

## 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― \*

A Research on Engineering Drawings as Historical References - in Case of Steel Bridges -

五十畑 弘\*\*

Hiroshi ISOHATA

### Abstract

Engineering drawings are major way to convey practical information such as planning, designing and construction for specific structures. However the drawings prepared for specific structures also contain information to study contemporary engineering tendency in general, which means that engineering drawings have value for historical references as well.

In this paper steel bridge superstructures at the beginning of 20th century are focused and their engineering drawings are researched to clarify the value for references for the study on civil engineering history.

Engineering drawings by the design office of Jiun Masuda (1883-1947) are mainly studied for Japanese case and engineering drawings for the same period in UK, Germany and USA are also studied for the comparison of each cases. Based on these studies, western influences and features of Japanese bridge engineering at the beginning of 20th century are examined to clarify the value of engineering drawings for historical study on civil engineering.

### 1. はじめに (研究の背景、目的、方法)

土木史研究で対象とする歴史的構造物の第一級の史料は、構造物が現存する場合は、現物そのものである。これに対して、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も、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、基本的なこととして、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・研究が極めて限られていることにも表れている。

20世紀前半の橋梁設計技術者、増田淳(1883-1947)の図面等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<sup>1)</sup>。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論じられ、この中で図面の史料性も論じられた<sup>2)</sup>。

一方、建築分野では史料としての図面に関する研究<sup>3)</sup>やアーカイブ整備の面からの調査<sup>4),5)</sup>進められている。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」の研究委託をう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3ヵ年に亘り図面など保存の調査・研究を実施した。

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つては、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。

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、図面が製作された時期の設計・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。

本論文では、20世紀初めの大正から昭和初期の時期に作成された鋼橋の図面を対象として取り上げ、土木史研究における図面の史料性について実証的な検証を行うものである。国内の橋梁としては、主として増田淳事務所の作成した鋼橋図面を対象とし、これとともに欧米における同時期の鋼橋図面についても調査を行なう。調査結果に基づいて、図面の面から大正、昭和初期におけるわが国の鋼橋技術への欧米の影響および、鋼橋建設の特徴、位置づけについて考察を試みる。これをもって、図面の土木史料としての価値の存在を明らかにする。

\* keyword: 図面、土木史料、鋼橋、増田淳

\*\* フェロー会員 博士(工) 日本大学生産工学部土木工学科  
(〒275-8575 習志野市泉町1-2-1)

表-1 十三大橋の図面構成

| No. | 図面名称         | No. | 図面名称            |
|-----|--------------|-----|-----------------|
| 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)杓、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、杓、ロッカー杓   | 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    |     |                 |

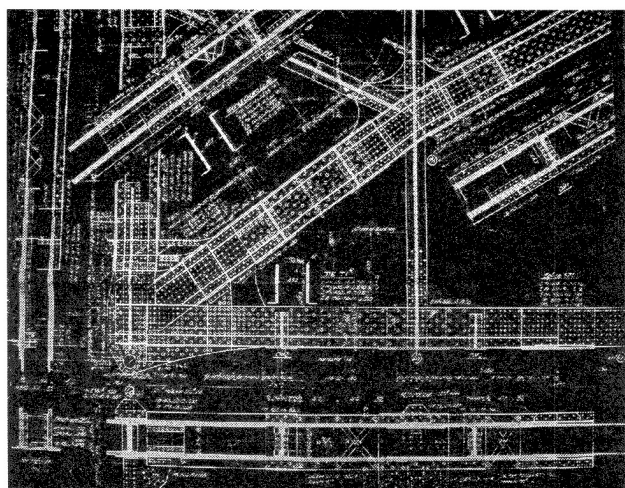


図-1 十三大橋(1929)主構詳細図 (部分)

## 2. 国内の鋼橋図面

### (1) 調査対象図面

20世紀初頭から前半に施工された鋼橋を調査の対象とし、主として増田淳事務所が作成した図面を取り上げる。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)、十三大橋

(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。

### (2) 図面の種類と構成

1929(昭和4)年に設計され、1931(昭和2)年に完成した十三大橋の図面の構成を、表-1に示す。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。

欧米における鋼橋の図面の種類は、後述するように、契約の段階に従って、一般図、設計図、詳細図、工作図などがある。これに対して国内の鋼橋図面では、十三大橋の図面構成に見られるように、一般図から詳細図までもを含んでいる。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。国内の図面は、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ことがわかる。

### (3) 製図手法上の特徴

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、配置のよさなども表現上の特徴を形成している(図-1、2、3)。図面の字体の統一については、1970年代まで、橋梁メーカーの製図者では実践されていた。増田淳事務所の図面の線のメリハリや、配置による全体の印象、特徴については、過去にも同様な指摘がある<sup>6)</sup>。

### (4) 材料の表記法

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。十三大橋、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は、すべてこの方法で表現されている(図-1、2、3)。

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(1976-1942)によって、国内に導入された<sup>7)</sup>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。

