

# 中国近代の鉄道橋の設計基準の変遷

## —外国の影響を中心として

韓 直林<sup>1</sup>・馬場俊介<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 (株) ナイスコーポレーション (〒541-0052 大阪市中央区安土町 3-2-14)

<sup>2</sup>正会員 工博 岡山大学教授 環境理工学部 環境デザイン工学科 (〒700-8530 岡山市津島中 2-1-1)

中国近代の鉄道黎明期から、初の国産の設計基準の制定（1922 年）から同改訂（1938 年）に至るまでの経緯を、活荷重と外国の影響という 2 点を切り口として辿る。中国の鉄道建設の歴史は、日本を含む列強諸国の利権争奪の歴史でもあり、産業革命を遂行する過程で鉄道も順次発達していった欧米や日本とは、異なる様相を呈している。中国の鉄道ゲージが輸送の妨げとなっただけでなく、むしろそれを妨げとして活用しつつ霸権争いを進めていったことは知られているが、列強による自國の活荷重の勝手気ままな適用は、中国国鉄に標準設計が適用された後も、輸送の妨げとなり続けた。その間の事情を、設計基準の変遷を中心に据え、当時の書物や論文の記述に基づいて明らかにしてゆくのが、本論文の目的である。

**Key Words:**design standard, railway bridge, china

### 1. はじめに

近代における欧米諸国の鉄道橋の設計基準は、設計概念の黎明期にあって史上最もシビアな荷重を想定しなくてはならなかったという状況下にあって、国ごとの考え方の差が反映された独自色の強さが特徴であった。明治期の日本における、経験主義的なイギリスの設計基準から合理主義的なアメリカの基準への転換などは、設計基準の是非を超えた政治的な判断の結果とも言えるが、中国の設計基準の変遷には、日本以上に外国の影がつきまとっていた。それには、近代の中国の、内に対しては半封建的な、外に対しては半植民地的な姿勢が強く関与していて、外国の設計基準の直接適用や、外国の基準を強く意識した自国基準の制定など、独自の道を歩んだ。

1876 年、日本に遅れること 4 年で、中国最初の鉄道が誕生した。それから 1949 年に至る、「中国の近代」と呼ばれる時期に、約 26,000 km の鉄道が建設された。中国はロシア、ドイツ、イギリス、フランス、日本などの国と不平等条約を締結し、これらの列強は中国で鉄道を建設する権利を有していた。当時の中国では民間資本が未発達だったため、自分で鉄道を建設する資金がなく、ベルギー、イギリス、フランス、ドイツ、日本などから借金して敷設せざるを得ず、結果として、債権国に鉄道の建設権や管理権を奪われることになった。諸外国は、自ら

の敷設した鉄道に橋を架けるにあたり、自國の設計基準をそのまま用いようとした。従って、中国の鉄道橋は、鉄道を敷設した国によって幾何形状が違うだけでなく、構造的にも異なる結果となった。想定された活荷重も路線によって不統一だったので、ゲージの不統一と合せて、路線間での連絡輸送に不便を来すような事態に陥った。ようやく 1917 年になって国内の各路線間で基準を統一することが決まり、1922 年には『中華民国国有鐵路鋼橋規範書』が公布される。当時運行していたアメリカ製の機関車は、ヨーロッパの基準によって設計された橋梁には合わなかつた（重すぎた）ため、新基準はアメリカの基準に準じたものとならざるを得なかつた。この新基準は、中国国有鉄道の橋梁の新設や補強には採用されたが、日本など外国により建設された鉄道には、依然として建設国のおかげで使われ続けた。

日本では、同時期、政府による鉄道重視の姿勢、民間資本の充実に工業の急発達も加わって、1890 年頃から鉄道路線が急伸しはじめ、1910 年頃までには主要な幹線網が完成するに至る。鋼橋など鉄道橋の設計・製作技術に関しては、初めこそイギリス、アメリカなどの技術に依存してきたが、最初の鉄道橋を建設してから僅か 7 年後の鶴川の鋼鉄橋で、中国より 40 年も早く、日本人の手で設計が行なわれた。また、中国と同じように外国製の機関車を輸入し、外国の活荷重基準・設計指針を用いていた

が、1893 年には日本で最初の国産機関車が見様見真似ながら誕生し、1912 年には、国有鉄道における機関車の輸入が終結した。設計基準の方も、同じ 1912 年に、『鋼鉄道橋設計示方書』が鉄道院により公布され、1929 年には、中華荷重体系より 9 年早く、日本独自の「K 荷重」体系が確立した。

中国近代の鉄道橋の設計基準に関する体系的な研究はほとんどなされておらず、中国鉄路橋梁史編纂会の『中国鉄路橋梁史』<sup>1)</sup>、庄正らの『中国鉄路建設』<sup>2)</sup>、李占才らの『中国鉄路史』<sup>3)</sup>などにおいても、鉄道橋の紹介がされるに留まっている。また、中国の鉄道事情を日本側の立場から記述した井上勇一の『鉄道ゲージが変えた現代史』<sup>4)</sup>も、ゲージの持つ政策に鋭い分析を加えているものの、設計基準の問題には触れていない。

本論文の目的は、中国近代における鉄道橋の設計基準の変遷を、諸外国の影響という観点から明らかにしようとするものである。中国近代の鉄道と鉄道橋の特徴（2 章）、鉄道橋の設計基準の制定（1922 年）前後の状況とその背景（3 章）、1938 年の設計基準の改正とその背景（4 章）、日本の状況との比較（5 章）という論点を、中国古来の石造アーチ橋の技術や、設計思想の流れにも着目しつつ分析してゆこうとする試みである。

## 2. 中国近代の鉄道と鉄道橋

設計基準についての分析に入る前に、中国の鉄道と鉄道橋に関する基本的な事実を簡単に羅列しておく。中国のこととはあまり知られていないし、後章の展開を理解する上で必要と考えるからである。

中国初の本格的な鋼鉄道橋は薊運河橋（トラス、1888 年）で、唐胥鉄道（唐山～胥各庄）が天津に延長された際、イギリス人キンダー（C. W. Kinder）によって架けられた。また、中国人自身の手になる最初の鉄道は京張鉄道（北京～張家口、1909 年）で、中国最初の鉄道より遅れること 33 年、アメリカに留学して鉄道技術を学び、「中国の鉄道の父」とも称せられる詹天佑（1861～1919 年）によって建設された。その後、1912～49 年の中華民国時代に架けられた鉄道橋は、総計 7,000 余橋に達するが、外国人による設計に加えて、しばしば中国人設計によるものも現れるようになり、1937 年、中国近代の金字塔とも言える錢塘江の鉄道・道路併用橋が完成する。中心となって活躍したのは、後年、鉄道科学研究院の院長や中国科学院院士となる茅以升（1896～1989 年）であった。

