

組積造による斜めアーチ構造物の分布とその技法に関する研究

A Study on Distribution and Technique of Oblique Arches

○小野田滋* 河村清春**
須貝清行** 神野嘉希**

Shigeru ONODA, Kiyoharu KAWAMURA
Kiyoyuki SUGAI, Yoshiteru JINNO

ABSTRACT

Oblique arches built with masonry or brickwork have to be used as an exceptional technique for transmitting the axial forces all over the voussoir. One of the methods for realizing this technique was conceived by Japanese engineers in Meiji or Taisho Era who attempted to match spiral brickworks to oblique arches. In this paper, we describe the distribution of these structures in Japan, and gather detailed information about the technique from literature available in those days. The findings from the survey may be summarized as follows; (1) the oblique arches in Japan are widely distributed around Kansai district; (2) the technique for oblique arches built with spiral brickworks was applied in three methods—"hericoidal", "logarithmic" and "corne de vache"; (3) oblique arches in Japan were built by hericoidal method; (4) some cases were found in which these techniques other than spiral brickworks were employed such as ribbed oblique arches; (5) hericoidal method had been used since early days of railway construction in Japan, and this technique may have been introduced by English railway engineers in 1870'; (6) this technique is speculated to have originated from an Irish canal of 18th century or a skew bridge of 16th century in Florence.

1. はじめに

「斜めアーチ」(Skew Arch または Oblique Arch)とは、アーチによって跨ぐ対象物の軸線とアーチ上部の軸線とが斜交する構造物を総称したもので、具体的にはアーチ構造物の上部を通過する鉄道線路と、その下をくぐる河川や道路等との交差角が直角以外の角度で交わっているような場合を指す。このようなアーチ構造物を煉瓦や石積みなどの組積造で構築しようとする場合、軸力をアーチ全体に伝達させるために特殊な技法を工夫しなければならない。その技法の代表例が本論文の主題としてとりあげた「ねじりまんぼ」

とによって、独特な構造景観をも演出している。

こうした「ねじりまんぼ」の存在は、これまでにもいくつかの文献で指摘されていたが^{注2)}、わが国における分布や技法の詳細について言及した例はなく、その全貌については未解明のままであった。このような現状に鑑み、まず筆者らは関西圏におけるその分布を現地踏査により把握し、併せてその具体的設計手法について当時の文献により明らかにした^{注3)}。また、全国的な分布状況や海外における事例についても調査を行うとともに、「ねじりまんぼ」以外の技法で設計された斜めアーチ構造物の存在を指摘し、その適用条件の違いを解明した^{注4)}。

注1) で、煉瓦や石材を交差角に合わせて捻って積むこ

本論文では筆者等がこれまでに蓄積してきた斜め

keywords : 斜めアーチ／アーチ橋／トンネル／鉄道構造物／煉瓦／組積造／明治・大正

*正会員 (財)鉄道総合技術研究所 (〒185 東京都国分寺市光町2-8-38/E-Mail:onoda@rtri.or.jp)

**正会員 西日本旅客鉄道(株) (〒530 大阪市北区芝田2-4-24)

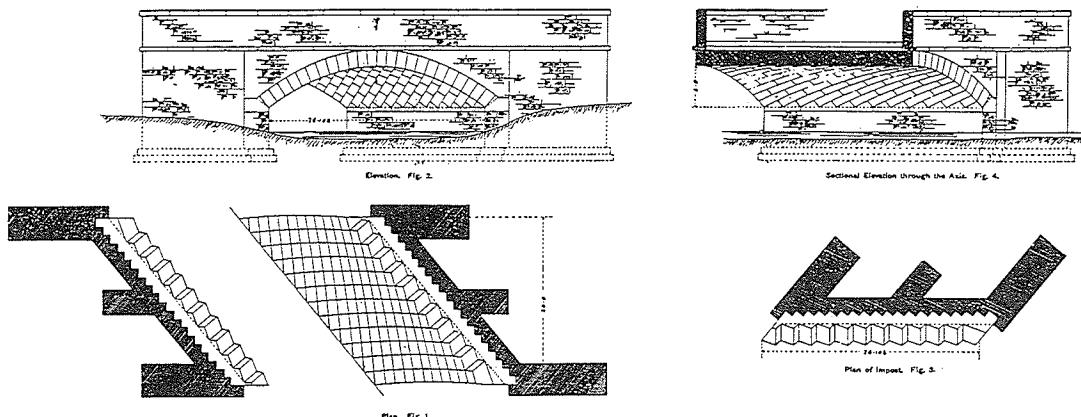


図-1 「ねじりまんぼ」による斜めアーチの例(文献11)

(50° 20Ft. Span. Designed to cross the Rae Burn at Hemplands Ford in the Longtown Union.)

アーチに関する研究を集大成すると共に、その起源についての推定を試みるものである。

2. 「ねじりまんぼ」の分布とその特徴

2.1 「ねじりまんぼ」の分布と建設年代

鉄道構造物における「ねじりまんぼ」は、アーチ構造による高架橋、架道橋、跨線陸橋、拱渠などの橋梁を中心として適用されており、天井川の下を貫く一部のトンネルにも観察することができる。筆者等は、関西圏におけるアーチ構造物の悉皆調査結果から、その適用条件(第4章で詳述)を帰納法的に導き、これに該当するアーチ構造物を管理台帳から抽出すること

によってその全国的な分布状況をほぼ明らかにした(これらの中には偶然発見されたものや協力者からの指摘により確認されたものも含まれる)^{注5)}。その分布は図-2に示す通りで、大半が関西圏に集中しているが、北は新潟県から南は福岡県まで各地に散在している。こうしたことから、この技法が限られた地域で用いられていた特殊な施工法ではなく、全国規模で知られていた技法であったことが理解できる。

「ねじりまんぼ」のうち最も古いものは、新橋～横浜間に次ぐわが国2番目の鉄道として1874(明治7)年に開業した東海道本線大阪～神戸間の路線に現存する^{注6)}。この区間の建設は、イギリス人技師を中心