### (5) 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。この傾向は図面にも表れている。同一の設計者が、鋼橋、コン

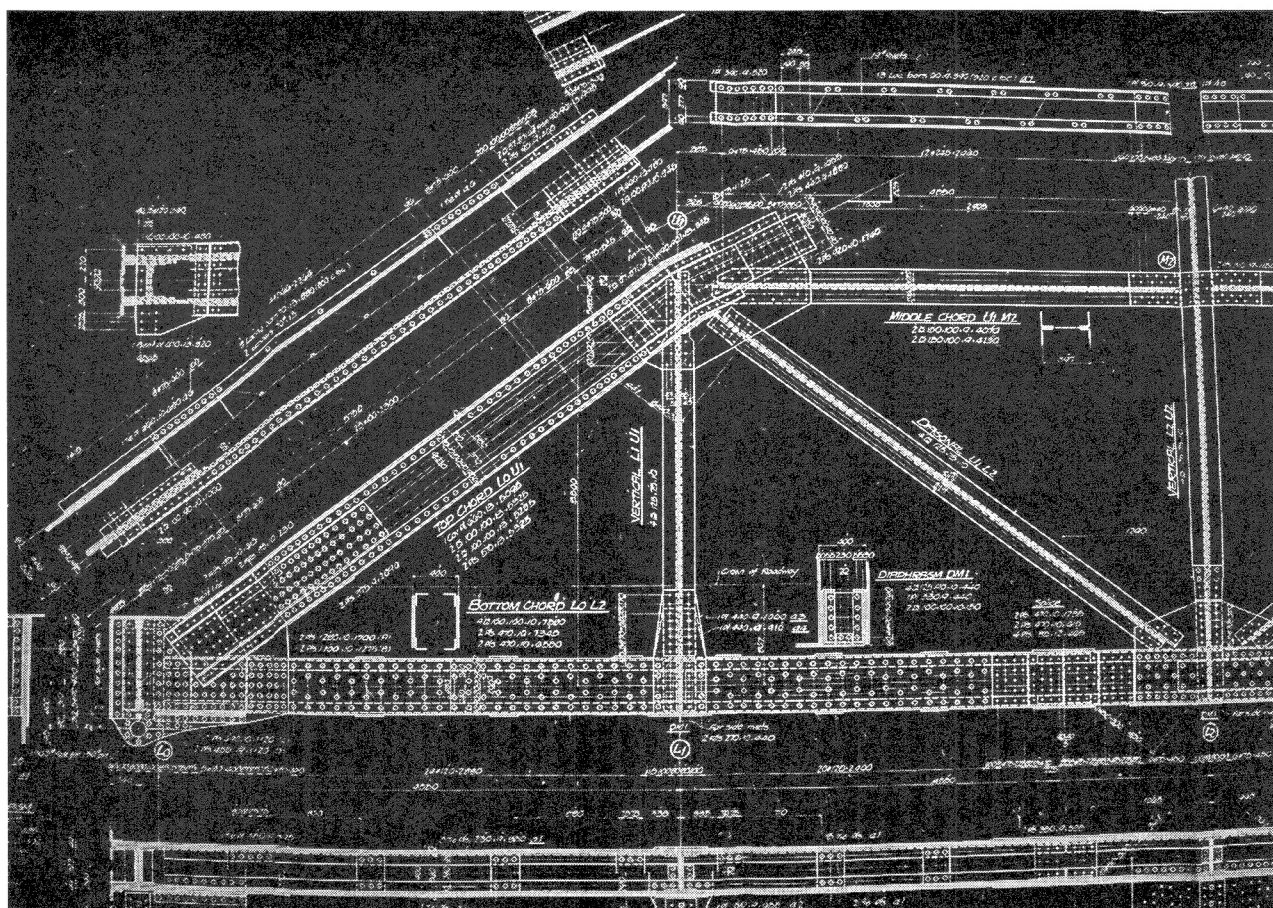


図-2 伊勢大橋(1930)主構詳細図(部分)

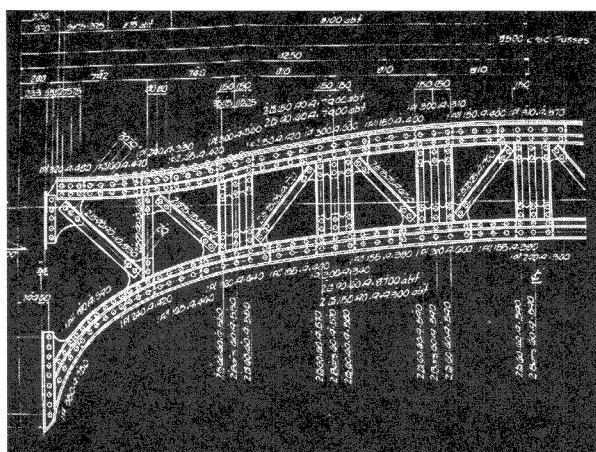


図-3 尾張大橋ポータル詳細図(部分)

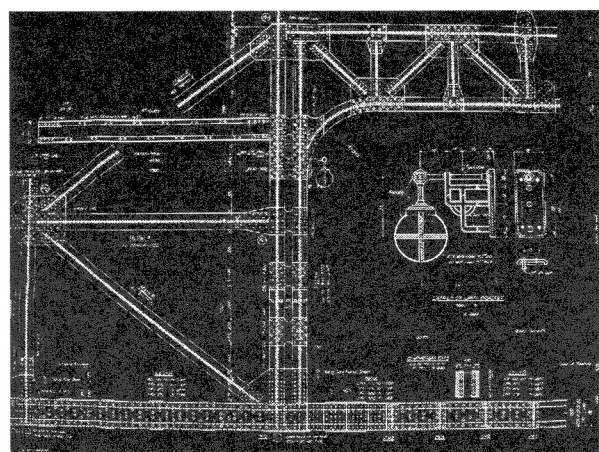


図-4 主構詳細に描かれた照明(伊勢大橋、1930)

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ことが図面から読み取れる。

伊勢大橋の主構図には、その部材に取り付く照明灯も描かれている(図-4)。通常構造図に付属品を描きこむことは珍しく、今日では主構造と沓、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(図-5)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。設計者は、主構造の設計にとどまらず、付属品の設計、さらには施工までを含む、設計、製作、架設の全体を所掌する立場がこれらの図面からわかる。

#### (6) 図面上の注記

図面は、製作、施工のための情報だけでなく、設計計算結果も盛り込まれる。今日でも応力図として断面構成図、モーメント図として作成される場合があるが、増田事務所の図面のうち、

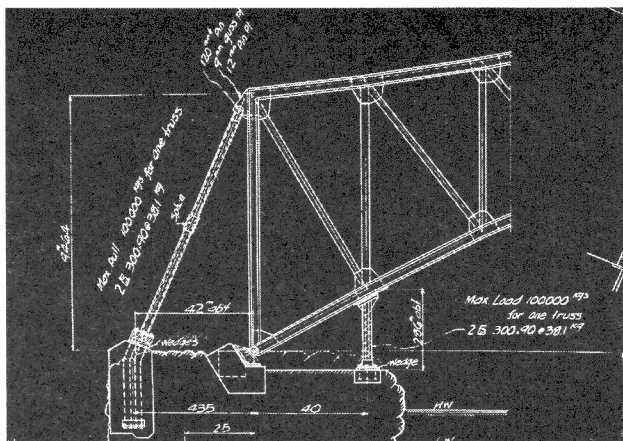


図-5 架設計画面(常願寺川水路橋、1931)