中国の鉄道橋には、中国が古来得意としてきた石造アーチ橋の技術も活かされた。同様の技術を持たなかった日本との大きな違いである。経験主義的な設計技術は、鉄道橋としての理論的な設計へと進化していった。

### (1) 諸外国の影響

近代の中国は、日本を含めた欧米列強による鉄道権益の争奪が繰り広げられた時代であった。鉄道部業務司が編集した『中国鉄道便覧』<sup>5)</sup>（1934 年）には、各列強が中国に鉄道を建設していった状況が、次のように記述されている。

「清光緒二十三年……德人占膠州湾……由青島起至濟南建築鐵路。……道清鐵路，本路初由英商福公司築造，為運煤之用。……光緒二十二年，清廷與俄訂……條約，許俄國敷設……中東鐵路。……安東路……原為日俄戰爭時，日本在我境內擅築之軍用輕便鐵路，日俄媾和後，日……改……為南滿路之一大支線。……滇越鐵路……二十四年，法強占廣州灣，同時獲得本路建築権（光緒 23 年（1897），ドイツは膠州湾占領し、青島から济南に至る膠濟鉄道を建築した。道清鉄道はイギリスの「福会社」が石炭を運送するため建設された。光緒 22 年、清政府はロシアと条約を締結し、中東鉄道の建設を許可した。安東路は日露戦争の際に、日本が無断で建設した軍用の軽便鉄道であった。日露戦和後、日本はそれを南満支線の一つとした。滇越鉄道は光緒 24 年、フランスが広州湾を占領した際、鉄道敷設権を獲得したもの）

この時期の中国経済は発展が緩慢だったため、鉄道を建設するための資金調達が困難を極めた。それを外国からの借金でまかなった様子が、東陽葛の『中国之交通』<sup>6)</sup>（1927 年）には、次のように記されている。

「京奉鐵路……借英金……，吉長鐵路……借日款……，京漢鐵路……借比金……，津浦鐵路……借德……，正太鐵路……借法金……」  
(京奉鉄道はイギリス、吉長鉄道は日本、京漢鉄道はベルギー、津浦鉄道はドイツ、正太鉄道はフランスの資金を借りた)

『中国鉄路史』<sup>3)</sup>の付表によれば、1946 年に至る 70 年間に 26,857 km の鉄道が建設されたが、そのうち中国の国有、省営、民営鉄道は 16,287 km しかなく、残りの 1 万 km はフランス、イギリス、ドイツ、ロシア、日本など外国によって直接建設され、経営されていたものであった。図-1 は、中国側の鉄道建設状況を、図-2 は、諸外国による鉄道建設状況を示す（10 年ごとの建設距離）。外国により建設された鉄道では、鉄道橋も当事国によって建設されており、設計基準も当然のことながら、国ごと、路線ごとに独自のものが使われた。

### (2) 伝統的要素

中国はメソポタミアと並び称されるアーチの起源地であり、趙州橋（安濟橋、605 年頃）をはじめ、高い技術を誇る構造物を輩出してきた。イギリス、フランス、ドイツのように、石造アーチと鉄の橋の技術しかなかった。

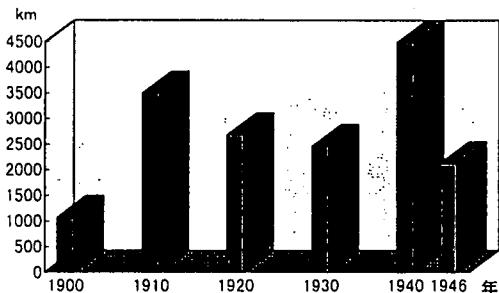


図-1 中国により建設された国有・省有・民営鉄道路線延長の10年ごとの推移（文献3）より著者作成

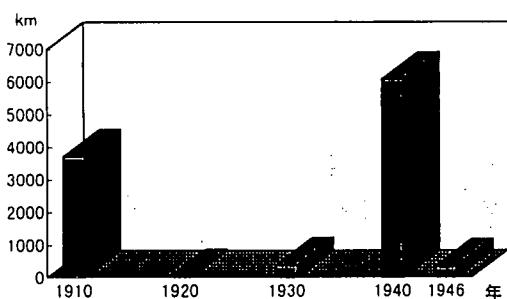


図-2 外国により建設された中国の鉄道の路線延長の10年ごとの推移（文献3）より著者作成

時代に鉄道建設を進めていった国々の場合、ドイツのゲルチ谷高架橋（4層・橋長 579m, 1851年）や、フランスのグール・ヌワ鉄道橋（開腹・スパン 60m, 1891年）のように、石造アーチは鉄道の重い衝撃荷重に合せて進化していった。しかし、中国の場合、1936年の時点での一部データによれば、平漢（北京～漢口）、津浦（天津～浦口）など13線路では、鋼、RC、木、石で造られた橋の総延長は、各々 65, 779m, 1, 907m, 1, 226m, 937m であり、石造アーチ橋は僅か 1% を占めているに過ぎなかった。

外国によって建設された鉄道橋では、19世紀末から20世紀初頭という時代背景から、鋼橋が優先されたことは当然である。一方、中国が建設の主導権を握った場合には、長大橋には高価な輸入の鋼橋、残りは、新登場のRC橋と伝統的な石造アーチのうち安価な方が用いられた。20世紀初頭の形式選択の様子については、凌鴻勲は『橋梁』<sup>7</sup>（1933年）に、次のように書いている。

「石砌拱橋為初期橋之最著者、今日較重要之橋及鉄路橋亦尚有用石砌拱橋。祇以佳石價昂，大者運轉不易，施工難而費時多，故多代以三和土」

（初期には、石造アーチ橋は最も優れた橋梁形式であった。今

でも重要な道路橋や鉄道橋に石造アーチが使われることがある。しかし、良質の石材の価格が高く、輸送が不便で、施工が難しく、時間もかかることから、ほとんどRC橋に代わっていった）

歐米の鉄道建設時代との数十年の差と、その間のRC技術の進歩が、中国の石造アーチ技術を鉄道用に花開かせる機会を奪ったのである。既に1909年には、広深鉄道に清河橋が建設され（日本最初の鉄道用RCアーチ・島田川暗渠（1904年）とほぼ同時期）、RC橋が石造アーチ橋を駆逐していった。それでも、1901年に東省鉄道で建設された中国最初の鉄道用石造アーチの一つとなった穆陵橋をはじめ、1949年までに480径間あまりの石造アーチ橋が架けられた。石造アーチが選択された理由について、梁旭東によって書かれた『粵漢鉄路株韶段橋梁涵洞之設計』<sup>8</sup>（1936年）には、次のように指摘されている。

