団の経験と技術に基づいて架けられていたと考えられる。その後、山形を始めとする東京以外の地域にも組積アーチ橋は広まっていく。一方、鉄道橋でも明治初期から、お雇い外国人によるレンガアーチ橋の架橋が始まった。『橋梁史年表(BC～1955)』（1992）には記載されていなかったが、大阪神戸間の鉄道が開通した際の鉄道橋として、始めてレンガアーチ橋が架けられたことが分かっている<sup>9)</sup>。

このようにして全国に広まった組積アーチ橋であったが、東京市の市街橋に着目すると、1880（明治13）年以降1911（明治44）年に日本橋が架けられるまで、組積アーチ橋は一切架けられていない。1888（明治21）年の二重橋が、皇居内の橋であることを考慮すると、実に30年以上市街橋としての組積アーチ橋は架けられていないのである。近代化の中心であった東京市の市街橋として、一切組積アーチ橋が架けられていないというのは特筆すべき事実であろう。それに対し、鉄道橋ではレンガアーチ橋の架設が断続的に続いていた。しかし、その中で設計者が記されているものは、全てお雇い外国人による設計であった。鉄道院では1886（明治19）年には既に、邦人技術者による鉄道橋の設計がなされている。それに

表-1 明治期の組積アーチ橋架橋

年	地域	組積アーチ橋		その他橋梁・主な出来事
		九州・沖縄	東京市(中央官庁所管)	
1868				くろがね橋(初鉄橋)
1869		笠松橋		
1871		丹邊橋		新町橋(初鉄製アーチ)
1873		陣内橋		
1874			万世橋(橋本勘五郎) ●大阪神戸間鉄道橋 逢来橋 浅草橋(橋本勘五郎)	
1875		明八橋(橋本勘五郎)	江戸橋	千歳橋(長野・石工)
		吉君橋	京橋	
1876			海運橋	
			鍛冶橋	
			荒布橋	
1877		明十橋(橋本勘五郎)	常盤橋	薄ノ岩橋(山形)
			桜橋	牛浜橋(多摩)
1878		永山橋	昌平橋	夫婦橋(愛媛・石工)
		楠浦橋		常盤橋(山形)
		金剛橋		堅誓橋(山形)
				中山橋(山形)
				緑橋(長野)
1879		北河内橋	皇殿橋	
1880				新橋(山形)
				取橋(山形)
				吉田橋(山形・石工)
				十六橋(福島)
				御妻橋(長野)
1881		高井川橋		白川橋(北海道)
				万世橋(山形)
				眼鏡橋(万代橋)(山形)
				▲熱海橋(水橋)(福島)
				協橋(千葉)
				▲三永石門(広島)
1882				ポータル架台 高橋(邦人初道路橋・鉄 鉄製トラス)
1883				大石沢橋(長野)
1884		岳下橋(大橋、めがね橋)		目録橋(桜石橋)(福島)
				大橋(長野)
				王子橋(京都)
1885				信夫橋(福島)
				松川橋(福島)
				松川橋(京都)
				大手橋(京都)
1886		下鶴橋(橋本勘五郎)		岡田橋(京都)
				第四・第五相澤川橋梁 (邦人鉄道橋)
1887		大園橋		嘉妻橋(鉄製トラス)
1888		坂元橋	二重橋	鍛冶橋(鉄製トラス)
		湯野田橋		多嘉橋(山形)
1889		電門橋	●沢水加川橋	
		西葉瀬橋		
		浅橋		
1890		潮見橋		▲水路筋(京都)
1891		●茶屋町橋		新井田橋(山形)
		●尾倉町橋		緒絶橋(宮城)
		深瀬石橋		沖見橋(宮城)
		腎臓眼鏡橋		日光橋(多摩)
1892		崎津留橋	●碓氷川橋	両景橋(香川)
		逢来橋		
		美奈橋		
1893		近戸橋		播磨川橋梁・木曾川橋 梁(邦人鉄道橋)
		洗玉橋		
		三共橋		
		荒神橋		
1894		殿橋		長姫橋(谷川橋)(長野)
1895		阿南橋		権現橋(愛知)
		観音橋		
1896		鶴尾橋		眼鏡石橋(静岡)
1897		●砂津川橋	●車場川橋	ポータル補間 作三〇式定規 永代橋(初鋼道路橋、鋼ト ラス)
		赤松橋		浅草橋(初鉄アーチ)
1898				山ノ後土橋(無筋コンク リートアーチ)
1899		大肥橋		新橋(鋼アーチ)
				高橋(鋼アーチ)
1900		黒川橋		江戸橋、京橋(鋼アーチ)
		浜田橋		作三五式定規
		田代橋		琵琶湖疎水橋(初RC橋)
		塚田橋		万世橋(鋼アーチ)
1901				大岩橋(初RCアーチ)
1902				仏光寺橋(RCアーチ)
1903		小岩戸橋		▲臥月橋(山口)
1904		江口橋		▲蔵道下水路橋(長野)
1905		カフンジャー橋		▲落合水路橋(山梨)
		山姥橋(やまぐさ)		▲苧花水殿橋(山梨)
1906		めがね橋		▲蔵道下水路橋(長野)
1907		矢田橋	●東京市街線高架橋	▲落合水路橋(山梨)
		筒ノ瀬橋		▲苧花水殿橋(山梨)
1908		霞野橋		▲落合水路橋(山梨)
1909		目録橋		▲苧花水殿橋(山梨)
1910				▲蔵道下水路橋(長野)
1911		縄方橋	日本橋	▲蔵道下水路橋(長野)

※1 無印:道路橋 ●:鉄道橋 ▲:水路橋  
 ※2 正体:石造アーチ 斜体:レンガアーチ橋  
 ※3 大阪神戸間鉄道橋は『橋梁史年表BC～1955』(1992)には記載が無かったが、載せている。  
 ※4 東京市街線高架橋は、『橋梁史年表BC～1955』(1992)の高架ごとに分かれていたが、最後の竣工に合わせてまとめて記載している。