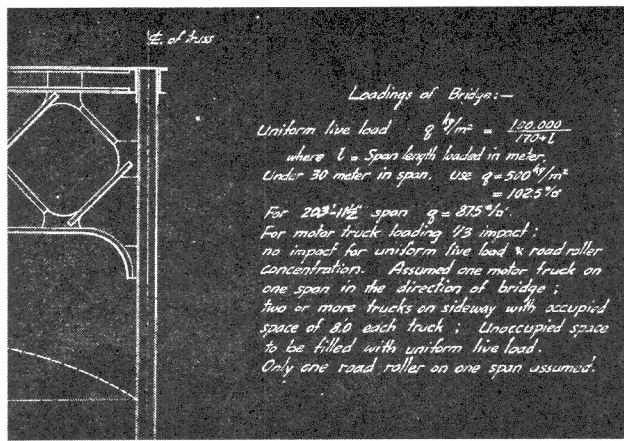


図-6 吉野川橋(1926)図面での設計荷重の記述  
道路構造令細則(案)の2等橋設計荷重(英文)

吉野川橋の一般図には、応力図に加えて、設計荷重の記述(英文)もある(図-6)。「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。この部分は、施工には直接関係ないが、図面は、設計計算書と一体となって設計の考え方を示すものでもあった。

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ある。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(図-7)<sup>8)</sup>。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が読み取れる。

### 3. 欧米における鋼橋図面

国内の図面と対比をするために、20世紀初頭から前半の国内の鋼橋建設技術に影響を与えたと考えられる19世紀末から20世紀前半に施工された欧米の鋼橋の図面を調査する。

#### (1) 図面の種類

欧米における19世紀から20世紀初頭の鋼橋、その他の鋼構造の図面は、一般図、設計図および、詳細図の3種類に分類される。一般図(General Drawing)は、構造計画の全体を示すもので概要図である。設計図(Design Drawing)は、これに従って使用材料の特定、数量を把握し、応札準備の積算ができるもので、一般図とあわせて契約図面(Contract Drawings)となるものである。

詳細図(Detail Drawings)は、工場での製作手順や、現地での施工手順を反映したより詳細な図面であり、契約後に橋梁会社によって作図される場合が多かった。今日の道路公団や、首都公団の実施設計図に近い。この他の図面では、配置図、応力図、ビームスケッチ、材料リスト、図面リスト、リベットリスト、架設図などがある。

#### (2) 図面の特徴

フォース鉄道橋(写真-1)は1882年に着工され、1889年末に完成した総鋼重50,958トン、リベット650万本を使用した

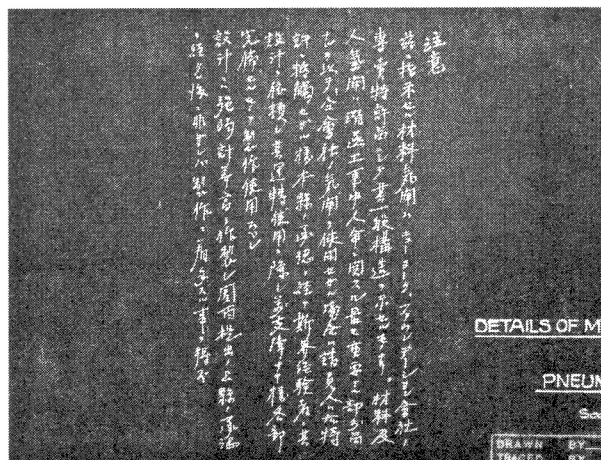


図-7 伊勢大橋の図面に記された「注意」

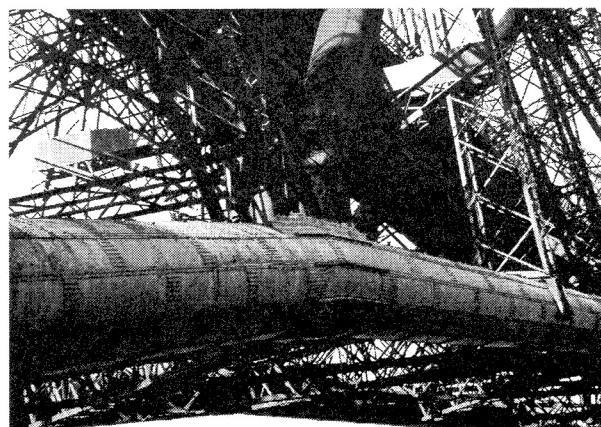


写真-1 フォース鉄道橋(1890)主構格点部(撮影2003.9)

ゲルバートラスである。大量な鋼材加工を行った点からすれば、最初の大規模鋼橋の設計、施工事例である。

工事を請負ったSir William Arrollによって実際の製作に使用された上弦材格点部の詳細図(図-8)は、鉛筆書きの青図である。製図手法については、線のメリハリはこれより20年以上