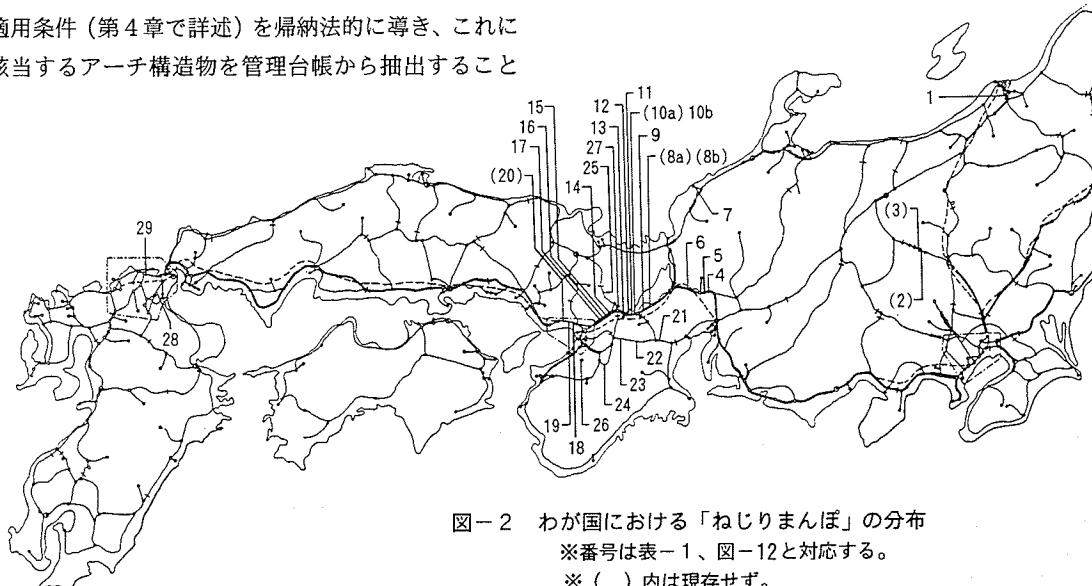


図-2 わが国における「ねじりまんぼ」の分布

※番号は表-1、図-12と対応する。

※()内は現存せず。

表－1 「ねじりまんぼ」の諸元（No.は図－2に対応）
※キロ程は各線の起点駅からのkm、正径(正径間)と斜径(斜径間)は各m単位で表す

No.	所属	線名	構造物名称	駅間	キロ程	建設	開業	現状	斜角	正径	斜径	断面	端部	備考
1	J R 東日本	信越本線	車場川拱渠	荻川～亀田	125.557	北越鉄道	1897	現用	左75度	4.57	4.97	半円	鋸歯	迫受石あり
2	—	信越本線	碓氷第12号橋梁	横川～軽井沢	—	官設鉄道	1893.1963	頃撤去	右60度	8.45	9.76	欠円	—	迫受石あり
3	—	信越本線	碓氷第15号橋梁	横川～軽井沢	—	官設鉄道	1893.1963	頃撤去	右60度	8.45	9.76	欠円	—	迫受石あり
4	J R 東海	東海道本線	甲中吹拱渠	穂積～大垣	405.397	官設鉄道	1887	現用	左70度	2.44	2.59	半円	鋸歯	
5	J R 東海	東海道本線	甲大門西拱渠	穂積～大垣	407.063	官設鉄道	1887	現用	左70度	1.83	2.11	半円	鋸歯	
6	J R 東海	東海道本線	小田原川拱渠	垂井～関ヶ原	422.011	官設鉄道	1884	現用	左70度	2.44	2.64	半円	ワイヤ	
7	京福電鉄	三国芦原線	眼鏡橋	三国～三国港	—	鉄道院	1913	現用	右60度	4.57	5.90	半円	鋸歯	
8a	—	東海道本線	屋ノ棟川トンネル(上)	篠原～野洲	—	官設鉄道	1889	1956頃撤去	—	4.57	—	半円	鋸歯	坑口捨り
8b	—	東海道本線	屋ノ棟川トンネル(下)	篠原～野洲	—	官設鉄道	1901	1956頃撤去	—	4.57	—	半円	鋸歯	坑口捨り
9	J R 西日本	東海道本線	市三宅田川拱渠	野洲～守山	484.854	官設鉄道	1889	現用	左78度	2.41	2.46	半円	鋸歯	
10a	—	東海道本線	狼川トンネル(上)	南草津～瀬田	—	官設鉄道	1889	1956頃撤去	—	4.57	5.30	半円	鋸歯	坑口捨り
10b	—	東海道本線	狼川トンネル(下)	南草津～瀬田	—	官設鉄道	1900	1956廃止	—	4.57	5.30	半円	鋸歯	坑口捨り
11	J R 西日本	東海道本線	兵田川拱渠	石山～膳所	500.357	官設鉄道	1889	現用	左60度	2.41	2.81	半円	ワイヤ	
12	J R 西日本	東海道本線	篠津川拱渠	石山～膳所	500.523	官設鉄道	1889	現用	左57度	1.80	2.15	半円	—	
13	—	東海道本線	東川拱渠	大津～大谷	—	官設鉄道	1880	1921廃止	左75度	2.74	3.61	半円	—	
14	J R 西日本	東海道本線	馬場丁川拱渠	西大路～向日町	517.795	官設鉄道	1876	現用	左72度	1.50	1.61	半円	ワイヤ	
15	J R 西日本	東海道本線	円妙寺架道橋	長岡京～山崎	525.938	官設鉄道	1876	現用	右68度	1.22	1.32	半円	ワイヤ	
16	J R 西日本	東海道本線	奥田端拱渠	山崎～高槻	532.262	官設鉄道	1876	現用	左68度	2.44	2.63	半円	ワイヤ	
17	J R 西日本	東海道本線	門ノ前拱渠	揖澤富田～茨木	540.370	官設鉄道	1876	現用	左70度	2.97	3.20	半円	ワイヤ	迫受石あり
18	J R 西日本	東海道本線	安井拱渠	西宮～芦屋	573.246	官設鉄道	1874	現用	左83度	1.53	1.54	半円	ワイヤ	
19	J R 西日本	東海道本線	東皿池拱渠	西宮～芦屋	574.226	官設鉄道	1874	現用	左75度	1.60	1.65	半円	—	改装工事済
20	—	東海道本線	不仙上谷拱渠	住吉～六甲道	—	官設鉄道	1874	1993撤去	左68度	1.52	1.62	半円	—	
21	J R 西日本	関西本線	鳥谷川拱渠	中在家～柘植	87.424	関西鉄道	1890	現用	左70度	4.24	4.94	半円	ワイヤ	
22	J R 西日本	関西本線	第248号拱渠	月ヶ瀬口～大河原	106.943	関西鉄道	1897	現用	左48度	3.66	4.80	半円	鋸歯	
23	J R 西日本	関西本線	第272号拱渠	加茂～木津	121.041	関西鉄道	1898	現用	左46度	1.67	2.45	半円	ワイヤ	坑口捨り
24	J R 西日本	桜井線	第130号拱渠	金橋～高田	27.984	大阪鉄道	1893	現用	左60度	1.54	1.64	半円	ワイヤ	
25	J R 西日本	山陰本線	第91号拱渠	千代川～八木	29.248	京都鉄道	1899	現用	右45度	1.83	2.59	半円	ワイヤ	
26	南海電鉄	高野線	東除川暗渠	狹山～狭山遊園	21.656	高野鉄道	1898	現用	左60度	3.66	4.23	半円	ワイヤ	
27	京都市	琵琶湖疏水	—	—	—	京都	1888	現用	左70度	2.13	2.27	半円	鋸歯	
28	J R 九州	日田彦山線	櫻坂拱渠	採銅所～香春	20.519	小倉鉄道	1915	現用	右60度	5.55	6.55	欠円	ワイヤ	迫受石あり
29	西日本鉄道	北九州市内線	折尾高架橋	黒崎～折尾	5.099	九州電動	1914	現用	右75度	6.10	6.31	欠円	ワイヤ	

心とするいわゆる雇外国人の指導により行われており、ここに少なくとも3カ所の「ねじりまんぼ」が存在していたという事実は、その源流を探る上で極めて興味深い。続いて1876(明治9)年に開業した東海道本線大阪～京都間には4カ所に「ねじりまんぼ」が現存する。さらに、1880(明治13)年に開業した東海道本線京都～大津間には、1921(大正10)年に路線変更を行った際の廃線跡に1カ所のみ現存している。

明治10年代後半から30年代にかけては、全国を結ぶ幹線の骨格が形成された時期にあたり、それとともに「ねじりまんぼ」の分布も拡大する。1884(明治17)年に開業した東海道本線長浜～大垣間には1カ所、1887(明治20)年に開業した岐阜～大垣間には2カ所の計3カ所の「ねじりまんぼ」が現存する^{注7)}。また、東海道本線最後の区間として1889(明治22)年に開業した長浜～大津間のうち、野洲～守山間に1カ所、石山～膳所間に2カ所の「ねじりまんぼ」が現存している。これらの区間は当初単線として開業し、明治30年代前半に複線化されたため、継ぎ足された上り線側も「ねじりまんぼ」でできている。また、この区間に建設された天井川のトンネルのうち2カ所にも「ねじりまんぼ」の技法が用いられ、このうち1897

(明治30)年の複線化時に建設された狼川トンネルの下り線のみが廃坑として現存している^{注8)}。

また、1888(明治21)年に建設された琵琶湖疎水のインクラインの下には「ねじりまんぼ」が1カ所現存するが、鉄道事業者以外が建設した「ねじりまんぼ」はこれまでのところ、これが唯一の存在である。私設鉄道である関西鉄道(のち国有化)が1890(明治23)年に開業させた関西本線中在家～柘植間と1897(明治30)年に開業した月ヶ瀬口～大河原間、1898(明治31)年に開業した加茂～木津間に合計3カ所の「ねじりまんぼ」が現存している。

1893(明治26)年に大阪鉄道(のち関西鉄道を経て国有化)により建設された桜井線金橋～高田間には1カ所のみ「ねじりまんぼ」が現存する。同年、信越本線横川～軽井沢間にも2カ所の「ねじりまんぼ」が建設されたが^{注9)}、こちらは1963(昭和38)年の改良工事により撤去されたため、現存しない。信越本線直江津～新潟間を建設した北越鉄道(のち国有化)の路線のうち、1897(明治30)年に開業した荻川～亀田間にも「ねじりまんぼ」が1カ所現存するが、今までのところその北限となっている。一方、関西圏では、1898(明治31)年に開業した高野鉄道(現・南海電鉄高野線)の狭山～狭山遊園間と、1899(明治32)

年に京都鉄道（のち国有化）により開業した山陰本線千代川～八木間にそれぞれ1カ所存在する。

このあと、「ねじりまんぼ」の建設はやや途切れ、空白期を迎えるが、再び登場するのは三国線（のちに廃止されて現在の京福電鉄三国芦原線として再利用）で、三国～三国港間にある「眼鏡橋」と称する跨線陸橋が1913（大正2）年に「ねじりまんぼ」により完成した。さらに北九州では、九州電気軌道（現・西鉄北九州市内線）が1914（大正3）年黒崎～折尾間の高架橋に、また日田彦山線の前身である小倉鉄道（のち国有化）が1915（大正4）年採銅所～香春間にそれぞれ1カ所の「ねじりまんぼ」を建設しているが、これが今まで確認された最も新しい「ねじりまんぼ」となっている。

2.2 「ねじりまんぼ」の構造

これまで調査した「ねじりまんぼ」のディテールには、特有の興味深い構造をいくつか観察することができる。以下、各ディテールごとにその特徴を整理してみたい。

（1）断面

「ねじりまんぼ」の大半は半円断面であるが、信越本線の碓氷第12橋梁、碓氷第15橋梁、西鉄北九州市内線の折尾高架橋、日田彦山線の櫻坂拱渠は欠円断面を採用している。欠円断面は、アーチの空頭を確保したい場合に用いられることが多いが、「ねじりまんぼ」では側壁との接続部（起拱部）の施工に困難が伴うため、（4）で述べるように独特な工夫がなされている。最大径間は、碓氷第12橋梁、碓氷第15橋梁の正径間7.3m（24フィート）が最大であるが、現存する構造物としては折尾高架橋の6.1m（20フィート）、櫻坂拱渠の5.6m（18.3フィート）、狼川トンネルと眼鏡橋の4.6m（15フィート）と続く（いずれも正径間）。逆に小径間の「ねじりまんぼ」としては、円妙寺架道橋の正径間1.2m（4フィート）が最も小さく、次いで馬場丁川拱渠、安井拱渠、木杣上谷拱渠、桜井線第130号拱渠の1.5m（5フィート）となっている。

（2）アーチの構造

多くの「ねじりまんぼ」は、アーチ全体の煉瓦を捻って積んでいるが、東海道本線狼川トンネル（写真一）

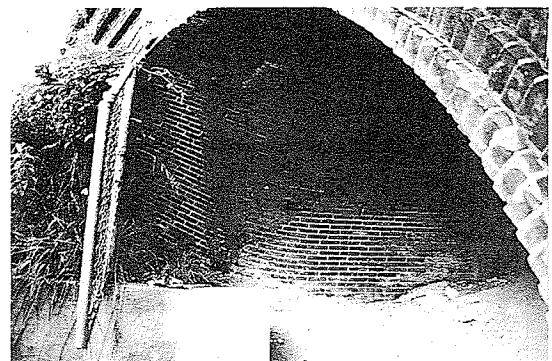


写真-1 狼川トンネル坑門付近の煉瓦積み

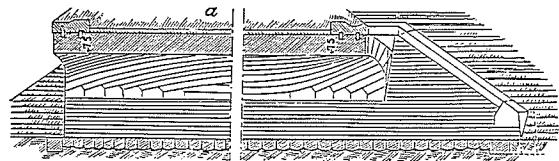


図-3 坑門部分の部材のみを捻った例^{文献17)}

1) や関西本線第272号拱渠のように、坑口のみを捻って積む場合もある。こうした技法は、文献17でも紹介されているが、アーチの中間部では特に捻って積む必然性がないため原理的には矛盾しないものの、施工上はかえって面倒ではなかったかと考えられる。