も関わらず、組積アーチ橋においては邦人技術者が設計したとされる主要な橋が無く、他の橋梁形式と比較して導入に遅れを取っていたと推察出来る。また明治中期には、示法書や定規の制定等の一般化の動きも加速していた。鉄道橋では作三〇式定規、作三五式定規とトラス橋の定規が相次いで制定された。しかし、組積アーチ橋の

標準化の動きは一切確認されていない。

更に明治末期になると、1903（明治36）年に日本初の鉄筋コンクリート橋が架けられるなど、鉄筋コンクリート橋の導入の動きが始まる。そんな中、1909（明治42）年には大阪に心齋橋、1911（明治44）年には東京に日本橋と、日本を代表する二大都市に組積アーチの市街橋が架けられた。東京・大阪いずれの地域でも、その前後に組積アーチ橋の架橋は他に無く、鋼橋もしくはコンクリート橋が採用されている。そしてそのまま、組積アーチ橋の架橋は増えることなく、衰退していったのである。

### 3. 設計理論の導入

ここまで、組積アーチ橋の架橋数の数的、地理的変遷を見てきた。日本における組積アーチ橋の起源は、九州・沖縄にあり、明治以降はそこから派生する形で全国に広まっていった。その普及の時期は、まさに近代化の時期であり、欧米からの組積アーチ理論の導入も同時期に進んだと考えるのが自然である。しかし、前述のように九州の石工を呼んで明治初期に石橋を架けて以降、外国人技師による鉄道橋以外で組積アーチ橋はほとんど架けられていない。その間、欧米からの組積アーチ橋の設計理論は導入されなかったのだろうか。本章では、欧米から設計理論が取り入れられた過程を、組積アーチ橋に関する理論書と工学会誌の記述から論ずる。

#### (1) 設計理論の概説

まず、明治期に日本で最も一般的であったと考えられる設計理論をIRA O. Bakerの『A TREATISE ON MASONRY CONSTRUCTION』（1903）<sup>17)</sup>に基づき記す。この本はイリノイ大学の教授であったベーカーが、その授業の蓄積を元に作成した本の第9版であり、1899年に発行されたものを村橋圭二が日本において1903年に再出版したものである。この本の初版は1889(明治22)年に出版されており、章立てにおいては第9版に至るまでほとんど修正がなされていないことから、当時既に世界では組積アーチ理論はほとんど完成していたものと考えられる。また、この本は日本橋の設計者である米元晋一が日本橋を設計する際に参考にした本として挙げている<sup>18)</sup>ものでもあり、その後もこの本を基に書かれたと思われる本が出版されていることから、日本における組積アーチ橋の設計理論の基礎となった本として、これを取り上げる。

まず第一に、組積アーチ橋において迫石にかかる力全てを解析的に明らかにすることは不可能であった。そこで、経験則と図解法の組み合わせによってアーチの形状を決定していた。最初に経験則によって、橋台の厚さとクラウンの厚さを決定する。次に、内弧の形を半円、欠

円、楕円、三心円や垂曲線などの形から選び、それを基にアーチの概形を描く。そして最後に、図解法によってその概形が安定かどうかを判断するのである。以下、図解法と経験則に分けて、理論の枠組みを説明する。

#### a) 図解法

安定性を確認するために、図解法では抵抗線と呼ばれる線を描く。抵抗線の描き方には、様々な種類が存在し、その中でも重要なものとしてこの本では、Rational Theory, Scheffler's Theory, Rankine's Theoryの3つが挙げられている。前述のように、抵抗線を描くためには、外力 $W$ とクラウンでの圧力 $T$ が必要である。組積アーチにおいては迫石にかかる外力を正確に求めることが出来なかったが、求められると仮定する。すると $T$ の変化によって抵抗線が変わることになり、 $T$ を定めることが、抵抗線を描く上でまず必要である。 $T$ を定める仮定としては、最小圧力の仮定、クラウンでの最小圧力の仮定、ウィンクラーの仮定、ナビエーの原理の4つが紹介されている。前述の図解法もそれぞれこれらの仮定を基に、作られている。

そして最後に、以上のようにして描いた抵抗線を利用して、接合部における回転・迫石の圧縮力による破壊・迫石間のすべりという3つの破壊の種類に対して、安定性をそれぞれ確認する。これは、抵抗線のアーチリングにおける位置や、なす角などを利用して求められ、安定性が確認出来れば、設計は完了となる。

#### b) 経験則

経験則には前述のように、クラウンの厚さを求める公式と橋台の厚さを求める公式の2つがある。そして、これらの経験則には、それぞれ複数の公式が存在しており、世界でも国によって採用している公式が違ったようである。

このように、組積アーチ橋の設計理論は、経験則とその安定性を確かめるための図解法の組み合わせで成り立っており、計算で理想的なアーチ軸を求めることは不可能であった。また、経験則や図解法にもそれぞれ何通りかの理論が存在し、唯一の完全な理論は存在しなかった。そのため、他の材料とは異なり、標準化が難しかったと考えられる。また当時、その他の材料のアーチに関しても図解法は用いられていたが、鋼や鉄筋コンクリートアーチ橋が次第に計算で設計されるようになったのに対して、組積アーチ橋ではこれ以上の内容を解析的に明らかにすることは不可能であった。

#### (2) 組積アーチ橋の理論書の変遷

次に、上記のような欧米からの設計理論が日本に導入されていった過程を、当時発行された理論書と工学会誌の記述内容から整理する。まず、1867(明治元)年～1926(大正15)年に出版された橋梁工学及び組積構造の理

