

近代日本の鋼橋建設実務技術に関する史的考察

～設計図面，設計計算書の分析に基づいて～

五十畑弘*

A Study on the Practice of Steel Bridge Construction Technology in Modern Japan —Based on the Analysis of Engineering Drawings and Design Calculation Sheets—

Hiroshi ISOHATA*

Japanese modern bridge construction technology has been established in 1920s to 30s following the continuous technology introduction from western countries through Meiji Era (1860s to 1910s).

In this paper, documents for construction such as engineering drawings, design calculation sheets etc. for bridges constructed in 1930s are focused to be analyzed to clarify the practice of contemporary bridge construction technology in modern Japan. This study includes the comparative research of Japanese practice with western ones of bridge construction. The process of the study demonstrates that engineering drawings and calculation sheets are useful reference sources for historical study of bridge construction.

Documents for construction, especially engineering drawings were recognized as contract documents with construction information only for a particular project and once the project was completed the role of the drawings was considered to be finished. However this study shows that engineering drawings and other practical documents have general value for references which supply information of contemporary technology of bridge engineering.

Keywords: Historical steel bridge, Drawings, Design calculation sheet, Design practice, Modern Japan

1. はじめに

土木分野では，近代土木遺産の評価，保存の動きが1990年代から始まった。土木学会は，1993年から95年に土木構造物としては，国内初の「近代化土木遺産全国調査」を実施した。さらに1996年から98年に実施された「重要度の高い近代土木構造物の技術的，意匠的，系譜的评价」をもとに，「日本の近代土木遺産—現存する重要な土木構造物2000選—」¹⁾を2001年に発刊し，以後改訂してきた。今後，インフラストックの増加に伴って，

評価される近代土木構造物の数は増加傾向にあるが，老朽化もあって評価対象の近代土木構造物で撤去されるものも多い。構造物の撤去は同時に関係資料の散逸，破棄にもつながり，現物だけではなく近代土木技術の重要な史料が失われることも懸念される。今後土木構造物のストックの増加に伴って，歴史的土木構造物の補修，補強などの需要が高まることが予測されるが，現物の保存とともに，保全計画を策定するための情報として図面を中心とする関連資料についても保存・整備を進めることがインフラ保全のために重要である。

歴史的土木構造物の保全に関する研究は，鋼橋分野で

*日本大学生産工学部土木工学科教授

は、土木学会の委員会（歴史的鋼橋小委員会（委員長：筆者））において2003年度より開始され、2006年11月に「歴史的鋼橋の補修・補強マニュアル」²⁾が土木学会より発行された。また、2006年7月より、鋼構造、コンクリート、地盤、石造など全分野の土木構造物を対象として土木遺産の保全技術に関する活動が開始された（「歴史的土木構造物保全技術連合小委員会」（委員長：筆者））。

土木図面は、歴史的土木構造物の関連資料の中でもその史料性から重要な位置を占める。しかし、現存する土木構造物でも、図面が残されている例は必ずしも多くはない。建築分野では、近代建築の保存・活用とともに、史料としての図面に関する研究やアーカイブ整備の面からの建築関連資料の調査が進められ、近代建築物の図面収集保管についても積極的に進められている。

土木分野では、図面を史料対象として扱い積極的に評価する面では遅れているが、図面を含む関連資料に関する調査・研究は、歴史的土木構造物の保全と一体不離の課題であり、かつ緊急性の高いテーマである。これは図面等が当該構造物の補修、補強、改造を行う場合のみならず、同時代の同種構造物で採用された技術を知る手がかりとなり、それら構造物の保全のための情報を与えることによる。

欧米ではアーカイブ整備の一環としての土木図面の保存、閲覧が進んでいる³⁾。国内においてもとくに近年、デジタル技術の発展にもなあって、絵画、絵図、地図、写真などを画像データ化し、史料として解読する研究が広がりを見せている。

本研究では、近代の歴史的土木構造物として事例が最も多い鋼橋の図面、設計計算書を対象として、当時の橋梁建設実務を読み取ることが可能であることを実践的に示し、図面等の史料性の存在を示すことを狙っている。土木分野において、建設実務の資料である図面や設計計算書を史料の対象として実務技術を探る研究は、既往事例も少なく、本研究は近代の歴史的土木構造物のアーカイブに関する基礎的な研究に位置づけられる。

2. 研究の背景と経緯

歴史的土木構造物に関する資料として、その構造物の計画、設計の段階で作成され、施工に使用された図面は、土木史研究における一次史料として重要である。しかし、現存するほとんどの歴史的鋼橋で、図面が残されている例はまれであり、土木史料としての図面の活用は限られている。これは鋼橋以外の分野の土木図面でも、概ね同じ状況にある。

土木図面が史料として収集、整備されてこなかったことは、一般の図書、文献などの資料に対して、寸法、形態が異なることによる物理的な制約や、契約図書である

ことによる非公開性など文書の性格の違いもあるが、図面から得られる情報の有用性が認識されていないこともある。この要因のひとつとして、図面そのものに対する史料価値の評価が、これまで必ずしも十分にされてこなかったことがあると考えられる。このことは図面の史料性に着目した既往の調査・研究が限られていることにも表れている。

2002年に獨土木研究所において、20世紀初期の橋梁設計技術者、増田淳（1883-1947）の図面約1600枚および、設計計算書等約10000ページが発見されたことは、図面の史料としての分析、史料価値に関する調査、研究へのひとつのきっかけを与えた⁴⁾。2003年土木学会全国大会の研究討論会では、橋梁技術者としての増田淳、および戦前日本の橋梁技術が取り上げられ、この中で図面の史料性も論じられた⁵⁾。

増田淳は、1907年から1921年まで14年間に亘るアメリカでの設計実務を経た後、1922（大正11）年に帰国し、設計事務所を開設した。以後、1940年代初めまでのおよそ20年間に、約80橋の設計を手がけている。これらの中には、長六橋（1924設計、アーチ、熊本）、白鬚橋（1927設計、アーチ、東京）、吉野川橋（1926設計、トラス、徳島）、常盤橋（1928設計、トラス、岡山）、十三橋（1929設計、アーチ、大阪）、阿武隈橋（1929設計、トラス、宮城）、尾張大橋（1930設計、ランガー、愛知）、伊勢大橋（1930設計、ランガー、三重）といった20世紀前半の代表的な鋼橋が含まれる。

建築分野での図面に関する調査は土木よりも進んでおり、1990年には、文部省科学研究費補助金研究として、東京大学の藤森照信により「近代日本における建築設計図面史料の研究」が3ヵ年の研究成果としてまとめられている⁶⁾。建築学会では、2000年度に国立科学博物館より「わが国の建築技術発達に関する資料の所在確認調査」の研究委託を受けたのをきっかけに、「近代建築資料総合調査特別委員会」を設置し、建築アーカイブネットワーク構築に向けて海外を含む図面など保存の調査・研究を史料としての図面に関する研究やアーカイブ整備の面から実施した^{7),8)}。

図面の本来的な役割は、特定の構造物に関する計画、設計、建設の各過程における土木行為に対する情報提供である。既設構造物の蓄積も少なく、建設に比べて完成後の維持、補修への認識が高くはなかった時代にあっては、建設が終了すれば、図面はその役割を終了し資料の価値は消滅したとされ、一定期間の保管を経て廃棄されることが一般的であった。この傾向は設計図書の電子納品の進む現在においても続いている。しかし、図面は、特定の構造物の計画、設計の考え方を表現し、実際に製作、架設された構造物や工法を示すものであることに留まらず、他の関連資料と併せて、図面が作成された時期

の設計・施工技術，更には設計実務，体制などに関する手がかりを与える一次情報となる。これは，特定の構造物の計画，設計，施工，維持といった土木行為のための情報提供の役割を越えて，土木史研究における史料として一般性をもつことを意味する。

しかし，土木図面は他の図書と異なり，公開を意図したのではなくその存在については，実態がよく把握されていないのが現状である。これらの関連資料は時間の経過とともに失われる可能性も高く，近年の公共事業関連組織の再編の動きもあり，早急に着手する必要がある。

3. 研究目的と方法

3.1 研究の目的

図面は，土木構造物の建設までの手段であり，建設が完成すれば，その意味は少なくなると考えられる。しかし，建設における考え方，その他図面が作成された当時の技術的背景が図面から読み取ることができる史料性をもつと考えられる。

本研究では，昭和初期に集中的に建設された橋梁技術者増田淳の設計した現存する鋼橋のうち7橋を対象とし，その図面，および設計計算書の分析を行うことでその史料性を示す。すなわち，本研究の目的は，戦前に建設された鋼橋の設計図面，設計計算書の内容の分析を通じて，当時の建設実務技術を明らかにすることであり，その結果として図面等の史料性を実証的に検証するものである。

3.2 研究の方法

調査対象全体は，増田淳事務所設計製図を行なった構造物86件（約1600枚の図面，および設計計算書約10000ページ）のうち，現橋との対比が可能である現存す

る7橋とする。図面，設計計算書の分析の過程で，図面や設計計算法に影響を与えた同時代の欧米の鋼橋図面と比較論的考察を行い昭和初期のわが国の鋼橋技術の特徴について明らかにする。

各橋梁は以下の点を含んで分析を行う。

- (1) 図面，設計計算書の構成を把握する。
全体の構成を把握し，準拠する基準，設計方法，参考資料なども明らかにする。
- (2) 図面の表現方法
－現在の表現方法と対比
－現橋と対比
－欧米の同時代の橋梁図面との対比
- (3) 設計時期，設計者，製図者
- (4) 施工管理への関与
- (5) その他現在の設計図，設計計算書と対比した違い

