

第 I 編 遺産としての評価

第 編 遺産としての評価

1. 明治橋の概要

1.1 架設位置と周辺環境

明治橋は国道 36 号（現 国道 10 号，図-1.1.1 参照）の開通に合わせて明治 35（1902）年に完成した道路橋で，平成 20（2008）年で 106 年になる．表-1.1.1 に示すように，現存する道路用鉸桁橋としては国内で最古の橋梁である [土木学会，2001]．昭和 36（1961）年までは国道として供用し，新明治橋の開通後は歩道橋となり，現在も供用を続けている．

明治橋の完成当時の状況は，当時の資料によって知ることができる．明治 35（1902）年 10 月発刊の「大分県案内(1902)」では完成当時の状況を掲載している(写真-1.1.1 参照)．現在(写真-1.1.2 参照)と同じ波形の床版が写っており，明治橋の床版は完成時からトラフ床版であったことが分かる．地元の小学校には郷土誌 [都松尋常高等小学校，1916] が保管されており，また，内務省土木局の統計年報によって明治橋の工事費や設計者，重要性等，当時の状況について知ることができる．

大分県は現存する石橋の数が国内で最も多く，明治橋の付近にも古くから架かる石橋が現存している(写真-1.1.3 参照)．明治橋の橋脚も石でできている．一方で，日本の近代製鉄は明治 34（1901）年に官営八幡製鉄所で誕生したばかりであり，当時の鋼材は非常に貴重であった．このような中，明治橋がなぜ鋼橋となったのか，興味深いところである．

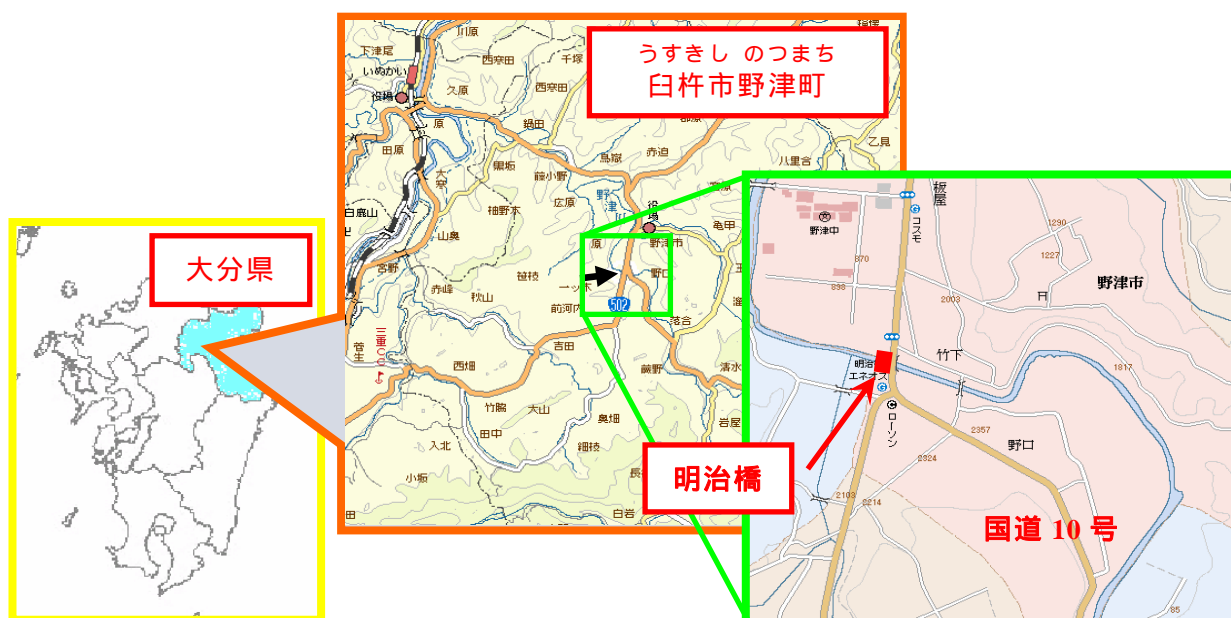


図-1.1.1 明治橋の架橋位置

表-1.1.1 明治期完成の鋼（鑄鉄，錬鉄）道路橋 [土木学会，2001]

橋梁名	完成年	都道府県	形式	橋長	現状	備考	架設年	設計者	ランク	文化財
1 くらがね橋	明治4	長崎	錬鉄プレートガーダー	22m	撤去			外国人		
2 吉田橋	明治2	神奈川	錬鉄トラス	24m	撤去			英国人		
3 高島橋	明治3	大阪	錬鉄プレートガーダー	71m	撤去	輸入		外国人		
4 新町橋	明治5	大阪	錬鉄アーチ	27m	撤去	輸入		外国人		
5 緑地西橋	明治5	大阪	錬鉄トラス	36.7m	移設(主構のみ展示用)	輸入 旧心斎橋	H1	外国人	B	
6 八軒橋	明治11	東京	錬鉄トラス	15.8m	移設	旧陣正橋	S4	松本壮一郎	A	国重文
7 羽淵橋	明治18	兵庫	錬鉄アーチ	18.4m	移設、使用停止、転用	鉱石運搬用の軌道橋	H7		A	県指定
8 神子畑橋	明治18	兵庫	錬鉄アーチ	16.0m	原位置に現存、転用(人道)	鉱石運搬用の軌道橋			A	国重文
9 吾妻橋	明治20	東京	鋼トラス	149m	撤去			原口要		
10 天神橋	明治21	大阪	錬鉄トラス	242m	撤去			野尻武助		
11 天高橋	明治21	大阪	錬鉄トラス	218m	撤去			野尻武助		
12 出島橋	明治23	長崎	錬鉄トラス	36.7m	移設	旧新川橋	M43	吉村長策	A	
13 浦舟水道橋	明治26	神奈川	鋼トラス	24.3m	移設、変状大、転用	旧西之橋	H1	野口嘉茂	C	
14 氷代橋	明治30	東京	鋼トラス	182m	撤去			菅田吉嗣		
15 清見寺橋	明治31	静岡	鋼プレートガーダー	7.9m	原位置に現存、変状大(オリジナルは鋸り桁)	跨線橋		只野成重	B	
16 吾端橋	明治34	群馬	鋼トラス	69.1m	移設、変状大、転用	旧坂東橋の一連	S36	沖一誠	A	村瀬定
17 明治橋	明治35	大分	鋼プレートガーダー	32.6m	原位置に現存、転用(自転車歩行車道)	開通時 国道10号		安田不二丸	A	町指定
18 南高橋	明治37	東京	鋼トラス	63.1m	移設、変状大、転用	旧西国橋の一部			A	区巻録
19 万年橋	明治40	東京	鋼アーチ	89.1m	原位置に現存、変状大	コンクリート巻立(S18)			B	
20 長坂橋	明治43	大阪	鋼プレートガーダー	38.0m	撤去					
21 鹿乗橋	明治43	愛知	鋼アーチ	72.6m	原位置に現存、変状大				B	
22 御園橋	明治44	愛知	鋼プレートガーダー	8.3m	原位置に現存、変状大				C	
23 福稲橋	明治44	京都	鋼プレートガーダー	7.35m	原位置に現存				C	
24 藤倉水源管理橋	明治44	秋田	鋼トラス	30.6m	原位置に現存、使用停止	ガムの管理橋			C	国重文
25 吉野川橋	明治44	高知	鋼トラス	105m	原位置に現存、転用(人道)				B	
26 日本橋	明治45	大阪	鋼プレートガーダー	39m	撤去					
27 隅田川新大橋	明治45	愛知	鋼トラス	173m	移設、変状大、転用	旧新大橋	S49	樺島正義	C	
28 山家橋	明治45	京都	鋼アーチ	72.6m	撤去					

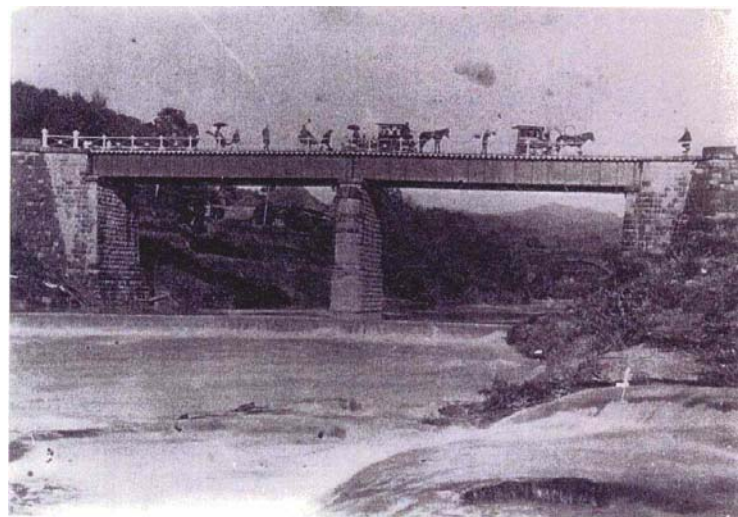


写真-1.1.1 明治橋完成当時の状況



写真-1.1.2 現在の明治橋の状況



写真-1.1.3 明治橋付近の石橋（仮屋橋（旧安政橋））

1.2 構造概要

明治橋の一般構造図を図-1.2.1 に示す。本橋は支間 53ft (16.250m) の単純 2 主 I 桁橋 2 連の橋梁である。総幅員 18ft (5.48m), 主桁間隔 16ft (4.88m), 主桁高 1.38m, 上下フランジ幅 380mm であり, 9ft (2.7m) 間隔で対傾構が設けられている。上下フランジとウェブとはアングルを介してリベットにより結合されている。フランジには鋼板をリベット重ね継手による断面変化が設けられている。垂直補剛材は J 字形をしており, 当時のイギリ

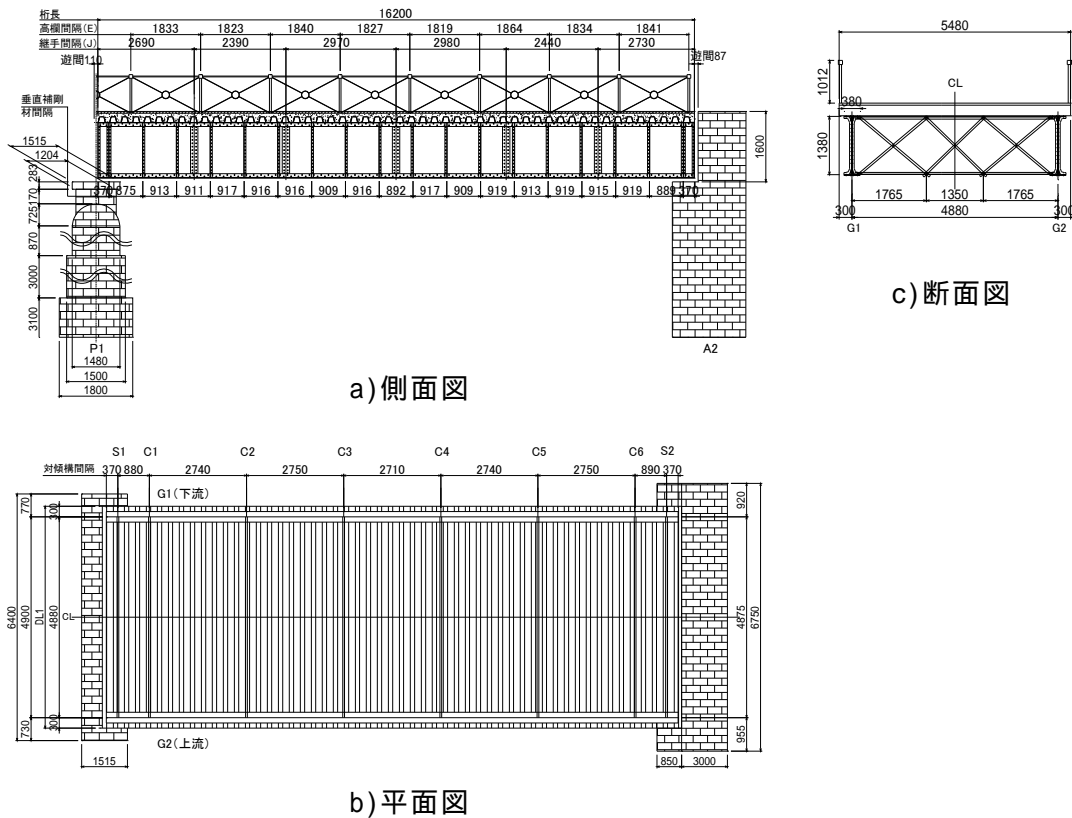


図-1.2.1 一般構造図

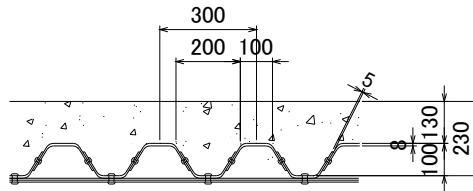


図-1.2.2 トラフ床版断面詳細

スのプレートガーダー橋で見られる構造である。

床版はトラフ鋼板と無筋コンクリートで構成されるトラフ床版である。P1 橋脚上ではトラフ床版が連続している。床版断面の構造詳細を図-1.2.2 に示す。床版コンクリート厚は130mm～230mm，トラフ鋼板厚は水平部が8mm，傾斜部が5mmである。トラフ鋼板はその傾斜部で外面側どうしを合わせ，100mm 間隔で1列配置したリベットにより接合されている。床版上面からの探査およびコンクリートのコア抜き試験の結果，床版コンクリート内に鉄筋は使用されていないことを確認している。トラフ床版と主桁上フランジとはリベットにより接合している。

1.3 現況

明治橋は野津川をわたる歩道橋として現在も供用されている。国道36号に架かる新明治橋には歩道が設置されていないため，地元住民にとって欠かせない橋梁である。しかしながら，架設後の明治橋は残念なことに十分な維持管理がなされてこなかった。100年を超える供用期間にもかかわらず，塗り替え塗装は1度のみと考えられており，現在では鉄鋼材の表面に塗料はほとんど残っていない。そのため，橋梁全体で腐食が進行しており，特に支点部の下フランジおよびウェブ，主桁と床版の連結部周辺の上フランジおよび床版底鋼板で腐食進行が著しい。主桁の上流側・下流側で比較すると，G2桁（上流側）がG1桁（下流側）に比べて腐食が進展している。また，腐食以外の劣化損傷も生じており，橋梁全体の損傷状況としては，主桁鋼部材の腐食・断面欠損，対傾構・垂直補剛材の亀裂，ボルト脱落，床版コンクリートひび割れ，床版の陥没・変形，および漏水・遊離石灰の析出を確認している。なお，損傷状況については，本報告第 編に詳述する。

明治橋は，平成3年に当時の野津町（現 白杵市）の指定有形文化財に認定された。その後，平成17年 大分県指定有形文化財，土木学会選奨土木遺産に認定されている。

参考文献

- 大分県案内（1902）：西南区実業大会，1902.10.
- 都松尋常高等小学校（1916）：都松尋常高等小学校郷土史，1916.3.
- 土木学会（2001）：日本の近代土木遺産，2001.3.

2. 系譜に関する評価

2.1 建設当時の周辺道路の実態と交通事情

国道 36 号（当時：大分～宮崎間）は，明治以前は日向街道と呼ばれ，現在の豊後大野市三重町と佐伯市宇目町の間位置する三国峠に代表される多くの難所を通る峻険な道路であった．このため，明治中期の国道改築では現在の国道 10 号に沿った路線で工事が進められた．新しいルートを選定では，県の諮問案に対して，県会からは別の複数の路線とも比較検討すべきとの注文がつけられたが，結局，県が提案したルートで決定された経緯がある（図 - 2.1.1）．

現在，野津町と弥生町との境に位置する中ノ谷トンネルは昭和 38（1963）年に開通したが，それ以前はこの時の国道 36 号の改築によって新しく開削された中ノ谷峠越えの山道であった．この道路は山腹を通るために，やや大きな流れを渡る場所では石造アーチの宇藤木橋（明治 30（1897）年架設）や白水橋などを，小さな沢を越すときは松株橋や箕ヶ谷（みいがたに）橋など石造の桁橋を架設した．明治橋はこれらの石橋の延長線上にある（図 - 2.1.2）．

国道 36 号改築工事は，明治 26（1893）年度から 30（1897）年度さらに 33（1900）年度から 34（1901）年度にかけて行われ，清算額は 254,146 円 5 銭となっている．中ノ谷に近い川登村（現臼杵市野津町）の板井畑から野津市村（現臼杵市野津町）の安政橋の間は 29（1896）年度から 30（1897）年度に施工され（板井畑以南は 29（1896）年度までに完了），その後 31（1898）年度と 32（1899）年度は中断，33 年度と 34 年度に安政橋以北が施工された．中断した理由は他の路線の改築費との関係である．

一時期，安政橋が施工区間の終点になっているが，明治橋が開通するまで 4 年間ほどは明治橋の上流に架かる石造アーチ橋・安政橋が国道 36 号の橋として供用されていたわけで

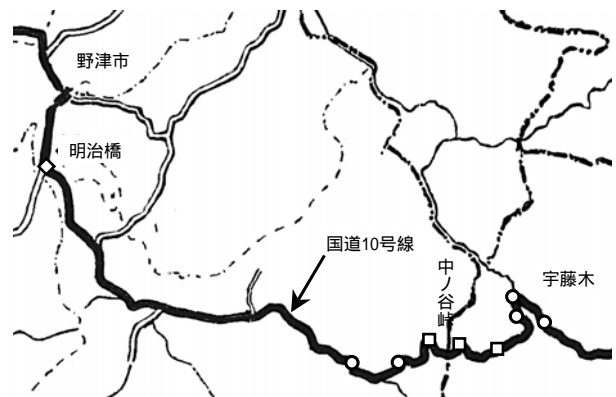


図 - 2.1.1 中ノ谷峠経由の国道 10 号
[岡崎，2004]

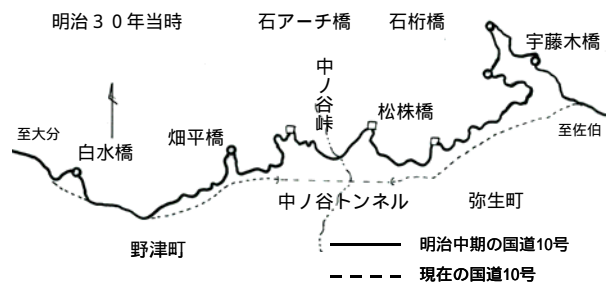


図 - 2.1.2 国道 10 号に架かる石橋群
[岡崎，2004]

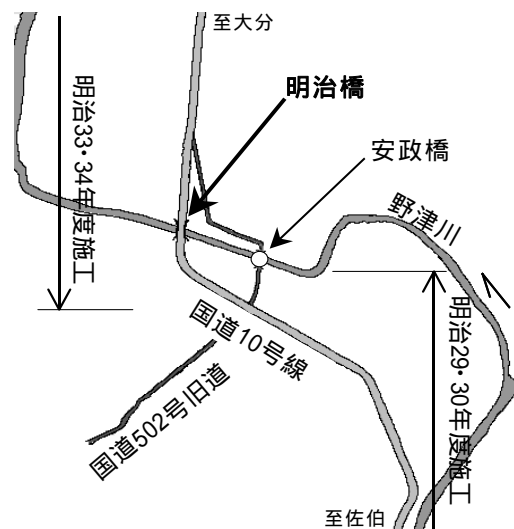


図 - 2.1.3 明治橋架設時の道路（推測）
[岡崎，2004]

ある。この安政橋は国道 36 号の橋としてだけでなく、現在の国道 502 号にあたる道路の橋としても利用されていたと考えられる。よって、国道 36 号の改築工事は明治橋の竣工によって完了したといえるのである（図 - 2.1.3）。

その後、国道 36 号は国道 3 号さらに国道 10 号に呼称は変更され、現在に至っているが、昭和 36（1961）年に竣工した野津地区の国道改良工事において、明治橋の脇にプレストレストコンクリート橋（以下 PC 明治橋とする。）が架設され、その役割を譲るまで車両の通行に対して供用されていた。近隣の古老の話によれば、進駐軍払い下げの大型トラックやバスも通っていたようであり、地域交通の重要構造物であった。

この PC 明治橋の架橋によって、明治橋は歩道橋としての役割を担うこととなり、現在は町道の歩道橋として供用は継続されており、平成 3（1991）年に町指定の有形文化財、平成 17（2005）年 3 月に大分県指定有形文化財、同じく平成 17（2005）年度に土木学会選奨土木遺産に指定され現在に至っている（表 - 2.1.1）。

表 - 2.1.1 明治橋関連年表 [岡崎, 2004]

和暦	西暦	明治橋関連
明治元	1868	安田不二丸技師 誕生 山口県岩国市
明治 14	1881	E・H・ハンター氏 大阪鉄工所 創業
明治 25	1892	安田技師 東京帝国大学卒業 内務省土木局勤務
明治 26	1893	国道 36 号改築工事開始
明治 28	1895	大阪鉄工所 範多竜太郎氏 社長就任
明治 29	1896	安田技師 長野県技師就任
明治 32	1899	安田技師 大分県技師就任
明治 33	1900	大阪鉄工所 七尾鉄道鉄道橋 製作
明治 35	1902	明治橋竣工 第9回西南区実業大会
明治 39	1906	安田技師 総監府技師就任 韓国へ渡る
明治 43	1910	安田技師 大阪府主席技師就任
大正 9	1920	国道 36 号 国道 3 号に名称変更
昭和 26	1951	国道 3 号 国道 10 号に名称変更
昭和 36	1961	新明治橋完成 明治橋は歩道橋へ
平成 3	1991	野津町指定有形文化財 指定
平成 17.1	2005	野津町が臼杵市と合併 臼杵市指定有形文化財
平成 17.3	2005	大分県指定有形文化財 指定
平成 17.9	2005	土木学会 選奨土木遺産 指定

2.2 明治時代における国内の鉄橋および鋼橋の建設事情

明治維新以後のわが国の橋梁技術は、維新直後は招聘された外国人技術者によって導入された。招聘された外国人技術者は灯台などの設計も含めて橋梁設計を行い、くろがね橋

(写真 - 2.2.1, 錬鉄製, 明治元(1868)年, 蘭人フォーゲルの設計), 吉田橋(写真 - 2.2.2, 錬鉄製, 明治2(1869)年, 英人プラントンの設計)など, 都市内の交通, 主として馬車や荷車などの交通確保を目的とした橋梁が輸入された錬鉄材によって建設された。