「（石）拱橋……凡橋址土質堅硬或係岩石而交通又不便利，附近能產良好之石料者，以建此種橋梁為宜」  
(地盤や岩盤が硬く、交通が不便で、附近に良質な石材が産出する所で、石造アーチ橋を建設する方がよい)

「全路……以交通之不便、運輸之艱難、採取建築材料均以就地取材為原則。……第二、三、四、五總段、以地質較為堅硬、產石較多，故多用拱橋及石砌涵渠」  
(路線の沿線は交通が不便で、輸送が困難なため、建設資材は現地でまかなうという原則を採用した。第2～5区間は地盤が割合硬く、石材が大量に採れたので、石のアーチ橋とカルバートが多く使われた)

### 3. 設計基準の制定（1922年）

#### （1）制定前

東アジアにおける鉄道の建設は、植民地経営としての（鉄道沿線の）通商権益の確保といった側面から大きく逸脱し、鉄道敷設権の確保が列強の国益と安全保障の問題に直結する状況に達していた。“幸運”にも鉄道を敷設する権利を獲得できた国々は、資金を如何に早くかき集め、対立する諸国の横槍が入る前に完成に漕ぎ着けるかを競っていた。軌道のゲージの選択に関しては、井上<sup>9</sup>が指摘しているように、政治的な判断が濃厚に反映されていたと思われるが、こと設計基準に関しては、担当した国の技術者が自分の慣れ親しんできたものをそのまま用いただけで、あまり底意はなかったのではないかと推測される。孫成が記した『道清鉄路橋梁概況』<sup>10</sup>（1934年）には、イギリスの手で建設された鉄道にイギリスの建設会社が係わった様子を、次のように紹介している。

「道清鉄路興建之時、係英商福公司備款自築、各項橋梁均由英

### 商大成公司承造

(道清鉄道が建設された時、イギリスの“福会社”は資金を準備し、各橋梁は全てイギリスの“大成会社”により建設された)

また、中華工程師学会の『膠濟鐵路改建李村河大橋工事概要』<sup>10</sup>（1927年）には、ドイツが建設した膠濟鉄道で、設計者であるドイツ人が、ドイツ製の機関車（活荷重）を想定して設計した様子を、次のように記述している。

「膠濟鐵路全線鋼橋當德人設計之初，僅備行駛德式輕巧機車之用」

（膠濟鉄道の鋼橋は、ドイツ人が設計した時、ドイツ式の軽い機関車の通行だけを考慮した）

このように、列強諸国により建設された鉄道では、路線に見合った自国の機関車と自国の活荷重が使われた。表-1には、中国で使われた日本、イギリス、ドイツ、フランス、ロシア、アメリカの活荷重基準を、軸配置図の形で示す。ただし、表には、中国の全鉄道路線が網羅されているわけではない（全体の半数以上は含まれている）。また、できる限り、路線名を対応させるよう努めたが、不明なものについては基準のみ示されている。

鉄道が列強諸国によって直接建設された場合だけでなく、中国が外国からの借款で建設する場合でも、債権国の意向は優先され、建設資材や機関車だけではなく活荷重基準もそのまま持ち込まれた（表-1のイギリス（A・B級）、フランス（京漢鉄道）、ドイツ（B級）、日本の項を参照）。前出の『橋梁』<sup>9</sup>によれば、設計基準が異なったため輸送状況に混乱が起きた様子が、次のように記されている。

「吾国初期所築各鐵路，大抵皆有借款關係，以致全路一應材料式樣制度，皆視債權國而異。橋梁亦為其中顯著事項之一。……各鐵路橋……非獨形式不同而已，其強度及其尺寸寬度皆有不同，影響於各路間之聯繫及橋梁本身之修添移補至大。」

（わが国が初期に建設した鉄道は借款と関係がある。そのため、債権国によって鉄道の資材や形式は異なった。最も顕著なもの一つが橋梁で、形式が違うだけでなく、強度や規格がまちまちであった。これは各路間での連絡や、橋梁の補修や架替などの際に大きな影響を与えた）

たとい国有鉄道でも、鋼橋を造ろうとすれば鋼材は輸入に頼らざるを得ない。京漢鉄道（北京～保定間）の橋梁のようにイギリス人の設計者を招聘した場合には、イギリスの設計基準が使われる。茅以升によって書かれた『三十年來中國之橋梁工程』<sup>11</sup>（1946年）には、その辺の事情が次のように書かれている。

「我国……清末叶……始有新式鋼橋出現，惟一切計劃材料皆采自外洋。凡橋工委諸英人經辦者，則一切規劃統收於英，委諸德則德，委諸法則法，各自為政，不相統屬。於是鉄絲紛歧，紛亂異常」

（わが国には清末期から新式の鋼橋が出現した。しかし、全ての設計や材料は皆外国に依存していた。イギリス人に委託したものは、全ての設計がイギリス式で行われ、ドイツ人に委託したものはドイツ式、フランス人に委託したものはフランス式で行われた。思い思いのことが行われ、統一はなかった。そのため、状況は込み入り混亂した）

極端な例として、京漢鉄道（北京～漢口）の場合、保定より北部は中国資金で建設されたが、設計者がイギリス人であったためイギリスの設計基準（表-1のA・B級の活荷重）が用いられた。保定より南部はベルギーの借款で建設が進んだため、ベルギー人とフランス人の設計者が、フランスの設計基準（表-1の平漢鉄道の活荷重）を採用した。かくして、一つの路線に2種類の活荷重が混在し、運行に不便を来す結果となった。羅英が書いた『鉄橋加固』<sup>12</sup>（1933年）には、国有鉄道用の鋼橋の設計に関して、次のような記述がある。

「国有各路鐵橋，大約均製自歐美，其設計規範書，乃依照製造者各人習慣」

（国有鉄道の鋼橋はほとんど欧米により造られた。設計に使われた基準は、各国の習慣に従った）

中国人の設計になる場合でも、1922年の設計基準以前なら、外国の基準に従わざるを得なかった。例えば、京張鉄道の橋梁（1909年）では、設計者・詹天佑は留学先のアメリカのE荷重（E-35とE-50級の活荷重）を採用している。凌鴻勲の『京漢鐵路黃河新橋籌備述略』<sup>13</sup>（1922年）には、それ以前の活荷重の選択方式が、次のように具体的に記載されている。