4. 調査対象橋梁

本研究で対象とする7橋の設計および，施工の時期は1928（昭和3）年から1934（昭和9）年の7年間に集中している（Table 1）。

4.1 十三橋 (Fig. 1)

十三橋は大阪府の国道176号が淀川を越えて淀川区と北区を繋ぐ場所に架かる。1932（昭和7年）1月に完成した下路ブレースドリブタイドアーチ5連を主径間とし，両側にゲルバー鈹桁，単純鈹桁を配置した橋長681.2mの橋梁である。ブレースドリブタイドアーチのスパンは64.0mで，ゲルバー鈹桁，鈹桁はそれぞれ32.7m，12.8mである。幅員は路面電車を想定して設計がされ，車線幅14.5m，歩道部が両側に2.75mで全幅20.0mである。下部構造は，基礎に松杭を使用し，鉄筋コンク

Table 1 List of Bridges

No.	Name of Bridges (Place)	Design /Completion	Bridge Type
1	Juso Bridge (Osaka)	1929/1932	Through arch, Pneumatic caisson
2	Owari-Ohasi Bridge (Aichi)	1930/1933	Langer, Side walk, Pneumatic caisson
3	Ise-Ohashi Bridge (Mie)	1930/1934	Langer, Side walk, Pneumatic caisson
4	Mimitsu Bridge (Miyazaki)	1932/1934	Deck arch, Pneumatic caisson, RC pile
5	Joganji Aqueduct Bridge (Toyama)	1931/1932	Through arch
6	Arakawa Bridge (Saitama)	1928/1929	Deck arch
7	41D, 42B, 108A (Totomi, Shinoogi, Nishiktatekawa), (Tokyo)	1927/1928, 1929	Truss/Truss/Cantilever, Steel sheet pile



Fig. 1 Juso Bridge (Osaka)

リート構造を採用している。現地施工は、上部工が大阪鉄工所、下部工は大林組、飛鳥組である。

4.2 尾張大橋 (Fig. 2) (旧名：木曾川橋)

尾張大橋は、国道1号が木曾川を渡る箇所に架かる。竣工時は木曾川大橋と呼ばれ図面等は木曾川大橋の名称が使われている。1933(昭和8)年11月に完成した単純下路ランガートラス13連と右岸側に単純トラス1連を配した橋長878.71mの長大橋である。ランガートラスのスパンは63.42mである。幅員は片側1車線で7.5mである(後年に主構の両側に歩道が追加された)。下部工は鉄筋コンクリート構造で、基礎の施工にはニューマチックケーソンが採用された。



Fig. 2 Owari-Ohashi Bridge (Aichi)

4.3 伊勢大橋 (Fig. 3) (旧名：揖斐長良橋)

伊勢大橋は、尾張大橋が開通した1年後の1934(昭和9)年11月に完成した揖斐・長良川を国道1号が越える箇所に架かる全長1106.7mの長大橋である。支間構成はスパン72mのランガートラス15連を連ねたもので、幅員は尾張大橋と同様に7.5mである。本橋は、尾張大橋との構造の類似性、設計、施工時期が重複することから相互に資料を使いつつシリーズで計画、設計作業が行われた。下部工も尾張大橋と同様にニューマチックケー



Fig. 3 Ise-Ohashi Bridge (Mie)

ソン工法による基礎で鉄筋コンクリート構造である。

4.4 美々津大橋 (Fig. 4)

美々津大橋は、宮崎県日向市美々津の耳川に架かる。耳川河口部は水深が深く、下部工の施工から、河口から1kmほど遡った場所に1934(昭和9)年9月建設された。両側はスパン17.8mの鉸桁で、中央部にスパン64.4mのスペンドレルブレースドアーチ2連により構成される。下部基礎には初期の鉄筋コンクリート杭が使用されている。



Fig. 4 Mimitsu Bridge (Miyazaki)

4.5 常願寺川水路橋 (Fig. 5) (旧名：千寿橋)

常願寺川水路橋は、富山県の常願寺川の上流部に架かる。完成は、1932(昭和7)年8月で、常願寺川左岸の水力発電所の建設に先立って架設されて資材運搬の機関車を渡し、発電所の完成後は水圧鉄管と連絡道路を通す橋として現在に至る。全長は163.0mで中央部にスパン88.0mのブレースドリブタイドアーチが架かる。上部工の製作は三菱造船所神戸造船所製作である。

4.6 荒川橋 (Fig. 6)

荒川橋は、埼玉県秩父市の荒川上流部に架かる1929(昭和4)年5月に完成したブレースドリブバランスドアーチである。現地は河川の湾曲部で流水部が右岸



Fig. 5 JogANJI Aqueduct Bridge (Toyama)



Fig. 7 41D (Totomi Bridge) (Tokyo)



Fig. 6 Arakawa Bridge (Saitama)



Fig. 8 108A (Nishikata Birdge) (Tokyo)

側に寄り、左岸側斜面が右岸より緩慢である地形上から左岸側にスパン 15.55 m の鉸桁が配置されている。バランスドリブアーチは、アンカースパンはそれぞれ 27.2 m で中央部が 85.5 m である。幅員は 5.5 m と狭く、後年にすぐ上流側に新橋が施工され、荒川橋は 1 車線と歩道部が設けられて下り専用に使われている。下部工は直接基礎である。

4.7 41 D, 42 B, 108 A (新架橋) (Fig. 7, Fig. 8)

41 D, 42 B, 108 A は、いずれも江東区内に震災復興橋梁として施工された新架橋である。記号で表されていることから標準的に設計されたものである。このうち新扇橋は架け替えられて現存しない。構造形式は、41 D, 42 B が、それぞれスパン 40.6 m, 56.8 m の下路プラットラスで、108 A は、側径間 9.76 m, 中央径間 15.15 m の 3 径間鉸ゲルバー鉸桁で、いずれの橋も、中小河川の橋梁として当時多く建設された標準的な構造形式である。

5. 分析結果

5.1 図面の分析

「3.2 研究の方法」で示した項目に沿って分析を行い、

図面の種類・構成、製図手法、橋梁設計者・製図者の所掌範囲、技術的特筆事項、意匠性、鋼材、構造などが、図面の中でどのように示されているかを抽出する。

1) 図面の種類・構成、表現手法

1929 (昭和 4) 年に設計され、1931 (昭和 6) 年に完成した十三橋の場合、図面の構成には、上部工、下部工、応力図、およびケーソンの作業室や、シャフトなどの仮設備の図面、さらには、装飾まで含まれている (Table 2)。

20 世紀初頭の欧米における鋼橋設計における図面の種類は、契約の段階に従って分かれており、概ね一般図、設計図、詳細図、工作図などに区分できる⁹⁾。これに対して国内の鋼橋図面では、十三橋の図面構成に見られるように、一般図から詳細図までをも含んでいる。これは今日の国交省や地方自治体発注の橋梁工事図面と同じ構成である。図面は、契約図書の一部であり、構造計画を示し、発注段階では応札準備の目的も持ち、かつ契約後は工場の製作や、現場での架設工事のための施工情報までもカバーする多目的な文書である。

一方、製図手法について、増田淳の設計事務所で作成された図面で共通的に指摘できることは、図面表現の巧みさ、見た目の美しさといった表現上の特徴がある。こ

Table 2 Drawing List of Juso Bridge (1929)

No.	Name of Drawing	No.	Name of Drawing
1	一般図	21	トラス詳細 (1)~(3)
2	断面図	22	(トラス) 斜材詳細
3	橋台詳細	23	(トラス) 垂直材詳細
4	橋脚詳細	24	(トラス) 繋ぎ材詳細
5	橋脚躯体詳細	25	(トラス) 下横構詳細
6	橋脚基礎潜函詳細	26	(トラス) ポータル詳細
7	潜函作業室鋼フレーム	27	(トラス) 対傾構詳細
8	床版詳細 (1)~(4)	28	(トラス) 上横構ストラット 詳細
9	桁スパンのマーク図	29	(トラス) 上横構斜材詳細
10	横桁, 縦桁詳細図	30	(トラス) 沓, 伸縮継手詳細
11	横桁詳細	31	高欄詳細
12	縦桁詳細	32	高欄および親柱詳細
13	縦桁, 沓, ロッカー沓	33	高欄詳細照明灯詳細
14	主桁詳細 (1)~(9)	34	避難路
15	横構詳細	35	トラス・桁間の伸縮継手詳細
16	伸縮継手詳細	36	作業シャフト詳細
17	応力図	37	橋台のウィング壁の装飾詳細
18	トラススパンのマーク図		
19	(トラス) 床桁詳細		
20	(トラス) 縦桁詳細		

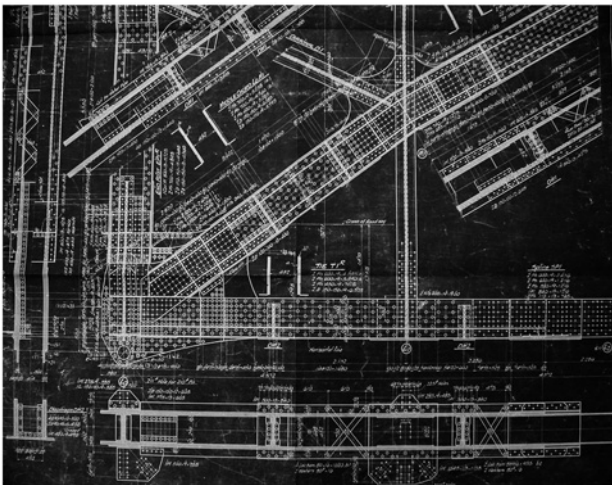


Fig. 9 Detail of Truss (Juso Bridge)