（3）アーチの端部

「ねじりまんぼ」のアーチ端部は、煉瓦の端部を加工しなければ鋸歯状に仕上げられることとなる（写真-3）。しかし、そのほとんどはわざわざ煉瓦を整形して端部を「ツライチ」にそろえて仕上げており、当時の煉瓦職人の細やかな気配りを偲ぶことができる。これに対して鋸歯状に仕上げられているのは、東海道本線の市三宅田川拱渠、関西本線の第248号拱渠、京福電鉄の眼鏡橋のみである^{注10)}。また、日田彦山線の櫻坂拱渠は、4枚巻の煉瓦のうち内側の1層目のみを鋸歯状に仕上げ、外側の3層は「ツライチ」仕上げとしている（写真-5）。

（4）アーチと側壁との接続

アーチと側壁との接続部は、捻って積んだアーチの煉瓦と水平な側壁の煉瓦（または石積）を接続するため、どちらかの部材を斜めに施工する必要がある。この場合、一般にはアーチの煉瓦をスプリングラインに合わせて斜めに切っているが、東海道本線門ノ前拱渠、

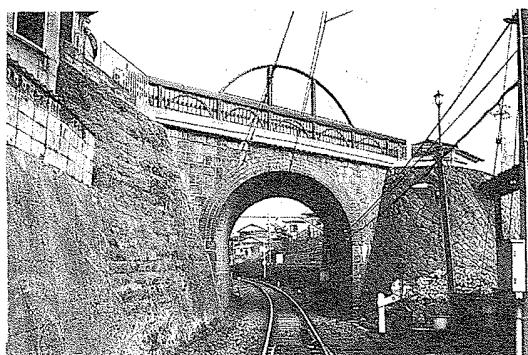


写真-2 京福電鉄眼鏡橋

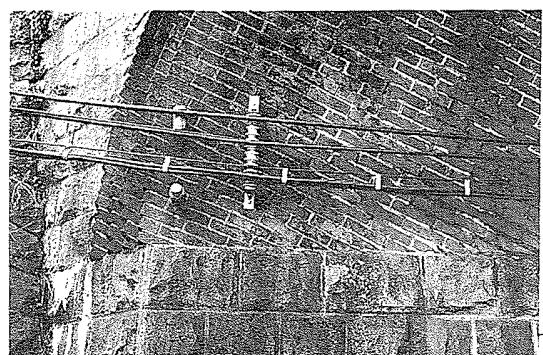


写真-3 眼鏡橋のアーチ端部と起拱線付近

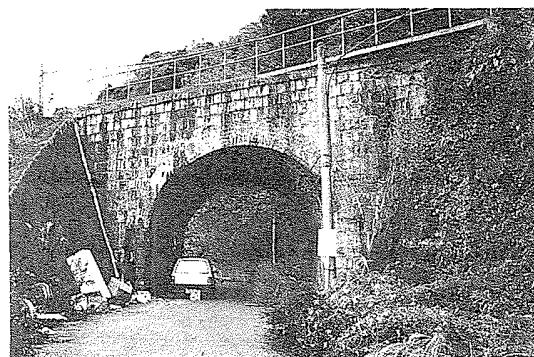


写真-4 日田彦山線櫻坂拱渠

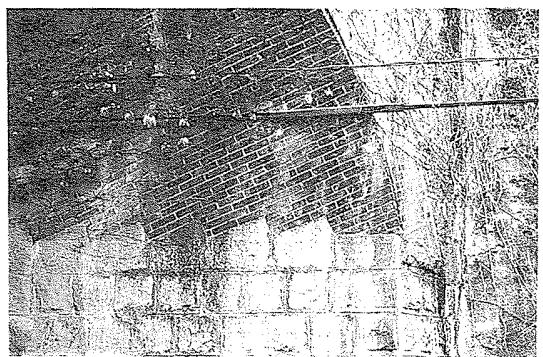


写真-5 櫻坂拱渠のアーチ端部と迫受石

信越本線碓氷第12橋梁、碓氷第15橋梁、日田彦山線櫻坂拱渠のように、石材を起拱角に合わせて鋸歯状に加工して迫受石として使用している場合もある（写真-5）。また、西鉄北九州市内線折尾高架橋のように、端部のみに迫受石を用いた例もある。

（5）煉瓦の捻り方

煉瓦の捻り方は明らかに斜交方向に対して規則性を持っており、平面的には迫石の接合線が橋の軸線とほぼ直交するような形態となっている。また、「ねじりまんぼ」の重要な設計要素である斜架角（図-8における $\angle AEC$ ）と起拱角（同、 $\angle NEM$ ）の間にも因果関係があり、斜架角が急になるほど起拱角も急になる傾向が認められる（第3.5項にて詳述）。

3. 「ねじりまんぼ」の技法

3.1 「ねじりまんぼ」に関する文献

わが国で、「ねじりまんぼ」について解説した最も

古い文献は、1880（明治13）年に発行された『蘭均氏土木学』であったと考えられ、第295章で『斜歪穹窿』として紹介されている。この文献は、Rankine^{注11)}の著書『Manual of Civil Engineering』を当時の大学教育向けに翻訳したもので、総合的な近代土木工学の専門書としてはわが国最初の存在となった。最初の「ねじりまんぼ」はそれ以前に完成しているので、わが国における「ねじりまんぼ」の源流をこのテクストに求めることはできないが、工部大学校や東京帝国大学の卒業生をはじめとする初期の幹部技術者が本書によってその理論を身につけていたであろうことが想像される。しかし、その後は現場では次々と「ねじりまんぼ」が施工されるものの、文献等にその解説は見られない状態が続く。

やがて明治30年代になると、諸外国の文献を翻案して伊藤鏗太郎補訳^{注12)}、毛利重輔校閲^{注13)}による『斜架拱』（1899）が出版され、「ねじりまんぼ」を単独で扱った解説書としては唯一の存在となった。また、これと前後して Shibata（柴田畦作）^{注14)}は、

1901（明治34）年と1904（明治37）年、『工学会誌』に「ねじりまんぼ」に関する設計理論を英文で発表し、Helicoidal Arches（螺旋アーチ）、Modified Helicoidal Arches（変形螺旋アーチ）、Logarithmic Arches（対数アーチ）に対する解を与えるとともに、迫石における Heading Surface（小口面）、Coursing Surface（合端面）、Soffit（拱腹面）の各曲面を求めるための方程式を論じた。さらに1907（明治37）年にはアーチ橋の理論書として松永工^{注15)}、飯田耕一郎^{注16)}の共著による『アーチ設計法』が発行され、ここでも「ねじりまんぼ」に若干のページが割かれた。

その後1914（大正3）年に発行された鶴見一之、草間偉璣武^{注17)}の共著による『土木施工法』や、1937（昭和12）年発行の櫻井盛男による『各種拱橋の実地設計法』にも「ねじりまんぼ」に関する若干の記述が見られるが、いずれも伊藤・毛利による『斜架拱』を凌ぐほどの詳細な内容ではなかった。

3.2 『斜架拱』の原典

さて、わが国において「ねじりまんぼ」を単独で扱った唯一の文献と目される『斜架拱』には、「ねじりまんぼ」の幾何学的設計法が詳述されているが、『緒

表-2 『斜架拱』とその引用箇所

伊藤・毛利『斜架拱』		出典		
第1章	幾何画法ヲ用ヒテ原理ヲ論ス	Buck(1895)	Chapter I	DESCRIPTIVE GEOMETRY APPLICABLE TO THE FIRST PRINCIPLES
第1図		Buck(1895)	PLATE I	FIG.1
第2図		Buck(1895)	PLATE I	FIG.2
第3図		Buck(1895)	PLATE II	FIG.3
第4図		Buck(1895)	PLATE II	FIG.4
第5図		Buck(1895)	PLATE II	FIG.5
第6図		Buck(1895)	PLATE III	FIG.6
第2章	寸法及ヒ角度ヲ定ムル公式ヲ論ス	Buck(1895)	Chapter II	INVESTIGATION OF FORMULE FOR DETERMINING THE DIMENSIONS AND ANGLES
第7図		Buck(1895)	PLATE IV	FIG.7
第8図		Buck(1895)	PLATE IV	FIG.8
第9図		—	—	—
第3章	拱石ノ形状ヲ作ル方法ヲ論ス	Buck(1895)	Chapter III	METHOD OF WORKING THE VOUSSOIRES, ETC.
甲図		Hart(1847)	PLATE 7	FIG.2
第10図		Buck(1895)	PLATE V	FIG.10, FIG.11
第11図		Buck(1895)	PLATE V	FIG.9
乙図		—	—	—
戊図		Buck(1895)	PLATE V	FIG.9
丙図		Buck(1895)	PLATE V	FIG.10
丁図		Buck(1895)	PLATE V	FIG.11
第12図		Buck(1895)	PLATE V	FIG.12
第13図		Buck(1895)	PLATE V	FIG.13
第14図		Buck(1895)	PLATE V	FIG.13
第15図		Buck(1895)	PLATE V	FIG.15
第16図		Buck(1895)	PLATE VI	FIG.17
第17図		Buck(1895)	PLATE VII	FIG.19
第18図		Buck(1895)	PLATE VI	FIG.18
第19図		Buck(1895)	PLATE VII	FIG.21
第20図		Buck(1895)	PLATE VII	FIG.20
第4章	公式ノ応用	Buck(1895)	Chapter IV	APPLICATION OF THE PRECEDING FORMULAE
施工実例 第1		Buck(1895)	EXAMPLE I	
第21図		Buck(1895)	PLATE V	FIG.16
施工実例 第2		Buck(1895)	EXAMPLE II	
癸図		—	—	—
第5章	架拱方法	Buck(1895)	Chapter V	MODE OF ERECTION
第25図		Buck(1895)	PLATE VIII	FIG.25
第26図		Buck(1895)	PLATE VIII	FIG.25
第6章	製図法	Buck(1895)	Chapter II	PRINCIPLES OF PROJECTION
第27図		Buck(1895)	PLATE IX	FIG.26
斜架拱付録		BARLOW(1895)	ADDENDUM	DESCRIPTION TO DIAGRAMS FOR FACILITATING THE CONSTRUCTION OF OBLIQUE BRIDGES
甲図		BARLOW(1895)	ADDENDUM	p.68
乙図		BARLOW(1895)	ADDENDUM	p.70