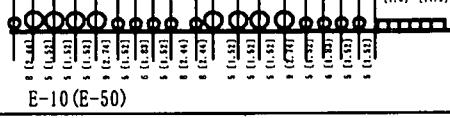
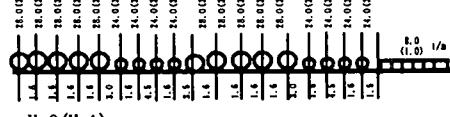
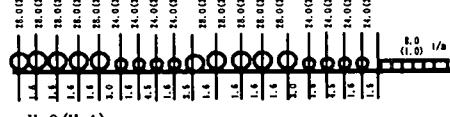
「六年九月七日奉部令……橋梁按E-40設計，查京漢路現在之載重量雖低約E-33，但此後國內實業日漸發達，既運輸亦日益繁盛……如果失之太輕，則一二十年之中，復須將該橋設法加固。夫加固一舊橋較之重建一新橋，其施工之艱難，耗款之浩繁，自不待言。與其將來不免加固，何如豫為酌留餘地……載重且即略加重，其於全橋之價值，所增亦較為有限……能負荷E-45之荷重」

（民国6年（1917）9月7日、交通部の命令でE-40で設計する。京漢鉄道の橋は検査の結果E-33程度であることが判ったが、これから国内の産業が発展し輸送量も増えていくので、もし荷重基準が低すぎると、10年・20年の間に再度補強しなければならなくなる。新しい橋を建設するより古い橋を補強する方が、施工が困難になりコストが増えることは言うまでもない。将来

表-1 各国により中国で使われた鉄道橋梁の活荷重基準 (その一) (1899~1952)

国名	荷重基準 (公布年代)	活荷重	単位	路線名 (使用範囲) [使用年代]	参考文献
中国	E-50 (1922年)		荷重 : ton 寸法 : m	(国有鉄道)	1), 14), 24)
	E-35 (1922年)				
	中華-20 (1938年)		荷重 : ton 寸法 : m	(国有鉄道)	1), 24)
日本	L-25 (1925年)		荷重 : ton 寸法 : m	(満州鉄道)	1), 24)
	L-22 (1925年)				
	L-20 (1925年)				
	L-18 (1925年)				
イギリス	A級		荷重 : ton 寸法 : m	京漢鉄道 [1899年]	1), 12), 18)
	B級		荷重 : ton 寸法 : m	京漢鉄道 [1899年]	1), 12), 18), 24)
	BSU-20 (1925年)		荷重 : long ton 寸法 : feet [] : メートル換算値		1), 24)
ドイツ	A級		荷重 : ton 寸法 : m	津浦鉄道 (?) [1912年]	12)
	B級		荷重 : ton 寸法 : m	津浦鉄道 [1912年]	1), 12), 24)
	N荷重 (1922年)		荷重 : ton 寸法 : m		1), 24)
フランス			荷重 : ton 寸法 : m	京漢鉄道 [1901年]	1), 18), 19)
	(1927年)		荷重 : ton 寸法 : m		1), 24)

表-1 各国により中国で使われた鉄道橋梁の活荷重基準（その二）（1899～1952）

国名	荷重基準 (公布年代)	活荷重	単位	路線名 (使用範囲) [使用年代]	参考 文献
アメリカ	E-10 (1894年)	5.0 (5.0) [1.3] (11.3) 10.0 (10.0) [1.5] (12.7) 10.0 (10.0) [1.4] (12.7) 10.0 (10.0) [1.4] (12.7)	荷重： 1000 pounds 寸法：feet	京張鐵道 [1909年]	1), 14), 24)
	E-50 (1905年)	5.0 (5.0) [1.3] (11.3) 10.0 (10.0) [1.3] (12.7) 10.0 (10.0) [1.3] (12.7) 10.0 (10.0) [1.3] (12.7) 10.0 (10.0) [1.3] (12.7) E-10 (E-50) 	[ ]： メートル換算値		
ロシア	H-1 (1930年)	18.0 (18.0) [3.0] (11.3) 18.0 (18.0) [3.0] (11.3) H-8 (H-1) 	荷重： ton 寸法：m		1), 24)
	H-8 (1930年)	18.0 (18.0) [3.0] (11.3) 18.0 (18.0) [3.0] (11.3) H-8 (H-1) 			

補強しなくて済むよう少し余裕を残そう。荷重が少し増えても、橋全体のコストの増加は僅かだから、E-45 の荷重に堪える方がいい)

## (2) 制定後

中国で鉄道橋の設計基準が制定されることになった主な原因は、各鉄道間で技術基準が不統一だったことが、鉄道網の整備に伴い相互の運行に大きな支障となったからである。そのため中華民国交通部は、1917 年に「鉄路技術標準委員会」を設立し、鉄道構造物と付帯設備の技術基準の統一を目指すことになった。この当初の状況について、『三十年來中國之橋梁工程』<sup>14)</sup>には、次のように記されている。

「民初以前、各路橋梁建築、大都委託外人、一切標準、頗不一致、因而紛亂異常、對於路政影響至大。民国六年、前北京交通部有鑒及此、乃成立“鐵路技術委員會”首先着手訂立鐵路各種規範、於十一年正式頒布“國有鐵路橋梁規範書”等若干種。是項規範書之內容、大都取美國鐵路工程協會一九二〇年之規範書內諸款。自是而後、各鐵路加修改築鋼橋時、大率依此為準繩。惟該項規範書中之活重、原就“古柏”式標準載重換算、酌量化整而来」

（中華民国以前、橋梁の設計はほとんど外国人に委託された。基準の不一致は混乱の原因となり、輸送に多大な影響を与えた。民国 6 年（1917），北京政府の交通部はこの状況に照して「鉄路技術委員会」を成立した。委員会は各種の基準を定め、民国 11 年に『國有鐵路橋梁規範書』などの数種類の設計基準を公布した。設計基準の各項の内容は、アメリカ鉄道協会の 1920 年の設計基準に倣ったものであった。それ以後、鋼鐵道橋を建設・補強する際には、この『規範書』が基準として使われるようにな

った。活荷重は、クーパー式の標準活荷重を換算して整数にしたものであった）

交通部によって 1922 年に制定された『中華民国国有鐵路鋼橋規範書』では、活荷重については、アメリカで用いられていた E 荷重をそのまま国際単位に換算したもののが用いられた<sup>15)</sup>。陳體誠の『京漢鐵路之橋梁』<sup>16)</sup>（1927 年）には、設計基準の導入にあたって参照されたクーパー（Cooper）式の活荷重に対応した大型機関車（Consolidation Type）のことが、次のように紹介されている。

「按照交通部新定規範、所有國有鐵路新建鋼橋，皆須按部定標準載重設計。所謂標準載重者何，即將古柏氏（Cooper's Loading）之 E-50 式載重，按密達制略為更其輪重及軸距，此式機車即所謂牽引式」

（交通部が新しく定めた設計基準によると、全ての国有鉄道で新しく建設される鋼橋は、交通部が決めた標準活荷重に基づいて設計しなければならない。標準活荷重は、クーパーの E-50 級活荷重の軸重と軸位置（メートル単位）に修正したもので、いわゆる「牽引式」（前記の Consolidation Type の）機関車に対応している）