これは、今日の手書きの図面では実践されなくなっている構造線、寸法線、引出し線など太線、中線、細線の線幅の差を大きくとってインキングで描かれることによる。加えて字体の統一性、配置のよきなども表現上の特徴を形成している (Fig. 9, 10)。これは、20世紀初頭の欧米の

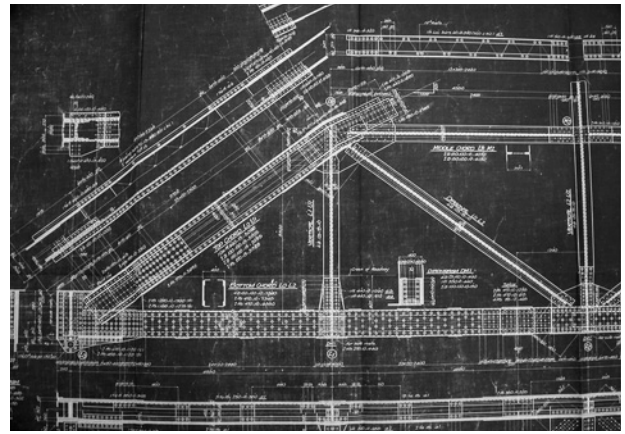


Fig. 10 Detail of Truss (Ise-Ohashi Bridge)

鋼橋の製図手法¹⁰⁾に沿ったものである。

増田淳事務所の図面は、構造詳細図面でも1枚/日程度の非常な早さで書かれており、類似設計の参照、手戻りが少ない製図法であることが図面の仕上がりに関係があると考えられる。

増田淳および、増田事務所の図面に対する評価としては、鋼構造協会誌 JSSC の座談会記事「わが国のれい明期における鉄橋 (1971.9)」および「同 (続) (1982.2)」¹¹⁾の増田淳に関する部分がある。この中で、増田事務所の図面について以下の発言がある。

「伊勢大橋と千代橋 (の施工) をやった。ああいうきれいな図面はみたことがない。……(中略)……要領がよくて線の使い方もよい……(中略)……図面みて施工するときにはとにかく楽であった。必要なことがくっきり書いてある。……ほんとうに知っていて書いている。あれはスタッフがよかったのだと思う」(飯吉精一)
 「陣田さんは寸法線から描いてゆく。一番細い線から書いてゆく。ですから図面がきれいです。」(鈴木俊男)
 「アメリカンブリッジカンパニーの流れをくんでいる。」[松尾で働いていた人で陣田さんという人がいて、非常にきれいな図面を書く。](青木楠男)

図面の字体の統一については、1970年代まで、横河橋梁製作所 (現横河ブリッジ) 等の橋梁会社の製図者では実践されていたものである。増田淳事務所の図面の線の使い分けの多さ、図の縮尺と配置の方法、注記の入れ方などは、昭和初期の国内の一般的な製図手法というよりも、アメリカでの実践技術に倣った増田淳の設計実務に倣う事務所の製図手法と考えられる¹¹⁾。

図面上に描かれた部材の材料の寸法、数量を図面中に部材寸法とは別に部材近傍にまとめて表記する方法は、今日の詳細図では一般的に行なわれているが、これは20世紀初め頃から始まった表現方法である¹²⁾。十三橋、伊勢大橋など増田淳事務所で作成された鋼橋上部工の図面で

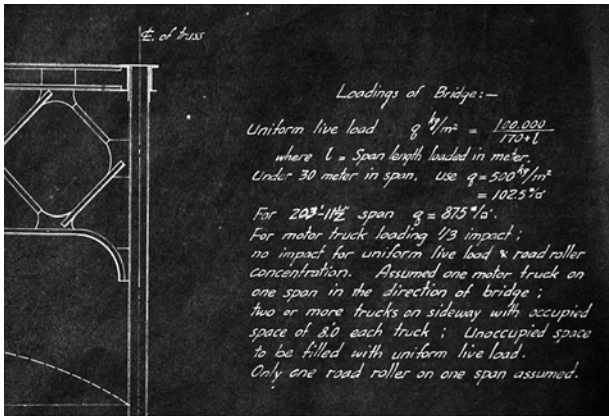


Fig. 11 Yoshino-Gawa Bridge (1926)
Loading of Bridges by Road Structure Ordinance

は、すべてこの方法で表現されている。この材料の表記法は、アメリカブリッジ Co. に勤務をした経験をもつ関場茂樹 (1876-1942) によって、国内に導入された¹³⁾とされているが、20 世紀初めのアメリカで橋梁設計実務を経験した関場以外の技術者も、同様な知識を修得して帰国しており導入者であったと考えられる。

加工図、製作図については、鋼橋の場合造船方式の影響が大きい。造船では、原寸図がもっとも重要視され、設計図は原寸図作成の一資料とみなされ、設計図には詳細な材料は記載されることはなかった。このことから、鋼橋図面は、造船からある時点で分化をして発達したもので、その時期はアメリカブリッジの方式が始められた 20 世紀初頭と考えられる。

一方、図面は、製作、施工のための情報だけでなく、設計情報も盛り込まれる。今日では応力図として断面構成図、モーメント図が図面として含まれるが、増田事務所で作成図面では、設計荷重の記述 (英文) もある (Fig. 11)。「道路構造令に関する細則 (案) (1926 (大正 15) 年)」の制定によって荷重が定まってから日が浅いことから、図面中にあえて記述されたものと考えられる。

2) 橋梁設計者、製図者の所掌範囲

大正から昭和初期における設計実務では、専門の分化は今日ほど進んでおらず、一般に設計者一人が扱う範囲が広がったことが図面の作成者のサインから分かる。同一の設計者が、上部工、下部工の構造図から意匠設計を含む親柱、高欄、照明灯などの付属品、あるいは施工計画図まで幅広い分野に関与していることが図面から読み取れる*1。

伊勢大橋の主構図には、その部材に取り付け照明灯も

*1 増田事務所設計計算書とともに、図面には「設計者」、「照査者」のサインが主にローマ字のイニシャルで記されており、「J. Masuda」以外に「I. Matano」、「K. Inaba」、「M. Jinda」、「Y. Hirata」、「Y. Ogasawara」、「R. Itagaki」、「Y. Tanaka」がある。主構造および付属品を通してこれらのいずれかのイニシャルがある。

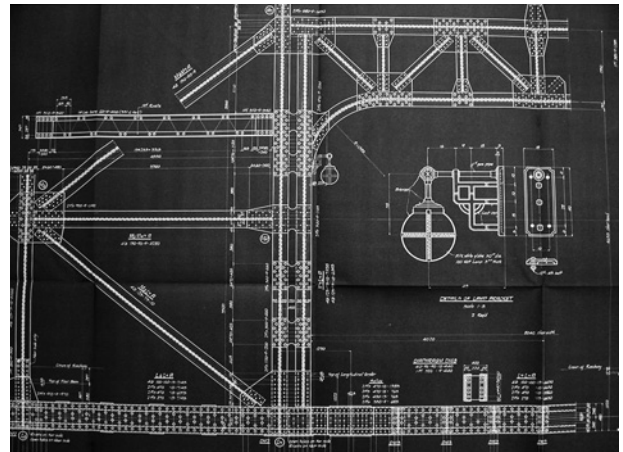


Fig. 12 Lighting Facility
Drawn in Detail Drawings of Main Girder

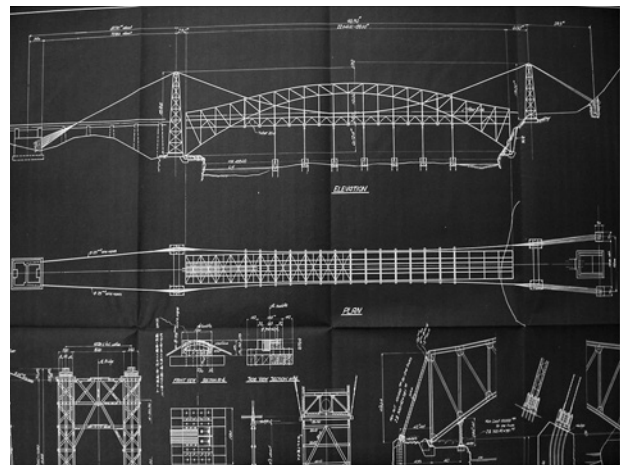


Fig. 13 General Drawing of Erection (Joganji Aqueduct Bridge)

描かれている (Fig. 12)。通常構造図に付属品を描きこむことは珍しく、今日では主構造と柵、高欄、親柱を含む付属品とは、別々に扱うのに対して、同じ設計者によって同一の図面に描かれており、設計者、製図者の所掌範囲の広さを示している。

架設計画図 (Fig. 13) では、張り出し架設時における架設最大反力など、架設仮設備の施工に必要な情報が、設計者による図面として作成されている。図面作成者が設計はもとより、製作、架設の全体を所掌する立場にあったと考えられる。

一方、下部工の施工に関する注記もある。増田事務所で作成した図面で、下部工基礎にニューマチックケーソン工法を採用したものがいくつかある (Fig. 14)。伊勢大橋では、特に、潜函の気閘 (エアロック) の特許に関する契約図書の特記仕様に相当する文章が、図面中に注記されている (Fig. 15)。ここにも設計者 (製図者) は、発注者の代理として、施工までをも所掌する技術総括者の立場にあることが読み取れる。