言』に『本書ハ「ジョージ、ワットソン、バック」氏ノ著ハセル「ヲブリイク、ブリッヂ」ヲ基トシ、「ニッコルソン」氏「ハアト」氏等ノ述ブルトコロノモノヲ参考トシテ訳述セシモノナレドモ……』とある通り、外国文献を底本として翻案したものである。『緒言』ではこのほか、『「バアロー」氏ノ著ハセル図表』を参考にしていることが示されているが、それぞれの原著は下記のようである。

- ・「ジョージ、ワットソン、バック」氏
→Buck,G.W.「A Practical and Theoretical Essay on Oblique Bridges」Crosby Lockwood and Son (1895)
- ・「ニッコルソン」氏
→Nicholson,P.「The Guide to Railway Masonry Containing a Complete Treatise on the Oblique Arch」Groombridge& Sons,Paternoster-Row(1828)
- ・「ハアト」氏
→Hart,J.「A Practical Treatise on the Construction of Oblique Arches」C.F.Hodgson(1847)
- ・「バアロー」氏
→Barlow,W.H.“Description to Diagrams for Facilitating the Construction of Oblique Bridges”および“Diagrams for Facilitating the Construction of Oblique Bridges”，上記Buck(1895).pp.65～pp.76に「ADDENDUM」として所載

さらに『緒言』では、『原書中往々他ノ註釈ヲ要セザレバ直ニ其意ヲ解シカタキモノアリ是ニ就キ訳者自ラ註釈ヲ試ミ共ニ本書中ニ記載スルモノ少シトセス』とあることから、著者の理解が及ぶ範囲で翻訳していたことがわかる。また、『而シテ「バック」氏ノ書中「如何ナル定度迄斜メニ架拱スルヲ得ラルゝヤ又「バアロー」氏ノ「図表ニ対スル論証」等ハ孰レモ理論多ク実地ノ所用少ナキヲ以テ之レヲ他日ニ譲リ此処ニ省略スルコトナセリ』とあり、実用的な部分のみを抄訳していたことがわかる。

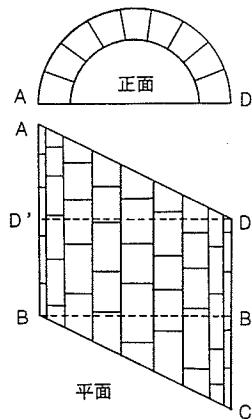
表-2は伊藤・毛利『斜架拱』と原著の対応関係を比較したもので、図表を含めそのほとんどを Buck (1895) に負っていることが理解できる。

3.3 「ねじりまんぼ」の原理

「ねじりまんぼ」が斜めのアーチ橋を架けるために工夫された特殊な組積法の一種であることは冒頭で触れた通りであるが、これらの文献では、その原理に

ついて下記のように解説している。

図-4は、斜めアーチを通常の水平積みで施工した場合の模式図を示したもので、□D'DB B'D'の部分ではアーチの軸力（接線方向応力）が両側の橋台（側壁）部分に伝達されるが、坑口付近の△AD'D'およ



び△BCB'の部分では軸力が片側の橋台にしか伝達されず、強度上きわめて脆弱な構造となってしまうことが理解できる。このため、アーチ全体の軸力を橋台に伝達させる方法のひとつとして、図-1のようにアーチ橋の交差角に合わせて煉瓦を斜めに積む方法が工夫されるに至った。従って、「ねじりまんぼ」は、斜めアーチを架けるために考案された特殊な技法と考えることができ、このことは斜めアーチにしか「ねじりまんぼ」の技法が存在しないという現地調査の結果とも合致している注¹⁸⁾。

3.4 「ねじりまんぼ」の設計法

文献によれば、「ねじりまんぼ」の設計法には下記の3種類が存在していた。

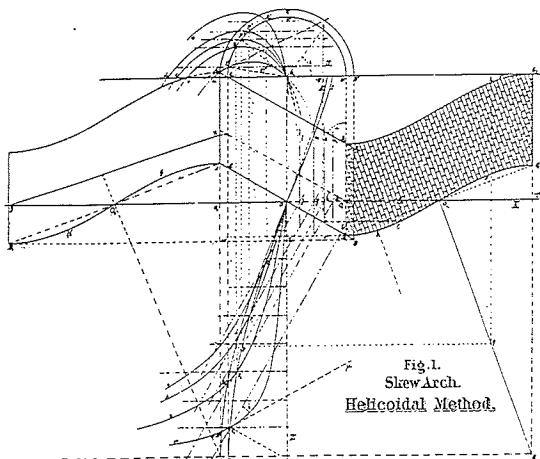


図-5 Helicoidal Method の展開文獻⁶⁾

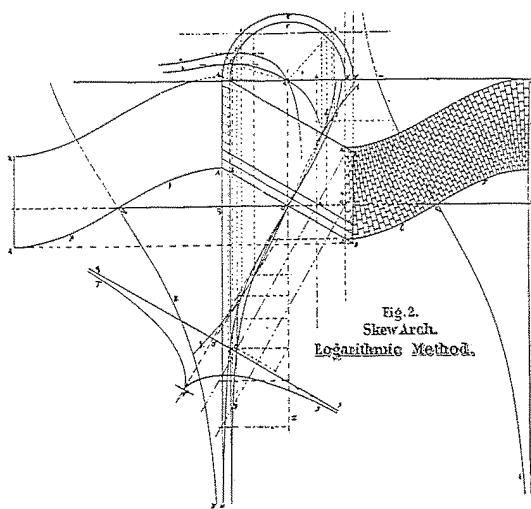


図-6 Logarithmic Method の展開^{文献6)}

- ・ Helicoidal Method (螺旋法)
- ・ Logarithmic Method (対数法)
- ・ Corne de Vache または Cow's Horn Method (牛角法)

このうち Helicoidal Method は、「ねじりまんぼ」を解説したほとんどの文献で紹介されている手法で、おそらく最も一般的に用いられた手法であったものと推察される。これに対して Logarithmic Method

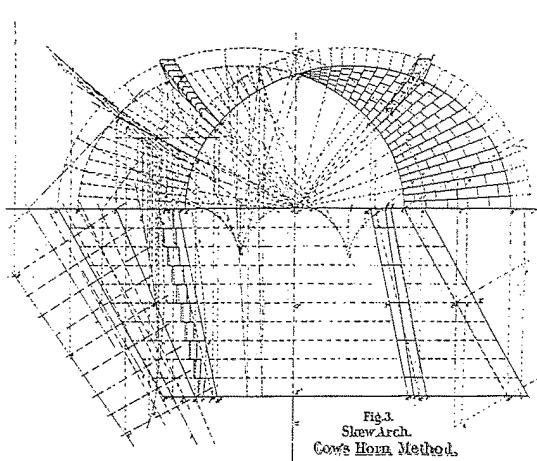


図-7 Corne de Vache (Cow's Horn Method) ^{文献6)}

と Cow's Horn Method はアメリカで出版された Hyde (1875) と Culley (1886) に紹介されているに過ぎない。以下、各設計手法の概要を示す。

(1) Helicoidal Method

Helicoidal Method は、アーチの展開を平行四辺形に近似させ、その軸線と垂直に交わる接合線を順次設定する方法である。図-8は、伊藤・毛利『斜架拱』に掲載されたこの方法による展開図を示したもので、既知数として、アーチ橋の半径 (BO) = r、拱厚 (AA'、CC') = e、斜架角 ($\angle AEC$) = θ とすれば、各パラメータとの関係は次式で示される。

$$\text{正径間 (AC)} = 2r \quad \dots\text{式 1}$$

$$\text{斜径間 (AE)} = b = 2r \cdot \operatorname{cosec} \theta \quad \dots\text{式 2}$$

$$\text{斜歪の長さ (CE)} = 2r \cdot \cot \theta \quad \dots\text{式 3}$$

$$\text{内弧における半円の長さ (CD)} = \pi r \quad \dots\text{式 4}$$

$$\text{内弧における起拱角} (\tan \angle NEM) = 2 \cot \theta / \pi = \tan \beta \quad \dots\text{式 5}$$

$$\text{軸線の長さ (EN)} = \pi 2r / 2 \cot \theta \quad \dots\text{式 6}$$

$$\text{外弧における半円の長さ (C'D')} = \pi(r + e) \quad \dots\text{式 7}$$

$$\text{外弧における起拱角} (\angle M'dN') = (r + e) \tan \beta / r \quad \dots\text{式 8}$$

$$\text{内外弧の軸線長の差 (dP)} = e \cdot \cot \theta \quad \dots\text{式 9}$$

$$\text{軸線に直角な螺旋の長さ (ED)} = \pi r \cdot \sec \beta \quad \dots\text{式 10}$$

$$\text{拱基の長さ (EF)} = b \cdot \operatorname{cosec} \theta \quad \dots\text{式 11}$$

これらの計算を現場において行うことは、当時の技術者の数学的知識や計算技術から考えてかなり困難な作業であったと考えられ、このため『斜架拱』では付録として図-9に示す「バアロー」氏のノモグラム

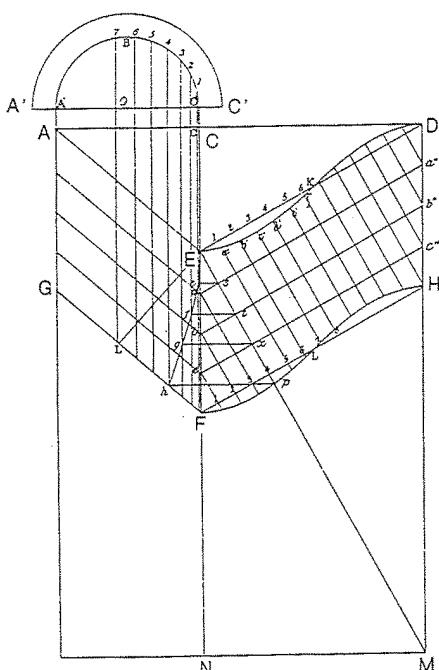
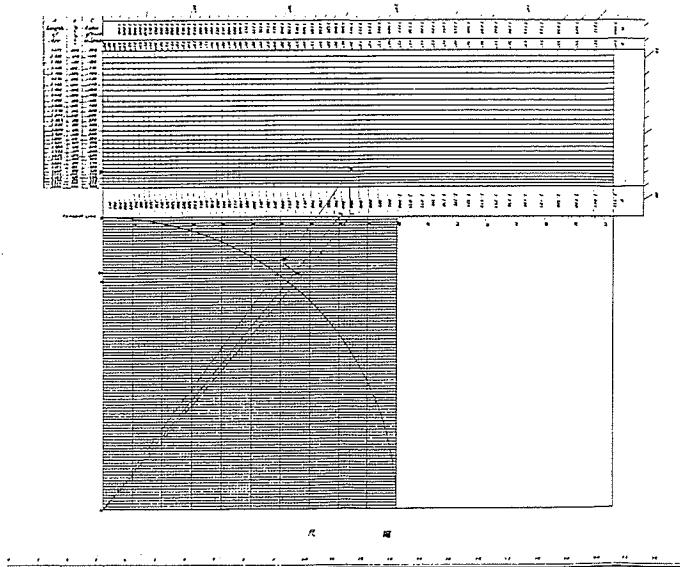