交通部が『規範書』の制定作業を進めていた時点で、日本が管理していた膠濟鉄道では、E-35 級に相当するアメリカ製の機関車が使われていたが、このことは、孫寶輝の『膠濟鐵路更換橋梁工程』<sup>17)</sup>（1934 年）で、次のように記されている。

「膠濟鐵路係德人建築、於一八九九年興工、一九〇五年通車、

一九一四年十一月為日人占領。至一九二三年一月始由我接管。  
……日管時代、因營業發達、添購美國“鞏固式”機車、軸重約合古柏氏E-35。

(膠濟鐵道はドイツ人により建設された。1899年に建設を開始。1905年開通。1914年11月に日本に占領され、1923年1月からわが国が管理することになった。日本の管理時代に輸送量が増えたため、アメリカ製の「鞏固式」(同前)機関車が購入された。軸重はクーパーE-35級活荷重に相当する)

このアメリカ製の大型機関車は、ヨーロッパの機関車と比べてどこが違ったか？『京漢鐵路之橋梁』<sup>15)</sup>には、

「京漢北段盧保鐵道、初歸英人建築、所有鋼橋工程、尚稱堅固。保定以南至漢口則歸比公司承造、所有鋼梁皆嫌薄弱、數年前美國製之鞏固式(Consolidation Type)機關車於駛行南段時、擊斷鋼桁梁兩根……其所以折斷橋梁者……因鞏固式機車所發生之衝擊力(Impact)較歐美製之他式機車為大。」

(京漢鐵道の北部の盧保鐵道は、イギリス人により建設され、橋梁は丈夫だった。保定から漢口に至る南部は、ベルギーの会社により建設され、橋梁は脆弱であった。数年前、アメリカ製の「鞏固式」機関車が南部分を通った際、鋼桁が折れてしまった。その原因は、機関車によって生ずる衝撃力が欧洲製のものより大きかったからである)

と明記されている。また、鄭華は『膠濟路橋梁出險之真相』<sup>17)</sup>(1923年)に

「出險地點在……雲河……本年二月十六日……由青島赴坊子貨車……駛至該處第四第五兩孔，相繼下陷……出險原因實係於機車與橋梁之格式不同，英美式之機車，富於衝擊性質，非德法二式橋梁所能承受。」

(事故の発生地点は雲河であった。今年(1923)2月16日青島と坊子に向かった貨車は、雲河橋の第4・5両径間で次々に落ちた。事故の原因是機関車が橋梁に合わなかったことである。英米式の機関車は衝撃力が大きく、ドイツやフランス式の橋には耐えられないのである)

と書いている。アメリカ製の巨大な機関車は、ヨーロッパ製の橋が耐えられないほど大きな衝撃力を出していたことがうかがい知れる。それでは、ヨーロッパの鉄道橋の設計基準では、衝撃力にどう対処していたのであろう。薛楚書が書いた『整理平漢鐵路橋梁意見書』<sup>18)</sup>(1935年)には、フランスの例が、

「平漢鐵路之大部橋梁、因習法比舊習、設計簡陋、接觸草率。今機車重量激增、遠超各該橋梁應受之載重……雖經逐一修補，勉力維持交通，並限制列車速率，及行駛重大機車，然薄弱殊甚，危險堪虞。平漢路舊橋，按照法國規範書所規定之機車載重設計

者、撞擊力未嘗顧及」

(平漢鐵道の大部分の橋梁は、フランス、ベルギーの古い基準に従って造られていたので、設計が簡略で、構造も簡易であった。今日、機関車の重量が増大し、橋梁の耐荷性能を大幅に超えている。個別に補強し、列車の速度制限や重機関車の通行制限も行った上で辛うじて輸送を維持しているが、脆弱で危険なことは変わりなく非常に心配である。平漢鐵道の古い橋は、フランスの設計基準に基づいて設計されており、衝撃力は想定されていない)

胡升鴻らの手による『檢查津浦鐵路黃河橋毀壞情形之報告及舉起與修理之建議』<sup>19)</sup>(1929年)には、ドイツの例が書かれている。

「津浦黃河橋……此橋之製造及建設，係德國三山橋梁公司 Maschinenfabrik Augsburg Nuenberg A G Germany 所承包。……所有橋樁……就可資參考之現有記載中，查得……衝擊力未計及」

(津浦鐵道の黃河橋は、ドイツの橋梁メーカー(名称は省略)で製作されたものだが、資料を調べた結果、衝撃力が考慮されていないことが判った)

これらの著作では、フランスやドイツの設計基準には衝撃力が考慮されていないとしているが、それはあくまで「陽な形」としてであり、『鐵橋加固』<sup>12)</sup>に次のように書かれているように、「陰な形」では含まれていた。

「前交通部所頒規範書，規定準固應力，為每平方公厘十一公斤半。撞擊力乃按照公式  $I = 2800S / (2800 + L^2)$  計算。但英德規範書所規定之準固應力，依據橋空之長短而分。在一定橋空之長度內，定一準固應力。橋空逐漸增長，應力亦逐漸增大……即不……計算機車之撞擊力，故機車之撞擊力，即包含於準固應力中」  
(交通部が公布した設計基準では、許容応力は  $11.5 \text{kg/cm}^2$  と規定され、衝撃力は  $I = 2800S / (2800 + L^2)$  で計算する。ただし、イギリスやドイツの設計基準では、許容応力が橋のスパンで区別されていて、スパンが増せば許容応力も増大する。機関車の衝撃力を直接計算せずに、許容応力の中に織り込まれている)

アメリカでも事情は同じで、1910年にA R E A (American Railway Engineering Association)によって鉄道橋仕方書が制定されるまで、衝撃力はヨーロッパ同様「陰な形」でしか取り扱われていなかった。それでも、中国で、ヨーロッパの設計基準にのっとって造られた橋の方が脆弱で、クーパー示方書時代(20世紀初頭)にアメリカの設計基準で造られた橋(たとえば、京張鐵道の橋)の方が頑強だったことは、前者が破損したり補強されたりしているのに対し、後者が補強されることなく今日に至っていることからも確かである。