一方, 鉄道分野では明治5(1872)年の新橋～横浜の鉄道開通が有名である。ただ, この路線の橋梁は40数箇所すべてが木橋であり, 現存するものはないと考えられる。続いて建設された大阪～神戸間の鉄道では, J.イングランド(英)の設計により十三川, 神崎川, 武庫川に錬鉄トラス橋が架設された(明治7(1874)年)。続く大阪～京都間でもイングランドの設計で錬鉄の鉄道橋がかけられたが, これが日本初の錬鉄製鉸桁鉄道橋となる。その後, 京都以東を担当したT.R.シャーピントン(英)は日本の鉄道橋設計の中心的な役割を果たし, ポーナルの標準設計に引き継がれる。

これに対して, 国産の道路用の橋梁建設としては, 明治8(1875)年に隅田川にかけられた吾妻橋と両国橋であるといわれており, いずれも木橋であったようである。この後, 内務省に土木局設置がなされた(明治10(1877)年)ものの, 直轄による橋梁事業は当分の間行なわれることがなく, 二番目の直轄事業は時代も下った大正13(1924)年の利根川橋であり, 道路橋の技術については明治33(1900)年を挟む数十年は鉄道橋に大きく水をあけられた状態が続く。

鉄道橋については, 明治15(1882)年に英国人技術者ポーナルが来日し, 以後14年間(明治29(1896)年帰国)にわたって, 彼がわが国の鉄道橋の設計および建設に携わる事になる。鉄道橋の形式はトラスと鉸桁であり, 鉸桁の構造は道路橋である明治橋にもその影響が深く反映されている。ポーナルは明治19(1886)年にかけて, わが国初の標準設計とされる支間20～70ftの「作錬式」鉸桁橋の標準設計を完成する。作錬式とは, 錬鉄で作製された橋梁の意味と考えられる。

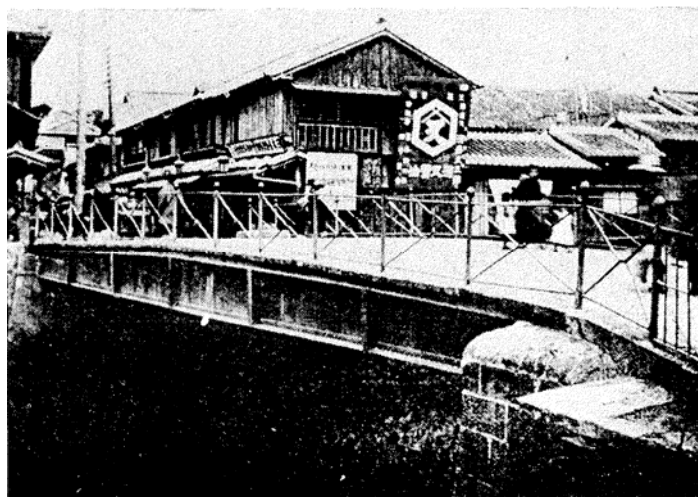


写真 - 2.2.1 くろがね橋(長崎)慶応4年(1868)
[日本橋梁建設協会, 2004]

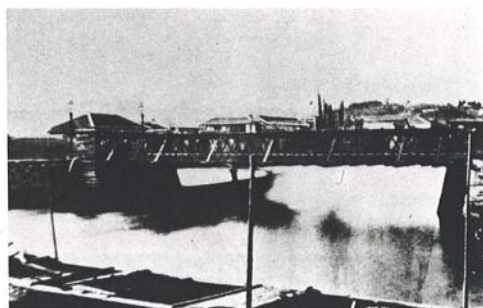


写真 - 2.2.2 吉田橋(横浜)明治2年(1869)
[日本橋梁建設協会, 2004]

さらに鋼鉄が普及するのに伴い、ポータルは明治 27 (1894) 年に 20 ~ 80ft の鋼鉄桁橋の標準設計を完成させる。この設計には改良が加えられて、明治 30 (1897) 年に「作 30 年式」の標準設計として全国で使用された。なお、世界的に見れば鋼鉄の使用は有名なフォース鉄道橋 (英国, 明治 22 (1889) 年完成) に始まっている。部分的な鋼鉄使用はそれ以前から実施されていたが、許容応力などの力学的な整備も含めて総括的な鋼鉄の使用としてはフォース鉄道橋が最初である。年代を見れば日本でも欧米の材料変革の流れをすぐに受け入れたことがわかる。それほどに鋼鉄という材料が従来の錬鉄に比べて構造物の材料として優れていたことになる。

ちなみに、ポータルは明治 17 (1884) 年に 100ft と 200ft の錬鉄製トラスも設計しており、ポータル型トラスとしてこれも長く標準としての役割を果たした。参考までにポータル型の作 30 年式鉄道橋 (鋼鉄桁) を写真 - 2.2.3 に示す。また写真 - 2.2.4 に示すように、明治橋の主桁はこの主桁の形と酷似していることがわかる。

いずれにしても、自動車は欧米で新たな交通機関として誕生しはじめるのは 19 世紀の末であり、フォードが自動車の大量生産を開始するのが 1910 年代であることを考えると、明治 33 (1900) 年前後における日本の交通の確保はまずは鉄道の敷設であったと考えられる。このような状況の中で明治橋が明治 35 (1902) 年に道路橋として建設されたことはきわめて稀有なことと考えざるをえない。

2.3 使用鋼材

明治橋は明治 35 (1902) 年に国道 36 号の橋梁として架設された。桁形式は単純鋼鉄桁であり、床版にはトラフ床版と呼ばれる波型のプレートが使用されている。このトラフ床版は 1800 年代後半から



写真 - 2.2.3 ポータル型 作 30 年式の鉄道橋
[大田ら, 2006]

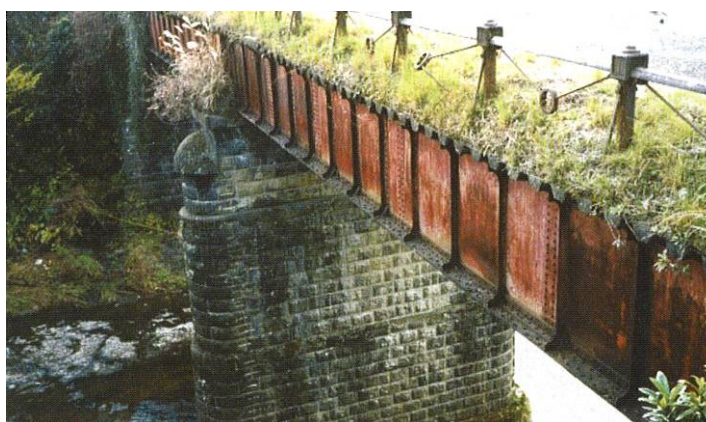


写真 - 2.2.4 明治橋の主桁



写真 - 2.3.1 波型プレートの刻印
(長田大輔氏採拓)

英国や米国で多用されたが、日本では大阪市内の本町橋，八ツ山橋など大正期の橋の例があるものの，明治時代の残存例はおそらくこの明治橋が唯一と考えられている。

この波型プレートには英国の東海岸の MIDOLESBRO という英国の地名と DORMAN LONG 社の刻印(写真 - 2.3.1)が見られた。よってこの刻印から，このプレートは英国からの輸入されたものであると考えられる。さらに主桁や対傾構についても成分分析の結果，同様の成分の鋼材が用いられているため，波型プレートと同様，英国から輸入されたものであると考えられる。

2.4 設計者

内務省土木局の第 13 回統計年報に，道路鉄橋の橋別に橋長・幅・工費・架設年月・設計者をまとめた表がある。この表によると，明治橋の設計者は当時大分県の技師であった安田不二丸と記されている。同氏は大分県会史に，明治 32 (1899) 年 11 月の開会の第 22 回通常会から明治 38 (1905) 年 1 月開会の第 28 回通常会まで，知事に従って議場に出席しているのが記録されている。

大分県では幹線道路の改築工事を始めた時期つまり明治 25 (1892) 年から工部大学校及び東京帝国大学を卒業した土木技術者を招聘している。当時の内務省の人事である可能性もあるが，県会史には，明治 16 (1883) 年工部大学校卒業の船曳甲技師が最初で，明治 26 (1893) 年卒業の津川達之助技師さらに明治 25 (1892) 年卒業の安田不二丸技師と続いている(表 - 2.4.1)。

表 - 2.4.1 工部大学校・東京帝国大学卒業生の設計した道路鉄橋 [岡崎，2004]

卒業年次	氏名(出身地)	架設年 (府県)	橋名	
明治14年	足助好生(山口)	33年(大阪)	東蘆分橋	
		34年(大阪)	難波橋	
		34年(大阪)	日本橋	
		36年(大阪)	西蘆分橋	
15年	笠井愛次郎(東京)	22年(福岡)	常盤橋	
16年	渡邊嘉一(東京)	32年(愛知)	新城跨線橋	
		田邊朔郎(静岡)	21年(滋賀)	北国橋
		?年(滋賀)	三保橋	
		清水保吉(岐阜)	20年(神奈川)	谷戸橋
18年	相澤時正(東京)	21年(神奈川)	花園橋	
		23年(長崎)	新川橋	
19年	菅原恒寛(岩手)	34年(群馬)	利根橋	
		27年(東京)	轡重廠橋	
		?年(東京)	市ヶ谷橋	
20年	南部常次郎(新潟)	27年(東京)	牛込陸橋	
		25年(宮城)	大橋	
21年	沖一誠(鹿児島)	25年(宮城)	澱橋	
		30年(広島)	本川橋	
23年	岡田竹五郎(静岡)	34年(群馬)	坂東橋	
		31年(東京)	御殿山橋	
25年	安田不二丸(山口)	31年(静岡)	清見寺橋	
		35年(大分)	明治橋	
26年	遠藤藤吉(新潟)	34年(大阪)	阿倍野橋	
		36年(大阪)	難波陸橋	

これらの技師の具体的な所掌業務の記録はないのであるが，当初は災害復旧工事から始まり，国道 35 号・36 号および佐賀県道の改築工事を指揮したと考えられ，明治 28 (1895) 年に県が直轄で架設した阿南橋(由布市庄内町)をはじめ新しい工法による石造アーチ橋の設計や施工の指導をしたものと推測される。さらに，一般土木工事だけでなく，別府・大分間の電気鉄道敷設等に関与したと考えられる。何れにしても，新しい知識と技術で大分県の近代化に努めたことが想像される。

安田不二丸技師は山口県玖珂郡岩国町（現岩国市）出身であり、陸軍軍人で後に兵庫県明石郡長を勤めた安田有則の次男として明治元（1868）年11月に誕生した。長じて東京帝国大学を卒業後、内務省土木局勤務、明治29（1896）年長野県技師、明治32（1899）年大分県技師、明治39（1906）年統監府技師となって韓国政府に傭聘されているが明治43（1910）年に帰国、大阪府主席技師となっている。土木学会の創設に関わっているが、大正6（1917）年の学会員名簿には見当たらない。

安田技師の大分県における足跡の記録も少ない。大分県会史には前述のとおり明治32（1899）年11月の第22回通常会から明治38（1905）年1月の第28回通常会まで、知事に従って議場に出席したことは確認できるが、それ以上は不明である。明治33（1900）年12月の第23回通常会での議案審議の場（読会）での速記録には、山国川架橋費（5万7,229円39銭）を、福岡県と折半で負担することにして、その予算を34・35年度継続費とする議案の審議に当たり、架橋について議員からの質疑に答えて安田技師が説明した部分があるのみである。

明治橋架設に関する資料も、安田技師に関する記録も県内には確認できないが、明治34（1901）年12月の県報で、安田技師が小野一技手を伴って大阪府へ出張の辞令が掲載されている。明確ではないが、明治橋架設の用務で、大阪鉄工所へ出張したときの記録と考えることもできる。安田技師の動向に関して唯一の記録である。

2.5 製作会社

明治橋の製作者については、日立造船（株）が作成した橋梁経歴書に、鉄道橋と公道橋に区分した橋の一覧表があり、その中に鉄道橋では明治33（1900）年に石川県七尾鉄道の鉄橋を製作しており、公道橋では明治34（1901）年に大分県の2径間50tの鉄橋を製作したことが最初に記載されている。大分県の鉄橋というだけで橋名はないが、明治橋に間違いはないと考えられる。同社の桜島工場で作成しているが材料は多分英国から輸入したものである。ただし、運搬、架設および床版コンクリートの打設まで行ったかどうかは不明である。

ちなみに日立造船（株）の前身は明治14（1881）年に英国人E・H・ハンター氏が創業した大阪鉄工所である。

日立造船百年史には、橋梁製作の開始と見出しのついた記述がある。「明治33（1900）年には、また、橋梁の製作を開始した。明治初期の橋はすべて木製で、明治11（1878）年ごろから鉄製橋梁に架け替えられ始めたが、当時橋梁鉄骨はすべて輸入品であった。国内では明治13（1880）年に大阪砲兵工廠が最も早く製作したが、民間が製作したのは鉄道に国産材使用の声が大きくなった20年代以降である。当所では北陸の七尾鉄道（のち鉄道省）の鉄道橋鋼板桁54トンを作成した。」と記載されているが、この他には明治橋の資料は保存されていない。

明治橋は明治35（1902）年2月の竣工である。入札の公告は県報に掲載されるが、明治32（1899）年以降の県報に明治橋の入札の公告は見当たらない。このことから随意契約で発注した可能性が高いと考えられ、橋梁架設の実績があった大阪鉄工所が選ばれたものと推測される。

官営の八幡製鉄所の操業は明治 34 (1901) 年で、まだ明治橋を製作するほどの能力は有しておらず、本格的な稼動にはまだ時間が必要であったと思われる。また、国内の橋梁製作会社は 2~3 社に過ぎなかったようであり、何れも輸入した橋材を加工して製作したと思われる。大阪鉄工所が明治橋受注のために、発注者である大分県に働きかけたことは容易に想像される。

大阪鉄工所の創業者は英国人の E・H・ハンター氏(エドワード・ハズレット・ハンター)で、明治橋の受注時は息子で二代目の範多龍三郎氏である。どのような人脈で明治橋を受注したのか明確に説明できるものは何一つないが、当時、「関西の渋沢栄一」と呼ばれた松本重太郎氏をキーワードにすると、ある程度の謎が解けるのではないかと考えられる。

大阪鉄工所が最初に手がけた鉄橋は、明治 33(1900)年の石川県七尾鉄道の鉄橋であり、その当時の七尾鉄道の社長は松本重太郎氏であったこと。同氏は大阪の南海電車・東洋紡・現在のアサヒビール設立者で、大分県の豊州鉄道の社長でもあったことがわかっている。

大分県の最初の鉄道は豊州鉄道であるが、大分県政史によると、豊州鉄道は明治 29 年度に行事(現福岡県行橋市)から四日市(現宇佐市)間の鉄道敷設が起工され、明治 30(1897)年 9 月 25 日に宇佐駅(現柳ヶ浦駅)まで開通している。これに加え、豊州鉄道とは別に鉄道敷設の計画があり、明治 29(1896)年 7 月 1 日に南豊鉄道の創業総会が開かれて、松本重太郎の他 6 名が取締役に就任している。南豊鉄道は、大分を起点に北は宇佐まで、南は犬飼・田中経由で竹田までの路線で、明治 30(1897)年 6 月に免許下付となるが、株式の払い込みができず、明治 31(1898)年 6 月に解散している。

松本重太郎氏がどのような経緯で南豊鉄道の役員に就任したのか不明であるが、豊州鉄道の社長でもあることから、大分県には何らかの有力な人脈があり、幾度か来県していた可能性は高い。この松本重太郎とハンター親子とは当然知己の間柄であったと考えられ、このような事柄から見た場合、この人脈を利用して当時計画されていた明治橋の架橋を大分県に対して働きかけたことは十分考えられる。

さらに余談となるが、明治橋架設当時の大阪鉄工所の代表者は、創業者ハンター氏の長男で二代目の範多龍太郎氏であるが、次男のハンス・ハンター氏(範多範三郎)は、中津江村の鯛生金山を経営{大正 7(1918)年~大正 14(1925)年}している。これも明治橋の架設によって、大分県に縁ができたためかもしれない。

2.6 工費

明治 20(1887)年から明治 30(1897)年にかけて、大分県では石造アーチ橋の架設が主流であった。表 - 2.6.1 に示すように明治 35(1902)年 12 月 31 日現在では全国で 49 基の鉄橋が存在し、九州では大分県の明治橋以外に長崎県に 3 基、熊本県に 1 基の 5 基のみしか存在していなかった。

しかしその当時、大分県には約 900 基の石橋が存在し、国指定重要文化財であり、文政 7(1824)年完成の虹潤橋も旧野津町内に現存している。また、明治橋の工費(決算額)は上部工・下部工合わせて当時としては高額の 17,222 円であったとされている。門司~大分間の国道 35 号には明治 30(1897)年に明治橋よりも長い橋長 47.0m の石造 2 連アーチの赤松橋が竣工しており、明治橋を石造 2 連アーチで建設する技術は充分持ち合わせていた。

しかも赤松橋の建設額は 8,500 円（請負人 都留茂一氏の記録）であり，明治橋の約半額であった。

これを裏付ける資料として，都松小学校郷土史には「工費約 2 万円」と記されているが，正確でないにしても，地元に残された唯一つの記録なのである。

さらに別の観点から工費を見てみると，統計年報で明治橋の長さは 8.8 間，幅は 3 間で

表 - 2.6.1 明治時代の鉄橋数 [岡崎，2004]

* 土木局第 13 回統計年報・第 20 回統計年報から作成

	明治 35 . 12 . 31				明治 37 . 3 . 10			明治 45 . 4			
	国道	県道	里道	計	架川橋	跨線橋	計	国道	県道	里道	計
北海道					2		2				
青森県											
岩手県											
秋田県											
宮城県					2		2	1	1		2
山形県											
福島県											
茨城県											
栃木県									1		1
群馬県		2		2	2		2				
埼玉県									1		1
千葉県						2	2				
東京都					23	12	35	10	1	32	43
神奈川県	1	2	11	14	13	1	14		2	11	13
静岡県			1	1		1	1				
山梨県											
長野県											
新潟県											
富山県											
石川県											
福井県											
岐阜県											
愛知県			2	2		2	2		3		3
三重県											
滋賀県					2		2		2	2	4
奈良県										1	1
和歌山県		4		4							
大阪府	3	8	5	16	14	2	16	4	6		10
京都府						1	1		3		3
兵庫県	1	1		2	1	1	2	2	1	2	5
岡山県											
広島県	1			1	1		1	1			1
鳥取県											
島根県											
山口県								1	1		2
香川県											
徳島県	1			1	1		1	4		1	5
高知県											
愛媛県	1			1	5		5	4			4
福岡県					1		1	2			2
佐賀県											
長崎県			3	3	4		4		1	9	10
大分県	1			1	1		1	1			1
熊本県		1		1	1		1		1		1
宮崎県											
鹿児島県					1		1	1		1	2
沖縄県											
合計	9	18	22	49	74	22	96	31	24	59	114

記録されている。明治橋は2径間で実際の橋長はこの倍の長さであるから、県からの報告の際に桁長を橋長と誤った可能性が高い。この橋長から橋面積1坪当たりの単価を比較すると、明治橋は652円35銭となり他の70橋よりも最も高額となる。実際の橋長を考慮すると半額の326円余となり、他の橋梁と整合する(表-2.6.2)。

表 - 2.6.2 橋面1坪当り単価の比較 [岡崎, 2004]

注) 第13回統計年報より作成

単価で銭未満は四捨五入

橋名	橋面積 (坪)	坪当たり 単価(円)	橋名	橋面積 (坪)	坪当たり 単価(円)	橋名	橋面積 (坪)	坪当たり 単価(円)
永代橋	781.56	179.77	渡辺橋	311.86	150.82	吉田橋	43.84	
吾妻橋	627.55	218.06	木津川橋	256.06	146.28	太鼓橋	12.5	83.36
江戸橋	168.0	532.83	肥後橋	187.24	167.35	鉄橋	55.5	288.29
厩橋	604.8	130.69	高麗橋	138.6	141.78	新川橋	64.0	93.75
新橋	125.0	497.94	難波橋	249.04	66.16	新地橋	27.0	93.44
萬世橋	140.0	438.89	難波橋	251.24	44.01	魚市橋	30.0	53.77
京橋	100.0	612.72	心齋橋	71.4	176.90	坂東橋	344.1	371.50
高橋	110.6	517.37	日本橋	92.45	46.63	利根橋	269.25	335.35
鎧橋	240.24	153.96	戎橋	94.6	44.95	北国橋	12.0	252.25
御茶の水	230.4	148.79	長堀橋	81.7	43.76	三保橋	8.25	303.15
浅草橋	108.0	298.57	東蘆分橋	39.1	86.85	澱橋	213.9	244.33
左衛門橋	56.0	467.73	京町橋	51.8	53.11	大橋	283.5	99.15
西河岸橋	172.8	141.73	西蘆分橋	20.02	95.00	本川橋	160.0	215.18
湊橋	114.0	203.27	大江橋	152.9	604.37	徳島橋	24.0	197.75
和泉橋	112.0	206.03	吉浜橋	114.24	357.49	熊ヶ谷橋	41.31	197.75
高橋	80.1	206.12	港橋	111.3	272.64	八幡橋	31.68	228.85
佐久間橋	43.55	325.56	豊国橋	87.04	307.46	室川橋	52.56	121.75
柳橋	60.63	191.75	花園橋	108.41	244.51	小松橋	27.6	175.04
美倉橋	90.72	122.84	蓬萊橋	53.1	334.46	黒岩橋	35.52	129.36
朝日橋	56.0	174.64	西ノ橋	64.01	232.51	常盤橋	123.0	79.24
弾正橋	41.5	97.78	前田橋	63.04	159.03	明治橋	26.4	652.35
品川橋	20.1	172.29	谷戸橋	53.65	118.99	赤瀬橋	40.0	340.43
浜川橋	16.1	-	都橋	33.9	177.40	大平橋	543.5	305.88
天神橋	798.6	188.23	錦橋	35.7	142.24			
天満橋	709.2	191.86	石崎橋	20.3	159.31			