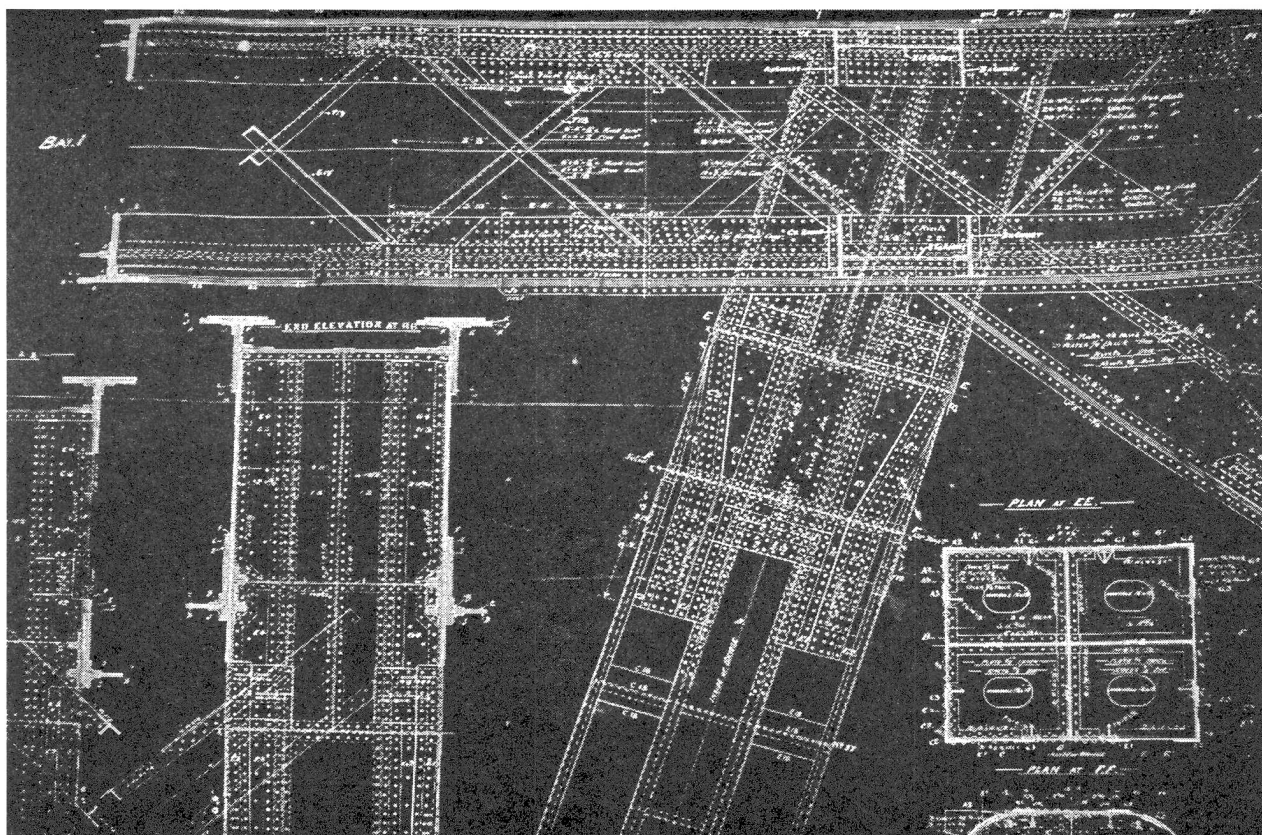


図-8 フォース鉄道橋(1890)主構格点詳細図 (部分)

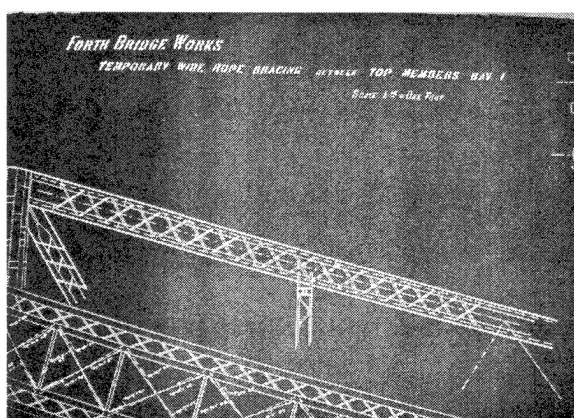


図-9 フォース鉄道橋(1890)上弦材架設図(部分)  
(上弦材の仮ワイヤーブレース、パネル1)

も後の国内の図面のよりも少なく、実務的な図面である。鋼板の重ね継手、部材の継手が複雑に入り組んで表現されている。

図-9は、トラスの張り出し架設工法の最先端部における上弦材の張り出し架設図である。チェーンに代わってワイヤーロープが工事に大規模に使用されるようになったのは、フォース鉄道橋の架設工事からとされているが、この図面でワイヤーが上弦材の仮のブレース材で使用されていることが分かる。

フォース鉄道橋の設計、製作、架設の状況は、この他の架設図、および工事記録関係図書<sup>9)</sup>により、ほぼ正確に把握することができる。材料の表記については、20世紀に入って一般化し、

今日まで行なわれている部材の近傍に材料の員数、寸法をまとめて記載する方法は、19世紀末のフォース鉄道橋ではとられていないことがわかる(図-8)。図面上の材料片に、引き出し線でa, b, c…といった記号がふられ、この記号ごとに工作図を作成し材料を拾ったものと考えられる。

19世紀の鋼橋製作の図面は、鋼板加工の面では技術的に先行していた造船の方式に影響を受け、その製図法に倣っていた。造船では、原寸図がもっとも重要視され、原寸図が伝統的に図面としてあつかわれた。このため設計図は原寸図作成の一資料と考えられ、材料を図面中に員数を含めて記載することはなかった。

1882から調査、計画を開始し、設計を経て80年代中頃から現地付近の仮設ヤードで製作の開始されたフォース鉄道橋では、この造船の工作法が踏襲されたものと考えられる。設計図をもとに、床書き原寸を作成し、最終寸法を、キャンパー、伸ばしなどを考慮して決定し、これをテンプレート、ないしはシナイに写し取り鋼板、形鋼の切断が行われた。設計図から断面構成、寸法、そしてキャンパーが読み取ればあとは原寸場で展開して材料を確定するという手順である。

これに対して、フォース鉄道橋より約30年後の1916年に建設されたアメリカのグレート・ノーザン鉄道のイエローリバー橋の設計図(図-10)では、すでにアメリカンブリッジCo.によって始められたとする部材近傍への材料の記述がされている。しかし、ほぼ同時期のドイツの道路橋の設計図では、まだ旧来の通りの表現法で材料の記述はない(図-11)。

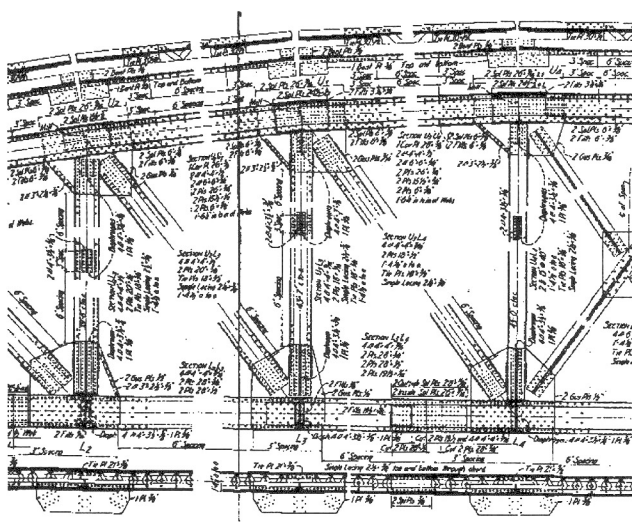


図-10 イエローリバー鉄道橋(1916)主構設計図  
(米、グレート・ノーザン鉄道)