図-8 Helicidal Method の内弧における展開^{文献12)}

図-9 「バーロー」氏のノモグラム^{文献12)}

に基づく解法を例題付きで示している^{注19)}。

(2)Logarithmic Method

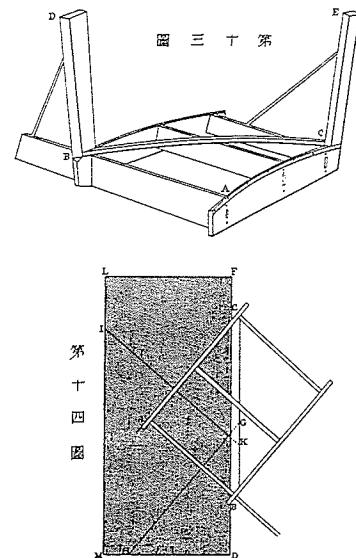
図-6 のようにアーチを構成する各部材の水平方向の継ぎ目を、展開したアーチの端面に対して常に垂直とすることによって斜めアーチを構築する手法で、計算式に自然対数 (Naperian Logarithm) を用いるためこの名称がある。この方法によれば、力学的により理想的な構造になるとされるが、すべての部材を別々の形状に仕上げる必要があり、理論上はともかく施工上ははなはだ困難な方法であったと考えられる。この手法は、先述のようにわが国でも Shibata (1901) によって解かれている。

(3)Corne de Vache (Cow's Horn Method)

Corne de Vache とは、アーチの端面を朝顔状に切り欠いた構造のこと^{注20)}、ヨーロッパにおけるライズの低い石造アーチ橋にしばしば見ることができる。この Corne de Vache を斜めアーチ橋に応用したもので、図-7 のように Logarithmic Method と同様、各部材の水平方向の接合面は起拱線と交わらない。アーチ端部で朝顔状に開くため、その施工は Logarithmic Method よりもさらに難しかったと考えられる。

3.5 「ねじりまんぼ」の施工

わが国で「ねじりまんぼ」の施工が実際にどのように

図-10 迫石を整形する定規^{文献12)}

に行われたのかを具体的に示す工事記録は、これまでのところ未見である。文献では通常のアーチ橋と同様に支保工を構築し、線引きを行った上でその周囲に煉瓦や石材を積むこととしている。従って、煉瓦を捻じって積むことを除けば^{注21)}、とりたてて特殊な施工法を用いていたわけではないようである。

文献ではさらに、切石を積む場合は各接合面の形状が問題となるため、図-10 に示すような治具を工夫し、石材を整形するように指導している。しかし、わが国の「ねじりまんぼ」では、アーチ部分に石材を用いたケースはなく、すべて煉瓦積みであったため、迫受石の加工を除けば国内ではこのような治具を用いてはいなかつたであろうと考えられる。また、先述のように多くの「ねじりまんぼ」はアーチの端面を坑門に合わせて「ツライチ」に仕上げていたが、煉瓦を積む前に煉瓦に対してこのような加工を施すことは困難であったと考えられ、おそらく積み終わるか積む直前に加工したものと推測される。

3.6 「ねじりまんぼ」の実際

「ねじりまんぼ」の設計法に少なくとも 3 つの種類があったことは、先述の文献調査の結果からも明かであるが、今回調査した「ねじりまんぼ」はいずれも起拱線の部分で起拱角を持っていることから、すべて Helicoidal Method により設計されたものと判断さ

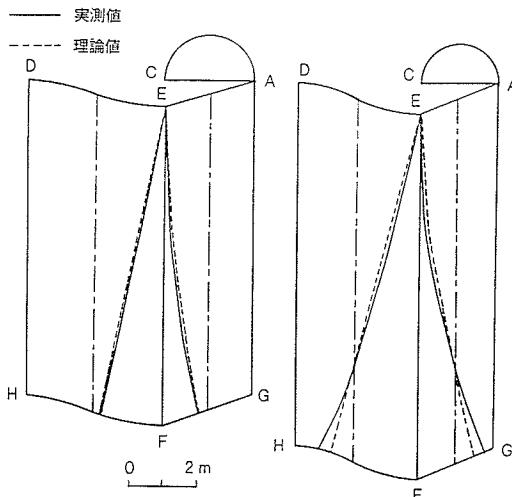


図-11 接合線の理論値と実測値の比較
(奥田端拱渠(右)と門ノ前拱渠(左))

れる(他の2種類の方法は起拱線の部分で起拱角を持たない)。『斜架拱』によれば Helicoidal Method では、斜架角と起拱角の間に式5の関係があるとされるが、実際の「ねじりまんぼ」がこの設計方法に対してどの程度忠実に施工されているかを調べるために、東海道本線奥田端拱渠と門ノ前拱渠のある特定の目地を実測し、展開図を作成した^{注22)}。その結果、図-11 に示すように、この2橋では理論値と実測値はほぼ合致し、Helicoidal Method を用いて忠実に設計・施工されていることが確認された。

図-12 は、これまで調査した「ねじりまんぼ」の斜架角と起拱角の関係を示したもので、奥田端拱渠や門ノ前拱渠のように理論値にはほぼ一致するものもあるが、一部に一致しないものが見られた。この差異が、施工誤差に起因するするものか設計法の違いに起因するものは今後さらに検討すべき余地がある。

4. ねじりまんぼの条件

「ねじりまんぼ」の技法が、アーチ橋を斜めに架けるための技法であることは先に述べた通りであるが、今回の調査の結果、斜めに架けられているすべてのアーチ橋がこの技法により設計されているとは限らないことが明かとなった。

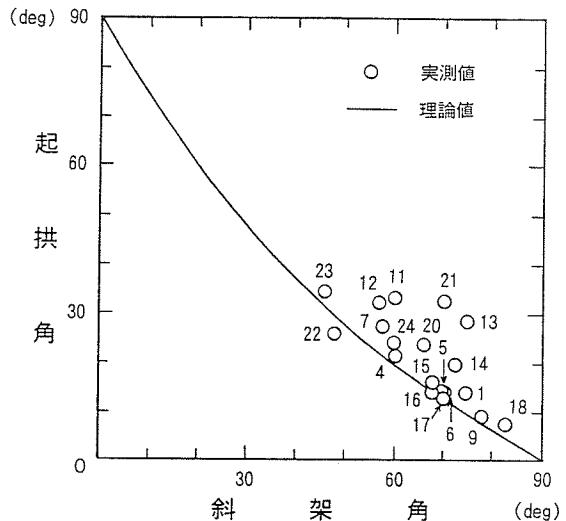


図-12 斜架角と起拱角の関係

写真-6は、山陽本線上郡～三石間の梨ヶ原拱渠を示したもので、線路に対して左75度の角度で斜交しているものの、アーチの煉瓦は一般のアーチ橋と同様に水平に積まれている。唯一異なるのは坑門がアーチ橋の中心軸に対して直角に位置している点で、このため坑門の上部が法面勾配に合わせて斜めに切り欠かれた形態となっている。

このような構造的特徴は、今回調査した関西地方の斜めアーチ橋のうち、「ねじりまんぼ」以外のものにほぼ共通して観察することができるが^{注23)}、その相違点について整理すると下記のように示される。

1) 「ねじりまんぼ」によるアーチ橋は坑門の上面が水平であるが、一般構造の斜めアーチ橋は盛土の法面勾配に合わせて坑門の上部が斜めに切り欠かれている。

2) 「ねじりまんぼ」によるアーチ橋は、坑門と線路方向が平行に位置しているが、一般構造の斜めアーチ橋は坑門と線路の方向が一致せず、アーチ橋の中心軸と坑門とが直角の位置関係にある。

図-13はこれらの特徴を、一般のアーチ橋、一般的なアーチ橋と同じ構造でできた斜めアーチ橋、「ねじりまんぼ」によるアーチ橋の3種類に分類して模式的に示したもので、「ねじりまんぼ」の条件として線路に斜交し、かつ坑門が線路方向と平行に位置するアーチ橋という前提条件を満たしていなければならない

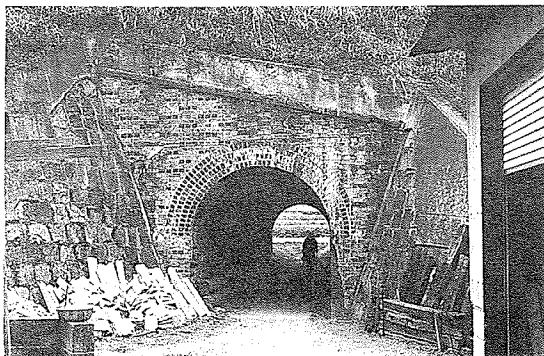


写真-6 上部を斜めに切り欠いた梨ヶ原拱渠の坑門

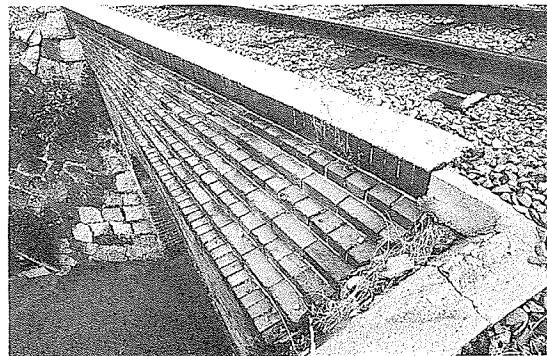


写真-7 伊予鉄道第26号溝渠のパラペット

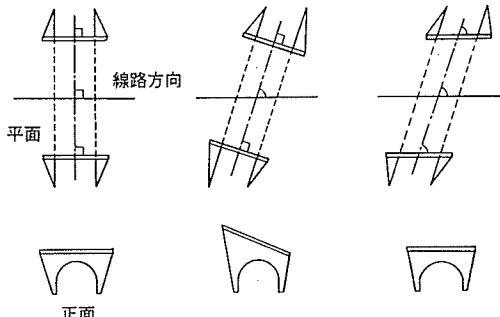


図-13 「ねじりまんぼ」の条件

(一般のアーチ橋(左)、水平積みによる斜めアーチ橋(中)、「ねじりまんぼ」によるアーチ橋(右))