架設工法をも考慮して図面が描かれていることを示す

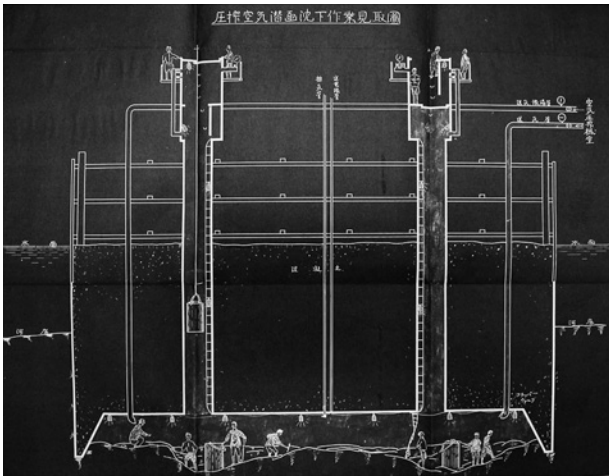


Fig. 14 Pneumatic Caisson (Juso Bridge)

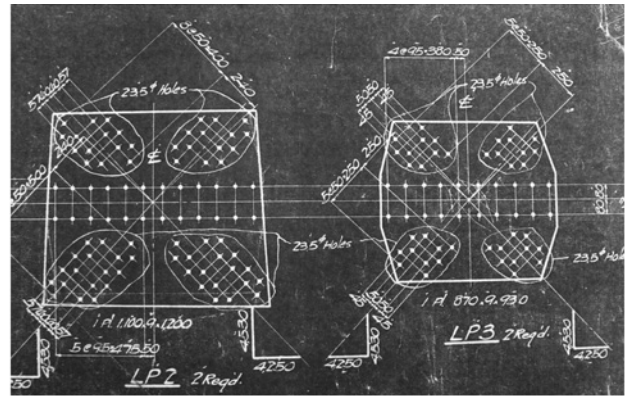


Fig. 16 Gusset Plate of Lateral Bracing (Owari-Ohashi Bridge)

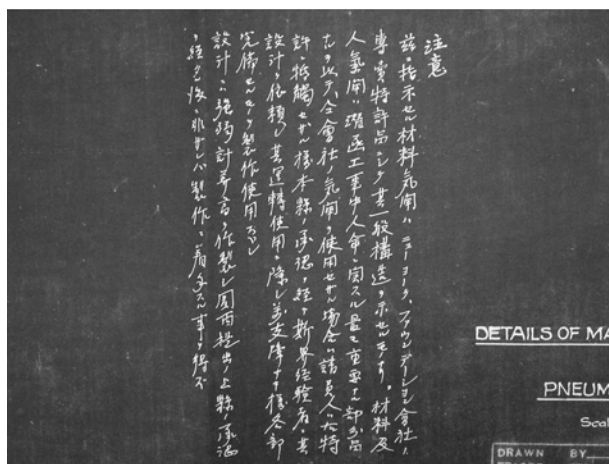


Fig. 15 Note in the Drawing of Ise-Ohashi Bridge

図面上の表現もみられる。尾張大橋の縦桁，ラテラルの施工誤差吸収のために19φリベット用に通常20.5φの孔に対して，23.5φを図面上で指示している。現地での組み立て順序などを考慮して誤差の発生する箇所を考慮したうえでの指示である (Fig. 16, 17)。

これに対して，尾張大橋の3年後に建設された宮崎県的美々津橋では，拡大孔ではなく現場合合せによる指示がされている*2。すなわち「……部材○○，ラテラルブレーシング，ストリンガの接続箇所ハ，格点○，○間ノ距離ヲ現場ニテ正確ニ計測シ部材を切り揃へ穿孔ノ後組立テヲナスベシ」が注記されている。

美々津橋では，杓の据付に関しても架設時の据付調整用の治具が，図面中に示されていることも，設計者の施工への関与を示している。橋脚天端に固定された金具に取り付けられたスクリーボルトを捻じ込むことで水

*2 孔明けの時期は加工精度に依存する。尾張大橋の拡大孔に対し，美々津橋では現場合合せ(後孔)が採用されたことは，この両者の施工時期の3ヵ年の技術の差によるものよりも個々の条件による。尾張大橋は全長879mで14連ものアーチがあり，工期が厳しいことから現場孔ではなく拡大孔が採用されたものと考えられる。

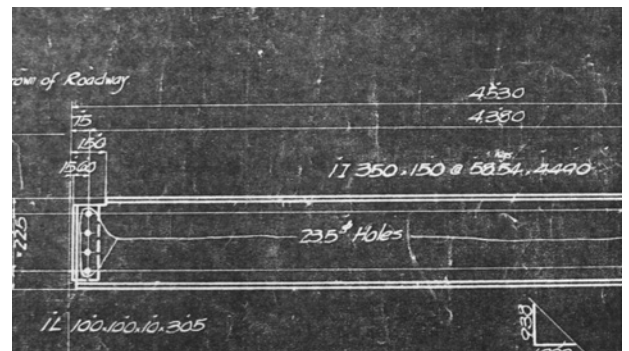


Fig. 17 Rivet Holes of Stringer (23.5 mm. dia.)(Owari-Ohashi Bridge)

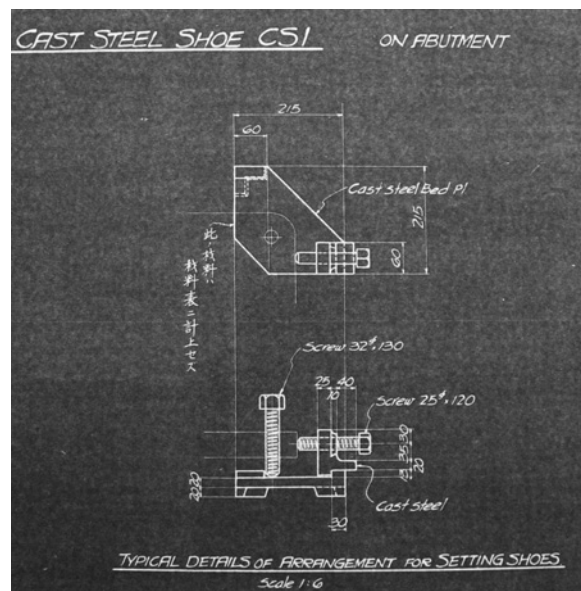


Fig. 18 Adjusting Devices for Bearings (Mimitsu Bridge)

平，垂直2方向の位置の調整を行うものである。架設用であることから「此ノ材料ハ材料表ニ形状セズ」(Fig. 18)と図面中に記載されていることは，契約(積算)に関する記述である。

3) 技術の特筆事項

図面，設計計算書によって，工事で導入された以下の

ような技術的な特筆事項が明らかとなった。

①ニューマチックケーソン

ニューマチックケーソン基礎は欧米では19世紀後半からすでに採用された工法で、ニューヨークのブルックリン吊橋(1883)には、木製のケーソンが使用された¹⁴⁾。増田の設計した橋梁でもニューマチックケーソンは多く採用されている。美々津橋や、伊勢大橋、尾張大橋では刃口部分を鋼構造とした木製のケーソンが使用されている。ケーソンについては、施工図や、空気圧管理図などの施工情報が記載されている(Fig. 19, 20)。

②コンクリート杭の使用

美々津橋の南側の橋台基礎には8角形断面の有効長4.5m余長20cmの鉄筋コンクリート杭96本が採用されている。国内でコンクリート杭が使われるようになったのは明治末から大正の初めの1910年代半ば以降で当初は4角形や六角形断面が採用された。本格的な採用は1915年から1919年まで施工が行われた東京・万世橋間の鉄道高架橋の基礎で8角形断面が使用された^{15),16)}。美々津橋における鉄筋コンクリート杭の採用は本格的な採用から約10年の後である。設計計算書には鉄筋コンクリート杭の図(sketch of reinforced concrete pile)が示されており、施工に関することとして20cmの余長の部分を、「此ノ部分ハ杭打チタテ後混凝土ヲ切り取り主鉄筋ヲ

真直グニ伸バシ橋台内ニ埋メ込ミノコト」とある(Fig. 21)。

4) 施工計画図

増田事務所の設計図面には、施工に関わる情報がかなり含まれているが、全長1kmをこえる橋長全体にわたって、栈橋工を施工した伊勢大橋は大規模な仮設備に関する図面が含まれる。本橋の下流側に施工された仮栈橋のプレートガーダーおよび、木造の水中橋脚の図面がある。この栈橋を利用してケーソンの施工、およびランガー桁の施工が行われた(Fig. 22, 23)。

仮橋は、20.1m, 18.1mの2種類の組み合わせで全長1105.7mに渡って施工され、桁上には3条の軌道が布設された。設計者の橋梁設計の範囲にとどまらず建設、施工などを施工機械、仮橋をも所掌の範囲に含めている。

5) 意匠設計

橋梁の景観設計に対する配慮は、特に増田事務所の設計が他の同時代の橋梁と比べて特色を持っていたことは

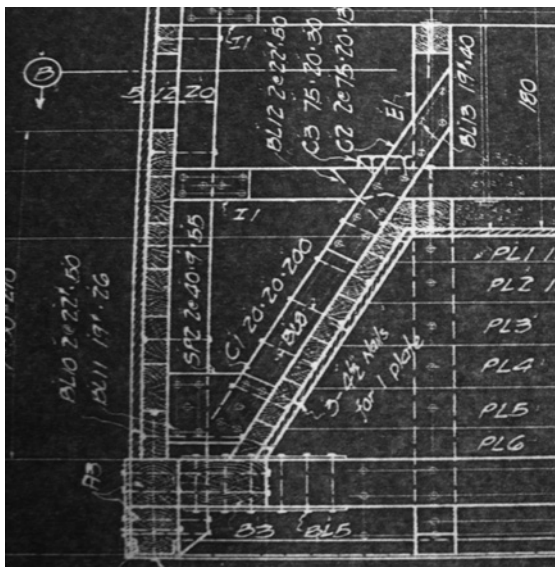


Fig. 19 Caisson Edge (Owar-Ohashi Bridge)