表-2 組積アーチ橋理論の導入<sup>(1)</sup>

No.	工学会誌		理論書					
	著者・タイトル	備考	著者・タイトル	①前提となる仮定	②図解法	③経験則(クラウンの厚さ)	④経験則(橋台の厚さ)	その他・備考
1873(M6)								
1879(M12)								
1888(M21)								
1890(M23)			白石 『PROF. BURR'S THEORY OF MASONRY ARCH.』		バーの理論	ランキン、(トラウトワイン)		帝大学生のために教授であった白石がBURRの論文に説明を加えたもの。
1893(M26)								
1896(M29)			野澤房敬 『工字講義録[第四]拱橋編』	破壊接合		ベロンネ、ドジャルデン、デスノイヤー、ジュビー、レベイ(レベイを推奨)、独露で実用されている公式	レベイ 独露で実用されている公式	M23-29発行 破壊接合間に外弧を書く図解法・三心楕円の書き方
1898(M31)			安達辰次郎・竹貫直次 『応用土工学』			トラウトワイン(公式ではなく煉瓦の枚数)、ランキン		隧道のアーチについて 拱架について
1900(M33)			佐々木恒太郎 『土木須用公式設計実例』			ハースト	ハースト(公式・図解法)	
1901(M34)	K.Shibata 『A Note on the Backing of an Arch』 『A Note on Skew Arches』 『On the Form of an Arch』	数式を用いてアーチの形状について論じているが、実際に設計するには経験則と図解法を用いるので十分だと述べている	竹貫直次 『土木職員必携』			ランキン(明記されていない)		
1902(M35)	廣井勇『構拱ニ於ケル應力ノ計算』	スパンドレルブレースドアーチの応力を求める計算法の紹介						
1903(M36)			Ira O. Baker 『A TREATISE ON MASONRY CONSTRUCTION』	クラウンでの最小圧力の仮定 破壊接合	Rational Theory, シェフラーの理論, ランキンの理論, (Theory of Elastic Arch) 抵抗線 破壊の種類, 安定度 橋台の安定	トラウトワイン, ランキン, ベロンネ, ドジャルデン, デスノイヤー (例ではトラウトワインを採用)	トラウトワイン ランキン 独露で用いられている公式 橋台の形を求める図解法	米元が石橋の施工についてこれから学んだとしている本 その他, 起拱石の厚の経験則, スパンドレルの形状を決める方法, 排水方法, 煉瓦アーチについて, 拱架について
			『土木工事仕様設計実例』					眼鏡橋の築造方法, やる事・寸法が記されている
1904(M37)	K.Shibata 『On the Surface of Skew Arches』	斜めアーチが垂直の条件を満たす状態について	久野末五郎 『実地土工学』		抵抗線 破壊の種類, 安全率	トラウトワイン, ランキン	トラウトワイン(公式・図解法)	拱架について
1905(M38)			柴田睦作 『MASONRY AND MASONRY CONSTRUCTION』	破壊接合	Rational Theory 抵抗線 破壊の種類, 安定度 橋台の安定(図解法ではない)	see printとなっており, プリントは存在しない	タイトルのみ(プリントに記載の可能性)	柴田による帝大での講義ノート網羅的であるが, 内容は薄い その他, スパン・ライズに関する経験則, 排水, 拱架について, 施工上の注意
1906(M39)								
1907(M40)			松永工・飯田耕一郎 『土木実用アーチ設計法』	クラウンでの最小圧力の仮定 破壊接合	Rational Theory, シェフラーの理論, パアーの図解法 抵抗線 安定度 橋台の安定	トラウトワイン, ランキン, レニー及びステフェンソン, ベロンネ, ドジャルデン, デスノイヤー, ジュビー, 独露における公式	ランキン トラウトワイン ペーガー(独露式) ルプラー	起拱石の厚さの経験則, 排水方法, spandrelfilling, 拱架について
1908(M41)								
1909(M42)	①開場茂樹『欧米ニ於ケル橋梁技術ノ進歩』 ②吉野太郎『A Method of Locating the True Equilibrium Polygon on an Hingeless Arch』	①1812年以降応力計算を解析的に行う人はほとんど居なくなり, 図解法でやっている, という旨の記述がある. ②ヘンジレスアーチの図解法に対する新たな理論, 計算法	原龍太, 長崎敏音 『実用土土工師便覧続編』	破壊接合	Rational Theory 抵抗線 破壊の種類, 安定度 橋台の安定	ランキン, ベロンネ, ドジャルデン, デスノイヤー, 独露で用いる公式, 煉瓦or石材の大きな橋に対するイタリアの規定	明記なし デスノイヤー	拱架について
1910(M43)			服部鹿次郎, 長崎武英, 井上裕一 『土木工事設計便覧』					Missing 木など他の材料のアーチに関しては設計法の計算式等がしっかりと書かれていることから, 組積アーチに関しては十分な記述があったことは予想出来る
			吉村恵吉 『土木工施工編 下巻』	クラウンでの最小圧力の仮定 破壊接合	Rational Theory 抵抗線 破壊の種類, 安定度 クラウンでの最小圧力の仮定 破壊接合 橋台の安定	トラウトワイン	トラウトワイン ランキン 橋台の形を求める図解法	『A treatise on Masonry Construction』を元に書かれたと思われる 拱架について
1911(M44)								
1912(T1)								
1913(T2)								
1915(T4)			中村猪市, 河合信 『新撰土木工学全書 第2巻』	クラウンでの最小圧力の仮定	Rational Theory(ランキン, シェフラー, ウィンケル, バーの理論が他にあってはいる)	トラウトワイン, ランキン, ステフェンソン, ベロンネ, ドジャルデン, デスノイヤー	トラウトワイン ランキン 独露で用いられている公式 橋台の形を求める図解法	Rational Theoryについては『A Treatise on Masonry Construction』を元に書いたとしている 起拱石の厚さの経験則, 拱架に
1916(T5)			長崎敏音 『近世土木工学要覧 中巻』	破壊接合	Rational Theory 抵抗線 安定度 橋台の安定	ランキン, ベロンネ, ドジャルデン, デスノイヤー, ジュビー, ステフェンソン, トラウトワイン, 独露式, パアー, ハースト, イタリアの規定.	トラウトワイン, ランキン, ペーガー 橋台の形を求める図解法	起拱石の厚さ, 煉瓦アーチについて, 拱架について
1919(T8)	①T.S.『三心楕円の描き方』 ②T.S.『定端を有する拱の簡単な解法』	①は図解法 ②は簡単な計算法						
1925(T14)			梶見一之, 草間俊 『土木施工法』			トラウトワイン, ランキン	トラウトワイン(明記なし) 橋台の形を求める図解法	起拱石の厚さの経験則, 拱架について