ことを示している。このことから、図面や管理台帳からこれらの条件を備えたアーチ橋をリストアップすることにより、容易にその所在を指摘することができる。

しかし中には例外もあり、写真-7、図-14に示す伊予鉄道横河原線第26号溝渠は、坑門上部のパラペット部分の煉瓦を少しづつ角度を振りながらオフセットさせることによって、一般のアーチ構造でありながら坑門の上部を水平に仕上げることに成功している。

斜めアーチを架けるためのもうひとつの技法としては、図-15のようにアーチをオフセットさせながら構築する方法がある。この手法は、『蘭均氏土木学』でも第296章で『有助斜歪穹窿』として紹介されているほか、Culley (1886) でも『Ribbed Oblique Arch』として解説されている。しかし、縦断面方向では必ず芋目地ができてしまうため構造的に脆弱であり、また施工時も支保工を1リングごとに組立てなければならないため、「ねじりまんぼ」に比べて面倒

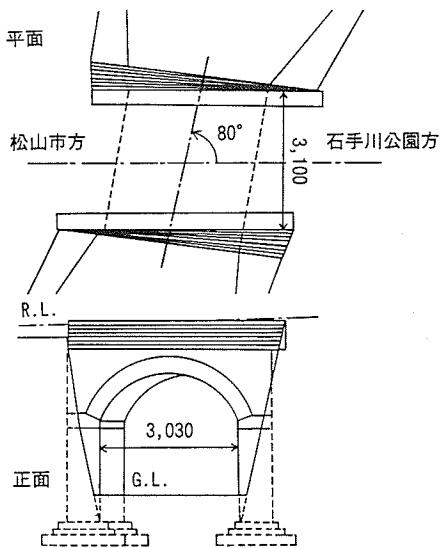


図-14 伊予鉄道第26号溝橋略図

な方法であったと考えられる。この方法を用いた構造物はきわめて数少なく、1910（明治43）年、新永間市街線（現・東海道本線東京～浜松町間）有楽町～新橋間の日陰町拱渠^{注24)}、鉄道施設ではないが和泉水力電気（のち南海鉄道→関西電力）によって1911（明治44）年に建設された九度山発電所水路橋（和歌山県九度山町）などの例があるに過ぎない（写真-8）。また、中国の石造橋を紹介した陸徳慶（1992）にもこのリブ式斜めアーチ橋が掲載されている^{注25)}。

なお、「ねじりまんぼ」で設計されるべき条件を持つ斜めアーチでありながら一般のアーチ橋と同様図-4のように煉瓦を水平に積んだ構造物も若干数存在しており、1924（大正13）年に建設された南海電鉄高野線（九度山～高野下）大師第16号拱渠などの

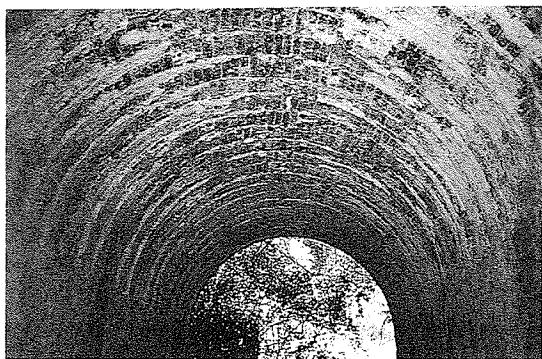


写真-8 九度山発電所水路橋のアーチ部分

例がある。この方法は第3.3項で述べたように、理論的には迫持効果がアーチ全体に伝達されないために脆弱な構造となるが、実際は目地によってある程度一体化しているためか、特に変状を生じることなく現存している。

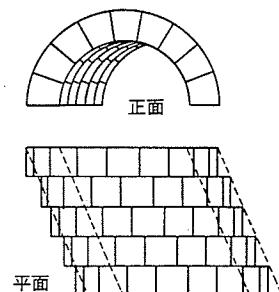


図-15 Ribbed Oblique Arch 文獻8)

5. 「ねじりまんぼ」の起源

5.1 わが国における「ねじりまんぼ」の起源

こうした「ねじりまんぼ」の技法が、いつ、誰によって、わが国にもたらされたのかは記録が全くなく、今のところ推測の域を出ない^{註26)}。これまでの調査結果によれば、1874（明治7）年に開業した大阪～神戸間鉄道の構造物に既にこの技法が認められるところから、ここで指導にあたった雇外国人（おそらくイギリス人）^{註27)}によってもたらされたことはほぼ間違いないと考えられる。この時点で、帝国大学や工技養成所による高等土木教育はまだ開始されておらず、また Rankine の訳書が出版されるのは 1880（明治13）年になってからであるから、当時の日本人技術者がこの技法を学ぶことができたのは、外国人技師からの直接指導による以外はなかったと判断される。

その後、大阪～京都間の鉄道建設が完了した 1877

（明治10）年、大阪駅構内に工技養成所が設立され、イギリス人技師を講師とする高等土木教育が鉄道組織の中で行われるようになった。工技養成所の卒業生は、ただちに京都～大津間、長浜～敦賀間、長浜～大垣間、大津～長浜間などの各建設現場に配属され、雇外国人に代わって現場の幹部技術者として活躍を開始したが、これらの沿線にいくつかの「ねじりまんぼ」が存在するという事実は、工技養成所の出身者やその配下の職人たちがこの技法をすでに自家菜籠中のものとしていたことを示している。また、その周辺の私設鉄道の建設にあたっても、そこからさらに派生した技術者や請負業者が、この技法を伝えたものと推察される。

一方、信越本線横川～軽井沢間の「ねじりまんぼ」は、関西系の「ねじりまんぼ」と異なり、この建設を指揮したイギリス人技師 Pownall^{註28)}と本間英一郎^{註29)}の影響が考えられる。本間はのちに北越鉄道技師長に栄進しているので、Pownall が碓氷橋梁で「ねじりまんぼ」を実践し、本間が北越鉄道へこれを伝えたとも解釈できるが、あるいは関西圏でこの手法を習得した技術者（本間自身も振り出しは大阪鉄道局であった）や職人が伝えた可能性もある。

その後の約 10 年間にわたるブランクは、鉄桁の普及によって、組積造によるアーチ橋の建設需要が減少したためと推定されるが、それが大正期になって突如として北陸と北九州に出現した理由は明らかではない。北九州の 2 橋は地域や年代から判断して、何らかの関連があるよう思えるが、いずれにしても鉄桁を用いわずわざ組積造（しかも「ねじりまんぼ」）により大径間のアーチ橋を構築した背景には、何らかの意図があるようと思われる。

5.2 海外における「ねじりまんぼ」とその起源

わが国に「ねじりまんぼ」の技術をもたらしたと考えられるイギリス人技術者の故国には、数多くの「ねじりまんぼ」による鉄道構造物を見出すことが可能である。ロンドン近郊では、ロンドン地下鉄 East London 線 Whitechapel 駅を跨ぐ跨線道路橋、国鉄 Waterloo 駅高架橋、Great Western 鉄道によって建設されたテムズ川に架かる Moulsford 橋と Basildon 橋などを列挙することができる。また、エジンバラ市

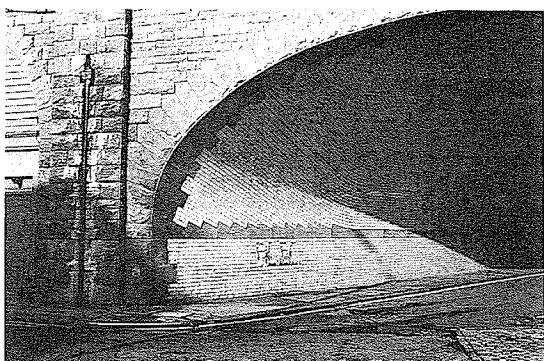


写真-9 ニューキャッスル市内の「ねじりまんぼ」内の国鉄 Haymarket トンネル、その近郊にある South Gyle 駅の跨線道路橋、マンチェスター市内の国鉄 Deal Street Junction 近傍の高架橋、ニューキャッスル駅周辺の高架橋など、各地の構造物にも散見できる。このうち、ニューキャッスル駅高架橋のそれは、東海道本線狼川トンネルのように坑門付近の煉瓦のみを捻ったタイプで、迫受石を持つのが特徴である（写真-9）。また、「ねじりまんぼ」は対岸のフランス、パリ市内にも存在し、12区の Michel Bizot 通りと Soult 大通りの間にある貨物線（廃線）にそのひとつが現存するほか、いくつかの実例が文献に紹介されている^{注30)}。

こうしたヨーロッパの「ねじりまんぼ」のうち比較的初期の構造物と考えられるのが Liverpool & Manchester 鉄道の Rainhill 駅西端に架けられた Rainhill 跨線陸橋で（写真-10）、そのパラベットの中央には建設年を示す、

Erected JUNE 1829.

CHARLES LAWRENCE Esqr. Chairman.



写真-10 Rainhill の「ねじりまんぼ」

GEORGE STEPHENSON Engineer.