* 明治橋の単価652.35円は最高額 600円代は京橋612.72円、大江橋604.37円

* 明治橋が最高額になったのは桁長8.8間(2径間)を橋長として報告したためと推測。

* 都会の橋の単価を上回る橋を架設したとは考えられない。

2.7 明治橋を鉄橋にした理由の推測

明治20年代から30年代にかけて、大分県では石造アーチ橋の架設が主流である。明治28(1895)年には単一アーチであるが佐賀県道に阿南橋(現庄内町)を直轄工事で架設しているのをはじめ、明治30(1897)年から明治34(1901)年にかけて幹線道路に多数の橋を架けている。中でも、国道35号には明治30(1897)年に2連アーチの赤松橋(日出町・橋長47.0m・橋幅5.9m)を竣工させている(表-2.7.1)。つまり、明治橋を架設した明治35(1902)年には既に実績があり、石橋架橋技術の蓄積があったわけである。

一方，鉄製の橋については明治 45（1912）年時点においても表 - 2.6.1 に示されているように，大分県内には明治橋 1 橋しかない状況が続いている．これらのことから，なぜ明治橋を鋼橋としたのかということについてなぞが深まるが，明確にえられる資料は発見されていない．

ただ一つ，明治 35（1902）年に発行された「大分県案内」に後述のような記述がある．この「大分県案内」は明治 35（1902）年 10 月 25 日発行で，著者は大分県庁内・第 9 回西南区実業大会となっている．当時の県知事は第 10 代大久保利武であるが緒言（序文）の中で次のように述べている「…今や幸いにして西南区実業大会本年 10 月 25 日を以て本県に開設せられんとす．之れ実に我が大分県を天下に紹介する好機会なりと信ずるを以て茲に委員に命じて本書を編纂せしめたり．此書幸に外は来会者諸君が県下実業の真相を觀察せらるゝの鑑鏡となり，内は産業発展を促すの指針となるを得ば特予の本懐に止まらず又国家の大幸なり…」．

また，巻頭の凡例に「本書は第 9 回西南区実業大会の開催に際し来会者に頒ちて聊か大分県の面目を紹介せんがために編纂したるものなり」と記載されている．

西南区実業大会がどのような内容・規模の大会であったのか，これも何一つ資料が見つからない．県会史には，九州各県連合共進会や内国勸業博覧会などの記録はあるが，実業大会の記述はない．

ただし県の記録として，明治 35（1902）年度の決算書の中に，勸業補助費として九州実業大会補助 1,000 円が計上されている．大会の名称が西南区実業大会でなく九州実業大会となっているが，同じ大会と考えてよいと考えられる．

大会の主催は協賛会的な団体で，県庁内に事務局が置かれ，協賛金と県の補助金などで運営し，その事業の中で，大分県の P R のために，県内の名所旧跡や明治橋などの写真をまとめて巻頭に掲載した「大分県案内」を発行して配付したことと思われる．

当時の大分県は，国鉄線は明治 30 年に小倉駅から宇佐駅（現柳ヶ浦駅）までの開通，明治 33（1900）年に別府・大分間に電車が開通していたものの，一般には車と言えば乗合馬車と人力車，鍋釜を作る鋳物工場が県内に数箇所という状況である．明治橋の架設は，

表 - 2.7.1 大分県年表 [岡崎，2004]

明治 23 年 (1890)		九州鉄道会社線に九州では最初の鉄橋・千歳川(筑後川)橋梁竣工
明治 28 年 (1895)	・4	* 国道 35 号線改築費 (22 年度 ~ 27 年度) 清算額 156,420 円 94 銭 9 厘 大分県は佐賀県道に直轄工事で阿南橋(阿南村)を架設
明治 30 年 (1897)	・2 ・4	国道 36 号線に宇藤木橋竣工(明治村) 第 7 代杉本重遠知事 豊州鉄道会社線が宇佐駅(現柳ヶ浦駅)まで開通
	・9	国道 35 号線に 2 連の石造アーチ橋赤松橋 国道 36 号線に宇藤木橋(明治村)、白水橋(川登村)など竣工 佐賀県道に深瀬橋(野上村)、幸橋(湯平村)竣工
明治 31 年 (1898)	・6	第 8 代押川則吉知事着任 佐賀県道に妙見橋竣工(野上村)
明治 32 年 (1899)	・8	* 佐賀県道改築費 (26 年度 ~ 31 年度) 清算額 101,839 円 8 厘 第 9 代鈴木定直知事着任
明治 33 年 (1900)	・6	別府・浜脇 大分・堀川間に電車開通
明治 34 年 (1901)	・2 ・4 ・6	福沢諭吉逝去 灌廉太郎ドイツ留学 第 10 代大久保利武知事着任 官営八幡製鉄所操業開始
明治 35 年 (1902)	・2 ・4 ・10	国道 36 号線に明治橋竣工(野津市村) 別大電車は大分・堀川 竹町間の営業開 * 国道 36 号線改築費 (26 年度 ~ 30 年度・33 年度 ~ 34 年度) 清算額 254,146 円 5 銭 西南区実業大会開会

この大会の開催を念頭において、デモンストレーションで洋式の鋼橋を架設させたと考えられないこともない。石造アーチ橋の架設費に比べてはるかに高額の投資を企画し決定したのは、前述した大久保知事か前任の第9代鈴木知事（明治32（1899）年8月～34（1901）年6月）ではないかと考えられるが、いずれにしても知事の強い意向が反映された可能性は高いと思われる。

さらに大阪鉄工所に発注した経緯や工事期間、野津市村（現 白杵市野津町大字野津市）を架橋地点に選んだ理由なども現時点では明らかとなっていない。

2.8 地元に残っていた民話

明治橋の地元白杵市野津町に「きつちよむ史談会」という地元の会がある。その会員の方から次のようなお話をお聞きした。

「子供の頃祖母から、明治橋を造った狐の話を聞いた。韓国の王様から、橋が出来たら帰ってくるように言われて野津市村に来た狐が、橋が竣工して帰っていった」

とのことである。明治橋竣工の後、韓国に渡った安田技師を、狐になぞらえて民話に仕立て語り継ごうとしたのではないだろうか。興味のある話といえる。

参考文献

- 岡崎文雄（2004）：明治橋はなぜ鋼橋なのか，第4回道路橋床版シンポジウム講演論文集，pp.1-10，土木学会，平成16年11月
- 日本橋梁建設協会編（2004）：「日本の橋」，朝倉書店，平成16年4月
- 大田孝二，財津公明，杉原伸泰（2006）：明治橋の構造的特徴と歴史遺産としての評価，第5回道路橋床版シンポジウム講演論文集，pp.73-78，土木学会，平成18年7月

3. 構造部材ごとの技術，意匠評価

3.1 床版

3.1.1 床版の構造

床版はいわゆるトラフ床版であり，橋軸直角方向に溝方向が走る形となっている（写真 - 3.1.1）. トラフは台形状の圧延形鋼を天地交互にリベットで接続した構造で，調査した肉厚とカタログ [Dorman Long , 1906] のサイズから，図 - 3.1.1 に示される床版構造であると考えられる .

トラフ床版は 1800 年代後半から英国や米国で多用されており，日本では大阪市内の本町橋，ハツ山橋など大正期の橋の例があるが，明治時代の残存例はおそらくこの明治橋が唯一と考えられている . このトラフ形鋼（材料試験 [杉原ら，2005] により鋼材であることを確認）には英国の東海岸の Middlesbro . という地名とドーマンロング社の社印（写真 - 3.1.2）が見られ，この形鋼が主桁や対傾構の鋼材とともに英国からの輸入されたものと考えられている . トラフには間詰め材として当時貴重であったと考えられるコンクリート（無筋）が打設されているが，コンクリートはトラフの高さ位置（床版下面から約 4in）で水平方向に亀裂が走っている部分があり（写真 - 3.1.3），トラフ上部の水平部分に沿ってコンクリートに引張り亀裂が生じたものと考えられる .

鋼材が輸入された頃の英国の道路橋設計について，明治 39（1906）年（明治橋完成の 4 年後）発行のドーマンロング社のカタログ [Dorman Long , 1906] を入手し，その内容を調査することができた . カタログの図を図 - 3.1.2~3.1.4 に示す . これによると，トラフ床版を用いた床版橋のように見える 2 つの図が掲載されており，トラフ（溝）の方向を図 - 3.1.2 は橋軸直角方向，図 - 3.1.3 は橋軸方向に用いている . また，図 - 3.1.4 にはそのトラフ断面のサイズが掲載されている .

床版の載荷条件については英国の鋼橋設計に関する文献 [P.O.G.Usborne , 1912] に掲載されており，その模式図を図 - 3.1.5 に示す . この載荷条件下での構造計算においては，コンクリートは形状保持としての役割を期待されているだけである . 同図に示すように輪荷重（後輪軸重 14 tf）は舗装を含めた高さに対して 45° の分布を考えている . 文献 [P.O.G.Usborne , 1912] ではその分布荷重（dispersion cone）に対してトラフの山谷の 1 波長分で担うとする考え方を取っている .

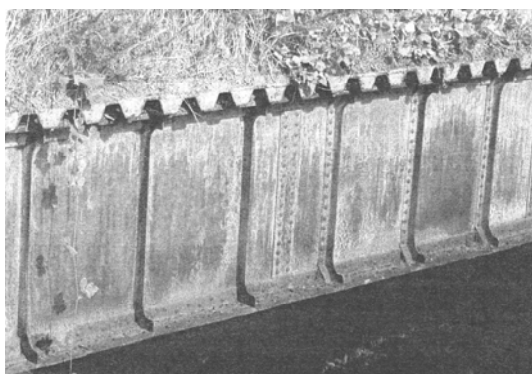
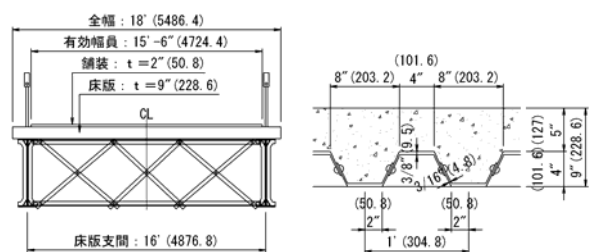


写真 - 3.1.1 明治橋の J スティフナー



断面図

床版橋軸直角方向断面

図 - 3.1.1 床版の構造

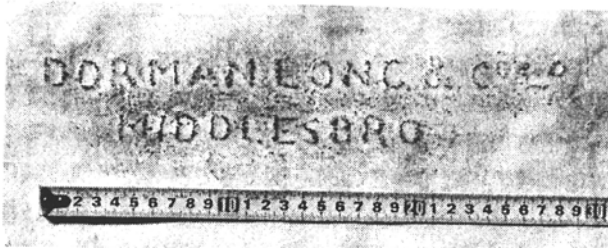


写真 - 3.1.2 床版鋼材の刻印
(長田大輔氏採拓)



写真 - 3.1.3 トラフ床版のコンクリート
ひび割れ

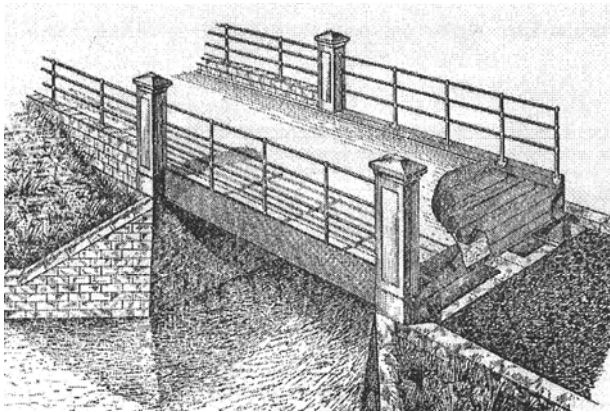


図 - 3.1.2 ドーマンロング社の使用例(a)
トラフ鋼板を橋軸直角方向に配置

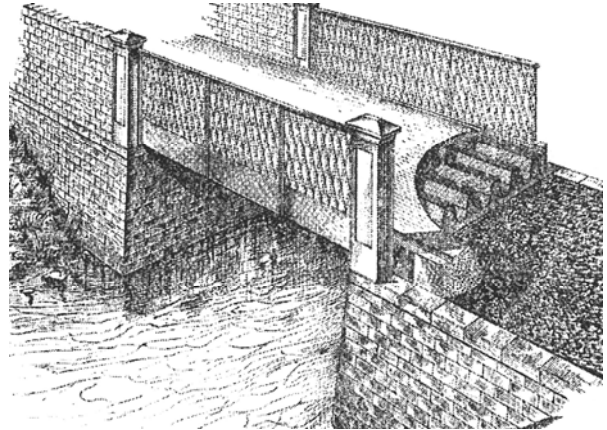


図 - 3.1.3 ドーマンロング社の使用例(b)
トラフ鋼板を橋軸方向に配置

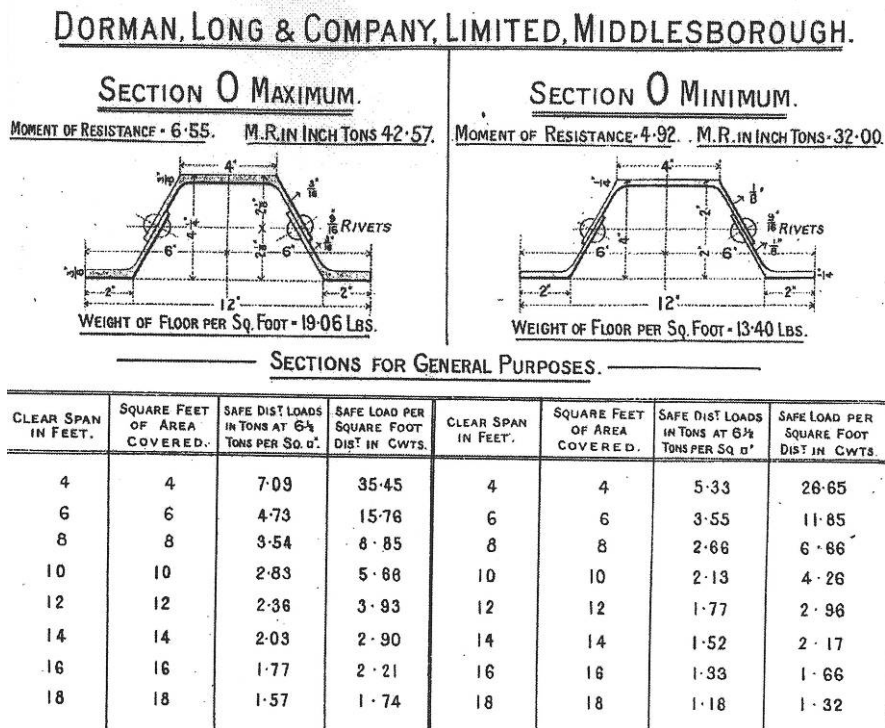


図 - 3.1.4 トラフ鋼板の標準断面図
[Dorman Long , 1906]

3.1.2 床版の設計

明治橋の床版は、主桁間隔を支間とし、トラフ方向は橋軸直角方向としている。天地を逆にして組み合わされたトラフ形鋼とトラフ形鋼相互を接続するためのリベット、および無筋コンクリートから構成されている。構造・損傷度調査 [杉原ら, 2004] の結果, 図 - 3.1.1 に示す構造寸法と考えられる。なお, 建設当時の舗装の有無は判っていないが, 英国の例を参考に砂利による舗装が行われていたと想定し, 舗装厚は 2 in(50.8mm)とした (図 - 3.1.6 参照)。明治橋に使用されているトラフ形鋼は, 英国のドーマンロング社製であり, 形鋼の組み方は明治橋では下側形鋼を上重ねているのに対して (写真 - 3.1.3 参照), カタログではその逆 (上側形鋼が上) となっているが, 図 - 3.1.4 の左側と同寸法のトラフ形鋼が使用されている。

トラフ形鋼を使用した床版の設計方法としては, トラフ形鋼 1 組を単位幅 (明治橋のトラフ形鋼では 12 in(304.8mm)) とした梁の断面計算が行われていたようである。トラフ形鋼は横桁を床版支間とする橋軸方向にトラフの方向を合わせることが一般的であり, 明治橋のように橋軸直角方向に配置されていることは珍しい。また, 当時は合成桁という思想はないため, コンクリートとの合成効果は期待していないと考えられる。表 - 3.1.1 にトラフ形鋼床版の断面性能を示す。

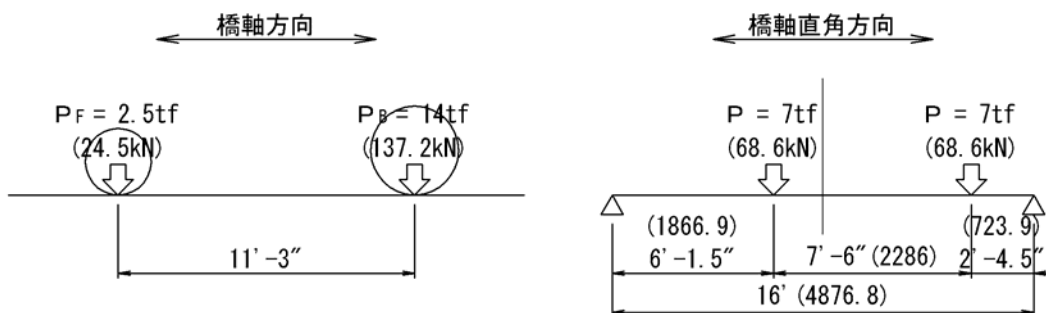


図 - 3.1.5 輪荷重載荷方法

表 - 3.1.1 トラフ床版の断面性能 (非合成) [中原ら, 2006]

	1 組あたり (/12")	1.0mあたり (/m)
断面二次モーメント (cm^4)	510	1673
トラフ形鋼断面定数 (cm^3)	100.4	329.3

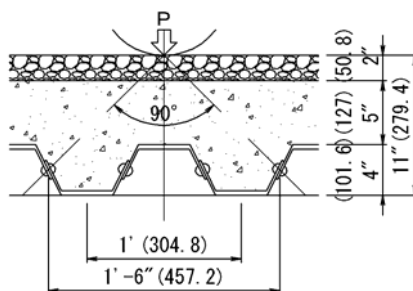


図 - 3.1.6 輪荷重の分布

トラフ形鋼の許容応力度は、図 - 3.1.4 の欄内の記述にあるように 6.5 tf/in^2 (98.7 N/mm^2) が使用されていたと考えられる。現在、SM400 材の許容応力度に比べて若干低いですが、文献 [P.O.G.Usborne, 1912] の巻末にある許容応力度の表によれば、安全率は終局強度に対して 4.0 を取っており、引張りに対して 7.5 tf/in^2 、圧縮に対して 7.0 tf/in^2 とある。図 - 3.1.4 にある 6.5 tf/in^2 は多少安全側の値をとっていることが分かる。

明治橋のトラフ床版がどのように設計されていたかを試算 (図 - 3.1.7) する。

活荷重について調べてみると、当時の日本の道路橋では、明治 19 年 (1886) の 400 貫/坪 (450 kgf/m^2) (橋面上満載) [道路協会, 2002] が適用されるべき荷重と考えられる。

死荷重については、上述の文献 [P.O.G.Usborne, 1912] の巻末にその単位重量が示されており、コンクリートについては、貧配合 (breeze), 普通 (ordinary), 鉄筋コンクリート (reinforced) について、各々 100, 125, 144 (lbs./ft^3) とある。また、舗装 (gravel) は 80 (lbs./ft^3) と仮定する。1 lbs. (ポンド) を 0.4536 kgf とすれば、コンクリートは各々 1597 kgf/m^3 , 1996 kgf/m^3 , 2299 kgf/m^3 , 舗装は 1280 kgf/m^3 となる。明治橋には普通コンクリートが使用されたものとして 2000 kgf/m^3 を仮定し、図 - 3.1.6 にあるようにトラフ形鋼の上面上には 5in のコンクリート、その上に 2 in の砂利舗装を想定する。

コンクリートの平均厚さ : $5 + (1/2)(4.25) = 7.125 \text{ in}$ (= 18.1 cm)			
死荷重 :			
コンクリート	$2000 \times 0.0254 \times 7.125$	=	362 kgf/m^2
砂利舗装	$1280 \times 0.0254 \times 2$	=	65 kgf/m^2
トラフ鋼板	19.06 lbs./ft^2	=	93 kgf/m^2
床版死荷重合計			520 kgf/m^2
活荷重 (橋面上満載) : 450 kgf/m^2			
発生曲げモーメント M (橋軸直角方向 1m あたりの死活荷重合計) :			
$M = (1/8) w \times L^2 = (1/8) (450+520) \times 1 \times 9.8 \times (4.88^2)$			
= $2.830 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{m/m}$			
発生応力 :			
= $M / (I/y) = 2.830 \times 10^6 / (1673 / 5.40) = 9133.7 \text{ N/cm}^2$			
= $91.34 \text{ N/mm}^2 < 98.7 \text{ N/mm}^2 = \text{許容応力 (} 6.5 \text{ tf / in}^2 \text{)}$			
ここで I は表 - 3.1.1 に示す 1m あたりの断面二次モーメント			

図 - 3.1.7 トラフ床版の発生応力

上記より、計算上の発生応力度は許容応力度の 93% を占めており、おそらく明治橋の床版設計は等分布活荷重として明治 19 年の荷重 (400 貫/坪, 450 kgf/m^2) を採用して設計したものと考えられる。

ドーマンロング社のカタログの数値との整合をみる。(図 - 3.1.8)

明治橋に使用されたトラフ形鋼のサイズは調査した肉厚などから、図 - 3.1.4 の左側の形鋼 (Section O Maximum) であると考えられる。同図に示されている数字のうち、moment of resistance とあるのは、今でいう断面定数 Z で、単位は in^3 である。その横の $M.R.$ は設計 (許容) 耐荷モーメントで、単位は記述にある $\text{in}\cdot\text{tf}$ である。

設計 (許容) 耐荷モーメント $M.R.$ の検算：

$$\begin{aligned} a &= 6.5 \text{ tf/in}^2 \\ MR &= a \times Z = 6.5 \times 6.55 = 42.57 \text{ tf}\cdot\text{in} \end{aligned}$$

(図 - 3.1.4 左上図中の値と一致)

許容応力 $a = 6.5 \text{ tf/in}^2$, $L = 16\text{ft}$ における Safe Distribution Loads in Tons の検算：

1ft 幅の梁に等分布荷重が作用したときに生じる曲げモーメント M_a は

$$M_a = (1/8) w \times L^2$$

$$\text{ここで } M_a = 42.57 \text{ tf}\cdot\text{in}$$

w : 支間方向 1ft あたりの等分布荷重 (tf / ft)

$$\begin{aligned} \text{よって } w &= 8 \cdot M_a / (L^2) = 8 \times 42.57 / (16 \times 12)^2 = 0.00924 \text{ tf} / \text{in} \\ &= 0.1109 \text{ tf} / \text{ft} \end{aligned}$$

$$w \cdot L = 0.1109 \times 16 = 1.77 \text{ tf}$$

(図 - 3.1.4 左下表 3 列目 16ft の場合の値と一致)