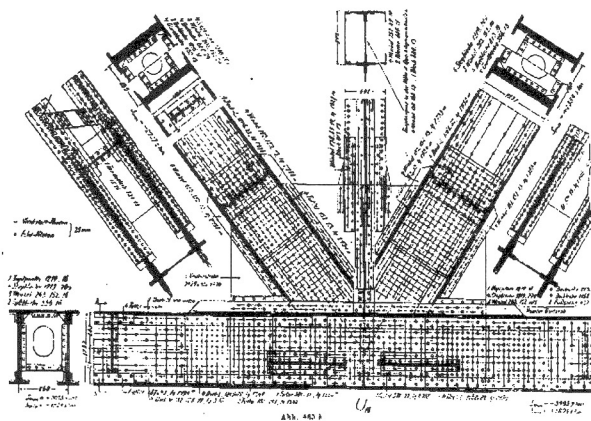


図-11 ドイツの道路橋(1921)主構格点設計図

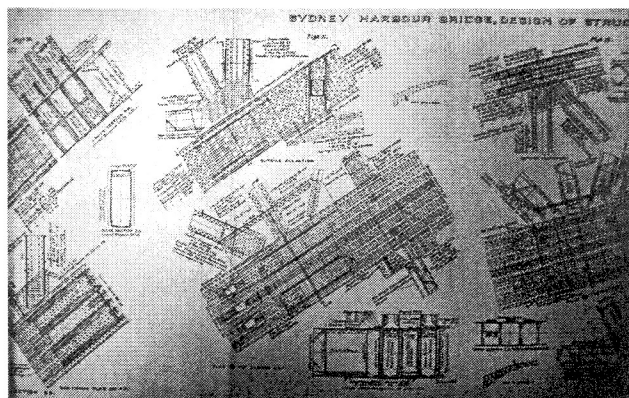


図-12 シドニーハーバー橋(1932)主構格点設計図

1932 年完成のオーストラリアのシドニーハーバー橋(図-12)は、イギリスの橋梁技術者のラルフ・フリーマンによってイギリス方式で設計、建設された鋼橋であるが、設計図では、部材近傍へ材料の記述をする方法が採用されている。

以上より、20 世紀初めにアメリカンブリッジ Co. で始められ

た造船方式から分化をした橋梁独自の表現法は、20 年以上をかけてヨーロッパでも採用される鋼橋図面方式となったと考えられる。

### (3) 欧米における製図方法

橋梁会社における詳細図の製図は、保有している構造形式毎の標準図(Typical Drawings)を参考にして実施されるのが一般的であった。この標準図が図面の基準の役割を果たしており、図面表現方法についてもかなり細かな点まで製図者への指示事項としてまとめられていた。

20 世紀初頭にイギリスや他のヨーロッパ諸国に影響を与えたアメリカンブリッジ Co. で実践されていた設計図面について、同社での製図者への指示事項として具体的に次のように示されている<sup>10)</sup>。この 3 項(下線箇所)に、材料表記の記述がある。

- 第一寸法線は、図形より 5/8 インチ離して引き、第 2 寸法線との間隔は 5/16 インチとする。
- より重要な寸法や施工上の表示 (Erection Mark) はより大きく書く。ただし、ペンの一筆の範囲とする。
- 材料の寸法を部材近くを書くスペースがない場合は、図面の端に表で示して、図中にその対応を示す。
- 可能な限り継手部のリベット孔、添接板などは相手側も示して、複数図で確認する必要のないようにする。

一方、1905 年にイギリスで刊行された文献<sup>11)</sup>でも当時の鋼橋の製図法が示されている。これによれば、製図には鉛筆によるトレスもかなり普及してきていることがわかる。

19 世紀中頃までは、厚手の図面用紙に直接インキングするのが一般的であったが、19 世紀末以後、最初に鉛筆で書かれた図面を改めてインキングトレスすることが多くなった。実際には鉛筆で小さい detail paper に詳細を描き、それらを集積して、大判のトレーシングクロス (tracing cloth) にインクで写し取る(トレスする)手順がとられていた。

作図の順序としては、一般図を計算の前に描き、次に応力図を描くこととされ、詳細図はこの後に書くこととされていた。トレスには良質のリンネル紙(亜麻のボロを入れた上質紙)を用いることが推奨されていた。

トレスされた図は、ネガ(青図)または、ポジで複写されて使用された。当時すでに青図以外に、白地に青線(ポジ)、白地に黒線、白地に茶色線で複写が可能であったが、青図(フェロシアン紙)は、変更などが発生しても修正ににくい点が欠点であったが、もっとも安価であり普及していた。

実務上は、図面は通常は 2 セットコピーされ、工場に 1 セット、フォアマンに 1 セットが置かれたが、大規模な工事では 3 セットコピーされる場合もあった。リンネル紙の原図は、保管に適さないために、この青図が元図として扱われた。

### 4. 英米における橋梁製作会社の設計実務の体制

橋梁製作会社は、生産のための設計を実施するために、設計機能が必要であった。設計機能としては、製作工程の中の一



写真-2 橋梁製作工場の製図室（イギリス、1900年頃）  
 (Sir William Arroll & Co. ダルマノック工場（グラスゴウ）)  
 (出典：「Bridges, Structural Steel Work, and Mechanical Engineering Productions」, p. 35)

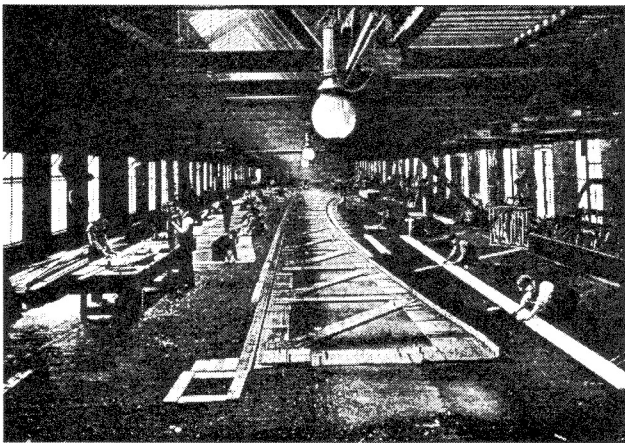


写真-3 橋梁製作工場の原寸場（イギリス、1900年頃）  
 (Sir William Arroll & Co. ダルマノック工場（グラスゴウ）)  
 (出典：「Bridges, Structural Steel Work, and Mechanical Engineering Productions」, p. 37)

工程として設計、積算、応力シート、一般図、工作図、材料票調製、材料発注を実施することがあった。この設計機能を果たす組織は、アメリカンブリッジCo. などの大企業の場合は、社内に設計部署を保持していたが、橋梁会社によっては、社外の独立した設計会社と契約をして製図を委託する場合もあった。

アメリカンブリッジCo. の場合の設計組織は、1915年にニューヨークで発行された「Structural Steel Drafting and Elementary design」<sup>12)</sup>によれば、表-2に示すとおりである。大きくわけて設計、製図、積算の3つの部門で構成されていた。