と書かれた額がはめられている。こうしたことから、イギリスでは鉄道建設のごく初期段階すでにこの技術が確立していたと判断される。Rolt (1970)によれば、この技術は Stephenson 以前の運河のエンジニアによって開発されたものであるとしているが^{注31)}、これは、Rees (1819) によって紹介されたアイルランドの Nass 近郊を流れる Grand 運河の支線である Kildare 運河に架けられた Finlay 橋のことを指しているものと考えられる。この橋梁は、技師 William Chapman が 1787 年に架けたもので、斜角 51 度、斜径間 25 フィート (7.6 m) という諸元を持っており、スコットランドの Glasgow, Paisley, and Ardrossan 運河などに架けられたいわゆる “Oblique Arches” または “Skewed Arches” の先例として解説されている。

一方、1836 年に創刊された『 Transactions of the Institution of Civil Engineers 』の第 1 巻では^{注32)}、イタリア、トリノ市近郊の Dra Riparia 川に架けたアーチ橋の報告の中で、当時のサルジニア王国（現在のイタリア、サルジニア島）の Mosca という技師が興味深い記述を行っている。曰く『 The art appears to have been known there as early as 1530, when Nicolo, called "Il Triboro," erected a bridge of this kind over the river Mugnone, near Porta Sangallo, at Florence, on the main road to Bologna. 』^{注33)} とある。この橋梁は、ルネッサンス期の著名な美術史家 Vasari^{注34)}がその大著『 Vite 』の中の『 Niccolo detto Il Triboro 』^{注35)} の項で『 il quale fra l'altre cose gli fece fare fuori della porta a Sangallo sopra il fiume Mugnone un ponte in su la strada maestra che va a Bologna ; il qual ponte perche il fiume attraversa la strada in isbieco, fece fare il Tribolo, sbiecano anch' egli l'arco, secondo che sbiecamente imboccava il fiume ; che fu cosa nuova e molto lodata, facendo massimamente congiugnere l'arco di pietra sbieca in modo da tutte le bande, che riusci forte, e ha molta grazia ; ed insomma questo ponte fu una molto bell' opera. 』^{注36)} と記しており、その内容から判断してフィレンツェ市街の北端に位置する Ponte Rosso が



写真-11 Ponte Rosso の現状 (撮影: 丸山尚美氏)

該当すると考えられる。

この橋梁は、写真-11に示すように現在でも Mugnone 川を斜めに横断しているが、建設時の構造が残存するかどうかを含め、その詳細については未確認である。中世のイスラムやヨーロッパでは、宗教建築などでドーム状のヴォールトを組



図-15 Il Toriboro^{文獻1)}
(1500-1550)

積造により構築するため様々な組積法が考案されており^{注37)}、こうした高度な建設技術を背景として、斜めアーチに対する「ねじりまんぼ」の技法が編み出されたとしても何ら不思議ではない。

「ねじりまんぼ」の起源に関する有力な手がかりはこれまでのところこの程度の情報しか見出されていないが、その系譜を探ることは今後に残された課題と言える。しかし、いずれにしてもこの技法がヨーロッパに起源を持つこと、鉄道工事が始まる 18 世紀以前にその技法が確立されていたことだけは間違いないと考えられる。

6.まとめ

本論文では、「ねじりまんぼ」が斜めアーチを構築するために工夫された優れた土木技術であることを当時の文献に基づいて明らかにするとともに、わが国におけるその実態を把握した。さらに、その調査結果

に基づき、設計理論と実際の比較を行い、これらの構造物の設計手法を明らかにした。また、斜めに架けられるアーチ橋がすべてこの技法により設計されるとは限らず、通常の技法により設計された斜めアーチ橋がいくつか存在することを指摘し、その適用条件を解説した。こうした「ねじりまんぼ」が、わが国 2 番目の鉄道である大阪～神戸間の路線に存在することは、この技法が鉄道建設のごく初期段階で導入されていたことを示すものであり、この区間が雇外国人の指導により完成したことを考慮すれば、おそらくイギリス人技師の来日と共に伝えられたものと考えられる。

また、「ねじりまんぼ」が明治初期に建設された関西地方の線区のみならず、全国各地の線区に散在しているという事実は、この技法が限られた一部の技術者による特殊な施工法ではなく、ある程度普遍的な土木技術として用いられていたことを示している。ことに斜めに架けられアーチ橋のうち、坑門が線路方向と平行するものはすべて「ねじりまんぼ」により建設されており、そうでない斜めアーチ橋の場合は坑門の位置を坑軸と直角とすることにより対処しているという事実は、この技法の適用に対して当時の技術者や職人が正確な知識を持っていたことを示しており、むしろ常識として認識されていたことを物語っている。

こうした「ねじりまんぼ」の技術は現存する構造物の建設年代から判断して大正初期まで続いたようであるが、コンクリートの台頭に伴う組積造の衰退と共に継承されることなく失われ、結果的に幻の技術となってしまったものと考えられる。あたかも、京都市東山区の蹴上にある琵琶湖疏水の「ねじりまんぼ」には、『陽気発處』『雄觀奇想』の額がかかるが、その奇妙な構造の背後に理論的に裏づけられた設計思想が隠されていることを暗示しているかのようである。

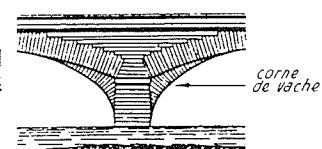
〔謝辞〕

本論文の作成にあたり、イギリス Heriot-Watt 大学の Roland A. Paxton 教授（英国土木学会土木史研究委員会委員長）、名古屋大学の馬場俊介教授、信州大学の小西純一助教授からは、資料の提供ならびに種々のご教示を賜った。また、福井県三国町教育委員会の天井和峰氏、JR 東日本東京構造物検査センター

の贊田秀世氏、同東京工事事務所の高田充温氏、JR九州施設部工事課の鶴英樹氏、同小倉工場大塚孝氏とその御子息の友晴氏、南海電鉄工務部保線課の久保勝氏、伊予鉄道技術部の佐伯要氏、同中尾均氏、西日本鉄道の福田喜代造氏、筑豊電鉄常務の古澤洋一郎氏、鉄道総研サービスの丸山尚美氏、Istituto Italiano di Cultura-Tokyo ならびに京都大学工学部土木工学科の各図書室、JR各社の現場機関の多くの方々には図面の提供ならびに資料調査、現地調査等、種々ご協力を賜った。なお、伊藤鏗太郎の略歴に関しては、横浜開港資料館の堀勇良氏、土木学会図書室の藤井肇男氏、北海道大学工学部土木工学科の原口征人氏らのご協力を得るとともに、御子孫の伊藤潤氏より貴重なお話を伺う機会を得ることができた。ここに深甚なる謝意を表する次第である。

〔本文注〕

- 注1) 「まんぼ」とは、鉄道線路の盛土の下を貫くトンネル状の構造物を総称する関西・中部地方の方言で、「まんぼ」「まんぶう」「まんぼり」「まんぼう」など様々な呼び方が知られている。谷崎潤一郎は小説『細雪』の中で『お春はマンボウと云ふ言葉を使ったが、これは現在関西の一部の人の間にしか通用しない古い方言である。意味はトンネルの短いやうなものを指すので、今のガードなどゝ云う語がこれに当て嵌まる。もともと和蘭陀語のまんぶうから出たのださうで、左様に発音する人もあるが、京阪地方では一般に訛って、お春が云ったやうに云う。』(新潮文庫版)と述べているが、その語源については外来語説、鉱山用語説など諸説がある。また、カナートのような暗渠式の農業用灌漑施設を指す場合もある。その捻られたものを特に「ねじりまんぼ」と称し、琵琶湖疏水の南禅寺境内にはこの名称を用いた看板も掲げられている。正式な学術用語ではないが、本論文ではこうした構造物を総称する名称がこれまでに定まっていなかったことから、従来筆者等が用いていた「斜架拱」に比べてより一般に親しみ易い用語としてこの呼び方を意識的に用いることとした。
- 注2) 例えは、文献27。
- 注3) 文献31参照。
- 注4) 文献35および文献36参照。
- 注5) 管理台帳によりその存在が予見されたものの、現地の状況によって確認できなかつたものが数カ所ある。また、今回の調査は明治・大正期に建設されたJRの幹線を主体としており、民鉄を含めさらに存在している可能性がある。
- 注6) 建設年代については、原則として文献9に従つた。なお、最初の鉄道であった京浜間鉄道には開業時にアーチ橋は建設されなかつたと推定されるため、阪神間鉄道のそれが最古のものと思われる。
- 注7) この区間は、文献9に掲載されている構造物と現状の構造物が(「ねじりまんぼ」を含めて)一部で一致せず、1913(大正2)年の揖斐川橋梁架換時に建設された可能性もあるが、詳細は不明である。
- 注8) 文献32参照。
- 注9) JR東日本高崎支社所蔵図面による。
- 注10) 文献16,p.34では『拱台ニ斜ノ切石ヲ据エ煉瓦ノ側面ニ額ハルゝ鋸歯ノ如キ儘之ヲ削ラザリシ其之ヲ削ラザルハ寒氣ニ当リテ凍碎セザランコトヲ思ヘバナリ』とその理由を述べている。
- 注11) Rankine, William Jhon M.(1820-1872) : 物理学、土木工学の分野で活躍し、後にグラスゴー大学土木工学科教授をつとめた。特にランキン土圧として今日でも広く知られる土圧論で優れた業績を残した。
- 注12) 伊藤鏗太郎(1857-1912) : 工部大学校より札幌農学校編入後、中退。のちに鉄道局技手となり、さらに中国鉄道(現・津山線)の建設工事に建築主任技師として携わった後、有馬組土木部長となる。『斜架拱』を執筆するに至った経緯は不明であるが、文献20,p.291では学者肌の人物として紹介されている。毛利重輔との繋がりは、正会員であった帝国鉄道協会や中国鉄道技師長の小川資源(元・日本鉄道技術主監)を通じて行われたのではないかと推定される。
- 注13) 毛利重輔(1847-1901) : アメリカ留学後、渡英。金石鉱山等を経て日本鉄道(現・東北本線・常磐線等の前身)の建設に携わり、のち社長になる。1901(明治34)年、横川～軽井沢間の列車後退事故により事故死。
- 注14) 柴田畦昨(1873-1925) : 1906(明治39)年、東京帝大土木工学科を卒業し、同校助教授、教授。応用力学やコンクリート工学、アーチ橋梁の設計理論などを専門とした。また石造アーチをテーマとして学位を取得した。
- 注15) 松永工(1876-1946) : 鉄道創業期からの技術者であった松永芳正の長男。1901(明治34)年、京都帝大土木工学科を卒業し、帝国鉄道庁に入り、名古屋鉄道局工務課長、朝鮮鉄道技師長などを歴任。
- 注16) 飯田耕一郎(1870-1935) : 松永芳正、仙石貢、国沢能長等に仕えて各地の鉄道建設に従事した後、朝鮮や南満州鉄道各線の建設など多方面に活躍したが、帰国後は幼稚園園長として、また敬虔なクリスチヤンとして余生を過ごした。
- 注17) 草間偉(偉蹉氏)(1881-1972) : 1906(明治39)年、東京帝大土木工学科を卒業し、鉄道院を経て同校助教授、教授。衛生工学、特に上下水道の分野でその基礎を確立した。
- 注18) 「ねじりまんぼ」の力学的性質は、文献33における現位置試験、文献38における模型実験等が報告されている。
- 注19) 上図の縦軸からライズ比を読み取り、横軸の斜架角と下図の原点を結ぶ補助線から各パラメータを順次決定する。
- 注20) 右図参照。
- 注21) 実際は煉瓦は支保工に沿って直線上に長手積みで疊築され、その仕上がりが結果的に捻ったよう見えるに過ぎない。
- 注22) 特定の目地に沿って垂球をぶら下げ、距離測定とトランシットによる測角を併用して測定した。
- 注23) 梨ヶ原拱渠以外にも、関西本線関～加太間の市場川拱渠(関西鉄道・1890開業)、山陽本線三石～吉永間の三石避溢拱渠(山陽鉄道・1890開業)、南海電鉄高野線林間田園都市～御幸辻間の橋谷川拱渠(高野鉄道・1915開業)などいくつかの例がある。
- 注24) 厳密には片側の側壁が線路に対して直角で、その反対側が線路に対して斜めになっている。
- 注25) 山西省にある口南灣立交橋(文献34,p.153)。
- 注26) 文献に基づく各工区の担当技術者、請負業者の追跡調査でも、今のところ有意な系譜は認められていない。