経験則中心期

図解法導入期

導入の収束

①～④を含む理論書, 理論を理解した上で安全性を担保した設計が可能  
 ②～③を含む理論書, 理論を完全には理解出来ないが, 安全性を担保した設計が可能  
 ③・④を含む理論書, アーチ形状は描けるが, 安全性は未確認  
 ③④どちらかしかない, 双方がない理論書, アーチ形状が描けない

論書の中から、組積アーチ橋に関する記述のあるものと、工学会誌の中からアーチ理論に関する記述のあるものを収集した。これを年代順にならべたものを表-2に示す。その内容の特徴を理論書と工学会誌とに分けて記す。

まず理論書の変遷について記す。前述のように、理論書に書かれている内容は大きく以下のように分けられる。

#### a) 図解法

- ・抵抗線を描くための仮定…①

クラウンでの最小圧力の仮定（もしくはそれに相当する仮定）、破壊接合

- ・抵抗線を描く図解法…②

図解法（Rational Theory, Scheffler's Theory, Rankine's Theoryなど）、抵抗線、破壊の種類、安定度、橋台の安定

#### b) 経験則

- ・クラウンの厚さ…③

- ・橋台の厚さ…④

表-2では、これらのうちどの内容を含んでいるかによって、理論書を分類した。

まず1896（明治29）年までは、組積アーチ橋について記述のある理論書の存在は確認出来なかった。ただし、1890（明治23）年に、帝国大学教授であった白石直治が学生のためにBURRの論文に説明を加えた資料を今回発見した。この資料は、論文の補足資料であることもあり、理論の全貌を示してくれるものではないが、明治初期の帝国大学の教育の中で組積アーチ橋の図解法について触れられていることがうかがえる。組積アーチ橋について記載のある出版物が現れ始めるのは、1896（明治29）年である。この年から、1902（明治35）年までに出版された理論書は、③④の経験則が中心の示法書の様な形式をしており、図解法については一切記述が無い。

しかし、1903（明治36）年に、IRA O. Bakerの『A TREATISE ON MASONRY CONSTRUCTION』（1903）<sup>17</sup>が出版されると、これを基にしたと思われる本が複数出版されるなど、図解法の導入が始まったことがうかがえる。特に1906（明治39）年から1916（大正5）年にかけては、6冊もの図解法を記した理論書が出版されている。ただし、②～④が記された理論書が4冊であるのに対して、①～④全てが記された理論書が2冊と、理論の理解を深められる書物は少なかった。一方、この時期の帝国大学での教育内容を明らかにする資料として、柴田蛙作の講義ノートを手に入れた。このノートは、クラウンでの最小圧力の仮定以外に必要な要素は揃っているが、それぞれの項目に対しての説明は浅く、設計をするにはかなり不十分な内容であった。また、日本橋を設計した米元晋一は対談<sup>18</sup>の中で、「石橋のことは大学で習ってはおりましたが、…（中略）…ほとんど首っ引きで工事現場

にのぞんだ」と述べており、帝国大学での教育だけでは不十分であったことがここからも分かる。このように、明治末期になってようやく図解法を取り入れ始めたが、簡略的なものが多く、本格的な導入には至らなかった。そして1917（大正6）年以降は、図解法の説明をしている理論書は一切なくなり、経験則について記したのも一冊のみであった。

このように、明治初期1896（明治29）年頃までは、組積アーチ橋に関する理論書は無く、その後経験則だけが導入された。そして、明治末期になってようやく図解法の導入が進んだものの本格化せず大正初期には収束したと言える。

### (3) 工学会誌の設計理論に関する記述

次に、工学会誌における記述の変遷を追う。組積アーチ橋の設計理論に関する記事はK. Shibataによる一連の寄稿のみであり、またこれらは、附録としての掲載である。これらは全て設計理論の一部分を計算で示したのも、もしくはアーチの特性を計算で示したものである。4つの記事のうち、「A Note on the Backing of an Arch」(1901)<sup>19</sup>「On the Form of an Arch」(1901)<sup>20</sup>は抵抗線が内弧・外弧と平行となるような裏込の量を求めるものである。また、「A Note on Skew Arches」(1901)<sup>21</sup>、「On the Surface of Skew Arches」(1904)<sup>22</sup>は斜めアーチの表面に関しての特徴とその安定性に関して計算で示したものであった。これらの記事の中で柴田は、実際の設計では図解法を用いる方が望ましいという旨の記述を何度かしており、設計に直接活かせるものではない。前述の理論書においても図解法以外の方法は一切記されておらず、また関場茂樹(1909)は自身の講演<sup>23</sup>の中で、1812年に図解力学を初めて以来、応力計算を解析的に行う人はほとんどおらず、図解法でやっているという旨の発言をしている。このことから見ても、この柴田による計算法は実際の設計に活用された痕跡はない。

またここで、組積アーチに限らない橋梁全般の設計理論に関する寄稿についても考察する。組積アーチ橋以外の寄稿にも計算法に対するものが多い。廣井勇による「構拱ニ於ケル應力ノ計算(1902)」<sup>24</sup>はスバンドレルブレースドアーチに対する応力の計算法の紹介である。また、吉町太郎一の「A Method of Locating the True Equilibrium Polygon on an Hingeless Arch」(1909)<sup>25</sup>もヒンジレスアーチの図解法を計算によって解くことを試みたものである。更に、1919(大正8)の「定端を有する拱の簡單なる解法」<sup>26</sup>も計算法であることから、工学会誌への寄稿においては一般的に図解法に対するものはほとんど存在せず、計算法への取り組みが多いことが言える。その中で、前述のように組積アーチ橋の設計理論は、計算出来る部分が非常