#### 4. 設計基準の改正（1938年）

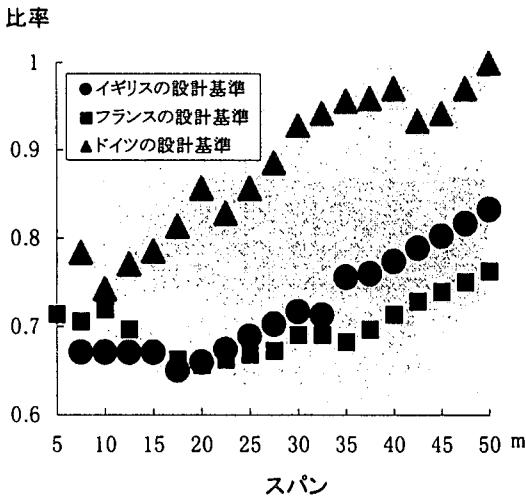


図-3 中国で使われた諸外国の活荷重をアメリカのE-35と比較したもの(曲げモーメントで換算, E-35を1とする)文献<sup>12), 18)</sup>より著者作成

図-3は、ヨーロッパ各国の設計基準で設計された橋梁(イギリスとドイツは津浦鉄道、フランスは平漢鉄道)を、1922年の中国の『規範書』に基づき、各スパンごとの曲げモーメントに換算してみせた結果である(E-35荷重に対する比のかたちで表示)。鉄道部科学研究院の『旧線鉄路橋梁承載能力の分析和新線鉄路橋梁設計活載標準的研究報告』<sup>20)</sup>(1983年)によれば、中国近代の鉄道用鋼橋で、スパン32m以下のものが全体の87%を占めていたとある。図-3で、この範囲の橋のE-35に対する比を見ると、低いレベルのイギリス(0.64~0.74)とフランス(0.66~0.69)ではE-35の7割程度、これら2ヶ国に比べればレベルの高いドイツ(0.74~0.97)でもE-35を下回っている。これでは、E-35級の大型機関車が載ったとき、橋が破損したとしても仕方がない。当時のヨーロッパの設計基準は、間接的に衝撃力を加味していたとはいえ、大きな衝撃力を発生するアメリカの機関車には適合していなかったのである。

アメリカ以外の設計基準に従うと、アメリカ製の機関車が使えなくなる。かくして、既存の機関車を安全に使い続けるためには、アメリカの設計基準に従わざるを得なかった。日本の鉄道院が、1912年に、AREAに準拠して準国产の設計基準を制定した背景には、当時世界で最も優れていた設計概念への傾倒があったと指摘されている。しかし、中国の場合も同じだったとは思えない。当時の中国にとって、新しいもの、より完全なものへの希求だけでなく、当面の問題(機関車が使えるか否か)の解決も重要な課題であった、と著者らは考える。

1922年に『規範書』が公布された後、30年代に入ると、輸送力の増強に伴って国有鉄道の機関車も変化していく。機関車の重量と軸重の配分がクーパー活荷重と異なってきたため、基準の修正が必要になったのである。『三十年來中國之橋梁工程』<sup>11)</sup>には、その間の事情が、次のように記されている。

「近年来機車之進歩甚速、無後輪之機車、日益減少、2-8-2及4-8-2式機車日益增多。因之“古柏”式標準載重、已不能適合近代趨勢。而吾國近年來新購之機車、亦大都為有後輪式。故前定之標準載重、已有更改之必要。戰前鐵道部技術監察室有鑑於此、乃於民國二十五年着手改訂」

(近年、機関車の進歩は早い。従輪のない機関車がどんどん減り、代わって2-8-2や4-8-2式の機関車が増加している。そのためクーパー活荷重は、現代の趨勢に適合しなくなりつつある。わが国が近年新しく購入した機関車は、そのほとんどに従輪があることから、以前定めた標準活荷重を改訂する必要が出てきた。鉄道部技術監察室は、この状況に鑑み、民國25年(1936)から改訂作業に着手した)

中国で従輪付きの機関車が増えてきたことが、1922年の設計基準を見直すきっかけを与えたことになる。『鐵橋加固』<sup>12)</sup>には、

「我国各路機車重率、尚不到古柏氏重量E-40」

(わが国で使われている機関車は、クーパーのE-40級活荷重に達していない)

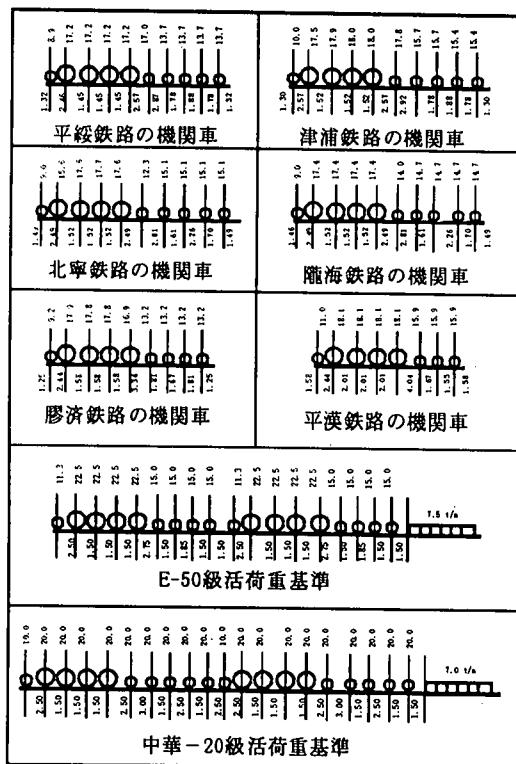
と書かれているが、このことから幹線鉄道でも(基準と違つて)E-50級に達していなかつたことが判り、設計基準の修正の背景に機関車のさらなる重量化があつたわけではないことが想像できる。

表-2は、1931年の時点に中国の幹線鉄道で使われていた機関車と、E荷重基準、中華荷重基準とを比較したものである。表からは、機関車の荷重がE-35荷重よりも大型化していたことと、荷重の分布が1922年の『規範書』当時とは違つてきていることが読み取れる。かくして、表-2に示されるように、機関車2両を連結し、その後に重車両をつなぐ中国独自の方式(中華活荷重)を含む『鐵路橋梁規範書』が公布された(1938年)。

それでは、この改訂は、中国のオリジナルであったのか?『三十年來中國之橋梁工程』<sup>11)</sup>には、

「當時分別參照美國鐵路工程協會1935年之鋼橋規範、英國1923年之工程標準協會橋梁及材料規範書、法國1927年鐵路設計規範書及1931年之鋼橋工程規範書、德國1934年之國有鐵路規範書」

表-2 中国の主な鉄道で使われた機関車に対応した活荷重(文献12), 14), 24)より著者作成)



と記述されていて、1922 年の『規範書』のようにアメリカ一倒ではなく、各國のものをつぶさに検証した上で最新・最良の設計基準を作ろうとした様子がうかがい知れる。同書には、さらに、