イギリスにおける橋梁会社のSir William Arrollは、フォース鉄道橋の施工を請負った会社であるが、海外へ鉄桁を輸出する当時のイギリス最大のファブリケーターであった。1909年にSir William Arroll社によってロンドンで発行された「Bridges, Structural Steel Work, and Mechanical Engineering Productions」<sup>13)</sup>によれば、概ね組織は、アメリカと同じである。1900年時点では、製図室(写真-2)には、30名程度の製図工がおり、ここで製図

表-2 アメリカンブリッジCo. の設計組織

| 設計部門(Estimate and Design Department)                                                                                                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| チーフ設計者 1 名。通常はチーフ積算者と兼ねる場合が多いが、アメリカンブリッジCo. の場合は別々に配置。この元には、副積算者 (Assistant Estimators)、製図工 (Draft man)、および数量算定者 (Weight Figures) がいた。このほか、積算の照査者や、機械製図工、建築製図工が配置されることもある。 |
| 製図部門(Drafting or Detailing Department)                                                                                                                                     |
| チーフ製図者 (Chief Draft man) のもとに 7、8 名の製図工で構成する班が置かれる。製図工の役目は詳細展開、トレース、照査である。照査の場合は班から独立する。                                                                                   |
| 積算部門(Billing Department)                                                                                                                                                   |
| チーフ算定者 (Chief Biller) の元に副Billerを置く。業務部門の役目は、材料の算定、輸送計画、支払このほか、青図部門 (Blue Print Department) が置かれ、複写を行う                                                                     |

(注：文献 11 をもとに作表した)

される工作図に基づいて、原寸場でテンプレートが製作された(写真-3)。

## 5. 考察

図面および、製図方法に関する調査を踏まえて、わが国の 20 世紀初頭の鋼橋技術について、欧米との比較の視点で論じる。

### (1) 20 世紀初頭の橋梁技術の傾向

19 世紀初頭にあたる明治末年は、長く続いた鋼トラスの海外からの輸入が国産に移った時期である。明治 44 (1911) 年完成した山陰本線餘部鉄橋は、トレスル構造がアメリカンブリッジCo. 製の輸入で、上部工の桁が石川島造船所製の国産であった。またこの時期は、トラスが多用された明治年間に比べて、アーチ構造が目立って建設されるようになった時期でもある(表-3)。この傾向は、復興橋梁で一層顕著になった。

増田事務所が手がけた橋梁形式は吊橋から桁橋まで多岐に亘るが、アーチもトラスに次いで多い構造形式である。増田淳の事務所の設計のうち、トラスが 25 橋に対して、アーチは 15 橋にも上る。増田淳によるアーチの採用には、14 年間にわたる実践を積んだアメリカにおける構造形式の選定の傾向が影響を与えていると考えられる。

アメリカでは、19 世紀後半以降、ヨーロッパに較べるとアーチは比較的少なく、よりトラスが好まれた。桁橋の適用範囲を越える中スパン以上では、鉄道橋を中心に圧倒的にトラスが多かった。しかし 20 世紀に入りこの傾向に変化がでてきた。増田淳の在米時期に、アメリカ橋梁界に大きな影響力をもっていた J. A. L. ワデル (J. A. L. Waddell: 1854 - 1938) は、著書、「Bridge Engineering Volume I, II (1916 発行)」、および「Economics of Bridgeworks (1921 発行)」で、アーチは、構造の剛性が欠けることや、設計計算での部材の応力度が不正確さを欠点としてあげているが、利点として建設の経済性と構造の景観性を強調している<sup>14), 15), 16)</sup>。

20 世紀前半を代表する鋼アーチは、欧州ではなく、アメリカ

表-3 19世紀～20世紀にかけてのアーチ、トラス

| 年         | 橋名(形式、スパン/橋長)                                          |
|-----------|--------------------------------------------------------|
| 1898(M30) | 永代橋 (トラス スパン 67.4m)                                    |
| 1902(M35) | 石狩川橋 (トラス 最大スパン 60.6m)<br>大江橋 (トラス スパン 50.4m)          |
| 1904(M37) | 両国橋 (トラス 橋長 164.5m)                                    |
| 1911(M44) | 餘部鉄橋 (トレッスル、橋長 310.6m)                                 |
| 1912(M45) | 山家橋 (アーチ スパン 81.8m、橋長 164.2m)<br>ヘルゲイト橋 (アーチ、スパン 298m) |
| 1913(T2)  | 四谷見附橋 (アーチ、スパン 34m)<br>釜の脇橋梁 (トラス、スパン 90.7m)           |
| 1914(T3)  | 八ツ山橋 (アーチ、スパン 42.5m)<br>呉服橋 (アーチ、スパン 30.5m)            |
| 1915(T4)  | 大正橋 (アーチ、スパン 90.6m)<br>桜橋 (アーチ、スパン 82.3m)              |

におけるヘルゲイト橋 (1912、スパン 298m)、ペイヨン橋 (1931、スパン 503.6m) そしてオーストラリアのシドニーハーバー橋 (1932、スパン 503m) という実橋建設をもって示された。このうちニューヨークのヘルゲイト橋は、当時世界最長のアーチ橋で、アメリカにおけるトラスからアーチへの傾向を示す象徴的な出来事といえる。この橋は、増田淳が在米していた間の1912年に着工され、1916年に完成している。アメリカから帰国した増田が、隅田川の白鬚橋 (1931、ブレースドリブタイドアーチ、スパン 79.6m) を完成させたのは、アンマンの設計のペイヨン橋 (1931、ブレースドリブアーチ、503.5m)、フリーマンらの設計したシドニーハーバー橋 (1932、ブレースドリブアーチ、503m) 完成の直前のことである。

## (2) 国内鋼橋へのアメリカ技術の影響

### a) 欧米からの技術導入に関わった技術者

19世紀から20世紀にかけて、アメリカの橋梁技術の国内への影響は大きい。これらの中で重要な役割を果たしたのが、アメリカの設計会社や、アメリカンブリッジCo.などの橋梁企業へ勤務して帰国した技術者であったとみることができる。