に限られていたことから、投稿数も少なくなったと考えることも出来る。

(4) 設計理論の導入過程のまとめ

以上より、設計理論の導入過程をまとめる。まず、1896（明治29）年～1901（明治34）年は経験則が理論書を中心であり、図解法の導入は行われていなかった。そして、1903（明治36）年以降、図解法の導入が進むが、本格化することなく、1919（大正8）年以降は収束したと言うことが出来る。更に、工学会誌における投稿内容は、計算法に関するものがほとんどであり、組積アーチ橋は図解法が中心であるため投稿は少なかったと考えられる。

4. 明治期における組積アーチ橋の展開に関する考察

本章では、組積アーチ橋の架橋の概況と設計理論の導入過程を重ね合わせることで、明治期日本における組積アーチ橋展開の全体像の把握を試みる。

明治初期に九州の石工を呼んで東京に石橋を架設したことを契機に、組積アーチ橋は全国へと広まった。この時の組積アーチ橋の安全性は、九州の石工の経験と技術によって担保されていたと考えられる。東京では橋本勘五郎によって、万世橋と浅草橋が架けられており、山形においても鹿兒島から呼び寄せた技師奥野忠蔵の設計で多くの石造アーチ橋が架けられたことが示されている<sup>4)</sup>。その他の地域でも、石工の設計であることが『橋梁史年表(BC～1955)』（1992）に記されているものが複数あり、明治初期の組積アーチ橋は欧米からの技術・理論の導入というよりは、九州由来のものであったと考えられる。ただし、鉄道レンガアーチ橋だけは、お雇い外国人の設計であり、欧米からの設計理論の導入が始まっていたと言える。この期間には組積アーチ橋の理論書も存在せず、九州の石工による石造アーチ橋とお雇い外国人による鉄道レンガアーチ橋が全てであったと考えられる。

その後前述のように、1880（明治13）年以降1911（明治44）年まで、東京では二重橋を除いて組積アーチ道路橋が一切架けられなくなる。また、鉄道レンガアーチ橋は断続的に架けられていたものの、鉄道院のお雇い外国人によって技術力を担保していたと考えられる。ただし、理論面で見るとこの時期には、欧米からの理論の導入が始まっていたことが分かる。しかし、その内容は経験則が中心であり、図解法の導入は進んでいなかった。前述のように、明治中期には定規や示法書といった一般化の動きがあったが、組積アーチ橋においてその動

表-3 設計理論から見る明治期の組積アーチ橋の展開

年	組積アーチ橋			その他橋梁・主な出来事
	九州・沖縄	東京市(中央官庁所管)	その他	
1868				くろがね橋(切鉄橋)
1869	笠松橋 丹邊橋 陣内橋			
1871				新町橋(切鉄アーチ)
1873		万世橋(橋本勘五郎) ●大阪神戸間鉄道橋		
1874		浅草橋(橋本勘五郎) 江戶橋		
1875	明八橋(橋本勘五郎) 吉君橋	京橋 海老橋 駒込橋 荒布橋 常盤橋	千歳橋(長野・石工)	
1876				
1877	明十橋(橋本勘五郎)	板橋	滝ノ岩橋(山形) ←奥野忠蔵設計 生浜橋(多野) 夫婦橋(愛媛・石工)	
1878	永山橋 桶浦橋 金剛橋	昌平橋	常盤橋(山形) ←奥野忠蔵設計 堅磐橋(山形) 中山橋(山形) 緑橋(長野)	
1879	北河内橋	吳服橋		
1880			新橋(山形) 暇橋(山形) 百田橋(山形・石工) ←奥野忠蔵設計 十六橋(福島) 御幸橋(長野) 白川橋(北海道) 万世橋(山形) 眼鏡橋(万代橋)(山形) ▲熱海橋(福島) 協橋(千葉) ▲三石石門(広島)	
1881	高井川橋			
1882				ポーナル来日 高橋(邦人初道路橋・ 煉鉄製トラス)
1883				
1884	岳下橋		大石沢橋(長野) 目録橋(桜石橋)(福島) 大橋(長野) 壬子橋(京都) 橋方橋(福島) 松川橋(福島) 松川橋(京都) 大寺橋(京都) 岡田橋(京都)	浅草橋(煉鉄トラス)
1885				
1886	下鶴橋(橋本勘五郎)			第四・第五相澤川橋 (邦人鉄道橋)
1887	大園橋			香妻橋(煉鉄トラス)
1888	坂元橋 湯野田橋	二重橋 ←詳細不明	めがね橋(千葉・石工) 多喜橋(山形)	鐘橋(煉鉄トラス)
1889	竜門橋 西栗瀬橋 湊橋 瀬見橋	●沢水加川橋		
1890				
1891	●茶屋町橋 ●尾倉町橋 深瀬石橋 崎津留橋 長瀬橋 蓬萊橋 美奈橋 近江橋 洗玉橋 三共橋 荒神橋	●煙水川橋 ←ポーナル設計	▲水路橋(京都) 新井田橋(山形) ←ドイツ人設計 練絶橋(宮城) 沖見橋(宮城) 日光橋(多摩)	
1892	崎津留橋 蓬萊橋 美奈橋 近江橋 洗玉橋 三共橋 荒神橋			
1893	藤橋 阿南橋 観音橋 鶴尾橋 ●砂津川橋 赤松橋	●車場川橋	西貢橋(香川) 長姫橋(谷川橋)(長野) 権現橋(愛知)	指斐川橋梁・木曾川 橋梁(邦人鉄道橋)
1894				
1895				
1896				
1897				
1898				
1899	大肥橋			ポーナル備前 作三〇式定規 永代橋(切鋼道路橋・ 鋼トラス) 浅草橋(切鋼アチ) 山ノ後土橋(無筋コン クリートアーチ) 新橋(鋼アチ) 高橋(鋼アチ)
1900	黒川橋 浜田橋 田代橋 塚田橋			
1901				
1902				
1903	小岩戸橋		▲臥月橋(山口)	若狭橋(切RC橋) 万世橋(鋼アチ) 大岩橋(切RCアチ) 仏光寺橋(RCアチ)
1904	江口橋			
1905	カフンジャー橋			
1906	山城橋 めがね橋			
1907	矢田橋 宮ノ瀬橋 雷野橋	●東京市街線高架橋 ←バルツァー設計	▲蔵道下水路橋(長野) ▲茅谷水路橋(山梨) ▲沢井水路橋(山梨)	佐世保橋(RC橋) 鉄道国有化
1908				
1909	目録橋			
1910				
1911	緒方橋	日本橋		吉田橋(RCアーチ)