▲ Corne de Vache(文献26)

- 注 27) 阪神間の鉄道建設は、イギリス人の J. England, J. Diack, R.V. Boyle, W. Rogers, T. Grey, T. Shann およびフィンランド人の N. Nordenstedt 等のスタッフにより行われた。
- 注 28) Pownall, Charles Assheton Whately(1849-?) : 1882 (明治 15) 年に来日し 1896 (明治 29) 年に帰国するまで、主として初期の鉄道橋梁の設計に携わった。その設計による英國型橋梁は国有鉄道最初の標準設計術となった。
- 注 29) 本間英一郎(1853-1927) : 日本人最初の M I T 卒業生で、海軍省、京都府を経て 1880 (明治 13) 年に大阪鉄道局に入り、柳ヶ瀬付近の鉄道工事を担当後、のち碓氷線の工事も担当。退官後は本間鉄道工事事務所を開設したほか、北越鉄道技師長となってその建設に関与した。
- 注 30) 例えは、文献 30、文献 37 など。
- 注 31) 『運河エンジニアたちが仕上げた技術の中には、彼らの後繼者に忘れられてしまい、あらためてあみだされなければならないものもあったのは不思議である。たとえば、当時、ロンドン・アンド・バーミンガム・レールウェイにおいて石積みの層が曲がりくねった斜めアーチをつくったのは、同時代人たちによってロバート・ステイーヴンソンだとされていた。だが、それを開発したのは運河のエンジニアである。』 (文献 21 訳書 p.23 参照)。
- 注 32) 文献 3。
- 注 33) 『その技術は、ボローニャへ至る幹線道路で、フィレンツェのサンガッロ門付近にあるムニョーネ川に架けられ、「イル・トリボロ」と称されたニコロによって、1530 年という古い時代から知られていたと思われる。』 (筆者訳)
- 注 34) Vasari, Giorgio(1511-1574) : イタリア・ルネッサンス期の画家、建築家で著述家。フィレンツェのメディチ家に仕え、ウッフィツィ等を建設する。また、チマブーエから自身に至るルネッサンスの芸術家の生涯をいわゆる『Vite (芸術家列伝)』として集大成した。年代的にみて、Ponte Rosso の存在を充分に知っていたと考えられる。
- 注 35) Toriboro, Il(1500-1550) : フィレンツェで活躍したルネッサンス期の彫刻家、造園家、噴水設計者。トスカナ大公のもとで当時ヨーロッパ随一と称賛されたビラ・カストロ庭園の設計にあたったことで知られる。
- 注 36) 『……公爵は、ボローニャへ通じる幹線道路がサンガッロ門のすぐ外にあるムニョーネ川に、橋をかけることをイル・トリボロに要請した。そしてこの橋のアーチは、川が斜めの線で道路と交わっているために、トリボロは同じ方向で橋を架け、そしてこのことはその当時新しい施工法であり、大いに賞賛された。特に石造アーチは、部材のすべての仕上げが素晴らしく、それぞれの部材はどの方向からも直角に対して適度に傾いた角度を持っていた。そしてすべては橋が非常に頑丈であるということを示すために見事に結合され、その上優美な姿であった。この橋は、端的に言うならばまさに美しい作品であった。』 (筆者訳)
- 注 37) 例えは、文献 25 参照。
- 〔参考文献〕
- 1) Vasari,G. "Vita di Niccolo detto Il Triboro" 「Vite(Vol.XI)」 Dalla Società Tipografica de' Classici Italiani,ITA(1811)
 - 2) Rees,A. 「The Cyclopædia; or, Universal Dictionary of Arts, Sciences, and Literature」 Longman, Hurst, Rees, Orme, & Brown, Paternoster-Row, UK(1819)
 - 3) Mosca,C. "Details of the Construction of a Stone Bridge erected over the Dora Riparia near Turin" Trans. of ICE, Vol.1, UK(1836)
 - 4) Hart,J. 「A Practical Treatise on the Construction of Oblique Arches」 C.F. Hodgson, UK(1847)
 - 5) Nicholson,P 「Guide to Railway Masonry Containing a Complete Treatise on the Oblique Arch」 Groombridge & Sons, Paternoster-Row, UK(1866)
 - 6) Hyde E.W. 「Skew Arches」 D. Van Nostrand, US(1875)
 - 7) 水野行敏「蘭均氏土木学—上—」文部省(1880)
 - 8) Culley,J.L. 「Treatise on the Theory of the Construction of Helicoidal Oblique Arches」 D. Van Nostrand, US(1886)
 - 9) 「鉄道線路各種建造物明細録第一編」 鉄道庁(1892)
 - 10) Buck,J.W. 「A Practical and Theoretical Essay on Oblique Bridges」 Crosby Lockwood and Son, UK(1895)
 - 11) Bell,G.J. 「Oblique or Skew Arches」 Chas. Thurnam and Sons, UK(1896)
 - 12) 伊藤鏗太郎、毛利重輔「斜架拱」丸善(1899)
 - 13) Shibata,K. "A Note on Skew Arches" 工学会誌, No.229(1901)
 - 14) Shibata,K. "On the Surfaces of Skew Arches" 工学会誌, No.260(1904)
 - 15) 松永工、飯田耕一郎「アーチ設計法」博文館(1907)
 - 16) 渡辺信四郎「碓氷嶺鉄道建築略歴」帝国鉄道協会会報, Vol.9, No.5(1908)
 - 17) 鶴見一之、草間偉蹉「土木施工法」博文館(1907)
 - 18) 「Encycloedia Italiana」 Fondata da Giovanni Treccani, ITA(1937)
 - 19) 櫻井盛男「各種拱橋の実地設計法」鉄道図書局(1937)
 - 20) 「日本鉄道請負業史—明治編一」鉄道建設業協会(1967)
 - 21) Rolt,L.T.C. 「Victorian Engineering」 Penguin Books Ltd, UK(1970) /邦訳: ロルト著・高島平吾訳「ヴィクトリアン・エンジニアリングー土木と機械の時代ー」鹿島出版会版(1989)
 - 22) 日本交通協会編「鉄道先人録」日本停車場(1972)
 - 23) "土木と 100 人" 土木学会誌, Vol.68, No.8(1983)
 - 24) "統計土木と 100 人" 土木学会誌, Vol.69, No. 6 (1984)
 - 25) 五島利兵衛「ウォールト殻迫石積み型式の分類と表記法—リブ・ウォールトの殻施工に関する研究—」日本建築学会計画系論文報告集, No.353(1985)
 - 26) Prade,M. 「Les Ponts —Monuments Historiques—」 Brissaud Poitiers, FRA(1986)
 - 27) 網谷りょういち「今も残る京阪間開通当時のレンガ構造物」鉄道ピクトリアル, No.483(1987)
 - 28) 「近代土木と外国人」土木学会誌, Vol.72, No. 6 (1987)
 - 29) 「琵琶湖疏水」京都市水道局(1988)
 - 30) 「Les Chemins de Fer Au XIX^e Siècle」 Presse de l'école nationale des Ponts et Chaussées, FRA(1988)
 - 31) 河村清春、小野田滋、木村哲雄、菊池保孝「関西地方の鉄道における「斜架拱」の分布とその技法に関する研究」土木史研究, No.10(1990)
 - 32) 小野田滋、山田稔、井上和彦、松岡義幸「わが国における鉄道トンネルの沿革と現状(第3報) —旧・官設鉄道長浜~神戸間をめぐって—」土木史研究, No.10(1990)
 - 33) Crisfield,M.A., J.Page "Assessment of the Load Carrying Capacity of Arch Bridges" 「The Maintenance of Brick and Stone Masonry Structures」 E. & F. N. Spon, UK(1990)
 - 34) 陸徳慶「中国石橋」人民交通出版社, CHN(1992)
 - 35) 小野田滋、河村清春、木村哲雄、菊池保孝「ねじりマンボ」を探そう」日本鉄道施設協会誌, Vol.30, No.1(1992)
 - 36) 小野田滋「その後の「ねじりマンボ」」日本鉄道施設協会誌, Vol.31, No.1(1993)
 - 37) Simoni,H. 「Ponts et Viaducs en Modélisme」 Presses et Editions Ferroviaires, FRA(1995)
 - 38) "Built for Destruction" New Civil Engineer, 7th, Dec. (1995)