図 - 3.1.8 カタログ記載数値との整合

図 - 3.1.8 の検算から、図 - 3.1.4 の左下表 3 列目 (Safe Distribution Loads in Tons) の値は、1ft 幅の梁の支間全長に作用する等分布荷重の合計トン数ということがわかる。

したがって、カタログに示す設計分布荷重の上限は $w = 0.1109\text{tf/ft}$ であり、梁幅が 1ft であることから、設計分布荷重 (活荷重+死荷重) として許容できるのは、

$$0.1109 \text{ tf} / \text{ft}^2 = 1.1937\text{tf/m}^2 = 1194\text{kgf/m}^2 \text{ となる。}$$

日本の当時の設計分布荷重は前述のとおり、活荷重は 450kgf/m^2 であり、明治橋の死荷重合計は 520kgf/m^2 程度であるから、活荷重と死荷重の合計では 970kgf/m^2 となり、 1194kgf/m^2 の許容等分布荷重に対し、若干の余裕をもって設計されていることになる。これは大正期の設計活荷重 480kgf/m^2 としても十分余裕のある設計となっている。

輪荷重（後輪 2 輪，各 7t）による曲げモーメント M_p ：

$$M_p = M_1 + M_2$$

ここで， M_1 ： 集中荷重 輪 1 による曲げモーメントの最大値

M_2 ： 集中荷重 輪 2 による輪 1 位置の曲げモーメント

$$M_1 = P \cdot a \cdot b/L = 7000 \times 1866.9 \times (2286 + 723.9) / 4876.8 = 8.0653 \times 10^3 \text{ (kgf} \cdot \text{mm)} \\ = 8065.3 \text{ (kgf} \cdot \text{m)}$$

$$M_{2max} = 7000 \times (1866.9 + 2286) \times 723.9 / 4876.8 = 4.3151 \times 10^3 \text{ (kgf} \cdot \text{mm)} \\ = 4315.1 \text{ (kgf} \cdot \text{m)}$$

$$M_2 = M_{2max} \times 1866.9 / (1866.9 + 2286) = 0.4495 \cdot M_{2max} = 1939.8 \text{ (kgf} \cdot \text{m)}$$

$$M_p = 8065.3 + 1939.8 = 10005.1 \text{ (kgf} \cdot \text{m)} (= 98.05 \text{ kN} \cdot \text{m)}$$

活荷重による応力 ρ （橋軸方向分布を考慮して 1ft 5in で負担した場合）：

$$\rho = M_p / (I/y)$$

$$= 10005.1 \times 10^2 \times 9.8 / (510 \times 1.5 / 5.4) = 69212 \text{ N/cm}^2$$

$$= 692.1 \text{ N/mm}^2 \quad 98.7 \text{ N/mm}^2 = \text{許容応力 (6.5 tf/in}^2)$$

ここで I は表 - 3.1.1 に示す値より算出した 1ft 5in あたりの断面二次モーメント

図 - 3.1.9 集中輪荷重による発生応力

続いて，図 - 3.1.5 にあるような集中輪荷重に対する検討を行ったところ(図 - 3.1.9)，トラフ床版の分担幅を図 - 3.1.6 にあるように 1.5 倍に見込んで計算を行っても，活荷重によって生じる応力度のみで既に許容応力の 7 倍程度にもなり，まったく設計計算が成り立たない。

したがって，結論としては，明治橋の床版の設計計算は，輪荷重(軸重 14t)が集中的に作用する設計ではなく，橋面全体に作用する等分布荷重活荷重(450~480kgf/m²程度)で設計されたものと考えられる。

なお，ここでは明治大正期の荷重強度を使用したため，等分布荷重の単位としては kgf/m² という単位を用い，また，長さの単位については ft(フィート)という表現を用いた。

3.2 主桁

3.2.1 主桁の構造

写真 - 3.2.1, 図 - 3.2.1 を見て分かるように, 明治橋は 2 径間の鉸桁である (ただし, 床版は連続している). 2 主桁構造であり, 主桁間隔, すなわち床版支間は 4.88m (16ft) となっている. また, 床版にはトラフ床版が用いられており, 合成床版の趣を見せていることも, 最近の少主桁構造に似通った部分がある.

路面は度重なる嵩上げがなされたようで, 死荷重の増加のせいか, トラフ床版の底鋼板は一部を除いて大きくたわみ, また, 2.7m 強の間隔で設けられている対傾構の多くが降伏し, 端対傾構はとくに大きな塑性変形を生じている [杉原ら, 2004] (写真 - 3.2.2). なお, 写真は橋脚上の端対傾構で, 二連の橋梁の各々の端対傾構が写っている.



写真 - 3.2.1 明治橋

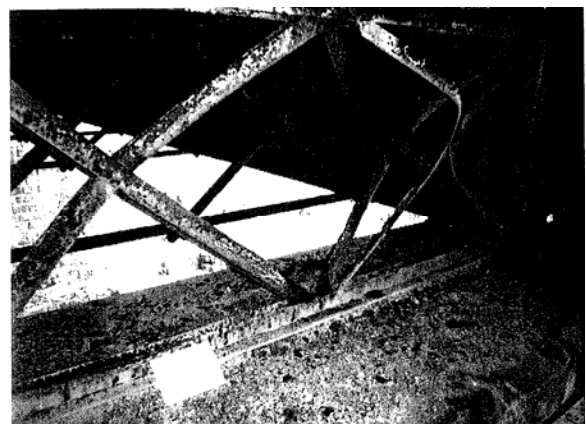


写真 - 3.2.2 対傾構の変形

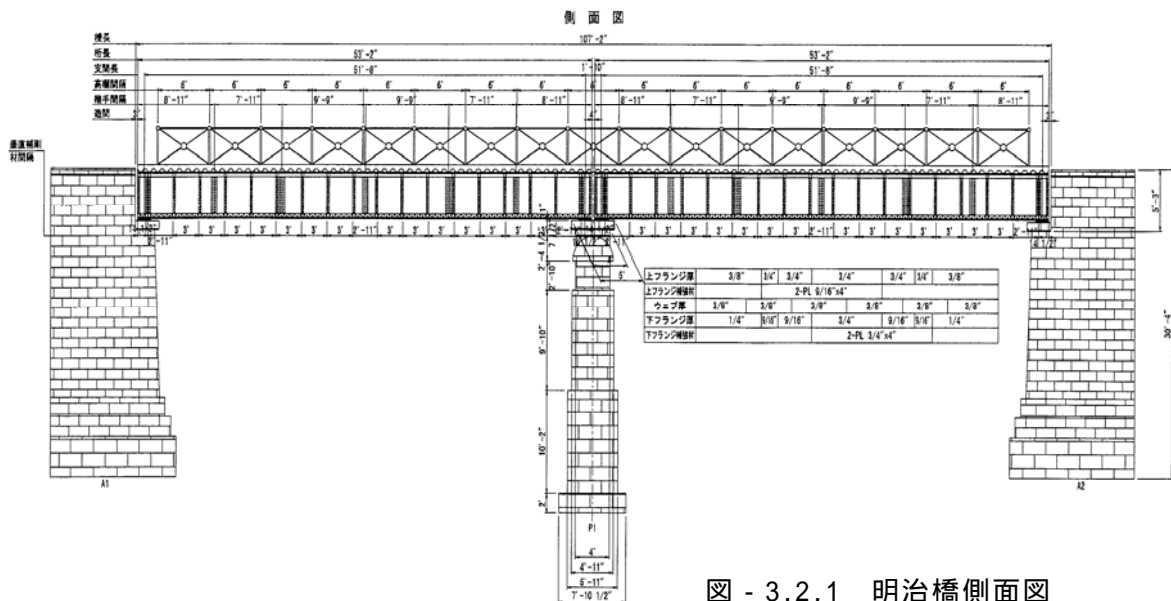


図 - 3.2.1 明治橋側面図

主桁は 3m 弱の長さで搬入されており，リベットにより接続されている．主桁に取り付けられた鉛直スティフナーの形状は鉄道橋においてポーナルの作 30 年式に用いられた英国式 J 形スティフナー（以下 J スティフナー）そのものである．前述のカタログ [Dorman Long , 1906] を見ると，本国の英国でも道路橋にこの J スティフナーが使用されている図があり，鉄道橋だけでなく道路橋にもこのウェブの補剛材が一般的に使用されたようである．しかし，日本の道路橋にこのポーナルの J スティフナーが使用されたのは，静岡にある東海道線の跨線橋である清見寺橋（東海道線静岡県興津駅付近の跨線橋で支間 10m 程度．現在残存しているが，桁に荷重がかからぬよう新設の橋梁の桁下に位置しているため，供用されているとは言えない）しかなく，現在供用されているものとしては極めて珍しい存在である．明治橋の J スティフナーを写真 - 3.2.3 に示す．この J スティフナーの間隔は 3ft(91.4cm)となっており，ポーナル型のスティフナーが鉄道橋では一般に 5 ~ 6ft (1.52 ~ 1.83m) の間隔で設計されているのに比べて極めて密な配置となっている．

対傾構を図 - 3.2.2 に示す．サイズは測定結果であるが 3in(76mm)の等辺アングルの水平材と，同幅で板厚が 1/4 in (6.4mm) のフラットバーの斜材からなっていると想像できる．しかし，この対傾構ではその耐荷力は極めて脆弱と考えられる．すなわち，フラットバーの斜材では仮に圧縮作用を受けた場合にはいかにも強度不足の感がある．

文献 [中井，2005] では，英国式鉄道トラス橋の橋軸直角方向の剛性不足が指摘されており，この剛性不足は 1885 年に起こった英国トラスと米国トラスの論争 [寺田，1993] の 1 つの争点になっている．鉄道橋における英国式トラスで指摘された橋軸直角方向の剛性不足は，この明治橋のような桁間の大きな道路橋においてはより大きな課題であったと考えられるが，ここでもこの直角方向の剛性不足には全く対応がなされていない．

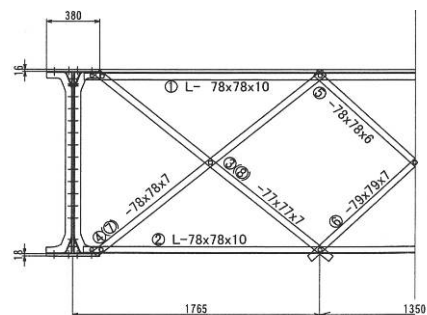


図 - 3.2.2 対傾構の構造



写真 - 3.2.3 J スティフナー



写真 - 3.2.4 多摩川橋梁の補強
[土木学会，2004]

ちなみに明治 22 (1889) 年建設のポータル型鉄道橋である中央線多摩川橋梁では，その橋軸直角方向の剛性不足が指摘されたためか，現在は補強して供用されている．桁間は J スティフナーと水平材が接続されて矩形状の対傾構を形成しているが，この矩形に X 型のブレースによる補強をして供用されている (写真 - 3.2.4) [土木学会，2004] ．

3.2.2 主桁の設計

明治橋建設当時の橋梁設計法では，格子解析等の解析的手法は用いられておらず，梁理論によって断面力を算出している．文献 [P.O.G.Usborne，1912] によると，鉄道橋の設計では，活荷重を連行荷重として載荷し，影響線を利用して断面力を算出している．道路橋の設計においては，活荷重を等分布荷重として載荷し，断面力を算出しているようである．応力度を算出する断面計算は，現在使用されている方法と同様である．

明治橋は同支間の単純桁 2 連から構成される 2 径間の橋梁であり，主桁断面は支間中央で対称となっている．構造・損傷度調査 [杉原ら，2004] での板厚は，経年変化における腐食等の影響から建設当時から減少していると考えられるため，この点を考慮して建設当時の板厚を推定すると，図 - 3.2.3 および図 - 3.2.4 のようになる．明治橋の主桁フランジは数枚の鋼板を重ねて構成されており，3 種類の断面に分類できる．各断面の断面性能を表 - 3.2.1 に示す．なお，非合成桁と考えて床版の剛性や応力分担は考慮していない．

明治橋の主桁に作用する応力度を求めるために，図 - 3.2.5 に示す荷重を載荷して，主桁の構造解析と断面計算を行うと表 - 3.2.2 の結果を得る．活荷重は床版の設計より等分布荷重 4.80kN/m^2 を用いた．文献 [P.O.G.Usborne，1912] によると，当時の英国における鉄鋼材の許容応力度としては，鋼(steel)に対して $7.0\text{ tf/in}^2(106.3\text{N/mm}^2)$ ，鉄(iron)に対して $5.0\text{ tf/in}^2(76.0\text{N/mm}^2)$ が使用されている．明治橋の主桁材料は，強度・成分調査 [杉原ら，2005] から鋼であることが判明しているため，断面計算結果 70N/mm^2 程度は許容応力度に対して余裕が大きい．また，活荷重たわみも非常に小さい．

床版を輪荷重 (現在の T 荷重) で設計した場合に，主桁の設計活荷重は主桁支間長に応じて床版の設計活荷重を割増して使用することが文献 [P.O.G.Usborne，1912] に書かれている．割増率は明治橋の主桁支間では 25% となる．輪荷重と等分布荷重では荷重作用が異なるが，図 - 3.2.5 の活荷重を 25% 割増した計算結果を表 - 3.2.3 に示す．主桁に作用する応力度は 80N/mm^2 程度まで大きくなるが，許容応力度に対して少し余裕が大きいと考えられる．

表 - 3.2.1 主桁断面性能 [中原ら，2006]

	Sec1	Sec2	Sec3
断面二次モーメント (cm ⁴)	907100	1317967	1576032
上フランジ断面定数 (cm ³)	13046.2	20926.8	21883.3
下フランジ断面定数 (cm ³)	13046.2	16966.6	22854.3

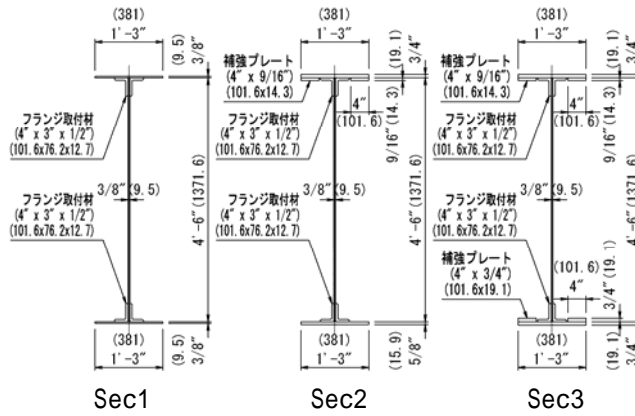


図 - 3.2.3 明治橋の主桁断面 (推定板厚)

桁長	53'-2" (16205.2)				
支間長	9" (228.6)	51'-8" (15748)			9" (228.6)
対傾構間隔	2'-11" (889)	9' (2743.2)	9' (2743.2)	8'-11" (2717.8)	9' (2743.2)
垂直補剛材間隔	1'-2.5" (368.3)	7 x 3' = 21' (7 x 914.4 = 6400.8)			2'-11" (889)
断面番号	Sec1	Sec2	Sec3	Sec2	Sec1
上フランジ断面長	10'-11" (3327.4)		29'-10" (9093.2)		10'-11" (3327.4)
上フランジ板厚	3/8" (9.5)		3/4" (19.1)		3/8" (9.5)
上フランジ補強材			2-FB 4' x 9/16" (101.6 x 14.3)		
腹板継手長	8'-2" (2489.2)	7'-11" (2413)	9'-9" (2971.8)	9'-9" (2971.8)	7'-11" (2413)
腹板板厚			3/8" (9.5)		
下フランジ継手長	13'-10" (4216.4)		24' (7315.2)		13'-10" (4216.4)
下フランジ断面長	10'-11" (3327.4)	8'-9" (2667)	12'-4" (3759.2)	8'-9" (2667)	10'-11" (3327.4)
下フランジ板厚	3/8" (9.5)	5/8" (15.9)	3/4" (19.1)	5/8" (15.9)	3/8" (9.5)
下フランジ補強材			2-FB 4' x 3/4" (101.6 x 19.1)		

図 - 3.2.4 明治橋の主桁断面構成

表 - 3.2.2 断面計算結果 [中原ら, 2006]
(活荷重 : 4.80kN/m²)

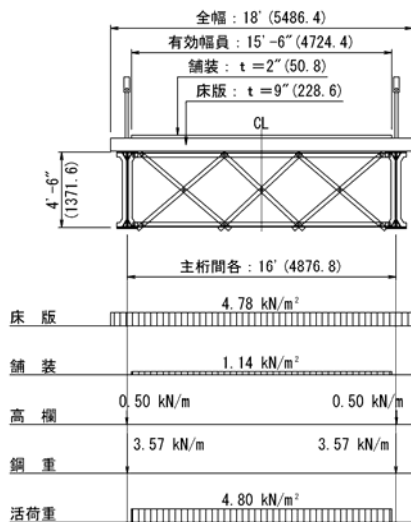


図 - 3.2.5 荷重载荷図

	Sec1 支間側	Joint フランジ継手	Sec2 支間側	Sec3 支間中央
断面力 (kN·m)	653.50	768.92	924.72	980.63
上フランジ応力度 (N/mm ²)	-50.1	-44.2	-44.2	-44.8
下フランジ応力度 (N/mm ²)	50.1	45.3	54.5	42.9
下フランジ応力度 (孔引き後) (N/mm ²)	66.8	60.4	72.7	56.8
活荷重たわみ (mm)				1.4

表 - 3.2.3 断面計算結果 (割増) [中原ら, 2006]
(活荷重 : 4.80kN/m² × 1.25)

	Sec1 支間側	Joint フランジ継手	Sec2 支間側	Sec3 支間中央
断面力 (kN·m)	712.07	837.83	1007.59	1068.50
上フランジ応力度 (N/mm ²)	-54.6	-48.1	-48.1	-48.8
下フランジ応力度 (N/mm ²)	54.6	49.4	59.4	46.8
下フランジ応力度 (孔引き後) (N/mm ²)	72.7	65.8	79.2	61.9
活荷重たわみ (mm)				1.7

3.3 下部工

明治橋は、桁端を高さ約 9.2m の 2 基の橋台に、桁のつなぎ目にあたる中間部を高さ約 8.8m の橋脚によって支持された 2 径間の橋梁であり、橋台・橋脚とも石積みの外観を有している（図 - 3.3.1）。

明治橋の橋脚・橋台に関し、その形式や材質に関する資料はこれまでの調査では確認されていないが、鉄道橋の形式からこれを推定する事が可能である。実際に、明治時代の鉄道橋梁下部工について調査した文献 [小西, 1995] によれば、表 - 3.3.1 に示すように明治 35 (1902) 年頃に建造された橋台・橋脚はその多くがレンガ積みか石積みである。大正に入って急速にコンクリート造が普及するものの、大分では石造アーチが数多く建造されていることからわかるように、レンガではなく豊富に供給される石材を使った石積み橋台・橋脚となったことは想像に難くない。

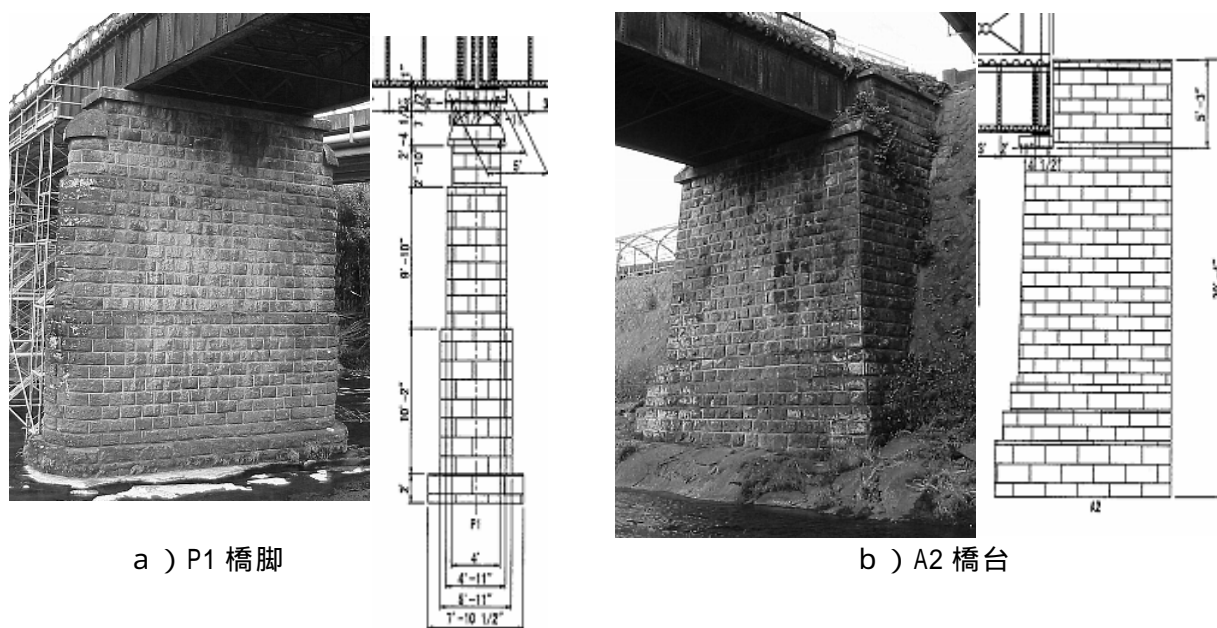


図 - 3.3.1 下部工

表 - 3.3.1 橋台・橋脚の経年別，材質別内訳
[小西, 1995]

建造年代	煉瓦	石造	コンクリート	その他	計	%
明治 30 年以前	9,827	5,608	53	10	15,498	14.0%
明治 31 年～40 年	7,231	4,654	38	4	11,927	10.8%
明治 41 年～大正 4 年	6,368	5,639	3,731	99	15,837	14.3%
大正 5 年～大正 14 年	1,600	1,660	16,970	120	20,350	18.4%
大正 15 年～昭和 10 年	284	436	28,758	539	30,017	27.1%
昭和 11 年～昭和 20 年	119	100	12,650	160	13,029	11.8%
昭和 21 年以降	15	37	3,836	96	3,984	3.6%
計	25,444	18,134	66,036	1,028	110,642	100.0%
%	23.0%	16.4%	59.7%	0.9%	100.0%	