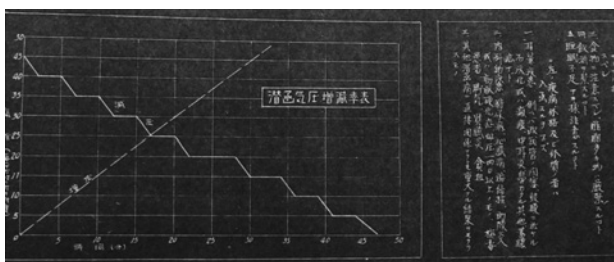


Fig. 20 Pressure Diagram for Caisson (Juso Bridge)

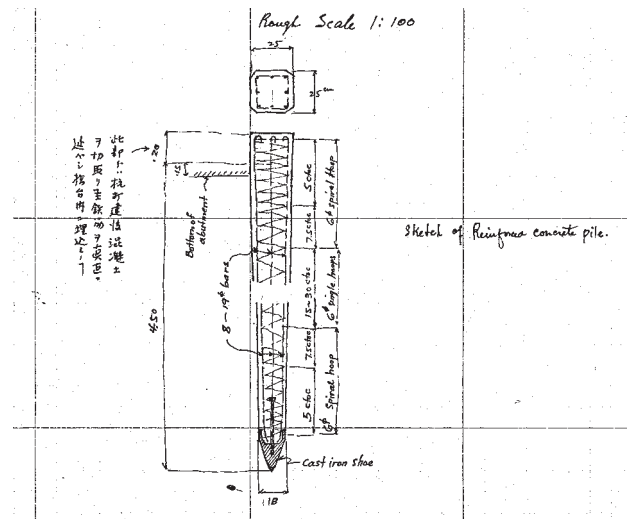


Fig. 21 RC Concrete Pile for South Abutment (Mimitsu Bridge)

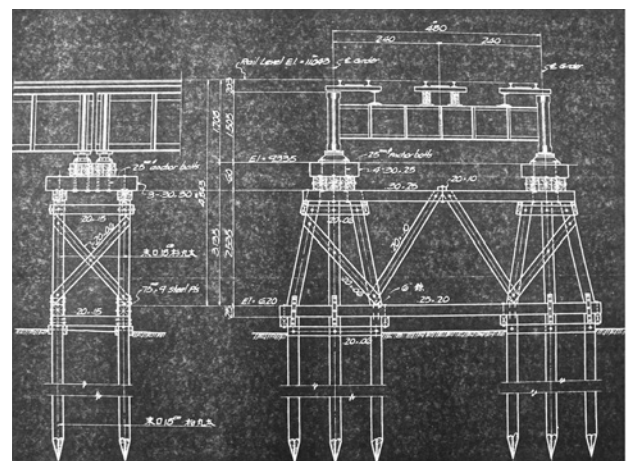


Fig. 22 Scaffoldings for Erection (Ise-Ohashi Bridge)

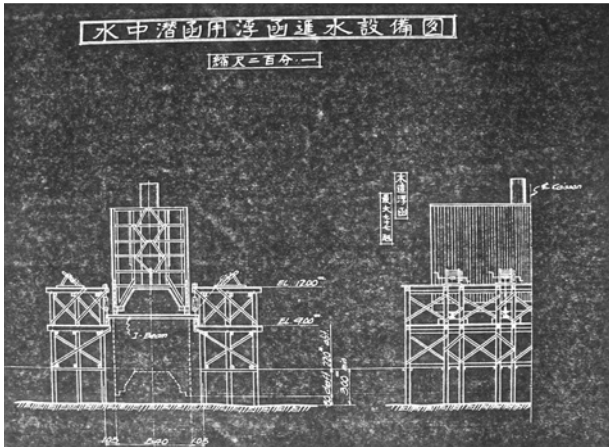


Fig. 23 Launching Facilities for Caisson (Ise-Ohashi Bridge)



Fig. 25 Newel Post in Present (Mimitsu Bridge)

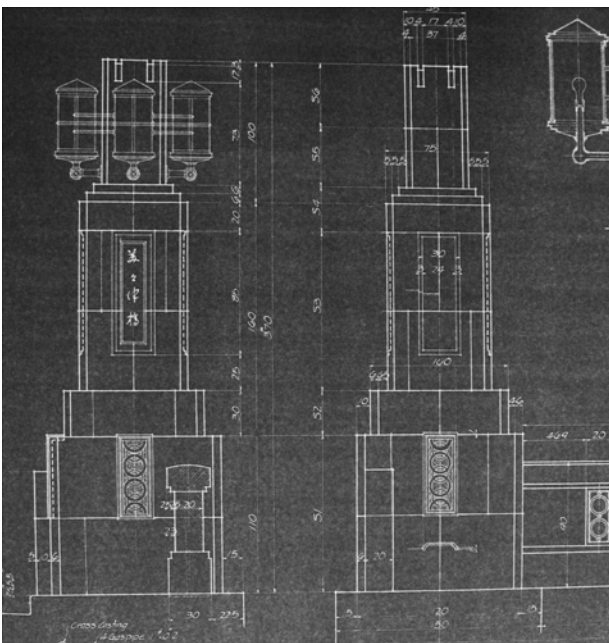


Fig. 24 Newel Post (Mimitsu Bridge)

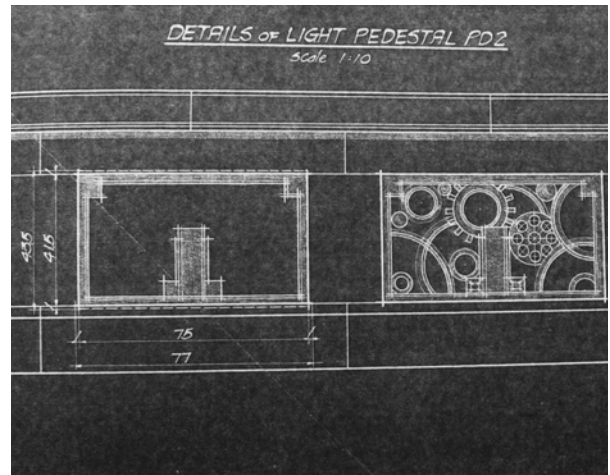


Fig. 26 Ornament of Railing (Juso Ohashi Bridge)

見出し難いが、意匠性への配慮を大量かつ急速に処理した設計の中で取り入れられていたことが、図面から分かる*3。これらは構造詳細図と同一の設計者や製図者によって行われている。今日では主構造と沓、高欄、親柱を含む付属品（この表現も当時はない）とは、一線が画されているが、増田淳事務所の図面では、親柱、照明、ウィングの袖高欄、橋梁部の高欄など橋面工には構造図面と同じ設計者によって書かれている。

①橋面工

美々津橋は、橋詰の袖高欄、親柱が石造で、円をモチーフにしたブロンズの装飾がはめ込まれている。親柱の形

式としては共通的に石造柱が採用され、照明を側面、あるいは頂部に配置するものが多いが、美々津橋も同様なデザインであった。親柱、袖高欄の石造部は現存するが、ブロンズ製の装飾、橋名板、照明は取り外され、新たなものがはめ込まれている。照明は親柱頂部に新たなものが追加されているが、オリジナルのデザインとは異なる*4 (Fig. 24, 25)。

十三橋の親柱、橋詰高欄、橋梁部高欄などは規模が大きい。石造で親柱の側面には美々津橋と同様に照明が取り付けられたデザインであるが、現存しない。橋名板、橋詰高欄、橋梁部高欄の円と歯車状のモチーフの装飾は現存する。オリジナルであることが図面から確認できる

*3 例えば、伊勢大橋上部工の詳細設計の図面作成が行われたのは図面の日付によれば1930年6月から7月にかけての1ヶ月程度で主要構造の図面15枚が作成されている。これらの中には主構、ラテラルなどの構造詳細だけでなく、橋門構ポータルデザイン、高欄、親柱も含まれる。

*4 復原/元が行われた時点で、建設当初のデザインの把握ができなかったものと思われるが、真正性への認識が必ずしも高くなかったことが、親柱に新たに埋め込まれた当初はなかった名板から推測される。



Fig. 27 Ornament of Railing in Present (Juso Ohashi Bridge)

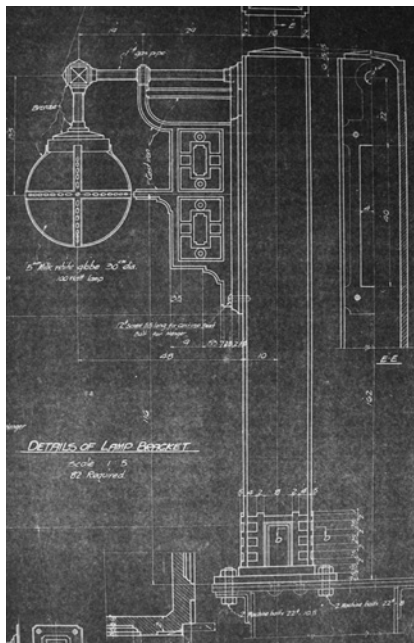


Fig. 28 Lamp Post (Owari-Ohashi Bridge)

(Fig. 26, 27).