※1 無印: 道路橋 ●: 鉄道橋 ▲: 水路橋  
 ※2 正体: 石造アーチ 斜体: レンガアーチ橋  
 ※3 大阪神戸間鉄道橋は『橋梁史年表BC～1955』(1992)には記載が無かったが、載せている。  
 ※4 東京市街線高架橋は『橋梁史年表BC～1955』(1992)各高架ごとに分かれていたが、最後の竣工に合わせてまとめて記載している。

きは確認出来ない。そして3章で記したように、組積アーチ橋の設計理論には複数の種類があり、また図解法であったこともあり、一般化することが困難であった。このことから、明治中期に組積アーチ橋が普及しなかったことは、設計理論の特性と関係があると推察出来るだろう。

図解法に関する理論書が出版され始めたのは、1903

(明治36)年以降であった。しかし、図解法の導入は簡略的なものが多く、理論を深めるには至らなかった。そんな中、大阪に心齋橋(1909)東京に日本橋(1911)という2つの組積アーチ橋が架けられた。これらの橋は、近代化の中心都市において架けられた数少ない組積アーチ橋あり、図解法の導入期に位置していることが分かる。特に日本橋は、東京市の市街橋として欧米の理論を利用した唯一の例である可能性が高い<sup>(ii)</sup>。しかし、その後は、鉄筋コンクリート橋や鋼橋が市街橋の中心となり、理論書の数も激減した。地方においても、九州を除き組積アーチ橋の数は次第に減少していった。

## 5. 日本橋実現の背景

ここまで記してきたように、心齋橋及び日本橋は、欧米からの組積アーチ橋の設計理論を基に、日本人によって設計された数少ない例であると推察される。そこで、これらがなぜ組積アーチ橋として架けられたのか、どのように設計されたのかについて考察を加えることとする。しかし、心齋橋については、その設計過程や意図について記した資料の存在を確認出来なかった。そこで、日本橋に着目して、今回は論ずることとする。

表-4に日本橋改架の経緯を記した。日本橋の改架の動きは、1902(明治35)年に石造アーチ橋の案で市参事会の了承を得たことで始まる。その素案を基に金井彦三郎が設計を行い、1906(明治39)年までに石造アーチ橋の設計案が完成していたことが分かっている<sup>14)</sup>。この頃、工学会誌では廣井勇によるスバンドレルブレーストアーチに関する計算法<sup>20)</sup>が発表され、東京市では鋼橋が市街橋として次々と架けられていた。金井も浅草橋(1898)、江戸橋(1901)、京橋(1901)など1898(明治31)年から1904(明治37)年の間に7橋もの鋼アーチ橋を設計している<sup>27)</sup>。一方、組積アーチ橋では、前述の通り図解法の導入が始まったのがこの時期だったと考えられる。こうした中で、日本橋は鋼アーチ橋ではなく石造アーチ橋が選択されたのである。この背景には何があったのだろうか。1902(明治35)年の石橋案が了承された際、此の案はパリの橋を模範とした計画であると報道されており、帝都の中心である日本橋には、パリのような市街橋が求められていたと馬木は言及している<sup>14)</sup>。

日本橋の設計に影響を与えた可能性のある出来事として、東京市区改正事業を挙げることが出来る。日本橋の改架は市区改正の一事業であったが、1902(明治35)年に計画の削減が決定され、財源を抑えた市区改正新設計が1903(明治36)年に公示された<sup>28)</sup>。この削減が日本橋の設計に及ぼした影響は定かでは無いが、何かしらの影響があった可能性はある。またその後、市区改正事業は

表-4 日本橋の設計過程と鉄筋コンクリート導入の動き<sup>(iii)</sup>

年	設計過程	RC導入の動き
1894		RC日本に紹介される
1899		山ノ後土橋(無筋コンクリートアーチ)(神戸)
1902	改架案が市参事会で了承 (総花園岩の石造アーチ橋)	
1903		琵琶湖疎水日ノ岡の橋(RC橋)(京都) 鹿ヶ谷御殿前橋(RC橋)(京都) 廣井勇「鉄筋混泥土橋梁」(RC導入の必要性を説く)
1904		大岩橋(初RCアーチ)(京都)
1905	金井彦三郎による設計(～1906.3)	新地橋(RC橋)(長崎) 仏光寺橋(RCアーチ)(京都) 姉小路橋(RC橋)(京都) 材木町橋(RC橋)(京都) 直木倫太郎「鉄筋混泥土ノ価値」
1906	米元 設計を中島鋭治から依頼される 樺島 橋梁掛長に就任 日下部 土木局技師長に就任 11月 市区改正委員会で決議	佐世保橋(RC橋)(長崎) 岳下橋(RC橋)(長崎) 長狭橋(RC橋)(神戸) 井上秀二「鉄筋コンクリート」(日本初のRCに関する書物)
1907	3月 勤業博覧会に模型出品 設計開始 樺島 橋梁課長に昇進 設計完了	布池水源分水堰堤付属橋(RCアーチ)(神戸) 西山橋(RC橋)(長崎) 六軒橋(RCアーチ)(京都)
1908	着工	日本(ひのもと)橋(RCアーチ)(旅順)
1909		「鉄筋混泥土設計施工示法書(案)」
1910		
1911		竣工 吉田橋(RCアーチ)(横浜)

日露戦争の影響では中々進まなかった<sup>29)</sup>。その結果、1906(明治39)年に日本橋の改架案が市区改正委員会で決議されるまで、4年もの歳月を要したと考えることも出来る。