橋脚の石積みは 28 段確認することができ、1 段あたり約 30cm である。石積みは極めて堅牢で、破損した箇所は見受けられない。また、橋脚の石には一段ごとに浅い掘り込み溝があり（写真 - 3.3.1）、さらに溝の脇に三段ごとに漢数字を刻んである（ただし、十八段目の次は二十三段目）（写真 - 3.3.2）。この掘り込み溝が刻まれた目的は定かではないが、河川の水位を知る目安として用いられたのではないかと推測される。

また、石積み内部については、同年代に建造された大分県内の石橋改修工事における調査実績から、切石（石の屑）と土砂（土、石灰、にがりを混合した三和土【たたき】と呼ばれる土）を混ぜたものが詰められている可能性が高いと考えられる。

その他、形状の特徴としては図 - 3.3.1 の左図にあるように橋脚は高さ方向におおよそ 3m ごとに計 2 回の段落とし（脚の断面が高さにつれて小さくなるような変化）が設けられている。さらに、脚の沓座には平らな石板が用いられていること、脚の幅員方向張り出し部の天端は水切りの目的からかコンクリートで滑らかな球面状に仕上げられていること（写真 - 3.3.3）など、特徴的な形状を呈している。鉄道のレンガ積み脚にこのような例はあるが、道路橋で石積み橋脚が使用され、かつ、このような沓座や水切りが現在もなお残存し、まだ供用されている例は極めて珍しいと考えられる。

なお、基礎工については資料調査における記述等は確認できていないが、現地調査の結果、岩盤が露出した部分に直接基礎で施工されているようである。当時は橋梁基礎として直接基礎、杭基礎、井筒基礎などが一般に用いられており[小西, 1995], 明治橋の架橋位置付近の地盤は比較的安定していることから、直接基礎が採用されたのであろうと考えられる。



写真 - 3.3.1 橋脚石の切り込み



写真 - 3.3.2 橋脚石の切り込み(漢数字)



写真 - 3.3.3 石板沓座と水切り

3.4 高欄

高欄，柱材の外観を 3.2 節の図 - 3.2.1 および写真 - 3.4.1，3.4.2 に示す．ロッドと円形の金属，柱からなり，材料調査の結果，高欄ブレース，高欄支柱は鋳鉄製，ボルト・ナット（高欄支柱へのブレース取付部）は鍛鉄製であることが分かっている．自動車などまだ日本ではほとんど見られなかったであろうこの時代に，道路橋の高欄がどのようなものであったかが分かって興味深い．



写真 - 3.4.1 高欄ブレースと円形金具

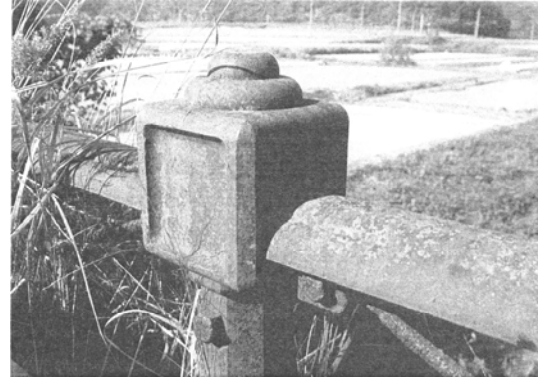


写真 - 3.4.2 高欄支柱

高欄支柱は，トラフ鋼板の溝底部にボルトが 2 つ存在する事が調査で分かっていることから，コンクリートによる支圧と，アンカーボルトによる引張りが高欄推力による曲げに対する設計を行ったと考えられる．完成当時の写真（写真 - 3.4.3）に高欄が写っている．馬車の通過写真であるが，高欄の高さは結構低く，人間の腰の高さくらいしかなく，馬の通行の目安と言った印象がある．計測によれば高欄高さは床版上面から約 900mm で，現在の 1100mm に比べれば低いが，付近の石橋などではもっと低いものも多く，当時としては比較的高い高欄であった可能性もある．

写真 - 3.4.3 の左端には端部の親柱（合計で 8 つ）が写っており，最も端の親柱は高欄の連なりから若干幅員方向に開いた位置に設けられており，橋への入口として口を開けた形となっている．この親柱はこの橋の下を流れる野津川から見つかっている（写真 - 3.4.4）．なお，この種の高欄はイギリスでよく見られるタイプだそうで，当時の普及品であったのかも知れない．

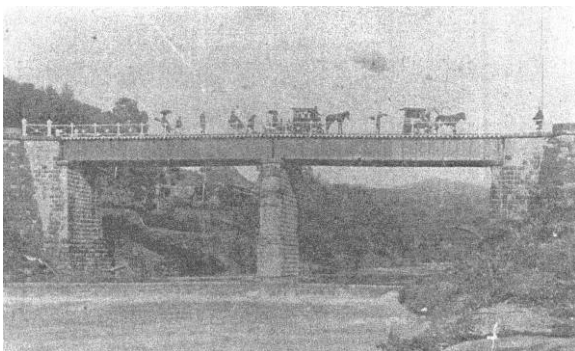


写真 - 3.4.3 明治 35 年 (1902) の明治橋



写真 - 3.4.4 親柱の写真

参考文献

Dorman Long (1906): Pocket Companion, 1906

P.O.G.Usborne (1912): The Design of Simple Steel Bridge, Constable & Company, London

寺田博昌 (1993): 亜米利加式構桁と英吉利式構桁の論争, 橋梁と基礎, Vol.8, pp.99-104

小西純一(1995): 明治時代における鉄道橋梁下部工 序説, 土木史研究, 第 15 号, pp145-158

(社)日本道路協会(2002): 道路橋示方書・同解説, 付録 2 道路橋示方書の主要規定の変遷, p.508

(社)土木学会 (2004): 歴史的鋼橋集覧 1873-1960, G1-001, 2004.2 更新, 土木学会デジタルアーカイブス, <http://library.jsce.or.jp/jsclib/committee/2003/bridge/brtop.htm>

杉原伸泰, 財津公明, 松井繁之, 堀川都志雄 (2004): 100 年を経た合成床版を有する鋼 2 主 I 桁橋(明治橋)の構造損傷度調査, 第 4 回道路橋床版シンポジウム講演論文集, pp.29-36, 土木学会

杉原伸泰, 中村聖三, 中原智法, 高林和生, 山尾敏孝 (2005): 現存する日本最古の鋼鈹桁道路橋, 明治橋の構造・材料調査, 土木史研究概要集, Vol.25, pp.263-271, 土木学会

中井祐 (2005): 近代日本の橋梁デザイン思想, 東京大学出版, pp.23-52

大田孝二, 財津公明, 杉原伸泰 (2006): 明治橋の構造的特徴と歴史遺産としての評価, 第 5 回道路橋床版シンポジウム講演論文集, pp.73-78, 土木学会

中原智法, 野瀬智也, 山口浩平, 杉原伸泰 (2006): 明治橋の損傷度把握と補修案策定に向けた構造解析, 第 5 回道路橋床版シンポジウム講演論文集, pp.97-102, 土木学会

4. 使用材料に関する評価

4.1 鉄鋼材料

4.1.1 はじめに

明治橋は、明治 35 年（1902 年）2 月竣工で、上部工に用いられた鉄・鋼製部材は英国製と考えられている。官営八幡製鉄所の高炉操業開始が明治 34 年（1901 年）であるから、国産鋼材が工業生産される直前の時期である。従って、貴重な輸入鋼材であると同時に、当時の鋼材製造の指針ともなったとも考えられ歴史的にも貴重な遺産である。明治橋の上部工を構成する鉄・鋼製部材は、鉸桁、床版、高欄等で、鋼、錬鉄（パドル炉鋼）[大田ら，2000]，鋳鉄等が各々の特性を考慮して適宜使用されたものと思われる。今回，明治橋調査の一貫として，これらの部材よりサンプルを採取し，化学成分，組織，機械的特性等の調査に供した。

4.1.2 供試サンプル

材料調査のため明治橋上部工から採取した供試サンプルは，高欄から 高欄支柱， ボルト・ナット（高欄支柱へのブレース取付部）， 高欄ブレース， 鉸桁から ウェブプレート， スティフナー， 主桁下フランジ， 対傾構，床版から底板として使用されているトラフ形鋼である。各供試サンプル採取位置を図-4.1.1 に，採取状況の代表例を写真-4.1.1 に示す。供試サンプルは 対傾構から採取したサンプルを除き，いずれも各部材から 30mm 程度切取り採取した。



高欄支柱



ボルト・ナット



ウェブプレート



主桁下フランジ



-1 対傾構



トラフ形鋼

写真 - 4.1.1 サンプル採取状況（代表例）

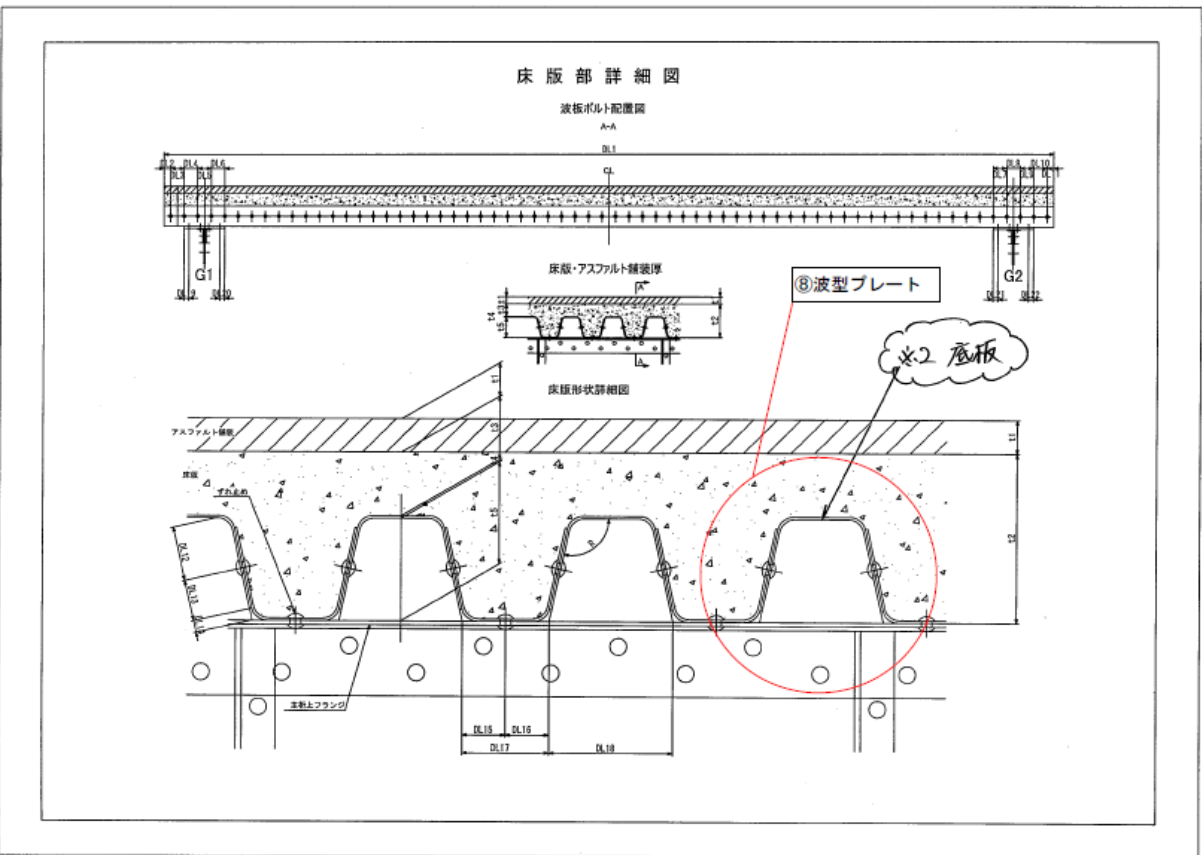
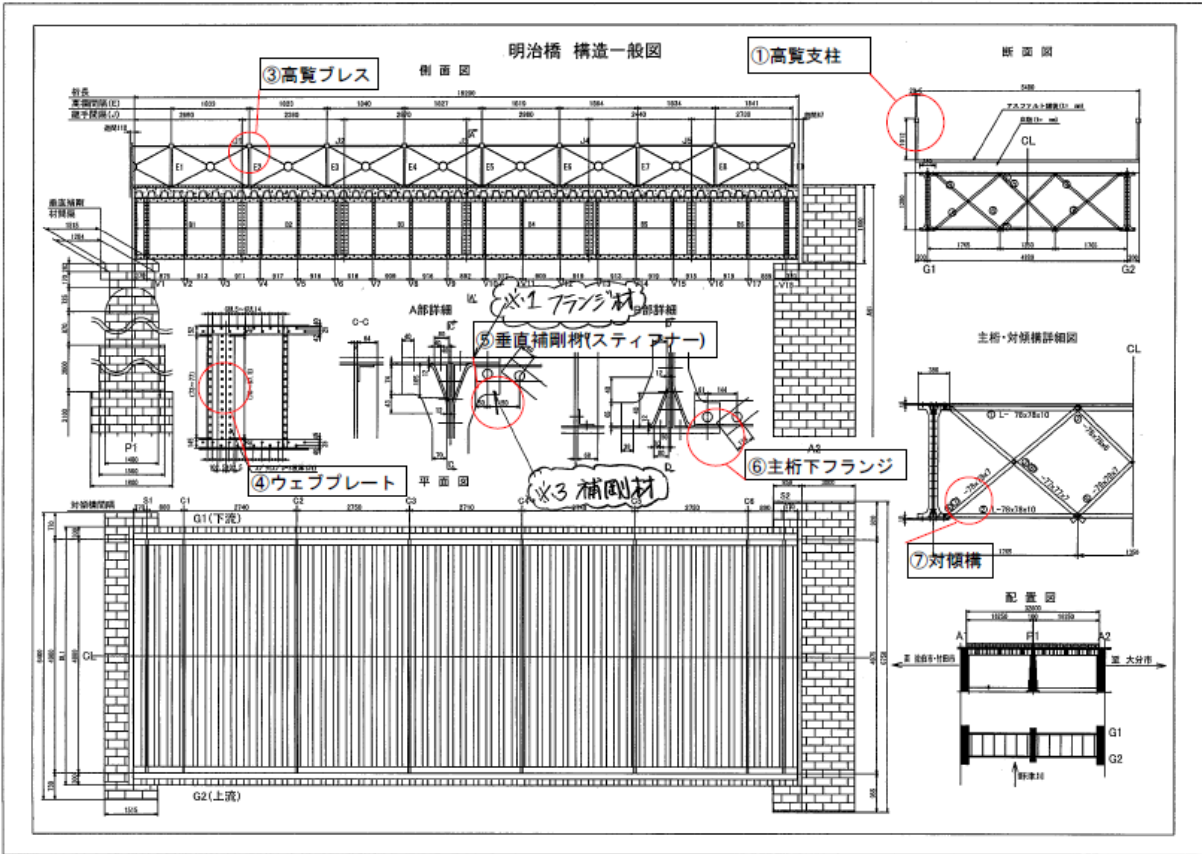


図-4.1.1 サンプル採取位置

4.1.3 調査項目と調査結果

限られた供試サンプル量から最大限の情報を得るべく以下の調査を行った。すなわち，(1)化学成分分析，(2)清浄度試験，硬さ試験として(3)ロックウェル硬さ試験，或いは(4)ビッカース硬さ試験，金属組織観察として(5)マクロ組織観察，(6)ミクロ組織観察，(7)介在物分析調査(EPMA)，(8)引張試験である。このうち，(7)介在物分析調査と(8)引張試験を除く(1)～(6)の調査は極少量のサンプルがあれば試験可能であり，基本的にはすべての供試サンプルについて実施した。(7)介在物分析調査については特徴的な介在物について，また(8)引張試験については引張試験片採取が可能な -1 対傾構（写真-4.1.2）から採取したサンプルについて実施した。試験項目一覧を表-4.1.1 に示す。

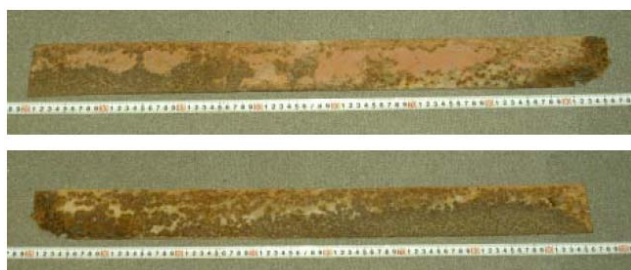


写真-4.1.2 -1 対傾構

表-4.1.1 試験項目一覧

調査項目	高欄支柱 高欄ブレース	ボルト ・ナット	ウェブプレート 主桁下フランジ	スティフナー -2 対傾構 トラフ形鋼	-1 対傾構
1) 化学成分分析					
2) 清浄度試験	-	-			-
3) ロックウェル硬さ試験	-		-	-	-
4) ビッカース硬さ試験	-				-
5) マクロ組織観察	-				
6) ミクロ組織観察					
7) 介在物分析	-	-		-	-
8) 引張試験	-	-	-	-	

(1) 化学成分分析結果

分析結果の一覧を表-4.1.2 に示す。高欄支柱と高欄ブレースはいずれも炭素(C)を 3.3%含む鑄鉄であった。材質的な性能よりも形状的な面を重視し，鑄造により比較的容易に種々の形状の部材を製造可能な鑄鉄を採用したものと思われる。ボルト・ナットは，炭素(C)含有量が 0.01%と比較的低く，珪素(Si)含有量も高くはない。また，マンガン(Mn)や銅(Cu)，ニッケル(Ni)，クロム(Cr)，モリブデン(Mo)，バナジウム(V)等の合金元素も添加されていない事から，化学成分的には強度が低く，また燐(P)，硫黄(S)の含有量がともに高いことから，特に硫黄(S)の効果により切削性は良好で当時のネジ切等の加工には適していたものと推定される。燐(P)が高い効果としては強度と耐候性が期待できるが，当時はまだ耐候性についての効果は知られてはいない。ウェブプレート，スティフナー，主桁下フランジ，対傾構については，炭素(C)含有量が 0.15～0.22%，マンガン(Mn)含有量が

表-4.1.2 化学成分分析結果一覧(%)

分析試料	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Nb	V	Ti	N	O
高欄支柱	3.32	1.88	0.4	1.53	0.1	0.43	0.05	0.06	0.001	0.002	0.16	0.11	-	-
-1ボルト	0.01	0.09	<0.01	0.447	0.038	0.01	0.04	0.001	<0.001	-	0.004	-	0.0077	-
-2ナット	0.01	0.17	0.02	0.374	0.116	0.04	0.03	<0.001	<0.001	-	0.003	-	0.009	-
高欄プレート	3.3	2.06	0.41	1.49	0.099	0.05	0.05	0.06	0.001	0.002	0.16	0.11	-	-
ウェブプレート	0.17	0.02	0.44	0.065	0.06	0.05	0.01	0	0.002	0.002	0.001	0.002	-	-
スリッパ	0.17	0.04	0.52	0.059	0.046	0.03	0.01	0.01	0.002	0.002	0.003	0.002	-	-
主桁下フランジ	0.17	0.02	0.46	0.059	0.056	0.04	0.01	0	0.002	0.002	0.002	0.002	-	-
-1対傾構	0.22	0.02	0.5	0.073	0.067	0.07	0.07	0.004	0.004	-	0.005	-	0.0027	0.0106
-2対傾構	0.15	0.02	0.41	0.057	0.056	0.04	0.01	0	0.002	0.002	0.002	0.002	-	-
波形プレート	0.11	0	0.42	0.113	0.065	0	0.01	0.01	0.003	0.002	0.007	0.002	-	-
SS400の実例	0.16	0.2	0.96	0.015	0.006	-	-	-	-	-	-	-	-	-
JIS G3101 SS400	-	-	-	0.040	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-
JIS G3106 SM400A	0.23	-	2.5×C	0.035	0.035	-	-	-	-	-	-	-	-	-

JIS G1257 鉄及び鋼-原子吸光分析方法, JIS G1258 鉄及び鋼-誘導結合プラズマ発光分析方法(ICP)
 JIS G1253 鉄及び鋼-λ²-X線放電発光分光分析方法(QV), 燃焼-赤外吸収法(JIS G1211,1215 付属書4)

0.41～0.50%の間であり、珪素(Si)含有量が0.02%である。その他の銅(Cu)、ニッケル(Ni)、クロム(Cr)、モリブデン(Mo)、バナジウム(V)等の合金元素は添加されていない(トランプエレメントレベル)であり、ほぼ、同一化学成分系であることから、同一の材質を狙って製造された同一成分目標の鋼材であると考えられる。また、燐(P)含有量が0.057～0.065%、硫黄(S)の含有量が0.046～0.060%と高いことが特徴的でJIS G3101 SS400 鋼の成分範囲である「0.040%以下」は満足していない。また、成分的特徴からマンガン(Mn)および若干の珪素(Si)によって脱酸されたリムド鋼として製造されたものと推察される。トラフ形鋼についても前述の鋼材と類似の化学成分であるが、炭素(C)含有量が0.11%と若干低めであること、珪素(Si)含有量が0.00%であること、また燐(P)の含有量が0.113%と一段と高いことなどの点で異なっており、前者とは異なる成分目標の鋼材で、マンガン(Mn)のみにより脱酸されたリムド鋼と考えられる。

表-4.1.3 清浄度試験結果(JIS G0555 鋼の非金属介在物の顕微鏡試験)

試験サンプル	板厚内位置	清浄度			
		d A	d B	d C	d
ウェブプレート	表面直下	0.108	0	0	0.108
	1/2 t	0.058	0	0	0.058
スリッパ	表面直下	0	0	0.012	0.012
	1/2 t	0	0	0.025	0.025
主桁下フランジ	表面直下	0.075	0	0.004	0.079
	1/2 t	0.096	0	0	0.096
-2対傾構	表面直下	0.021	0	0.017	0.038
	1/2 t	0.042	0	0.004	0.046
波形プレート	表面直下	0.008	0	0.012	0.021
	1/2 t	0.029	0	0.008	0.038