伊勢大橋の親柱は石造の親柱の側面に照明を取り付けたデザインであった。現橋の右岸橋詰は、堤防に沿った道路と橋の交差点となっており、その角に位置する親柱は撤去され、ガード用のコンクリートブロックが設置されている。

尾張大橋も同様で、親柱は現存しない。照明も現存しないが、完成当時は上弦材の断面構成用のリベット箇所に 22φ のボルトで取り付けられていたことが図面から分かる (Fig. 28, 29)。

新架橋は小規模橋梁ではあるがいずれも石造の親柱があった。これらのうち橋梁本体が現存する 41 D (東富橋)、および 108 A (西堅川橋) では、石造の親柱があるが、前者は当初の設計とは異なるデザインで取り替えられている (Fig. 30, 31)。

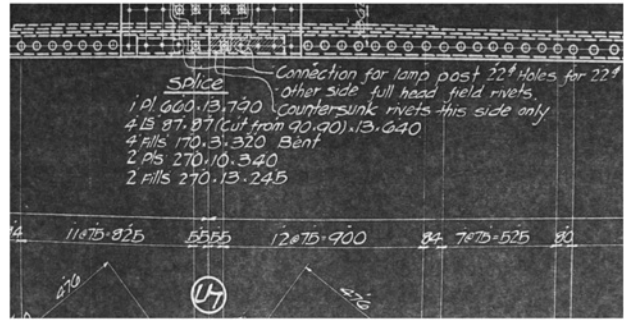


Fig. 29 Bolt Holes for Lamp Post on Upper Chord (Owari-Ohashi Bridge)



Fig. 30 Ornament of End Portal in Present (Juso Bridge)

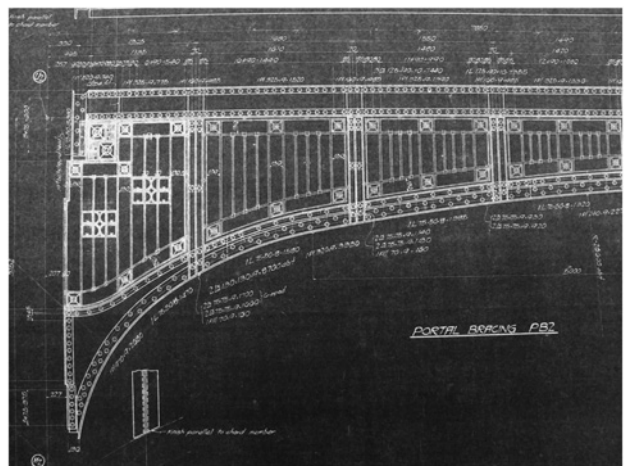


Fig. 31 Ornament of End Portal (Juso Bridge)

②構造部

橋面工以外の構造部分の意匠としては、下路橋における橋門構（ポータル）に装飾が施されている例がある。橋門構ポータルに曲線を採用して形状自体に意匠性を持たせるとともに、装飾が別途施される例もある。

十三橋ではポータルと端ポスト部材で構成される橋門構の門形を全体で曲線的にすりつけ、5連のアーチの起点、終点のポータル側面には鋳鉄製の装飾がはめ込まれ

る設計となっている。ポータルのトラス上弦材はアングルであるが、橋面構の傾斜にあわせてアングルの歯に角度が付けられている。この加工を含め下弦材のアングルの熱間加工（火造り）がされている。この部分は、オリジナルのまま現存する。

伊勢大橋、尾張大橋は、橋梁スパンが伊勢大橋のほうが大きく橋門構自体の規模も伊勢大橋の方が大きくなっている。このためもあり、伊勢大橋の橋門構は尾張大橋が意匠性があるのに対しより機能的である。伊勢大橋のポータルは桁高の高いトラス構造で、ポストとの隅角からポータルスパン中央にかけて単純円弧ですりつけたシンプルな構造である。これに対し、尾張大橋はポータルのトラスの上弦、下弦とも曲線で構成されている。

6) 使用鋼材に関する図面注記

増田の図面の注記では、ほとんどの鋼材を特別の断りがない限り O.H. steel を使用することを指示している。O.H. steel とは Open Hearth steel すなわち平炉鋼である。平炉鋼使用を明記した背景には、設計が行われた 1920 年代の国内における鋼材供給状況が背景としてある。

平炉とは、1865 年にシーメンス、マルタン父子によって開発された製鋼法で、シーメンス・マルタン法と呼ばれる。戦後この製鋼法は、酸素上吹転炉法 (BOF) や、電気アーク炉 (EAF) にとって代われ先進国では 1990 年頃までに姿を消しており、今日では東欧の一部で使われている。

増田が橋梁設計実務を学んだ 1910~20 年代のアメリカ

は、1890 年代にイギリスを抜いて世界最大の鉄鋼国となつてから 20 年近くが経過しており、製鋼法は塩基性平炉法が一般化していた。主として英米では構造用鋼には平炉鋼が使われることが一般的であったがドイツ、フランス、ベルギーなどヨーロッパ大陸では転炉法が主流であった。ドイツにおける橋梁用としては St 37 や St 48 が転炉で生産されて使われていた¹⁷⁾ (Table 3)。

国内の産業的な鉄鋼生産は 1901 年の八幡製鉄所の創業に始まる。八幡製鉄所では、創業当初、製鋼には酸性転炉法を採用していたが、1919 年に、新たに塩基性平炉法が導入された。この後酸性転炉法が停止されたのは 1927 年であったが、この間、転炉鋼、平炉鋼の生産が平行して行われた。鉄鋼主要製品であったレールは、国内需要のかなりの部分を海外産が占めていたが、国内産では 75 ポンドレールは塩基性平炉鋼を使用し、60 ポンド、80 ポンドレールには酸性転炉鋼が使用された。

橋梁分野では、永代橋 (1926) の吊材、および清洲橋 (1928) のチェーンには高張力マンガン鋼 (デュコール鋼) が使用されたことは良く知られている。この鋼材は第一次世界大戦後のワシントン軍縮会議の造艦制限を受けてイギリスで開発された 60 キロ級の艦船材料で、日本の海軍も研究を進めていた材料であった。従来の鋼鉄にくらべてマンガンと炭素の含有量が多く、ねばり強さをもっていた。

このような国内の鉄鋼生産の状況の下、構造用鋼としては、転炉鋼、平炉鋼の両方が使用された。鋼材の規格としては、1921 (大正 10) 年に日本標準規格 (旧 JES の

Table 3 Mechanical Property of Steel for Bridge in Germany (1930s)

Grade	Yield Point (kg/mm^2)	Tensile Strength (kg/mm^2)	Average Tensile Strength (kg/mm^2)	Average Elongation (%)
St 37	24	37~43	40	26
St 48	31	48~58	53	23

Table 4 Mechanical Property in JES 1921

Types	Tensile Strength (kg/mm^2)	Standard Test Piece	Elongation (%)
Steel Plate, Sections	39~47	No. 1	Over 9 mm ; more than 21 Less than 9 mm ; more than 17
Steel Bar	39~47	No. 1 No. 3	more than 21 more than 25
Reinforcing Steel Bar	39~52	No. 2 No. 3	more than 21 more than 25
Rivet	34~41	No. 2 No. 3	more than 27 more than 34

Table 5 Description of OH steel in Drawings

Name of Bridge	Date of Design	Date of Completion	Description of OH Steel	Remarks
Ise-Hashi	May-July 1930 Sept.-Nov. 1932	Nov. 1934	○ yes	Described in the note of drawings
Owari-Hashi	Feb.-Aug. 1930	Nov. 1933	○ yes	
Mimitsu-bashi	Nov. 1929 - April 1932	Sept. 1934	○ yes	
Arakawa	Feb. 1928-Jan. 1929	May 1929	× no	No description in drawings
Joganji Aqueduct	May-July 1931	Aug. 1932	○ yes	
Juso	April-Nov. 1929	Jan. 1932	○ yes	
41 D (Totomi)	Dec. 1927-Jan. 1928	March 1929	× no	
42 B (Shinoogi)	Aug. 1927	Dec. 1929	○ yes	
108 A (Nishikatagawa)	Sept. 1927-March 1928	1928	× no	

規定)が制定された (Table 4)。これを前提として1926(大正15)年に内務省規定、道路橋梁に関する細則や、鉄道省の鋼鉄道橋の規定で許容応力度が引張、圧縮 1200 kg/cm²、せん断 900 kg/cm²が規定されていた。また、昭和15年制定の鋼道路橋示方書の第一章総則に日本標準規格第430号によることを標準とするとされ、第三章、製造法、第三条では、「鋼材は特に指定なき限り第一種乃至第三種は平炉又は電気炉により製鋼するものとす。但し注文者の承認を経たときは転炉により製鋼するを得。」とある。

増田が設計を手がけた時期は、以上のような鉄鋼製品の供給状況を背景として鉄鋼材料技術の革新が進む変化のある時期であった。

増田事務所の図面で O.H. Steel の記述があるのは、9橋のうち概ね1929(昭和9)年以後に設計された7橋である (Table 5)。国内生産では平炉鋼が主流となりつつあること、鋼材規格の JES で規定がされるようになったこと、これに基づく内務省規定が整備されたことなどから、使用材料を O.H. Steel に限定する意味は減少しつつあったが、アメリカで自ら修得した設計で同品質の橋梁の建設を実現するために、「特に記述がなければ O.H. steel を使用すること」の注記が記されたものと考えられる。

7) 構造、リベット継手等

構造部材、リベット継手などの構造主要部について、現橋と図面の対比により、竣工後の補強・補修、改変などの状況が明らかとなった。

美々津橋では、2連のアーチは現存するが、アプロー

チの桁橋は、架け替えられた溶接構造であり、当初にはない落橋防止、橋台の沓座縁端確保の補強がされている。アーチ部はかなりの補修がされ上弦材および、アーチリブの下フランジ側では、多くの箇所タイプレート、レーシングバーが TS ボルトに取り替えられ、対傾構でも TS ボルトの箇所がある。また、上弦材には、塗装用のアンカー (フック掛け) が溶接で追加がされている。床桁は船形補強が施されている。その他、縦桁は溶接構造の新規に取替えられ、当初のものではない。オリジナルの床桁の補剛桁に高力ボルトで取り合っている。