1906(明治39)年以降、日本橋の設計は米元晋一郎と樺島正義、日下部弁二郎、装飾を担当した妻木頼黄の4人で行われた。この時期も、金井が設計を開始した時期同様、西洋の市街橋を模範とすべきであるという認識があったことが分かっている。伊東<sup>30)</sup>によると、樺島は上路アーチが市街橋には望ましいと述べており、妻木は周囲の洋風建造物に合わせて洋風か和洋折衷が望ましいとしていた。また中井<sup>13)</sup>も、上路アーチ橋及び西洋の橋が美観的に優れているという認識が、一部の技術者の間では意識されつつあったと指摘している。

その一方で、1902(明治35)年の動きだしからかなりの歳月を経たことで、大きな変化もあった。橋梁材料として鉄筋コンクリートが新たに登場したのである。鉄筋コンクリートの導入の動きは表-4に示したが、金井が設計を開始した1902(明治35)年時点では、鉄筋コンクリート橋の架橋実績は無かった。しかし、米元らが設計を任された時期になると、ある程度の架橋実績があり、日本橋も鉄筋コンクリート橋にしようとする動きがあったようである。これについて米元<sup>18)</sup>は、鉄筋コンクリート橋を提案したものの、土木局技師長であった中島鋭治に安全性への不安から反対され、石橋になったと述べている。この時期の設計においては、石造アーチ橋を選択したことを示す積極的な論拠は見当たらず、後数年遅ければ鉄筋コンクリート橋として架けられていた可能性もある。日本橋以降の東京市の橋を見ると、鍛冶橋(1914)、九重橋(1915)、高橋(1919)など鉄筋コンクリート橋が多く架設されているのに対して、石造アーチ橋は一度

も架けられていない。また、鉄筋コンクリート橋の設計過程は工事報告書<sup>30)31)</sup>に詳細に記載されているのに対して、日本橋<sup>32)</sup>では図面は載っているものの設計過程の詳細はほとんど記されておらず、理論を普及しようという姿勢は見受けられない。これは、図解法の導入が本格化せずに大正初期には収束したことと時期的に一致する。

このように日本橋が組積アーチ橋として設計された背景には、設計に長い年月を要していたことや、西洋市街橋への美観の意識、鉄筋コンクリートがまだ確立中途であったことなど、様々な要因が存在する。これらが相まって、積極的ではないが石橋を選択するに至った可能性があるかと推察出来る。

## 5. 結論と考察

本論文では、明治期の組積アーチ橋を対象に、設計理論の導入過程を分析することで、日本における組積アーチ橋の展開の様子を探った。また、その中で重要だと思われる日本橋について考察を加えた。その結果、以下の4つの成果が得られた。

(1) 明治期日本における組積アーチ橋の数的・地理的変遷及び、設計理論の変遷の整理

その結果、明治初期に九州から東京・その他の地域へと石工による架橋技術が伝わったものの、東京ではその後普及しなかったことが明らかになった。また、欧米からの設計理論は、明治末期にようやく図解法が導入され始めたものの確立せずに終わったことが推察された。

(2) 組積アーチ橋の設計理論の特性と、明治中期の架橋数との関係

明治時代の橋梁技術の発展は、定規や示法書といった標準化の動きと共に行われていたが、組積アーチ橋の設計理論は一般化出来なかった。そのことが、明治中期に架橋が進まなかったことと関係があるのではないかと推察した。

(3) 明治期の組積アーチ橋の展開における日本橋の意味

図解法は明治末期に導入が進んだものの、橋梁としての実現には殆ど結びつかなかった。日本橋は、東京の市街橋としては、欧米の理論を利用した唯一の組積アーチ橋である可能性が高いと言える。

(4) 日本橋が組積アーチ橋となった背景の推察

設計に長い年月を要していたことや、西洋市街橋への美観の意識、鉄筋コンクリートがまだ確立中途であったこと等の様々な背景が相まって、積極的ではないが石橋を選択するに至った可能性があるかと推察した。

今後は、一般的なアーチ橋設計理論と組積アーチ橋の設計理論との相違点を明確化し、理論書以外の理論導入方法についても調査を加えることで、組積アーチ橋が明

治中期に普及しなかった理由をより精査する必要がある。

## 補注

(i) 表-2は以下の文献に基づき筆者が作成

IRA O. Baker : *A TREATISE ON MASONRY CONSTRUCTION*』, 共益商社, 1903/松永工, 飯田耕一: 土木実用アーチ設計法, 博文館, 1907/吉村恵吉: 土木工学施工編 下巻, 攻玉社, 1910/鈴木晶太郎, 長崎敏音: 実用土木工師便覧続編, 大倉書店, pp301-319, 1909/中村猪市, 河合信: 新撰土木工学全書 第2巻, 工学社, pp1017-1050, 1915/鈴木晶太郎, 長崎敏音: 近世土木工学要覧中巻, 大倉書店, pp133, 1916/井上福一郎: 土木工事設計便覧, 建築書院, pp357-372, 1910/N.Shiraishi :

*PROF.BURR'S THEORY OF MASONRY ARCH*, 1890/柴田蛙作:

*MASONRY AND MASONRY CONSTRUCTION*, 1904 (1908改) /

佐々木恒太郎: 土木須用公式設計実例, pp63-65, 1900/鶴見一

之, 草間偉: 土木施工法, 丸善, pp399-420, 1925/野澤房敬:

工学講義録[第四]拱橋編, 工学書院, pp110-131, 1896/久野末

五郎: 実地土木工学, 博文館, 1904/竹貫直次: 応用土木工学,

博文館, pp28-38, pp89-91, 1898/竹貫佳水: 土木職員必携: 各

府県庁市区郡役所村役場適用, 建築書院, 1903/石橋絢彦他:

土木工事仕様設計実例, 共益商社書店, pp98-99/K.Shibata : *A*

*Note on the Backing of an Arch*, 工学会誌付録, Vol. 228, pp1-20,

1901/K.Shibata : *On the Form of an Arch*, 工学会誌付録, Vol. 231,

pp1-4, 1901/K.Shibata : *A Note on Skew Arches*, 工学会誌付録,

Vol. 229, pp1-14, 1901/K.Shibata : *On the Surface of Skew Arches*, 工

学会誌, Vol. 260, 巻末, 1904/廣井勇: 構拱における応力の計

算, 工学会誌, Vol. 238, pp74-84, 1902/吉町太郎一: *A Method*

*of Locating the True Equilibrium Polygon on an Hingeless Arch*, 工学会誌,

Vol. 324, 巻末 I-IV, 1909/T. S. : 定端を有する拱の簡単なる解

法, 工学会誌, Vol. 429. pp222-226, 1919

(ii) 1922 (大正11) 年に江戸橋という石造アーチ橋が東京に

架けられたことが、『橋梁史年表(BC~1955)』(1992)<sup>10)</sup>

には記されているが、出典や橋長等は不明である。

(iii) 表-3は以下の文献に基づき筆者が作成

馬木知子: 明治期における日本橋の修繕・改架にみる「美観」

の意味について, 都市計画論文集, No. 38, pp745-750, 2003/山

根巖: 明治末期における長崎での鉄筋コンクリート橋, 土木史

研究, Vol. 19, pp209-220, 1999/山根巖: 明治末期における京都

での鉄筋コンクリート橋, 土木史研究, Vol. 20, pp325-336,

2000/山根巖: 明治末期における神戸での鉄筋コンクリート

橋・一いゆる「若狭橋」を巡って一, 土木史研究, Vol. 21,

pp285-294, 2001/松本嘉司: 鉄筋コンクリートの歴史・鉄道構

造物, 土木学会論文集, No. 426/V-14, pp23-28, 1991

## 参考文献

1) 逃目英正, 長谷場良二, 奥田朗, 吉原進: 我が国の石造アーチ橋の発展と岩永三五郎, 阿蘇鉄矢の事跡, 土木史研究, Vol. 17, pp. 425-436, 1997

- 2) 岡林隆敏, 小嶺啓蔵: 九州における石造アーチ橋のデータベースと橋梁学的考察, 土木史研究, Vol. 15, pp. 527-532, 1995
- 3) 坂田力, 市川紀一: 九州の石造アーチ橋について, 土木史研究, Vol. 21, pp. 265-270, 2001
- 4) 井上肇, 市村幸夫: 山形の石橋——明治初期の山形での石拱橋とその設計の検討——, 土木史研究, Vol. 20, pp. 337-348, 2000
- 5) 小野田滋: 阪神間・京阪間鉄道における煉瓦・石積み構造物とその特徴, 土木史研究, Vol. 20, pp. 269-278, 2000
- 6) 小野田滋: 北九州地方の鉄道橋梁に見られるレンガ・石積みの構造的特徴に関する研究, 土木史研究, Vol. 12, pp1-12, 1992
- 7) 田島二郎, 小西純一, 小野田滋, 金谷宏二: 碓氷峠旧線鉄道構造物の現況について, 土木史研究, Vol. 16, pp293-302, 1996
- 8) 伊東孝: 明治期における主要な橋の配置計画とデザイン思想, 第7回日本土木史研究発表会論文集, pp155-162, 1987
- 9) 伊東孝: 東京の橋, 鹿島出版会, 1986
- 10) 高浦秀明: 戦前につくられた東京の橋梁の意匠について, 第7回日本土木史研究発表会論文集, pp163-170, 1987
- 11) 佐々木葉: 戦前の大阪市内橋梁の景観設計思想に関する研究, 土木史研究, Vol. 11, pp25-36, 1991
- 12) 松村博: 大阪の橋, 松籟社, 1987
- 13) 中井佑: 近代日本の橋梁デザイン思想 三人のエンジニアの生涯と仕事, 東京大学出版会, 2005
- 14) 馬木知子: 明治期における日本橋の修繕・改架にみる「美観」の意味について, 都市計画論文集, No. 38, pp745-750, 2003
- 15) 中井祐: 樺島正義の仕事と橋梁設計思想, 土木学会論文集, No. 800/IV-69, 67-86, pp67-86, 2005
- 16) 藤井郁夫: 橋梁史年表(BC~1955), 海洋架橋調査会発行, 1992
- 17) IRA O. Baker: *A TREATISE ON MASONRY CONSTRUCTION*, 共益商社, 1903
- 18) 米元卓介: 日本橋の思い出, 土木学会誌, Vol. 49, No. 11, pp47-64, 1964
- 19) K. Shibata: *A Note on the Backing of an Arch*, 工学会誌付録, Vol. 228, pp1-20, 1901
- 20) K. Shibata: *On the Form of an Arch*, 工学会誌付録, Vol. 231, pp1-4, 1901
- 21) K. Shibata: *A Note on Skew Arches*, 工学会誌付録, Vol. 229, pp1-14, 1901
- 22) 関場茂樹: 歐米ニ於ケル橋梁技術ノ進歩, 工学会誌, Vol. 314, pp16-17, 1909
- 23) K. Shibata: *On the Surface of Skew Arches*, 工学会誌, Vol. 260, 卷末, 1904
- 24) 廣井勇: 構拱における応力の計算, 工学会誌, Vol. 238, pp74-84, 1902
- 25) 吉町太郎一: *A Method of Locating the True Equilibrium Polygon on an Hingeless Arch*, 工学会誌, Vol. 324, 卷末 I-IV, 1909
- 26) T. S.: 定端を有する拱の簡単なる解法, 工学会誌, Vol. 429, pp222-226, 1919
- 27) 伊東孝: 明治期における東京の鉄製道路橋と技術者群像—倉田吉嗣と金井彦三郎に焦点をあてて—, 土木史研究, Vol. 25, pp27-39, 2006
- 28) 藤森照信: 明治の東京計画, 岩波書籍, pp218, 1982
- 29) 藤森照信: 明治の東京計画, 岩波書籍, pp219, 1982
- 30) 樺島正義: 鍛冶橋, 土木学会誌, Vol. 1, No. 3, pp813-1021, 1915
- 31) 花房周太郎: 高橋架設工事報告, Vol. 6, No. 1, pp. 59-154, 1920
- 32) 米元晋一: 日本橋改築工事報告, 工学会誌, Vol. 359, pp61-74, 1913