図面の表記法、設計の実務的な方法などは、直接の経験を通じて体得する部分が多く、アメリカンブリッジCo.の図面の表記法や、橋梁設計におけるアメリカ方式(American Practice)を国内にもたらしたのは、設計実務をアメリカで経験した技術者であった。1870年代後半から、1920年代まで途中の1890年代の一時期を除き、常に、アメリカの設計会社や、橋梁会社では実務についていた日本人技術者がいた(表-4)。20世紀初めのアメリカンブリッジCo.には、同時期に数名の日本人技術者が在籍していたこともあった。帰国後これらの技術者が、アメリカの橋梁技術を実務を通じて導入し、20世紀初頭のわが国の技術向上に貢献したと考えられる。

国内におけるアーチ形式の増加についても、アメリカでの構造形式選定の傾向を実務を通じて学んだ増田淳を始めとする帰国者にもよるものと考えられる。

一方、明治15年から5年間に在日して初期の日本人橋梁技術者を育成したワデルは、帰国後もアメリカの技術の日本国内への導入に貢献している。ワデルは、帰国後、アメリカの橋梁分野で大きな影響力をもつ立場となり、渡米した日本人橋梁技術者に対して少なからず影響を与えた<sup>17)</sup>。

### b) アメリカの橋梁技術に対する見方

アメリカの橋梁会社は、20世紀に入り、アメリカンブリッジCo.として再編された。アメリカ橋梁市場の90%のシェアを持っていたキーストン橋梁会社始め27社をJPモルガン&Co.が統合して、1900年に新たに発足した会社がアメリカンブリッジCo.である<sup>18)</sup>。20世紀初頭以降、アメリカ国内のほとんどの大規模橋梁は、アメリカンブリッジCo.が関係し、日本を含む海外へも橋桁を輸出していた。

橋梁の建設が盛んに実施された20世紀初頭のアメリカに対するわが国橋梁界の見方は、積極的に手本としてその技術を取り入れる対象であった。工業の中心がイギリスからアメリカに移行する多くの2次産業の中で共通することであった。アメリカ橋梁技術に対する日本の橋梁界の見方を示すものとして、1920(大正9)年4月発行の工学会誌(第438巻)、報文「米国における大径間を有する橋梁」がある。この中で1904年から1917年までの活発な長大橋梁建設が行なわれていることが紹介されている<sup>19)</sup>。

### c) 日本式の橋梁図面の確立

ワデルは、橋梁図面についても実務的な面からの指摘をしている<sup>20)</sup>。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。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。

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。

アメリカでの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

表 - 4 19 世紀～20 世紀にかけてアメリカに滞在した主な橋梁技術者（太線が在米期間）

| 氏 名(生年－没年)              | 1850s | 60s | 70s | 80s | 90s | 1900s | 1910s | 1920s | 1930s | 1940s | 在米期間        | 滞在先               |
|-------------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------------------|
| 原口要 (1851-1927)         | 51    | —   | —   | —   | —   | —     | —     | —     | 1927  | —     | 1875～80     | ペンシルベニア           |
| 二見鏡三郎 (1856-1931)       | 56    | —   | —   | —   | —   | —     | —     | —     | 1931  | —     | 1879～?      | アトランティック・パシフィック鉄道 |
| 広井勇 (1862-1928)         | 62    | —   | —   | —   | —   | —     | —     | —     | 1928  | —     | 1883～89     | エッジモア橋梁会社         |
| 樺島正義 (1878-1949)        | —     | —   | 78  | —   | —   | —     | —     | —     | —     | 1949  | 1901～06     | アメリカンブリッジ、ワデル他    |
| 関場茂樹 (1876-1942)        | —     | —   | 76  | —   | —   | —     | —     | —     | —     | 1942  | 1903～08     | アメリカンブリッジ         |
| 増田淳 (1883-1947)         | —     | —   | —   | 83  | —   | —     | —     | —     | —     | 1947  | 1907～21     | ヘトリック他            |
| JAL Waddell (1854-1938) | —     | —   | —   | —   | —   | —     | —     | —     | 1938  | —     | 1882～86(在日) | 東京大学              |

図を選択した。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すること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。

これは明治初年以降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。

### (3) わが国の橋梁設計者

わが国における橋梁設計技術者は、20 世紀初頭に限らず、近代技術の導入以来、主として発注者のインハウスエンジニアであった。詳細設計を契約図書の一部として支給する形式の発注形態の建前から、常に設計は発注者側が設計するものであった。このような中であって増田淳事務所の設計者としての活動は異例であった。ここでは、増田淳事務所の橋梁設計事務所としての役割を通して、20 世紀初頭における橋梁設計者についての考察を加える。

#### a) 増田事務所の設計技術力

増田事務所の扱った設計件数は 20 年間で 80 橋に上り、しかも大規模な橋梁の設計を手がけている。これらの設計は、上部工だけでなく、下部工も含み、鋼橋だけでなくコンクリート橋も含まれ構造形式も多様である。加えて架設図も含まれる。このような条件で、年間 4 橋のペースで設計を処理する事務所の設計能力、製図能力は、当時の国内の設計技術力の中では、桁はずれた処理能力といえる。

一方、増田淳事務所の設計処理能力を支えた最大の要素は、陣田をはじめとした経験のあるスタッフの存在に加えて、以下の点があったものと考えられる。

①アメリカでの経験の体系化・資料化、特に設計事例の体系的な入手・整備

②帰国後のアメリカ橋梁界とのパイプによる情報入手

③事務所外部からの人的支援

このうち特に①が増田事務所の設計力のポイントではないか

と考えられる。増田が滞米中から帰国後の設計事務所開設を考えていたのであれば、当然ながら設計事例の収集に熱心であったはずである。これは設計実務において、過去の設計事例の蓄積は不可欠であることをアメリカでの設計実務経験より熟知していたからである。今日でも設計作業は、過去の類似事例を参考として図面を書き起こすことが一般的に行われている。これは増田淳が大学で師事し 1880 年代にアメリカで橋梁設計実務の経験のある広井勇の著書である「Plate-Girder Construction」, 1888, NY) の中でも述べられている<sup>21)</sup>。また、当時の設計・製作の手順を詳述したイギリスの橋梁会社 Sir William Arroll の発行した「Bridges, Structural Steel Work, and Mechanical Engineering Productions」にも過去の設計事例を資料化、カタログ化するという同種の記述がある<sup>22)</sup>。実績のレファレンス化は、当時の欧米の設計事務所では一般的に行われていた。発見された増田淳事務所の図面の中に、他の設計事務所による図面が含まれるが、レファレンスとして使用されたものと考えられる。