(2) 清浄度試験

清浄度試験は鋳鉄材を除くこの鋼材サンプルについて実施した。試験結果を表-4.1.3に示す。

ウェブプレートと主桁下フランジの清浄度は比較的高く(清浄性が悪い)、スリッパと対傾構、トラフ形鋼については前者より介在物の個数が少なく、清浄度も比較的良好と思われる。いずれの鋼も伸展した介在物が多数認められた。後述するEPMAによる分析で硫化マンガン(MnS)であることが確認されており、硫黄(S)の含有量が高いため、マンガン(Mn)と結びつき硫化マンガン(MnS)が多数生成し、これが熱間加工により

伸展したものと考えられる。また、その他の介在物としてはマンガンシリケート(Mn-Si-O)が確認されており、熱間加工で伸展せず破断した形態を示している。マンガンシリケートの存在は製鋼段階の主たる脱酸材がマンガン(Mn)、珪素(Si)であったことを示し当該鋼材がリムド鋼であった事を示している。

(3) ロックウェル硬さ試験

ボルト・ナットについては鋼材の強度レベルを把握するため、ロックウェル硬さ(HRB)試験を行った(表-4.1.4、写真-4.1.3参照)。測定は各サンプルについて3点測定し、平均値を求めた。結果は、ボルト・ナット各々82.0、73.5であり、引張強さに換算すると、概ね515 MPa、450 MPaで、強度的にはJIS G3101 SS400鋼、JIS G3106 SM400鋼(いずれも引張強さは400~510 MPa)と同レベルである。

表-4.1.4 ボルトおよびナットのロックウェル硬さ試験

試験サンプル	測定結果	平均値	JISによる 強度区分
	HRB		
ボルト	71.3	82	JIS B1501 4.8
	83.5		
	86.3		
ナット	68.4	73.5 (136HV)*	JIS B1502 4
	80.9		
	71.3		



写真-4.1.3 ボルトおよびナットのロックウェル硬さ試験位置

(4) ビッカース硬さ試験

ボルト・ナット・鋳鉄材以外の各部位については、ビッカース法により断面硬さ試験を行った。試験結果を図-4.1.2に示す。ウェブプレート、スティフナー、主桁下フランジ、-2対傾構、トラフ形鋼は、いずれもほぼ安定した板厚方向の硬さ分布を示しており、ビッカース硬さ(Hv500)で約125~160である。引張強さに換算すると415~525 MPaで、強度的にはJIS G3101 SS400鋼、JIS G3106 SM400鋼(いずれも引張強さは400~510 MPa)と同レベルである。

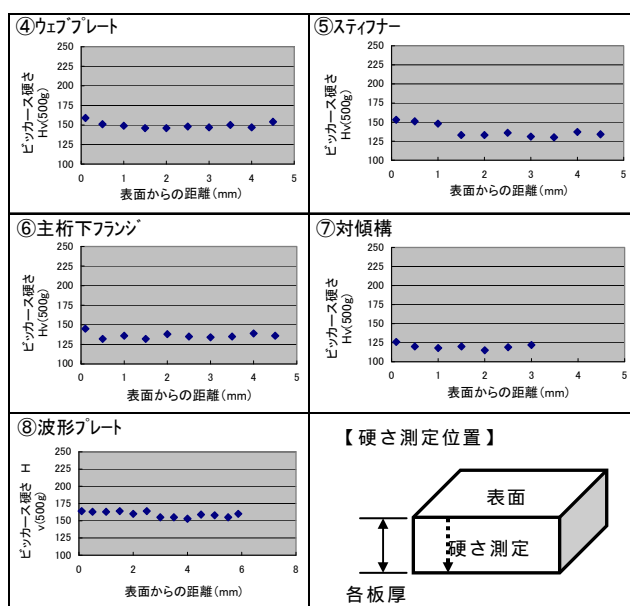


図-4.1.2 ビッカース硬さ試験結果

(5) マクロ組織観察

マクロ組織の観察は ボルト・ナット(写真-4.1.4), 主桁下フランジ, -1 対傾構(写真-4.1.5), トラフ形鋼について行った。

ボルト・ナットについては大型で多数の介在物が存在し, 前述の清浄度的には ウェブプレート, 主桁下フランジ, スティフナー, 対傾構, トラフ形鋼等とは比較にならない程汚いものである。ボルトの組織は軸方向と一致した筋状であり, 圧延あるいは押し出し形成されたものと考えられる。また, ネジ山の加工は, 介在物の著しい変形を伴っていないことから, バイトによる旋盤加工と考えられる。一方, ナットについては組織が不規則に流動しており, 鍛造による成型と考えられる。主桁下フランジ, -1 対傾構, トラフ形鋼については, 鋼材内部の割れ, 濃厚な偏析は認められず, ボルト・ナットのよ

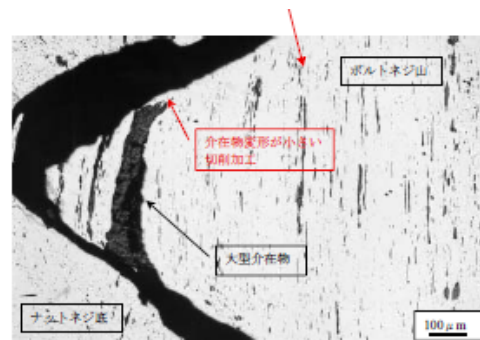
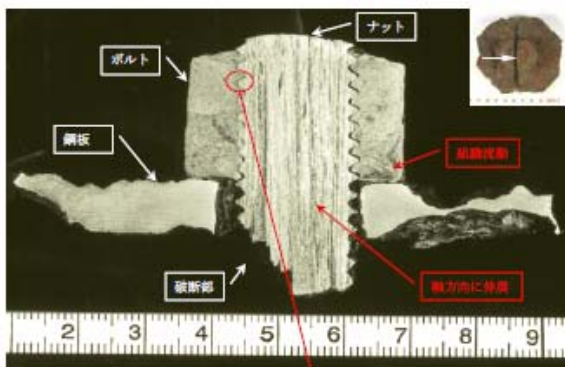


写真-4.1.4 マクロ組織(ボルト・ナット)

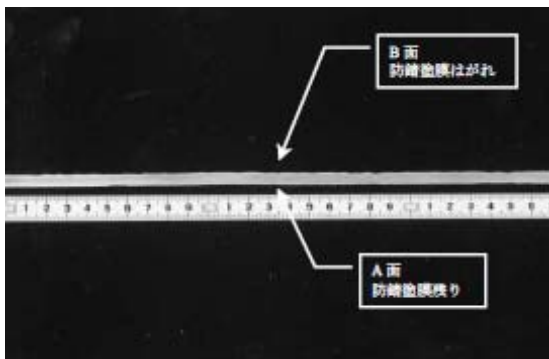


写真-4.1.5 マクロ組織(-1 対傾構)

(6) ミクロ組織観察

高欄支柱と 高欄ブレースについては, 黒鉛, フェライト, パーライトからなる鑄鉄のミクロ組織 [大平ら, 1963] を呈している(写真-4.1.6 参照)。ボルト・ナットについてはフェライト主体の組織に介在物が多数分布した組織を呈している(写真-4.1.7 参照)。化学成分およびマクロ・ミクロ組織から, 錬鉄(パドル炉鋼)と考えられる。介在物の数が多く, また大きさが他に比べ大きいのは半溶融状態での精錬に起因しているものと思われる。ウェブプレート, スティフナー, 主桁下フランジ(写真-4.1.8 参照), -1,2 対傾構(写真-4.1.9 参照)についてはいずれも同様なフェライト, パーライト組織である。

ウェブプレート, 主桁下フランジ, -1 対傾構についてはフェライトバンドを伴う組

織を呈しており，現状の SS400 鋼クラスの鋼材においても良く見られる一般的なミクロ組織であるが，フェライトバンドの形成については，燐(P)の偏析により発生することが知られている [門間ら，1969] . 特に写真-4.1.9 に示す -1 対傾構のミクロ組織については，フェライトバンドの幅およびパーライトの析出が表層側よりも板厚中心部で大きくなっており，燐(P)濃度が高いことと燐(P)および炭素(C)の偏析が関与しているものと考えられる [門間ら，1969] .

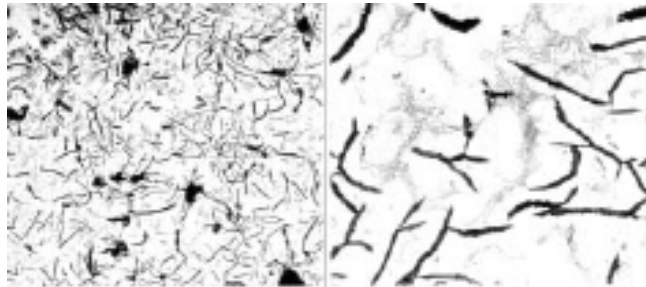


写真-4.1.6 ミクロ組織 (高欄ブレース)

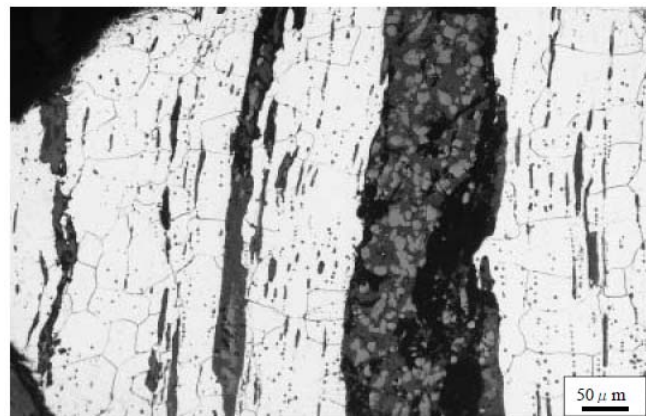


写真-4.1.7 ミクロ組織 (ボルト)

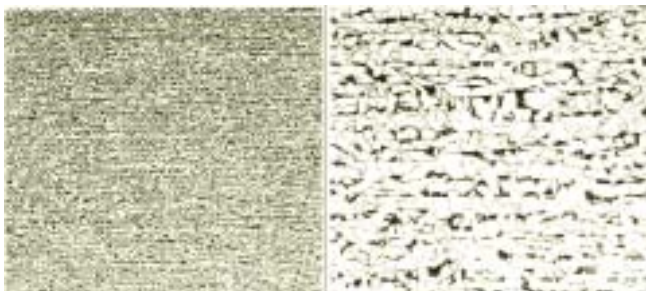


写真-4.1.8 ミクロ組織 (主桁下フランジ)

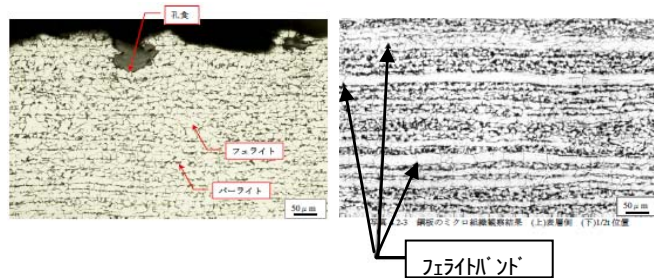


写真-4.1.9 ミクロ組織 (-1 対傾構)

(7) 介在物分析(EPMA)調査

介在物分析調査については、特徴的かつ代表的な介在物、すなわち ウェブプレート
 の1箇所(伸展した介在物)、主桁下フランジ2箇所(伸展せず破断した介在物と伸展した
 介在物)について EPMA 分析を行った(写真-4.1.10, 4.1.11 参照)。前述のごとく、分
 析の結果、伸展した介在物は硫化マンガン(マンガンサルファイド: MnS)であり、伸展
 せず破断した介在物はマンガンシリケート(Mn-Si-O)である事が確認された。

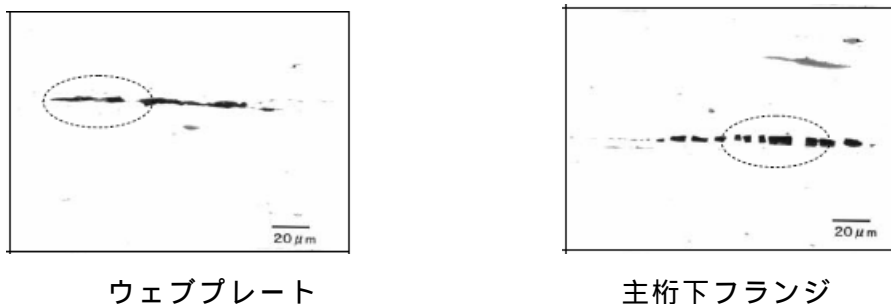


写真-4.1.10 介在物像

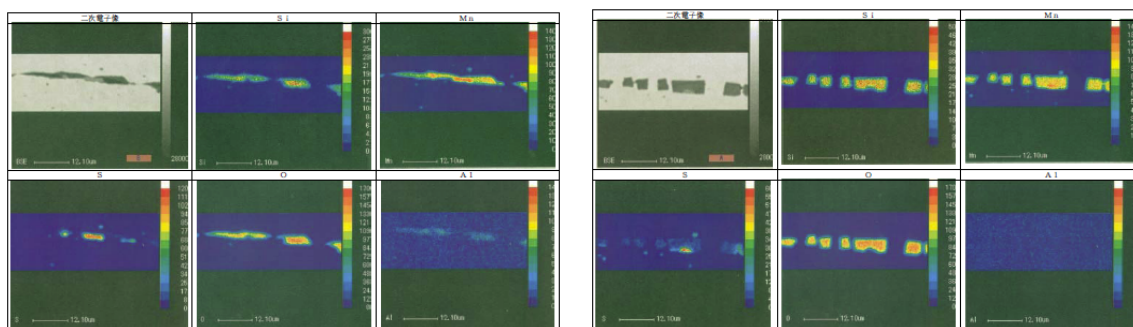


写真-4.1.11 EPMA (電子線マイクロアナライザー) 像

(8) 引張試験

引張試験については引張試験片採取および加工が可能な -1 対傾構に
 ついて実施した。試験結果を JIS
 G3101 SS400 鋼と対比して表-4.1.5、
 試験片外観を写真-4.1.12 に示す。
 試験結果は SS400 の規格値を充分満
 足しており、引張強度と降伏強度の
 比(降伏比)についても現状の鋼材
 と同レベルである。

表-4.1.5 引張試験結果

サンプル	上降伏点 (MPa)	下降伏点 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)
-1 対傾構	299	296	430	31
SS400 の実例	291	-	440	30
JIS G3101 SS400	245 以上		400 ~ 510	21 以上



写真-4.1.12 引張試験片外観

4.1.4 考察

明治 35 年 (1902 年) に建設された明治橋の各主要部材に使用された鉄・鋼材料を調査した結果、化学成分分析結果から、炭素(C)を 3.3%程度含む鑄鉄と炭素(C)を 0.2%程度含む炭素鋼、炭素(C)を 0.01%程度を含む錬鉄(パドル炉鋼)であった。炭素鋼についてはフェライト・パーライトを主体とする組織で、清浄度は比較的汚れており現代の鋼材の数倍から 10 倍程度の介在物が存在し、熱間加工の段階で伸展した多数のマンガンサルファイド(MnS)系介在物、伸展せず断裂したマンガンシリケート(Mn-Si-O)系介在物が存在している。化学成分、介在物の特徴等から、製鋼・鑄造段階では溶融精錬を行ったリムド鋼であったと考えられる。フェライトバンドの幅、パーライト析出等が板厚中心部で大きいことから、燐(P)および炭素(C)の偏析は板厚中心の方が大きいと考えられ、表面の鉄純度が高く、中心部程含有成分の濃度が高くなるリムド鋼の特徴を示している。なお、偏析は溶融状態から凝固する過程で生ずる特徴的冶金現象であり、またマンガンサルファイド(MnS)等の伸展した介在物の存在から、熱間で加工(圧延)されたことがわかる。対傾構から採取したサンプルで行った引張試験では降伏点(YP)=299MPa、引張強さ(TS)=430MPa、伸び=30%と JIS G3101 SS400 鋼の要求を十分に満足している。他の部材についても、硬さ試験の結果同レベルの硬さであり引張試験特性も類似したものであると推定される。ただし、燐(P)、硫黄(S)の含有量が高いため、化学成分的には JIS G3101 SS400 鋼の要求を満足していない。従って、低温靱性、溶接性は期待できない。しかし、リベット、ボルト・ナット等で接続し、溶接しない構造では、溶接割れ、溶接熱影響部の靱性劣化等を生じないため問題とならなかったものと思われる。錬鉄(パドル炉鋼)と考えられるボルト・ナットについては、炭素(C)が 0.01%と非常に低く、フェライトを主体とする組織で、燐(P)、硫黄(S)の含有量が高く、介在物も多量に含まれた鋼材で、他鋼材と比較して靱性等の品質面では劣る鋼材である。

4.1.5 まとめ

明治 35 年(1902 年)に建設された明治橋について、使用された主要な鉄・鋼製部材について詳細な調査を行い、当時の鋼材の製造方法、性能・品質レベルについて考察を試みた。今回調査の結果、明治橋には鋼、錬鉄(パドル炉鋼)、鑄鉄の 3 種類の材料が使用されていた。特に、鋼材については、燐(P)、硫黄(S)の含有量が高くまた介在物の存在も多いため、靱性、溶接割れ感受性等が相当劣位であったと推定されるが、最も基本的な要素である強度レベルについては概ね現在の構造用鋼と同レベルの鋼板であり、現在の橋梁用鋼板の仕様に繋がるものであったと考えられ、我が国における鋼製橋梁技術発展の歴史を確認する上でも、貴重な結果と思われる。

参考文献

大平，谷村 (1963)：鑄鉄，(社)日本金属学会，pp.3-5

門間，須藤 (1969)：鉄鋼材料とその熱処理，(社)日本金属学会，p.9，pp.27-29

大田孝二，深沢誠 (2000)：橋と鋼，pp.441-445

4.2 コンクリート

4.2.1 はじめに

明治橋は明治 35 (1902) 年に施工された鋼 2 主 I 桁橋であり，その床版はトラフ形鋼とコンクリートで構成されている．日本国内において明治から大正にかけて打設された長期材齢を経たコンクリートの詳細な解析例は少ない [セメント協会，1967；江川ら，1991；鳥居ら，1994；長瀧，1995；Katayama et al.，1999；山田ら，1998] ため，現地調査の際に床版コンクリートをコア抜きし，採取コアより圧縮強度試験を実施するとともに，強度試験後のコア試料を用いてコンクリートの各種分析を行った．

4.2.2 試験概要

(1) 試料

本橋はトラフ形鋼の上にコンクリートが載せられた，いわゆる合成床版を有する．今回，強度試験実施後のコア抜き試料 8 本 (75mm) を試験片として用いた．コア試料採取場所を図-4.2.1 に，強度試験結果を表-4.2.1 に示す．

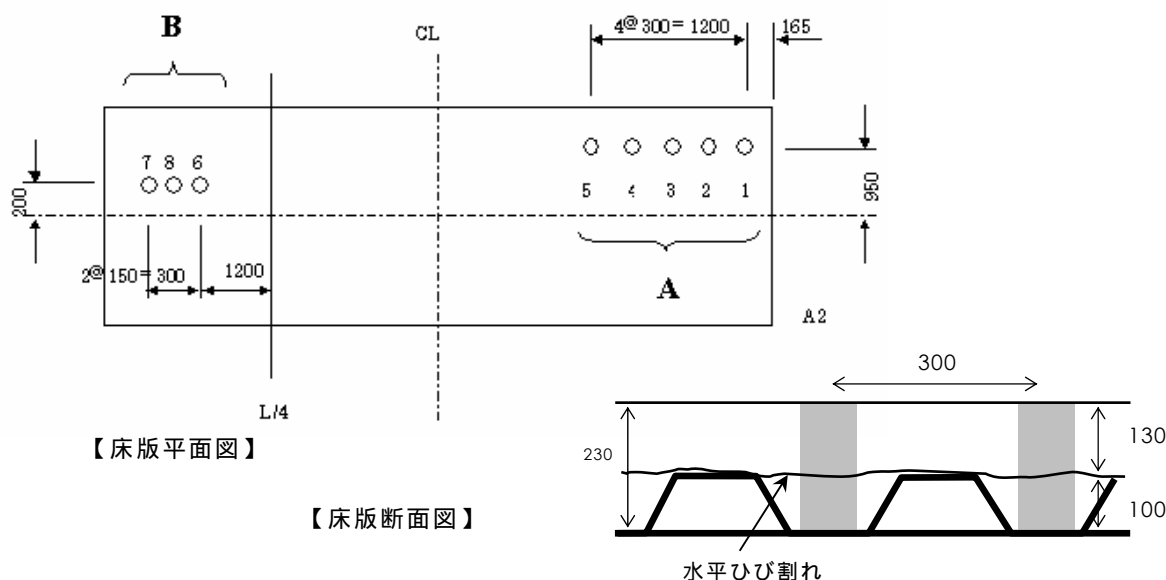


図-4.2.1 コア試料採取場所

表-4.2.1 コンクリート強度試験結果

試料	圧縮強度 (N/mm^2)	静弾性係数 ($\times\text{kN/mm}^2$)
A	No.1	18.7
	No.2	18.9
	No.3	18.6
	No.4	19.7
	No.5	25.4
B	No.6	24.8
	No.8	24.6

コアはコンクリート上面に亀甲状のひび割れが発生していない範囲(図-4.2.1 A部)およびひび割れが進展した範囲(図-4.2.1 B部)において、トラフ形鋼の谷部より採取されたものである。コンクリートはトラフ形鋼の上底面高さで水平ひびわれが進展し、上下に分割されていた。

コンクリートコアの圧縮強度は No.5 コアを除いて A 部の方が B 部よりも全体的に低くなっていた。そこで強度試験結果をもとに、コア採取場所(No.5 コアを除く A 部、および B 部)ごとに各種評価試験を行った。

(2) 試験項目

コアより分取したコンクリート片を用いて各種解析を行った。解析項目は 外観記載、モルタル部化学分析(湿式)、配合推定、気泡システムパラメータ、細孔径分布、粉末 X 線回折、SEM 観察、反射顕微鏡観察、EPMA である。

4.2.3 結果

(1) 使用材料の性状

1) セメントの化学組成

モルタル部の化学分析を JIS R 5202 に準じて実施した。分析結果を表-4.2.2 に示す。今回分析を行ったモルタル中には、細骨材として珪石の他に雲母片や種々の岩片を含んでいたため、セメント自体の正確な化学組成を推定することができなかった。

2) 配合推定

セメント協会コンクリート専門委員会報告[1967]に準じて、コンクリートの水中質量・表乾質量・絶乾質量・不溶残分・CaO 量・強熱減量を測定し、配合推定値を求めた。骨材の特性値は、同報告の細骨材および粗骨材の試験値(全国平均値)をもとに、s/a を 45% と仮定した全骨材に対する値を算出して用いた。計算結果を表-4.2.3 に示す。