「此項新規規範書中、重要更改各点、略述如下。載重及輪距、全用公制、分為中華十六、二十、二十四、二十八等級、材料之品質限制、及容許応力等規定、均予以更改。以期適切実際情形、此外關於設計細則部分、如“压杆”之寬厚比、翼板伸出限度、鉄孔折減算法、鉄梁設計方法、中部加勁肋之間隔、聯系板之設計方法等、均採用最新學說及嚴密實驗之結果、詳細推敲而後訂定」

(今回新たに公布された基準で改訂された主要な要點は次の如し。  
すなわち、活荷重の大きさと車軸間隔は、中華 16, 20, 24, 28 級などの各等級に分かれている。また、実情に合わせて、材質や許容応力などの規定を全て修正した。その他、設計細則についても、例えば圧縮部材の幅厚比、フランジの突出部分の制限、リベット孔の換算方法、プレートガーダーの設計法、中間補剛材の間隔、連接部材の設計方法など、全て最新の学説や厳密な実験結果を反映させ、詳しい推敲の上に修正を加えた)  
という指摘も見られ、見直しが広範囲にわたるものだったことが判る。しかし、全般的に見直したとはいえ、アメリカの影響は依然として強かった。顧憲成の『叙昆鉄路馬過橋之設計』<sup>21)</sup> (1941 年) には、

「本橋所採標準、活重為中華十六級 C-16. ……各項標準均係據交通部 1938 年所制定之鐵路橋梁規範書」  
(本橋で採用した活荷重は、中華 16 級 (C-16) である。各項の基準は全て交通部が 1938 年に公布した『鐵路橋梁規範書』に従っている)  
と記している。しかし、こうした取り決めは国有鉄道に限られていた。例えば、日本が 1943 年に建設した丹東鴨綠江橋には、日本の荷重基準 E-60 に近い満州鉄道の L-27 級が採用されていたように、外國が自らの権益を守るために敷設した鉄道には、依然として自国の設計基準が使われていた。

## 5. 日本との比較

同じ東アジアにあって、日本と中国は、鉄道の発展に

表-3 中國と日本における鉄道建設と鉄道橋設計に係る諸要因

		中 国	日 本
鉄道の建設	類似点	①最初の路線はイギリスの技術で建設された ②最初の路線の建設年代はほぼ同じであった ③国有鉄道が中心であった	④1949年の時点での路線延長はほぼ同じであった ⑤初期の機関車は外国から購入された ⑥最終的には機関車を国産化した
	相違点	①最初、中国政府は鉄道建設に消極的であった ②建設にあたって外国からの借金に頼った ③一部の路線について主権を持てなかった ④外国により直接建設された路線が多かった ⑤中国人が自ら建設した鉄道は日本より40年遅れた ⑥さまざまな軌道ゲージが使用された ⑦路線が地図的に不均衡であった ⑧機関車の完全国産化は実現しなかった	①日本政府は鉄道の導入に熱心だった ②建設資金を国内で調達することを重視した ③鉄道の主権はすべて日本にあった ④鉄道建設の主体は常に政府か日本の会社であった ⑤当初外国人技術は雇ったが早急な自立を希求した ⑥ゲージの変化は最小限に抑えられた ⑦幹線鉄道網が計画的に造られていった ⑧機関車の完全国産化を達成した
鉄道橋の設計	類似点	①最初の鉄道橋はイギリスにより設計・建設された ②当初は外国の建設技術が全面的に用いられた ③輸入の鉄材・鋼材が長く使われた ④部材の製作は次第に国産化されていった	⑤セメントは国産化された ⑥当初は外国の設計基準が使われた ⑦クーパー活荷重が使われた ⑧自国制定の設計基準は外国のコピーに近かった
	相違点	①構造用の鋼材はすべて外国から輸入した ②鋼橋の設計基準しかなかった ③さまざまな活荷重・設計基準が使われた ④中国人が自ら鉄道橋の設計をできたのは日本より40年遅かった	①構造用の鋼材は最終的には国産化された ②コンクリート、鉄筋コンクリートの標準示方書も制定された ③英・独・米の影響を受けたが、活荷重の種類は中国より少なかった

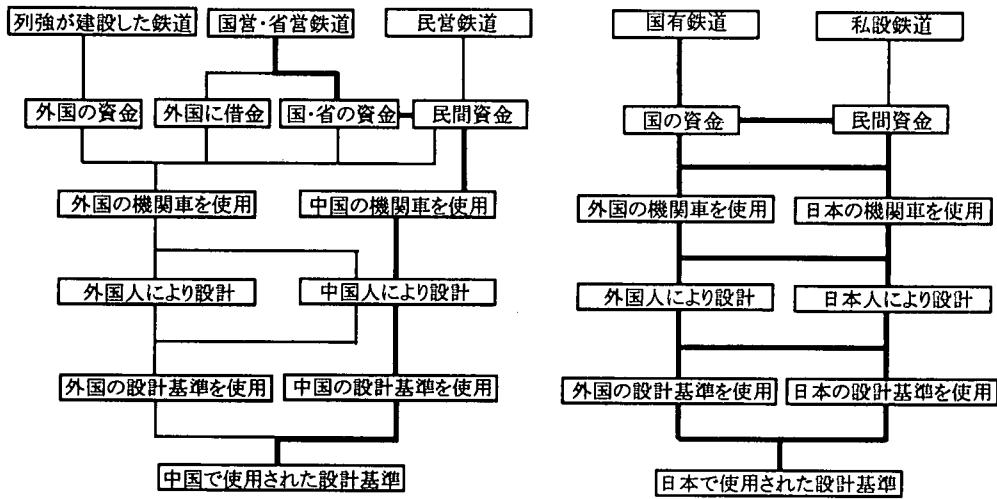


図-4 中國と日本における鉄道橋の設計基準の成立に至る系譜

関しては全く異なる道を歩んできた。ここでは、①鉄道建設に対する政府の姿勢、②鉄道橋の設計基準の中核と

なる活荷重の考え方、③設計基準の策定に及ぼした外国の影響などに着目し、日本と中国の類似点と相違点を比

較・分析する。

中国最初の鉄道は、1876年イギリス人によって建設されたが、『中国之交通』<sup>⑨</sup>に、

「淞滬鐵路……於光緒二年竣工通車。我国以其有礙主權，購而毀之」

（淞滬鐵路は光緒二年（1876）に開通した。わが国はそれが主権を妨げたため、買い取って撤去した）

と記述されているように、清政府は主権を妨げるという理由で撤去してしまった。それ以後は、資金調達が困難だったこともあって、鉄道建設は遅々として進まなかつた。ところが、1897年になってロシアが中東鉄道の建設に着手すると、鉄道路線が急速に伸びはじめる。それは、凌鴻勲の『三十年來我工程事業之檢討』<sup>⑩</sup>（1942年）に書かれているように、