②のように帰国後もアメリカ橋梁関係者との人脈を維持し、橋梁設計に関する情報を入手していたことも考えられる。すなわち、設計を業務として実施するには、過去の設計例は不可欠であることから、自らの実績とともに、他の事務所の設計例も体系的に整備していたものと考えられる。

③の事務所外部からの人的支援もありえたと思われる。増田事務所は自治体の嘱託という立場で<sup>23)</sup>、特定の地域で集中的に設計を実施している。このことから、当該自治体から人的支援を受けたことは考えうる<sup>24)</sup>。

#### b) 増田事務所の設計者としての立場

増田が開設計事務所は、当時のアメリカの設計事務所や、イギリスのコンサルタント会社の活動に似ていることから、国内におけるコンサルタント会社の嚆矢と指摘されることがある。しかし、欧米のような 3 者、すなわち、発注者、請負者、そしてインディペンデントエンジニアの関係におけるコンサルタントは、当時の日本には存在しなかった。従って、当時の増田事務所を必ずしもコンサルタントエンジニア事務所の嚆矢と言い切ることは適当ではない。橋梁建設事業において、国内では、甲・乙 2 者の契約関係であって設計は発注者の役割であり、これをインハウスエンジニアが果たしている。したがって、増田事務所は、インハウスエンジニアの代行を果たしたと考えるのが妥当であると考えられる。実際にも増田淳は、インハウスエン

ジニア層が薄かった全国の自治体で、嘱託技師として発注者側の立場で設計をしている。

## 5. まとめ

鋼橋の図面、およびその関連資料によって、わが国の鋼橋図面、技術の特徴、欧米技術の影響などについて考察を行なった。図面とその関連資料を通して、20世紀初頭のわが国の鋼橋技術が、当時アメリカに滞在し実務経験を積んだ日本人技術者などの手によって影響を受けたことを明らかにした。

また、わが国の鋼橋の図面が欧米、特にアメリカの影響を強く受けつつも、その導入は、わが国の国状に適合した選択的導入であったことも明らかにした。これらの図面を通じたわが国の鋼橋技術に関する調査結果によって、土木史研究における図面の史料性を示した。

## 謝辞

アメリカ、およびイギリスの鋼橋図面および、両国の図面関連の資料については、イギリス土木学会図書館、およびアーカイブスより閲覧の便宜をはかって戴いた。国内の増田淳事務所の図面については、土木図書館より閲覧の便宜を頂いた。ここに謝意を表する。

## 参考文献・註釈

- 1) 福井次郎、設計技術者・増田淳の足跡、土木史研究論文集、pp. 165-175, 2004 (2002年に土木研究所で設計計算書等とともに発見された図面は、鋼橋が主体で、1600枚に上る。これらの図面は、上部工、下部工、照明柱、親柱、高欄まで含まれる。)
- 2) 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(平成15年9月24日)。
- 3) 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
- 4) 国内外の建築アーカイブの現状ー建築アーカイブネットワーク構築に向けてー、(社)日本建築学会、2004。
- 5) 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。
- 6) 「座談会 わが国のわい明における鉄橋(続)(JSSC, 鋼構造協会、Vol. 18, No. 189, p. 21, 1982)」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。」「要領がよくて線の使い方もよい・・・」、「施工するのが楽であった。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くやったのだと思う(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)

- 7) 『横河橋梁八十年史』、(株)横河橋梁製作所、p. 92, 95, 1987。
- 8) 「茲ニ指示セル材料材料、気閘ハ、ニューヨーク ファウンデーション社ノ専売特許ニシテソノ一般構造ヲシメスモノナリ (中略) 全会社ノ気閘ヲ使用セザル場合ハ、請負人ハ右特許ニ抵触セザルヨウニ、本県ノ承認を経テ斯界経験者ニ其ノ設計ヲ依頼シ・・・(後略)」
- 9) William Westhofen, 『The Forth Bridge』, Moubray House Publishing, p.34-64, 1989.(1890の復刻版)
- 10) Coklin, Chas. D 『Structural Steel Drafting and Elementary design』 John Wiley and Sons, New York, p.126, 1915.
- 11) Farnsworth, A. W. 『Construction Steel Work』, Charles Griffin and Co., London, p.1394, 1905.
- 12) 前掲文献10)、p. 1.
- 13) 『Bridges, Structural Steel Work, and Mechanical Engineering Productions』, Sir William Arroll & Co, Published for Private Circulation by “Engineering” LTD., London, p.30-42, 1907.
- 14) J.A.L.Waddell, 『Bridge Engineering』, Volume II, p.1379-80, 1916.
- 15) J.A.L.Waddell, 『Bridge Engineering』, Volume I, p.617-646, 1916.
- 16) J.A.L.Waddell, 『Economics of Bridgework』, p.232-249, 1921.
- 17) 樺島正義は、渡米後ワデルの設計事務所でも勤務をしている。増田淳が長年勤務したヘドリック(Heidric)設計事務所の前身は、ワデルが共同経営者として運営していた Waddell & Heidric 事務所(1899-1907)であった。また、ワデルは1921年と1930年に来日している。
- 18) アメリカンブリッジCo. ホームページより (<http://www.americanbridge.net>)
- 19) 「米国における大径間を有する橋梁(工学会誌、第438巻、1920(大正9年4月)」で20世紀初頭のアメリカの橋梁の報告がある。これによれば、大径間の橋の全対の3/4は1910年から1920年代当時の10年間で完成し、その大部分は最近5年に完成しているとあり、急速なアメリカでの橋梁建設の状況が報告されている。
- 20) 前掲文献15)、p. 359.
- 21) Isami Hiroi, 『Plate-Girder Construction』, D.Van Norsfraud, Publisher, p.3, 1888. 「ほとんどの設計事務所において、プレートガーダーの図面の蓄積は、多くの製図者にとって、それらの設計が正しいかどうかはともかく、通常は新しい橋を「設計」するための情報源である・・・(筆者訳)」(The abundance of plate-girder drawing in almost every engineering office, no matter whether their design are correct or not, has usually been a source to many draftsmen to “design” a new girder, -----)
- 22) 前掲文献13)、p. 35.
- 23) 前掲文献1)、p. 165.
- 24) 前掲文献6)、p. 21.

座談会出席者の鈴木俊男氏の次の発言がある。

「増田さんの事務所が五反田の坂の途中にありましてね。私も、尾崎さんに引っ張りだされて手伝いに、昔若いころ行ったことあるんです。そこでやっぱり図面を大事にされていて・・・(後略)」