表-4.2.2 モルタル部の化学組成

(%)	試料 A	試料 B
975 ig.loss	6.85	6.02
insol.	68.88	69.97
SiO ₂	6.07	5.72
Al ₂ O ₃	3.97	3.79
Fe ₂ O ₃	3.34	3.00
CaO	9.08	9.63
MgO	0.75	0.86
SO ₃	0.12	0.12
Na ₂ O	0.09	0.13
K ₂ O	0.33	0.34
Cl	0.002	0.008

表-4.2.3 配合推定結果

試料		A	B
配合推定値 (ig. loss 法)			
骨材量	(%)	82.3	82.0
セメント量	(%)	13.3	14.3
結合水量	(%)	4.4	3.7
単体量推定値 (ig. loss 法)			
単体骨材量 (表乾ベース)	(kg/m ³)	1759	1769
単体セメント量	(kg/m ³)	280	304
単体水量	(kg/m ³)	252	198
水セメント比	(W/C)	90	65

3) クリンカの特徴

コンクリート片を研磨し，未水和のまま残存していたセメント粒子について顕微鏡観察・EPMAによる組成分析を行った．結果を写真-4.2.1，表-4.2.4に示す．

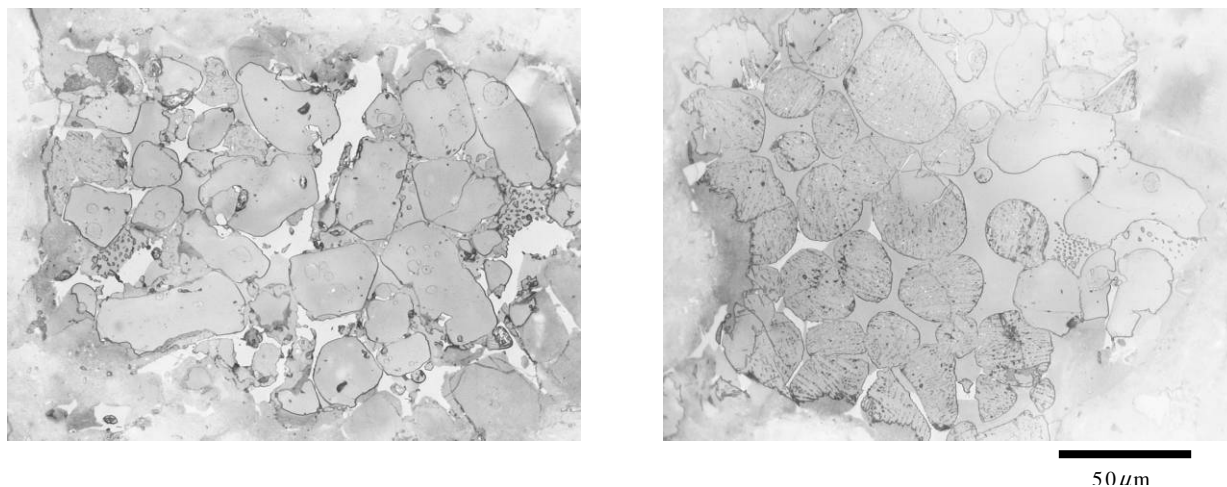


写真-4.2.1 モルタル部研磨面の光学（反射）顕微鏡写真／硝酸エタノールエッチング
写真中央結晶の輪郭がはっきりして見える部分が未水和のまま残存しているクリンカ，縁辺部は水和した部分．現代のセメントのクリンカ組織と大きな差はないが，空隙相が大型分離を示すなど徐冷されたクリンカ特有の組織を示している．

表-4.2.4 未水和セメント中クリンカ鉱物の化学組成（EPMA 測定値平均，wt. %）

鉱物相	エーライト		ビーライト		アルミネート相		フェライト相	
	A	B	A	B	A	B	A	B
試料								
CaO	72.12	72.04	65.44	64.21	59.78	57.39	48.51	48.20
SiO ₂	24.81	25.11	32.48	32.01	2.30	3.77	1.48	0.79
Al ₂ O ₃	0.73	0.73	0.63	1.28	33.15	31.76	20.84	24.69
Fe ₂ O ₃	0.50	0.56	0.27	0.55	2.99	2.95	21.58	19.17
MgO	0.81	0.93	0.06	0.12	0.29	0.32	2.35	1.51
Na ₂ O	0.13	0.16	0.20	0.26	1.07	2.72	0.06	0.01
K ₂ O	0.03	0.06	0.14	0.61	0.16	0.62	0.00	0.00
SO ₃	0.04	0.01	0.41	0.29	0.01	0.01	0.00	0.01
MnO	0.05	0.06	0.04	0.08	0.02	0.02	1.20	1.01
TiO ₂	0.18	0.16	0.27	0.28	0.07	0.10	1.85	0.87
P ₂ O ₅	0.08	0.05	0.09	0.12	0.02	0.00	0.02	0.01
Ca/Si	3.11	3.07	2.16	2.15				
Al/Fe					17.38	16.83	1.51	2.02

試料中には 100 μ m を超える粗粒クリンカ粒子がまだ多く残存しており，使用されたセメントは現在のものと比べ粒度が粗かったことがわかる．エーライトは 30～100 μ m 程度の大きさで，比較的丸みを帯びた不定形状を呈するものが多くみられた（写真-4.2.1）．ビーライトは 10～50 μ m 程度の大きさであり，一部点線線状や櫛歯状凹凸を伴う I～Ia 型ビーライトであった．また空隙相はきわめて大型のフェライト相・アルミネート相より成る．

こうしたクリンカ組織は，長時間焼成・徐冷時にみられるものであり，当時日本国内においてセメント製造に使用されていた竖窯による焼成の特徴を示しているものと考えられる．

各鉱物の化学組成をみても、現代のロータリーキルンクリンカの一般的な組成に概ね近い値を示していた。エーライトは、現代のものとは比べ Na 量が若干高く、Al、S 量などがわずかに低い傾向が認められた。ピーライトについては Fe、Mg 量がかなり低く、K 量も若干低い傾向が認められた。また、同時代（明治 32、42（1899、1909）年）のセメントに関する研究 [Katayama et al. , 1999] で報告されていた値と比較してみると、アルミネート相中の Na 量は総じて低く、本セメント中にはアルカリアルミネートが含まれていなかったことが確認された。

4) 骨材

コンクリート中に含まれている粗骨材はおおよそ 10～30mm 程度の大きさでいずれも比較的円磨度が高い形状を呈しており、川砂利であると思われる。目視により簡易的に岩種判定を行った結果、コンクリート中に含まれる骨材の岩種は、泥岩、砂岩、風化した安山岩～玄武岩、石英脈片、緑色岩などであった。本橋周辺の岩層分布と比較して考えると、骨材にはおそらく周辺地域の川砂利が使用されたものと推察される。

(2) コンクリート組織

1) 外観的特徴

コア切断面の状況を写真-4.2.2 に示す。コンクリートコアは、水平ひび割れがみられる部分を除いては比較的硬質な状態であった。しかし骨材界面など局所的に空孔の非常に目立つ部分も認められた。また水平ひび割れ近傍においては白色析出物が顕著に認められた。白色析出物は空隙を埋めるようにして生成しており、空隙中に二次的に析出してできたものと推察される。アルカリ骨材反応に関しては、その形跡は認められなかった。

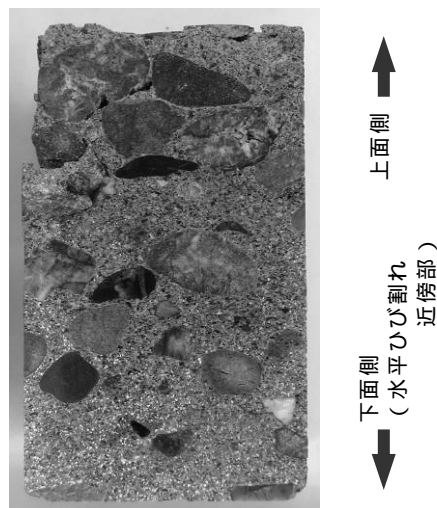


写真-4.2.2 コア垂直断面

2) 細孔構造

コンクリートの細孔構造を調べるため各試料について細孔径分布および気泡システムパラメータ測定を行った。細孔径分布は水銀圧入式ポロシメータにより測定した。気泡システムパラメータ測定については、リニアトラバース法により ASTM C 457 に準拠して実施した。本試験では耐久性に大きな影響を与える気泡間隔係数に重点を置いたため、球状

の独立気泡のみの測定を行い、粗骨材中の微細空隙、ブリーディング等により生じた空隙、あるいは締め固めの程度に起因した空隙等はカウントしていない。なお、今回の試料では配合等の詳細が不明であるため、セメントペースト体積百分率には仮定値を用いた。細孔径分布図を図-4.2.2に、気泡システム測定結果を表-4.2.5に示す。

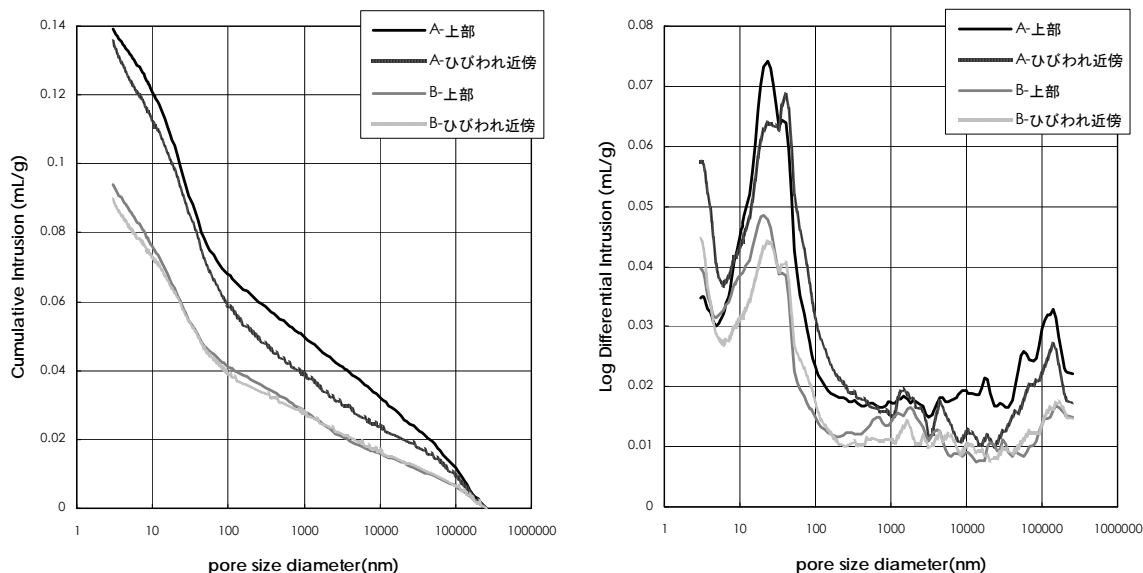


図-4.2.2 各試料の細孔径分布図

表-4.2.5 気泡システムのパラメータと空気量 (試料 A)

パラメ - ター	単位	測定結果
気泡の比表面積	mm ⁻¹	34.4
単位長さあたりの気泡個数	個/mm	0.020
空気量	%	0.24
気泡間隔係数	mm	527

ペースト量を 30vol.%として算出した値

試料ごとに細孔構造を比較してみると、試料 B よりも A の方が全体的に空隙量が多く、よりポーラスな組織であることがわかった。両者のこの細孔構造の違いが、コアの採取場所による圧縮強度の違いに影響しているものと思われる。

また水平ひび割れ近傍では、その他の部位と比べ 20nm 前後の空隙量が少なく、40~50nm 前後の空隙量が多いという傾向が認められた。

3) 水和生成物

水和生成物の同定のため、モルタル部分の粉末 X 線回折および破断面の SEM 観察を行った。粉末 X 線回折測定には、極力細骨材を取り除くよう配慮しながら粉砕したモルタル片を測定に用いた。また、水和物の化学組成を EPMA によって簡易的に測定した。

粉末 X 線回折測定結果を図-4.2.3に示す。同図より、コンクリート中の水和物として、C-S-H や C-A-H、エトリンガイトなどが認められた。また水酸化カルシウムのピークは認められず、そのほとんどが炭酸化によりバテライトへと変化していることがわかった。

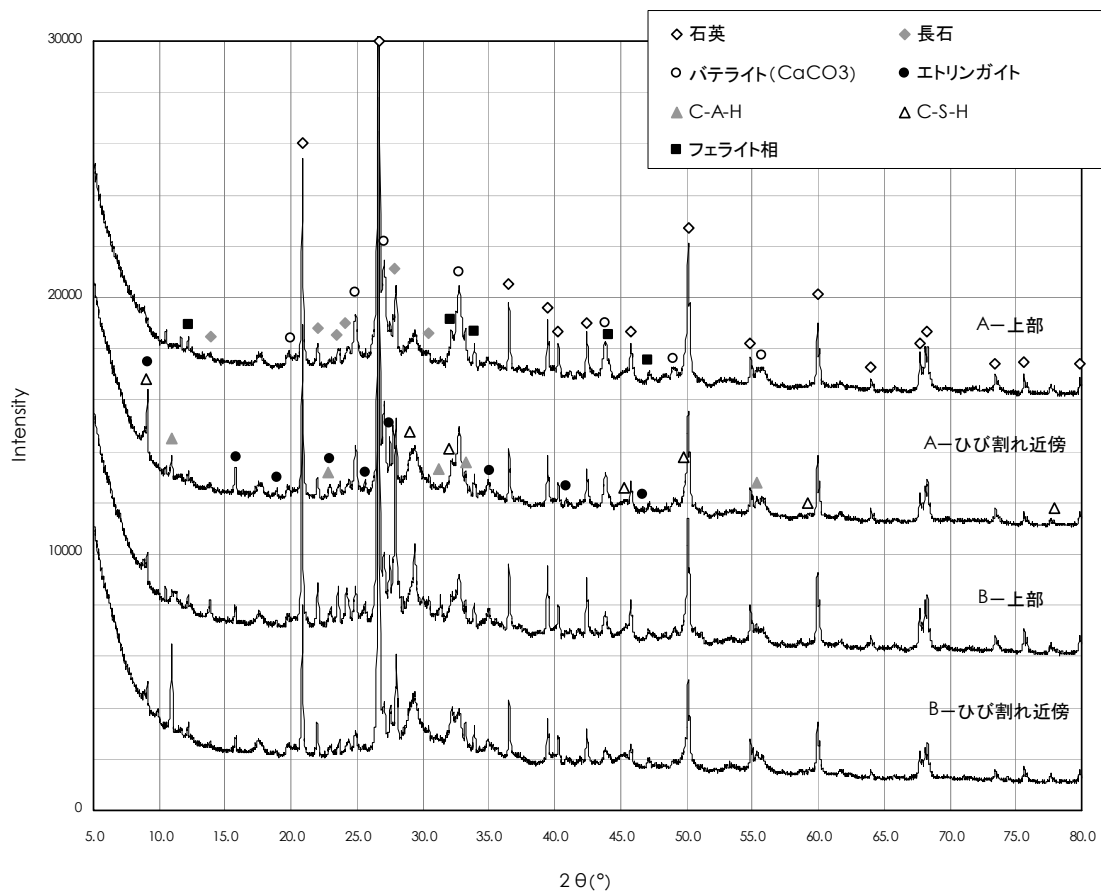


図-4.2.3 モルタル部の粉末 X 線回折図

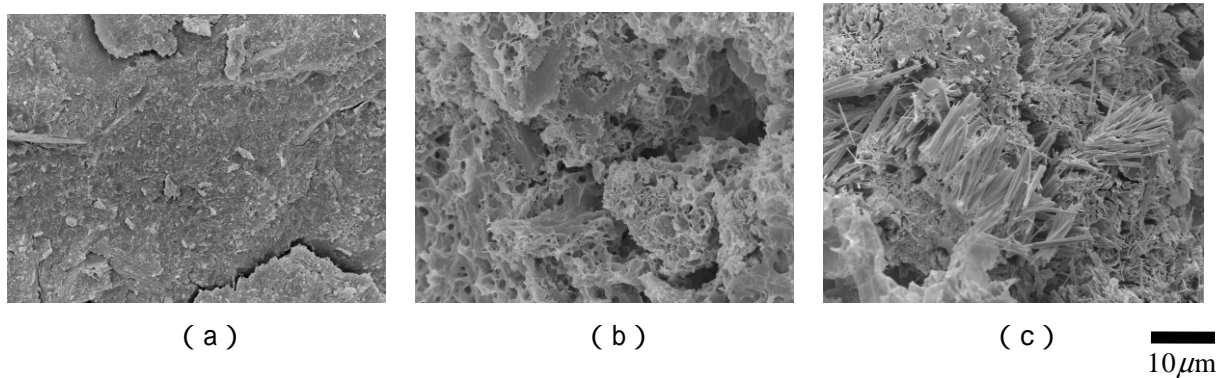


写真-4.2.3 モルタル部破断面の SEM 像

- (a) コア試料は概ね緻密な硬化体組織を呈している。
- (b) 蜂の巣状のポーラスな組織が局部的に認められる。
- (c) 空隙内の白色析出物。エトリンガイトやカルシウムアルミネート系水和物が生成している。

コンクリートの破断面を SEM によって観察した結果を写真-4.2.3 に、水和物の組成分析結果を表-4.2.6 に示す。ペースト部は基本的に緻密な組織を呈しており、硬質な硬化体が形成されていることがわかる(写真-4.2.3 (a))。水和物は主に Ca/Si 比が 1.2~1.5 の C-S-H であった。しかし一方で、目視で確認されたような局部的に空孔の発達した部分においては、写真-4.2.3(b)に示すように蜂の巣状のポーラスな組織が認められた。これは外

部から供給された水(雨水など)によるペースト分の溶脱の痕跡であると思われる。また、水平ひび割れ近傍で多く認められた白色析出物は主に写真-4.2.3(c)に示すような針状結晶であった。これらの針状結晶は EPMA による組成分析結果より、エトリンサイトやカルシウムアルミネート系水和物であることが確認された。これらは、水平ひび割れより水が豊富に供給されることにより硬化体内部から Ca^{2+} や Al^{3+} が拡散し、気泡内に二次的に水和物が生成したものであると推察される。

表-4.2.6 水和物の化学組成 (EPMA 測定値平均)

(wt.%)	エーライト 内部水和相	ビーライト 内部水和相	空孔内 析出物
CaO	42.07	42.07	45.34
SiO ₂	32.47	32.47	0.00
Al ₂ O ₃	4.45	4.45	23.30
Fe ₂ O ₃	0.89	0.89	0.09
MgO	2.04	2.04	0.01
Na ₂ O	0.01	0.01	0.01
K ₂ O	0.01	0.01	0.01
SO ₃	0.31	0.31	7.97
MnO	0.07	0.07	0.02
TiO ₂	0.28	0.28	0.02
P ₂ O ₅	0.11	0.11	0.01

4.2.4 まとめ

明治橋の床版コンクリートについて各種解析を行い、その性状を調査した。調査結果よりわかった床版コンクリートの特徴および現在の劣化状況について以下にまとめる。

(1) 使用材料

- ・ コンクリートに使用されたセメントは、現代のものに比べ粒度が粗く、まだ未水和のまま残されている部分が多く認められた。
- ・ クリンカを構成する鉱物は現代のものと同様であった。クリンカの組織は長時間焼成・徐冷時に認められる特有の組織を示していた。これは当時国内において使用されていた竖窯によって焼成されたクリンカの特徴であると考えられる。
- ・ コンクリートに使用された粗骨材は泥岩、砂岩、安山岩等であり、その形状などから周辺地域の川砂利が使用されたものと推察される。

(2) コンクリート組織、劣化の状況

- ・ 全体的にみると、比較的緻密で硬質なコンクリートといえる。ただし水平ひび割れから供給された水による局所的な溶脱の影響が認められ、部分的に脆弱になっている。
- ・ 橋台に近い側でよりポーラスな組織となっており、その影響によりコア強度が橋脚側に比べ低くなっている。
- ・ 炭酸化は進行しており、水酸化カルシウムのほとんどはパテライトに変化している。
- ・ 目視による観察結果および粗骨材の岩種、使用されていたセメントの化学組成から、アルカリ骨材反応は起こっていないと考えられる。

参考文献

- セメント協会コンクリート専門委員会(1967): 硬化コンクリートの配合推定に関する共同試験報告
- 江川顕一郎, 中村隆幸, 千代田将明(1991): 材令80年のダムコンクリートについて, コンクリート工学, Vol.29, No.2, pp.13-19
- 鳥居和之, 上田信二, 西本俊晴, 川村満紀(1994): 80数年経過した鉄筋コンクリートアーチ橋(石川橋)の解体調査, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.16, No.1, pp.983-988
- 長瀧重義監修(1995): 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
- 山田周平, 稲田達夫, 塚谷秀範, 早川光敬, 古賀康男(1998): 歴史的建造物“東京・丸ビル”に使われたコンクリート - その解体調査より, セメント・コンクリート, No.629, pp.28-36
- K. Katayama and K. Sakai(1999): Petrography of 100-year-old concrete from Otaru port, Japan, the 2nd International Conference on Concrete under Severe Conditions, pp.250-261

5. 保存に対する地域住民の意識調査

5.1 はじめに

本章では、2004（平成 16）年 11 月上旬に実施した住民を対象としたアンケート調査の結果を述べる。このアンケート調査は、まず保存活動の第一段階として、明治橋に関する文献や情報の提供の呼びかけを行った後、第二段階として保存活動や補修計画に周辺住民の意見を取り入れるための意識調査を行うため実施したものである。そしてこれらにより、今後の明治橋の保存活動の方向性を示すことを最終的な目標とした。

5.2 調査の概要

明治橋は文献や情報の不足によって未だ謎とされている部分が多く残っている [岡崎, 2004]。また、今後明治橋を保存していくにあたり、我々は保存活動を専門家のみで見地に偏ることなく住民とともに進めていくため、地域の人々が明治橋についてどのような思いを持っているのかを知ることは必要であると考えた。