十三橋は、アーチの垂直材の基部の部分は、アプローチの桁橋のヒンジ部分などが漏水による腐食劣化により一部部材が取替えられ、高力ボルトが使用されているが、全体にオリジナル部材の継続使用が多い。橋脚は沓の縁端確保の張り出し補強がされている。アプローチのゲルバー桁も落橋補強がされている。

伊勢大橋は、ほぼ同時期に施工された尾張大橋より部材の腐食が進んでいる。昭和35年にリベット構造の側道橋が追加施工されている。これは尾張大橋も同様である。と同構造で同時期の施工と思われる。

尾張大橋は垂直材の基部、橋門構(海側)で一部リベットが高力ボルトに取り替えられている。その他、端横桁と下弦材の隅角が補強されている。

常願寺川水路橋の構造部材は、ほぼ図面どおりオリジナルの状態が保持されており、腐食、損傷等はほとんど見られない。ほとんどの部材がオリジナルと思われるが、左岸側の水平部材の下フランジ側のタイプレートおよび、右岸側の縦桁 (チャンネル) の横桁との取り合いが

ボルトとなっている。図面にはない新規追加部材としては、導水鉄管の両側の点検用歩廊床材のエキスパンドメタル、およびスパン中央より左岸側の上床から水管レベルの歩廊に降りる点検梯子がある。主構造ではないが、右岸側のアーチリブ下フランジのタイプレートに水抜き孔があるがこれも水の流れから竣工後に取り付けられた。

荒川橋は、アーチ本体はとくに改変はないが、縦桁は一部リベットの脱落や、縦桁の掛け違い部での高力ボルトへの交換が改変箇所である。

新架橋(41 D, 42 B, 108 A)の3橋のうち、42 Bの新扇橋が架け替えられて現存しない。

41 D, 108 A とも典型的な復興橋梁で、高欄、親柱、床版、照明などはすべて更新がされているが、橋梁本体はオリジナルである。

5.2 設計計算書の分析

設計計算書について、その構成、設計準拠示方書、新技術としてのコンクリート床版、構造解析の面について、それらが設計計算書の中でどのように示されているかを明らかにする。

1) 設計計算書の構成

増田淳事務所の立場は、発注者から設計業務を請け負っているが、実務的には発注者の立場で橋梁工事全体を統括する発注者の代理に近い。このため、計画が確定したあとに詳細設計を行なうのではなく、計画段階から関与しており、設計計算書の構成も予備設計、比較設計などの計算書の作成にも関与している。特に十三橋の場合は、予備設計計算書や、比較設計計算書とともに予算に関わる書類も含まれる。尾張大橋では、予算設計計算書が増田淳によって作成されている。構造計算の部分は、一般的には英文の記述が多い。これは、増田淳の15年間にも及ぶアメリカにおける橋梁設計実務の方式を踏襲したものと考えられる。

設計の範囲は、上部工、下部工、親柱、照明などの意匠設計および、架設設計まで行なわれている。設計計算書の種類としては必ずしも用語は統一されていないが、以下の通りである。

- ・ 予算設計々算書
- ・ 比較設計予算書
- ・ 設計々算書(上部工、下部工)
- ・ 応力計算書
- ・ 材料調書
- ・ 鋼材材料表
- ・ 下部工数量計算書

2) 設計準拠基準

7橋の設計時期は、それぞれ重複はあるが、昭和2(1927)年8月(42 B)から昭和7(1932)年11月(伊勢大橋変更設計)の約5ヵ年間である。最初の橋梁の42

Bが設計される直前の大正15(1926)年には「内務省道路構造ニ関スル細則」が発行されて規定が改定されていることから、いずれもこの細則を準拠基準としている。

7橋の設計荷重には、基準に規定される一等橋から三等橋に応じて自動車(またはロードローラー)の荷重と、その周りに支間長で低減する分布荷重である「群衆荷重」が採用されている。自動車荷重は、橋軸方向に1台、横方向に4台とし、1橋に1台載荷している。十三橋では、軌道の車両荷重も採用されている。

3) 鉄筋コンクリート構造の採用

増田事務所が設計した橋梁は、比較的規模が大きいものが多く、常願寺川水路橋の木床版を除いて鉄筋コンクリート床版が採用された。この鉄筋コンクリート床版は、木床版で被害の多かった関東大震災以後、積極的に採用されるようになった昭和初期の先端的な工法である。

7橋の設計が行なわれていた時期の昭和3(1928)年に発行された鷹部屋福平の「架構新論」の序には以下の記述がある¹⁸⁾。

「……特に震災後の我邦は強剛なる材料と構法とを選ぶ必要を痛切に体験したる結果として鉄筋混凝土構造は最適の材料であり且つ構法であることに到達したかの感がある。」

大正15年の細則には鉄筋コンクリート床版設計で有効幅の規定がある。鉄筋コンクリート床版の厚は、いずれも150 mm(美々津)~155 mm(尾張)程度で、鉄筋径は12 mm ϕ 、かぶりが20 mm(十三)~25 mm(尾張)がとられた。十三橋では、異型鉄筋が採用されている。増田事務所が設計した床版の設計計算は、鉄筋コンクリート床版の比較的初期の事例である。

4) 構造解析

鉄筋コンクリートの採用とともに、剛結合された鉄筋コンクリート構造のラーメンが採用されるようになったことは、昭和初期における橋梁構造における不静構造の増加をもたらした。このため構造解析において不静定構造が高級理論として構造解析で着目されるようになった。

19世紀から20世紀初頭までに確立された静定、不静定構造解析の理論をもとに、設計実務としては、手計算で構造解析を行うための効率化の工夫が行われてきた。図式解法もその一例で、鉄道橋で最大断面力を生じる連行荷重の載荷位置の決定や、各種トラスの図式解法もこの一例である。

増田淳事務所はアーチ構造を多く手がけており、設計計算の構造解析では不静定の解析に膨大な時間がかかるために、この設計作業の効率を図ることが設計実務上非

Table 6 Design Schedule of Three Bridges (Owari-Ohashi, Ise-Ohashi and Kisogawa Bridge)

Name of Bridge	Owari-Ohashi	Ise-Ohashi	Kisogawa
Budge Design	Nov. 3-Dec 2, 1929		
Preliminary Design	Feb. 3-15, 1930	Feb. 12-17, 1930	May 19-29, 1933
Detail Design (Superstructure)	May 2-June 3, 1930	June 19-July 5, 1930	June 3-Aug. 20, 1933

常に重要であった。7橋の設計計算では、計算途中がすべて含まれてはいないが、影響線を求めるまでの部分に多くを費やしている。

7橋が設計された昭和初期には、不静定構造の解析は、カスティリアノの最小仕事の定理により、支点反力を不静定力として選定して影響線を求める方法が「架構新論」によって設計実務で使われるようになった。

増田淳のアーチの構造解析は、仮想仕事 (principle of virtual work) の定理よるもので、当時すでにアーチ構造の解析で使われている。これは、部材に力が作用し変位が生じるときの仕事 (力×変位) のつり合い条件に基づいて組み立てられる。すなわち、「つり合い (平衡) 状態にある場合、これに任意の微小変位与えたときに働く仕事の和は0になる」ということに基づく (この場合の微小変位をもって、仮想変位 (virtual displacement) の方法と呼ばれる)。

方程式は、微小変位に外力を乗じたものの総和=0とおいて組み立てることの繰り返しで解析を行っている。美々津、常願寺川、荒川のアーチのいずれもこの方法で、外力として不静定力の他、単位荷重 ($P=1$) を載荷した式を加えて解くことで、影響線を求めている。したがって、アーチを構成する各部材ごとに、単位荷重 ($P=1$) を移動させて各載荷ケースごとに、連立方程式を解く繰り返しで計算を行っている。繰り返し数は、部材数×単位荷重の載荷ケース (上弦材の格点数) となり、設計計算においては、このような膨大な設計計算の負荷を軽減することは実務上極めて重要であった。

計算のメッシュを粗くし (格点を減らし)、補完をして、図式解法が多用されたのは、実務的に設計計算の負荷を減らし効率を上げる工夫の一例である。さらに、構造解析の負荷の大きさが、構造計画にも影響を与えた可能性もありうると思われる。

深い谷川の荒川上流部に架かるバランスドアーチの荒川橋では、兩岸の勾配が非対称の地形条件ではあるが、左岸、右岸側の径間長は同じスパンにとり、左岸側には単スパンの桁橋を別途配置する構成としている。これによってアーチ本体のスパン割を対称形にとり構造解析の計算負荷を低減したとの判断の可能性もありうる。増田は、土木学会誌の施工報告論文で、左岸のみに桁橋が配

置されたスパン構成について、景観の面から残念であった趣旨のことを述べている¹⁹⁾。

一方、尾張、伊勢大橋に用いられたランガートラスは、アーチリブは軸力のみで、曲げはすべて補剛トラスで負担する構造で、昭和初期時点までの事例は多くはない。この2橋は、構造が類似しており、設計時期も近かったことから (Table 6)、個々に独立した2橋の設計をすべて行なったのではなくシリーズとして設計され共有できる部分を利用して設計作業の軽減が図られている。詳細設計の構造解析では、影響線を求めて載荷しているが、「予算設計」と称される基本設計では、死荷重概算断面力に対する比で活荷重断面力を算出している。また、41 D、42 D で採用されたトラスの構造解析では、図式解法によっている。