そこでアンケート調査に先立ち、明治橋の保存に対する大分県や旧野津町の見解や状況を把握するために担当者への面談を行った。さらに、郷土史家である大分県在住の岡崎文雄氏からの協力も仰ぎながら、2004（平成 16）年 11 月上旬、旧野津町において住民に向けたアンケート調査を行った。内容は、明治橋に関する文献・史料や情報提供の呼びかけおよび住民の意識調査である。また、アンケート配布直後に、旧野津町主催の「町民大学」において、町民に対して明治橋の歴史や特徴を説明し、保存活動への協力を依頼した。

意識調査では、土木遺産としての価値を地域の人たちに認識していただく意味も込め、明治橋の知名度や文化財としての認知度、イメージについて調査した。図 - 5.2.1 にアンケート内容を示す。対象は、旧野津町全戸 2896 戸（132 地区）である。その結果 669 戸を回収し、回収率 23.1%というアンケート調査としては高い結果を得た。回答者内訳は、男性 56%、女性 36%であった。また、年齢層は 50 代が 28%と最も多く、60 代が 21%、70 代が 17%と続いた [山口ら, 2005],[山口ら, 2006]。

明治橋の保存についてのアンケート



九州大学

協力：野津町，土木学会

図 - 5.2.1(a) アンケート原本

平成 16 年 11 月 20 日

各位

明治橋建設の歴史調査に関するアンケートのお願い

明治橋は野津町大字野津市、国道 10 号の旧道に位置し、明治 35 年(1902 年)に完成した橋です。今年で 103 年目の鋼(はがね)を使った橋で、この形式の道路橋としては日本最古です。平成 3 年には、野津町の有形文化財に指定されました。

このように歴史的にも貴重であるこの橋を使い続けながら、同時に保存していくため、土木学会では明治橋分科会を立ち上げ、九州大学を含め、現在補修・保存のための活動を行っております。これは将来、明治橋を国の指定有形文化財とすることも目標としています。この活動を進めていくにあたり、近代土木遺産としての明治橋の価値の評価を認識することはきわめて重要です。

明治橋は石橋が数多く現存する大分県の中で、鋼橋という異例の橋ですが、極めて史料や写真が少なく、架橋当時については謎が多く残っています。つきましては、野津町の皆様にこの活動の趣旨をご理解していただき、明治橋についてみなさんがどのように感じてもらえるかお教えいただくと同時に、情報提供をしていただきたく思います。大変お手数ですが、ご協力よろしくお願いたします。

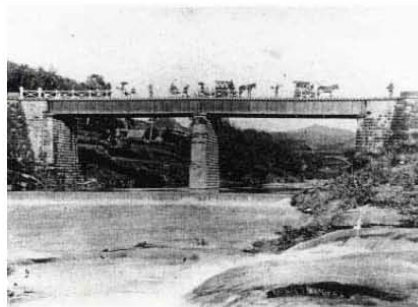
九州大学大学院工学研究院

教授 日野 伸一

図 - 5.2.1(b) アンケート原本

明治橋

明治橋は明治 35 年（1902 年）に完成した野津川にかかる橋です。石橋が数多く残る大分県、野津町において明治橋は鋼（はがね）で作られており、道路橋としては日本最古の非常に珍しい橋です。現在でも歩道橋として使われていて、今年で 103 年目になります。平成 3 年には野津町の指定文化財となりました。今後、国指定の重要文化財にしていこうという動きもあります。



開通式の様子



現在の明治橋



明治橋の位置



石積みの橋脚



高欄（欄干、手すり）



明治橋全景

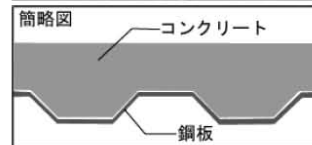


独特の橋桁

●合成床版(ごうせいしょうばん)とは

波型の鋼板の上にコンクリートをのせた橋の床の部分のことをいいます。明治橋は現存する日本最古の合成床版を用いた橋です。現在ではこの形式の橋がもっとも多く使われています。

このような意味でも、明治橋は日本の橋の歴史を知る上での貴重な土木遺産であると言われています。



●明治橋についての謎

明治橋にはまだわかっていないことがたくさんあります。

① **大分県で明治期に完成した橋は石橋ばかりなのに、なぜ明治橋は鋼(はがね)で作られたのか？**

明治 35 年(1902 年)に大分県で開催された第 9 回西南実業大会(万博)のデモンストレーションのために作られたと推測されていますが、まだわかっていません。

② **前例がない合成床版(ごうせいしょうばん)をなぜ採用したのか？**

今のところ理由はわかっていません。

③ **製作者は誰なのか？**

大阪鉄工所(現・日立造船)製造という史料がありますが、確証はありません。

④ **材料はどこから調達したのか？**

イギリスの鉄鋼会社の刻印が明治橋の鋼(はがね)の裏から発見されましたが、確証はありません。

まだこの他にも多く謎が残っています。

* アンケート回答に関するお願い

明治橋は貴重な構造物であり、同時に謎が多く残る橋です。このアンケートは、明治橋についての皆さんの思いをお聞きするとともに、一つでも明治橋の謎が解けることを願って行っています。ご家族の中でも、**できるだけ明治橋についてご存知の方が回答していただけるよう**、よろしく願いいたします。

なお、回答後は 4~7 ページを点線より切り離し、12 月 17 日(金)までに地区長様へお渡しください。

明治橋の保存についてのアンケート

1

問1. あなたは明治橋を知っていますか。

①はい ②いいえ ⇨ 「いいえ」の方は問7以降をお答えください。

問2. あなたは明治橋を利用したことはありますか。

①はい ②いいえ ③利用したことはないが利用してみたい

問3. 明治橋は明治35年に完成した橋で、今年で103年経過していると知っていましたか。

①はい ②いいえ

問4. 明治橋は現存する合成床版(3ページ参照)を使った道路橋としては日本最古だということを知っていましたか。

①はい ②いいえ

問5. 明治橋に対するイメージを教えてください。(複数可)

①重厚 ②美しい ③周囲の雰囲気合っている
④周囲の雰囲気合っていない ⑤古くて汚い
⑥変わっている ⑦珍しい ⑧その他()

問6. 明治橋は野津町の指定文化財だということを知っていましたか。

①はい ②いいえ

問7. 明治橋を引き続き重要な文化財として保存していくべきだと思いますか。

①はい ②いいえ ③どちらでもいい

問8. 問7で「はい」と答えた方、それはなぜですか。(複数可)

①土木遺産として優れた橋だと思うから ②野津町の貴重な財産だと思うから
③何となく好きだから ④周囲に溶け込んでいるから
⑤形がユニークだから ⑥思い出があるから ⑦関心はないが義務だと思うから
⑧その他()

問9. 問7で「いいえ」と答えた方、それはなぜですか。(複数可)

①橋としての必要性がないから ②古くて汚いから
③土木遺産に関心がないから ④保存のために補修費が必要だから
⑤危険だから ⑥その他()

問 10. 下の写真をご覧ください。デザインや色など、どのような観点でもいいのでそれぞれの部分についてどのように感じますか。



- (1) 橋脚について
 ①良い ②悪い
 それはなぜですか? _____
- (2) 橋桁について
 ①良い ②悪い
 それはなぜですか? _____
- (3) 床版(橋の床)について
 ①良い ②悪い
 それはなぜですか? _____
- (4) 高欄(欄干、てすり)について
 ①良い ②悪い
 それはなぜですか? _____

問 11. あなた自身のことについて、お答えがなければお答えください。

- 性別
 ①男 ②女
- 年齢
 ①10代 ②20代 ③30代 ④40代 ⑤50代 ⑥60代 ⑦70代 ⑧80代以上
- ご職業
 ①自営業 ②会社員 ③公務員 ④主婦 ⑤学生 ⑤無職
 ⑥その他 ()

図 - 5.2.1(f) アンケート原本

2

問1. 明治橋について、昔の写真、架設当時の史料をお持ちですか。もしくは当時のことをご存知ですか。

- ①写真を持っている ②史料を持っている ③当時のことを知っている
④写真もしくは当時の史料や情報を持っている人を知っている ⑤いいえ

問2. 第9回西南実業大会（明治35年）について、史料をお持ちですか。もしくは当時のことをご存知ですか。

- ①史料を持っている ②当時のことを知っている
③史料もしくは情報を持っている人を知っている ④いいえ

問3. 明治橋は一度（昭和25年ごろ）塗り替えられたといわれています。そのことについてご存知ですか。

- ①史料を持っている ②当時のことを知っている
③塗り替えられる前の色を知っている ④塗り替えられた後の色を知っている
⑤史料もしくは情報を持っている人を知っている ⑥いいえ

問4. 完成当時、床はコンクリートでしたが、その後土砂がかぶせられ大きくかさ上げがされています。いつごろ変わったかご存知ですか。

- ①史料を持っている ②当時のことを知っている
③史料もしくは情報を持っている人を知っている ④いいえ

問5. 現在、明治橋の床は平らに補修されましたが、以前は陥没していました。いつごろ陥没したかご存知ですか。

- ①史料を持っている ②当時のことを知っている
③史料もしくは情報を持っている人を知っている ④いいえ

問6. 今年3月の調査の際、河床から親柱が1本発見されました。元々は4本あったので、あと3本の行方がわかりません。そのことについてご存知ですか。

- ①在り処を知っている ②在り処を知っている人を知っている
③以前、見たことがある ④いいえ

図 - 5.2.1(g) アンケート原本

問 1～6について

情報をご提供できる方はご連絡先を教えてください。

(尚、個人情報は厳重に保管し、第三者に開示することは一切ありません。)

ご氏名 _____
ご住所 ㊦ _____
電話番号 _____

ご協力ありがとうございました。

図 - 5.2.1(h) アンケート原本

5.3 文献・史料および情報提供

文献・史料については提供されなかったが、明治橋についていくつかの情報を得ることができた。

建設の理由については、2つの情報が寄せられた。1つ目は架設当時大分県佐伯市に軍事基地があり、軍事的な見地から道幅の広い強い橋が求められ、鉄鋼を用いた橋が架けられたという説である。2つ目は、当時旧野津町を通過する鉄道の敷設計画が持ち上がり、将来鉄道橋への転用を見越して鉄鋼製にしたという説であった。これらはどちらも可能性がある情報であると思われるので、今後検証が必要である。

また1947（昭和22）年当時、橋面はコンクリートではなく、すでに土砂利であったという情報を得た。よって、少なくとも昭和22年以前に床版上に土砂が被せられたと考えられる。

桁の塗り変えについては、これまでは約50年程前というだけで確証はなかった。しかし今回、当時実際に塗装職人に宿泊地を提供した方から話を聞くことができ、1950（昭和25）年にほぼ間違いのないという結論に達した。その時塗装された色については、現在の色から錆を除いた朱色に近い色であったということがわかった。今後は情報提供者に色のサンプルを提示するなどして、実際の色を把握し、補修計画の参考にするつもりである。

5.4 住民の意識調査

アンケート結果について、図-5.4.1によると、明治橋を知っている人は94%であった。また、明治橋を知っている人の中で103年目の橋であることを知っている人は24%、現存する合成床版を利用した道路橋としては日本最古であることを知っている人は17%であった。また、アンケート実施当時は野津町指定有形文化財であり、そのことを知っている人は47%と予想以上に知られていることがわかった。今後も明治橋を引き続き重要な文化財として保存していくべきであるとした人は73%であり、保存すべきではないと答えた人はわずか2%であった。また、明治橋を知っている人の中では75%、明治橋を知っている且つ野津町有形文化財だと知っている人の中では86%と、割合が増加していることが確認できた。このことより、明治橋について情報を知っていればいるほど、保存に積極的である傾向となった。

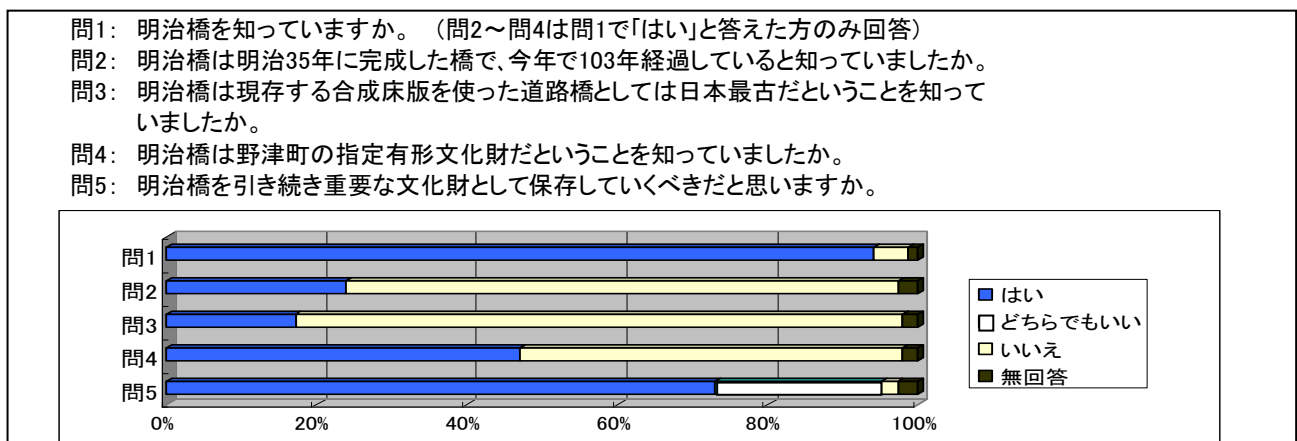


図 - 5.4.1 アンケート結果

保存すべき理由を図 - 5.4.2 に示す。「野津町の貴重な財産だから」、「土木遺産として優れているから」という意見が多かった。また年配の方になるほど「思い出があるから」という意見が見られ、明治橋が野津町の中心部に位置し、また国道にかかる橋梁のため、人々の利用頻度が高かったことが伺える。また、保存すべきでないとする理由を図 - 5.4.3 に示す。その中では、「保存のために補修費が必要だから」、「危険だから」という意見があった。また、「橋としての必要性がないから」という意見については、明治橋の隣に新明治橋が架設されているためだと考えられる。

また、明治橋を知っている人に明治橋のイメージを聞いたところ(図 - 5.4.4)、「珍しい」という意見が最も多く、次いで「重厚」であるという意見であった。石橋が多く存在する旧野津町において、明治橋は特異な存在であるのではないかと考えられる。次に「周囲と合っている」という意見も多く見られた。

また、橋脚・橋桁・床版・高欄の各部材についてのイメージや考えを聞いた(図 - 5.4.5)。総じて各部位に対する評価は高いが、特に橋脚についてはほとんどの人が「良い」と答えている。一方、高欄や桁については、「悪い」と答えた人の割合が大きいくことがわかる。橋脚については「石積みがきれい」だとして人気が高く、なじみがあるものとして住民の目に映っているようである。橋桁は「珍しく独特である」という意見が目立った。しかし腐食が目立ち、補修が必要ではないかという意見も多く見られた。床版については日本最古ということもあり、技術を評価する声が多かった。高欄は高さが低く、損傷も大きいため補修が必要だが、レトロな感じがして良いとする人が多く見られた。

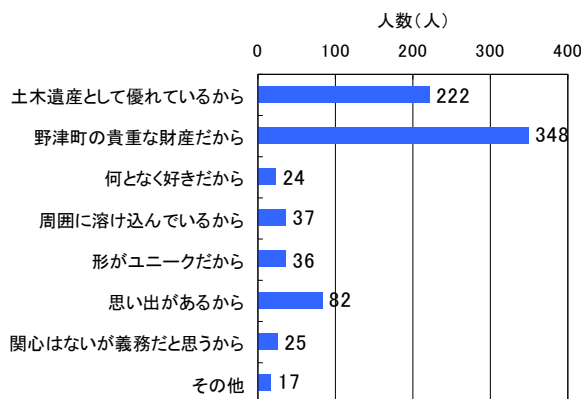


図 - 5.4.2 明治橋を保存すべき理由

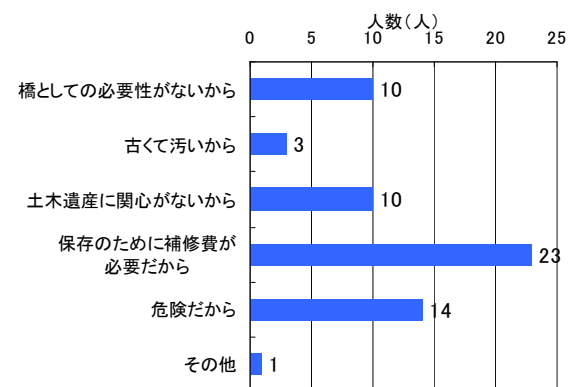


図 - 5.4.3 明治橋を保存すべきでない理由

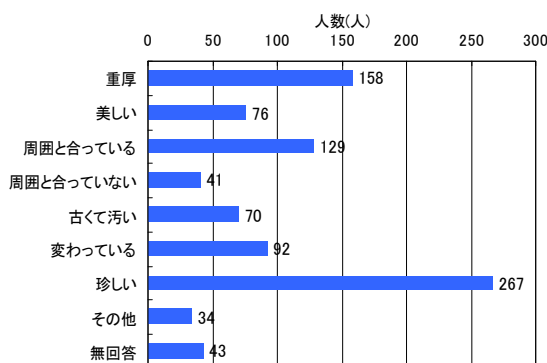


図 - 5.4.4 明治橋に対するイメージ

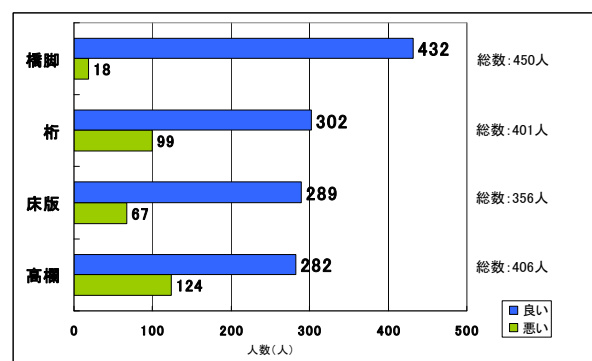


図 - 5.4.5 各部位に対する評価

その他の意見として、「明治橋についてよく知らなかったがこんなに美しい橋が野津町にあることをこのアンケートで知りました。是非大切に保存していくことが住民の義務だと思います。」、「歩道の人と自転車に乗る人がとても安全でよいので絶対に壊さないでください。」等の考えもお聞きした。新明治橋には歩道がなく、歩者、自転車利用者は明治橋を利用しているようである。また、特に年配の方々から懐かしいなどの思い出の話を聞くことができ、103年間現在の場所で人々の生活の中で使われ、この地域に根ざしたものであるということがわかった。

5.5 まとめ

今後は住民からの情報提供により得られた建設理由の仮説などを元に、多方面からの検討や検証を行い、一つでも多く謎を解明していく必要がある。建設背景を明らかにすることで、明治橋の価値をより一層高めることができると思う。保存活動には地元住民の理解や協力が必要不可欠である。よって住民へ積極的に広報活動を行い、明治橋の価値を認識してもらう必要がある。しかし、実際に保存活動や補修事業を行うのは自治体であり、専門家みの活動に留めず、自治体や住民と積極的に協議し、地域全体の保存運動へと発展していくことが最も望ましい。今回は明治橋本体についてのみしか述べることができなかったが、今後は周辺の調査などの幅広い調査を行い、明治橋本体の補修だけに留まらず、周辺環境を含めた総合的な保存整備を考えていく必要がある。

参考文献

- 岡崎文雄（2004）：明治橋はなぜ鋼橋なのか，第4回道路橋床版シンポジウム講演論文集，土木学会，pp.2-10，2004.11.
- 山口浩平，日野伸一，財津公明，岡崎文雄，田浦扶充子（2005）：近代化遺産としての明治橋，土木史研究概要集，Vol.25，pp.257-262，2005.6.
- 山口浩平，日野伸一，財津公明，長田大輔，山尾敏孝（2006）：現存する日本最古の鋼鉄桁道路橋 明治橋の歴史および住民へ向けたアンケート調査，第5回道路橋床版シンポジウム講演論文集，pp.79-84，2006.7.

6. 総合評価

明治橋について、表 - 6.1 に示すような技術的、意匠的及び系譜・地域性の点から評価を試みた結果、以下の点で歴史的価値が高いと考えられる。

(1) 技術的評価

- ・ 主桁に取り付けられた英国式 J スティフナーはポータル製の 30 年式に用いられたものが使用され、供用中の道路橋としては、明治橋が現存する唯一の例と考えられる。
- ・ 床版はトラフ形鋼にコンクリートが充填された形式で、橋軸直角方向に溝方向が走る形となっている。建設当時のままに供用されている道路橋で、更にコンクリートが床版に用いられている例は極めて数少なく、希少価値があり、その中でも最も古い橋梁である。
- ・ 高欄についても、当時の鋳鉄製高欄が現存するのは明治橋と清見寺橋の 2 橋と考えられる。
- ・ 道路橋橋脚としては石積みのタイプは極めて珍しい。

(2) 意匠的評価

- ・ コンクリートを充填したトラフ床版及び主桁に J スティフナーが使用された供用中の道路橋としては、明治橋が現存する唯一の例と考えられる。
- ・ 道路橋橋脚としては石積みのタイプであり、橋脚上部の水切り形状は、鉄道などでは煉瓦積み形式に見られるが、道路橋では珍しい。

(3) 系譜・地域的評価

- ・ 純粋な道路橋として大きな補強や補修が実施されることなく供用されてきた鋼橋では、明治橋は最も古いものと考えられる。
- ・ 国道 36 号に架設され、その後国道 3 号、国道 10 号と呼称は変更されたが、昭和 36(1961)年に野津地区の国道改良で明治橋脇にミニバイパスが通じるまで、供用されていた。
- ・ 平成 3(1991)年に町指定の有形文化財となって保存され、車の通行を遮断した後歩道橋として利用されている。平成 17(2005)年には大分県指定有形文化財となり、平成 17(2005)年度土木学会選奨土木遺産に認定された。

表 - 6.1 評価項目とランク

	評価項目	基準例
技術	ギネス性・典型性	県下最大，最長/国内で有数/非常に珍しい構造
	構造の技術的特徴	県下で有数/県指定文化財/珍しい構造
	希少性・古さ	普通の技術
意匠	洗練性・典型性	非常に珍しいデザイン/かなり装飾的なデザイン
	構造の意匠的特徴	珍しいデザイン/美しいデザイン
	希少性・古さ	普通の意匠
系譜・地域	保存状態	県指定文化財/住民の生活のため必要不可欠
	地形・地域性	市町村指定文化財/地形により建設が困難
	地元の評価	保存状態良/通行可
	地域との結びつき	普通の系譜・地域性