6. 考察

6.1 図面、設計計算書の分析からの知見

図面、設計計算書の分析を通じて、近代日本の鋼橋建設実務技術について得られた知見は以下のとおりである。

- 1) 欧米における同時代の鋼橋の図面は、契約の段階に従って、一般図、設計図、詳細図、工作図などが使い分けられた。これに対して国内の鋼橋図面は、一般図から詳細図までを同じものが多く、契約段階の構造計画、発注段階での応札準備、契約後の施工情報とより多目的に用いられた。
- 2) 製図手法は、線の太さの差を大きくとり、引き出し線、寸法線、構造外形線などのコントラストが大きく、見た目の美しさとともに、コンパクトに表現される傾向がある。
- 3) 図面上に描かれた部材の材料の寸法、数量を図面中に部材寸法とは別に部材近傍にまとめて表記する方法であるアメリカンブリッジの方式が、昭和初期には定着して実践されている。
- 4) 図面には、製作、施工のための情報だけでなく、設計情報も盛り込まれる場合があり、設計荷重の記述 (英文) もある (吉野川橋他)。
- 5) 設計作業の実務は、専門の分化は今日ほど進んでお

らず、一般に設計者一人が扱う範囲が広い。同一の設計者が、鋼橋、コンクリート橋、上部工、下部工、親柱、高欄、照明灯などの付属品、施工計画まで幅広い分野の図面の作成に関与している。

- 6) 同じ設計者によって構造図に付属品を描きこむ例も見られる。今日では主構造と柵、高欄、親柱を含む付属品とは、別々に扱うのとは異なる。これは、架設計画図、架設仮設備関係図も設計者によって図面が作成されていることと共に、設計者、製図者の所掌範囲が広く技術全体全体を所掌する立場にある。
- 7) 技術の特筆事項として、ニューマチックケーソンが多く採用されている。これは、ブルックリン吊橋(1883年)、フォース鉄道橋(1890年)など大規模橋梁の基礎にニューマチック工法が採用されて技術的信頼性が高まったことによる。美々津橋や、伊勢大橋、尾張大橋では刃口部分を鋼構造とした木製のケーソンが使用されている。ケーソンについては、施工図や、空気圧管理図などの施工情報の他、特許がアメリカの会社にあるための留意事項が記載されている。

また、美々津橋における鉄筋コンクリート杭の採用は本格的な採用から約10年の後である。

- 8) 橋梁の景観設計に対する配慮は、特に増田事務所の設計が他の同時代の橋梁と比べて特色を持っていたことは見出し難いが、親柱、高欄、照明などを中心に意匠設計が、構造設計と同一の設計者によって行われていた。
- 9) 図面の注記で、使用鋼材は、O.H. steel (Open Hearth steel: 平炉鋼)の使用が限定されており、設計が行われた1920年代の国内における鋼材供給状況を背景として示している。

6.2 考察(昭和初期の橋梁実務技術)

国内の近代橋梁技術の発展に影響を与えたJ.A.Lワデル(1882-86在日)は、アメリカ帰国後コンサルタントの業務についたが、橋梁図面について実務的な面から著書の中で多くの指摘をしている^{20),21)}。

20世紀初頭のアメリカにおける橋梁設計は、コンサルタントによってその詳細のレベルがかなり異なっていた。製作工場のshop drawings, working drawingsまで踏み込んで細部まで指示する設計をする場合と、主要な寸法、リベット数まで示すが、その配置の寸法は示さず製作工場の決定に委ねる設計(general detail drawings)があった。ワデルが自らの設計事務所の活動で一貫して採用したのが後者の方法で、コンサルタントの設計では、shop drawingsに踏み込む作図は、厳に慎むべきことと主張している。この場合、製作会社が設計図に従って詳細図、工作図working drawingsを作成し、コンサルタ

ントの承認を得る手続きが取られていた²²⁾。すなわち、エンジニアのアシスタントは、設計図が指示した内容を詳細図で反映させているか、ミスがないかを照査する義務と権限を負っていた^{*5}。

この方法によれば、それぞれの製作工場独自の工作方法に適した構造詳細を選定することができることの利点をワデルはあげている。加えて、この方法では、コンサルタントの事務処理能力が拡大することもワデルは指摘しており、詳細設計図まで作成する前者の方法に比べると、3倍の設計量をこなせると述べている²³⁾。

増田淳をはじめとした大正、昭和初期にアメリカで設計実務を経験した日本人技術者は、アメリカにおける橋梁図面の種類には精通していたはずであるが、帰国後、国内で実践したのは、アメリカにおける複数の方式をそのまま導入するのではなく、前者の製作まで実施できる詳細設計図を選択したことは注目すべき点である。ワデルの主張する橋梁企業や製作工場独自の工作法に従った詳細設計を企業にゆだねるのではなく、発注者が自ら設計を行い、契約図書として支給する方法である。

これは明治初年以來の官主導による工業化という国内の状況に適合しているとの判断から、計画はもちろん、設計、製作、架設までも発注者、すなわち設計者が詳細設計で示す方式を選択的に導入したと考えることができる。今日においても日本の鋼橋図面は、施工図並みの図面で発注される方式が主流であり、施工者の選択範囲が広がる各種のバリエーションはあるが、基本的な部分は、20世紀初頭におけるアメリカからの選択的な導入以降変わっていない。

国内の図面は、欧米の設計図と詳細図の両方の役割をもつ多目性をもっており、この特徴は契約や事業執行方式、コンサルタントの性格などが欧米とは異なるわが国の建設実務のあり方とも相互に関係している²⁴⁾。

一方、図面、設計計算書の分析で、新技術の導入に関わることも抽出された。増田淳事務所は、アメリカ方式を取り入れつつもわが国独自の設計実務を採用しつつ実務を行ったが、先端的な技術の導入にも積極的であった。基礎工法でのニューマチックケーソン工法、新架橋41Dの下部工の施工の仮締切りでの鉄矢板(テル・ルージュ)、十三橋での、鉄筋コンクリート床版でのアメリカTruscon Steel社の異型鉄筋の使用、美々津橋での、鉄筋コンクリート杭の採用などが上げられる。

*5 20世紀初頭、橋梁設計実務に大きな影響をもっていたJ.A.L. Waddelはその著書、Economics of Bridge works, 1921, pp. 358-359, および文献20, pp.1378-1386で「Checking calculations」, 「making drawing」の節を設けてコンサルタントが実施すべき図面照査と権限について述べている。

7. おわりに

本研究では、建設実務資料である図面、設計計算書を対象としてそれらの分析によって、わが国の近代橋梁技術の確立した昭和初期の橋梁建設の実務技術を明らかにした。これをもって、図面、設計計算書が、特定の橋梁の建設、維持のための資料を越えて、建設された当時の橋梁技術の一端が読み取れる一般性のある史料であることを示した。

なお、本研究の一部は平成18年度～19年度文部科学省科学研究費補助金(基盤研究(C))によって行ったものである。

参考文献

- 1) 日本の近代土木遺産－現存する重要な土木構造物2000選, 土木学会土木史研究委員会, 2001.
- 2) 日本の近代土木遺産－現存する重要な土木構造物2800選, 土木学会土木史研究委員会, 2005.
- 3) 五十畑弘, 土木図面の保管に関する海外事例調査－ロンドン・ギルドホール図書館図面部門－, 土木学会第62回年次学術講演会, 2007, p.355-356.
- 4) 福井次郎, 設計技術者・増田淳の足跡, 土木史研究論文集, 2004, p.165-175.
- 5) 五十畑弘, 増田事務所で描かれた図面と20世紀初頭の橋梁技術, 2003年土木学会全国大会の研究討論会「幻の橋梁エンジニア・増田淳再発見」配布資料, 2003.
- 6) 藤森照信, 近代日本における建築設計図面史料の研究, 文部省科学研究費補助金研究成果報告書, 1988-1990.
- 7) 国内外の建築アーカイブの現状－建築アーカイブネットワーク構築に向けて－, (社)日本建築学会, 2004.
- 8) 近代建築資料総合調査特別調査委員会報告書, (社)日本建築学会, 2004.
- 9) Farnsworth, A.W., Construction Steel Work, Charles Griffin and Co., London, 1905, p.1394.
- 10) 座談会 わが国のれい明における鉄橋(続) JSSC, 鋼構造協会, Vol. 18, No. 189, 1982, p.21.
- 11) Coklin, Chas. D, Structural Steel Drafting and Elementary design, John Wiley and Sons, New York, 1915, p.126.
- 12) 五十畑弘, 土木史料としての図面に関する調査研究－鋼橋を対象として－, 土木史研究講演集, Vol. 25, 土木学会, 2005, pp.250-252.
- 13) 横河橋梁八十年史, (株)横河橋梁製作所, 1987, p.92, 95.
- 14) David Plowden, Bridges, the span of North America, WW. North & Co., NY, 2002, p.134.
- 15) 御茶ノ水両国間高架橋建設概要, 鉄道省, 1932, p.10-17.
- 16) 東工90年のあゆみ(東工第37巻, 特集号), 日本国有鉄道東京第一工務局, 1987, p.360.
- 17) 三浦七郎, 鋼橋上巻, 常盤書房, 1934, p.40.
- 18) 鷹部屋福平, 架構新論, 1928, p.2.
- 19) 増田淳, 埼玉県荒川橋の設計及び架設工事, 土木学会誌第17巻5号, 1931, p.3.
- 20) J.A.L. Waddell, Bridge Engineering, Volume II, 1916, p.1379-1380.
- 21) J.A.L. Waddell, Bridge Engineering, Volume I, 1916, p.617-646.
- 22) HEAD, J, American and English Methods of Manufacturing steel Plates. (including appendix and plate). Proceedings of the ICE, 1896 p.29-36.
- 23) J.A.L. Waddell, Economics of Bridgework, 1921, p.232-249.
- 24) 五十畑弘, 土木図面の史料性に関する調査研究, 土木史研究論文集, Vol. 25, 土木学会, 2006, pp.87-97. (H 20.12.9 受理)