「鐵路之所以尚有相當進展者，仍不外列強權利競爭之關係」  
（鉄道が発達した要因は、列強による利権競争に外ならない）

中国大陆の覇権争いを、鉄道を介して進めようとする列強間の競争があったからである。諸外国によって敷設された鉄道路線は、1910年の時点で3,718kmに達し、中国の鉄道総延長8,233kmの45%を占めるに至つた。

それに対し、同時期の日本では、中国に匹敵する総延長7,836kmの鉄道路線が完成していた。日本の国土面積は中国の26分の1なので、鉄道の密度は20倍を超えていた。違っていたのは距離だけではない。日本の鉄道建設は、当初こそ資金不足のため外債に依存せざるをえなかつたが、その非を悟ると、すぐに国内の資金に切り換える、鉄道の主権を手放さなかった。表-3には、鉄道建設に対する両国の姿勢、鉄道橋の設計に対する両国の対応の違いを比較して示す。

活荷重の選択は、設計上重要なポイントであるが、その活荷重を左右したのが、当時使われていた機関車の種類であった。中国では、列強諸国が自国の機関車を持ち込み、当然のことながら、自国の路線にある橋は、自国の機関車が通れるように設計され、自国の活荷重が使用された。結果として、路線ごとの橋梁の耐荷力には大きな差がつき、規格を統一するために橋を補強しようとしたとき、最も重い（衝撃の大きい）アメリカ製の大型機関車に配慮せざるを得なくなつた（アメリカの設計基準に準拠することが求められた）。日本の場合、当初機関車を輸入していた点は同じだが、機種の選定は自らが決定できだし、活荷重の変動をできる限り少なくすることもできた。日本が結果的に、当時最新のアメリカの設計基準に倣つたとしても、それは客観的かつ自動的な判断によるものであつた。

列強諸国からの影響という点に関してであるが、日本は、イギリス、ドイツ、アメリカから鉄道技術を導入し、鉄道トラスなどは長期にわたって輸入され続けた（19世紀末以降は、もっぱらアメリカ製）。設計基準の制定にあたつても、19世紀末以降、アメリカのクーパー活荷重が使われた。こうした技術の輸入には、日本政府が雇い入れた技術者や大学教師が大きな役割を果たしたが、鉄道の主権が日本自身にあったので、最終的な決定権は保持できた。この点が、列強によって建設された鉄道路線に対し、主権を主張できなかつた中国との大きな違いである。

図-4は、鉄道橋の設計基準の設定に係わる日本と中国のスタンスの違いを、フローチャート的に示したものである（太線は、政府のコントロール下にあることを意味する）。図に示されているように、中国政府は国営や省営の鉄道に対しては決定権があり、自国の設計基準の適用を要求できたが、諸外国の手で建設された鉄道に対しては請求権がなかつた。それに対して、日本政府は国内のすべての鉄道に主権を有していたので、外国人技師の意見に対して、最終的な決定権を保持していた。

## 6. 結論

本論文では、中国近代における鉄道橋の設計基準の変遷を、当時の書物・論文などの記述をもとに明らかにしてきた。特に、活荷重の選定や外国との関係に着目し、また、日本と比較することでその違いをより明確にしようとした。得られた結論は、以下のようにまとめられる。

(1) 中国では、外国によって（利権として）建設された鉄道が非常に多く、それに伴つて、外国から近代橋梁の技術も導入された。その際、安価なRC橋の技術も同時にたらされたため、中国古来の石造アーチの技術が活躍する場はなかつた。

(2) 中国では、ロシア、イギリス、フランス、アメリカ、ドイツ、日本などの活荷重・設計基準が使われた。特に、それらの国々が権益として建設した鉄道では、1922年に中国固有の設計基準が公布された後も（1938年に改訂された後も）、自国の基準が使われ続けた。

(3) 衝撃力の大きなアメリカ製の機関車が運行していくことが主因となって、1922年の中国初の設計基準は、アメリカのクーパー式活荷重を用いた設計基準に極めて近い内容のものとなつた。

(4) 1938年の基準改訂の主因となったのも機関車で、時代の変化に伴い機関車の活荷重レベルが1922年当時のものとは違つたため、それをカバーすべく中華荷重基準が設定された。同時に基準全体が見直され、アメリカ一边倒から一部脱脚した。

(5) 日本との比較で明らかになったことは、鉄道の主権の有無によってその後の展開がいかに大きく違ったかを、驚きをもって再確認できたことである。

**謝辞：**論文をまとめるにあたり、中国側の各種資料の収集に絶大な支援を賜った王開山氏 史其信氏 程学英氏 武部健一氏。並びに、各国の設計基準に関するデータをご教授いただいた小野田滋氏に心からの謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 中国鉄路橋梁史編纂会：中国鉄路橋梁史、鉄道出版社、1987.
- 2) 庄正(主編)：中国鉄路建設、鉄道出版社、1990.
- 3) 李占才(主編)：中国鉄路史、汕頭大学出版社、1994.
- 4) 井上勇一：鉄道ゲージが変えた現代史、中央公論社、1990.
- 5) 鉄道部業務司：中国鉄道便覽、商務印書館、1934
- 6) 東陽葛：中国之交通、中華書局、1927.
- 7) 凌鴻勳：橋梁、商務印書館、1933.
- 8) 梁旭東：粵漢鉄路株組取橋梁涵洞之設計、工程、vol. 11(1), pp. 55-66, 1936.
- 9) 孫成：道清鉄路橋梁概況、工程、vol. 9(4), pp. 413-418, 1934.
- 10) 中華工程師学会：膠濟鐵路改建李村河大橋工事概要、中華工程師学会会報、vol. 14(11, 12), pp. 1-2, 1927.
- 11) 茅以升：三十年來中國之橋梁工程、三十年來中國之工程、1948.
- 12) 羅英：鐵橋加固、工程、vol. 8(1), pp. 33-45, 1933.
- 13) 凌鴻勳：京漢鐵路黃河新橋築備述略、中華工程師学会会報、vol. 9(1), pp. 1-9, 1922.
- 14) 中華民國交通部：中華民國國有鐵路鋼橋規範書、京滬・津浦兩鐵道管理局、1932複刻.
- 15) 陳体誠：京漢鐵路之橋梁、中華工程師学会会報、vol. 14(1, 2), pp. 1-12, 1927.
- 16) 孫寶輝：膠濟鐵路更換橋梁工程、工程、vol. 9(3), pp. 277-298, 1934.
- 17) 鄭華：膠濟路橋梁出險之真相、中華工程師学会会報、vol. 10(1, 2), pp. 1-4, 1923.
- 18) 薛楚書：整理平漢鐵路橋梁意見書、工程、vol. 10(3), pp. 281-300, 1935.
- 19) 胡升鴻、嵇銘、陳祖貽、茅以升、陳体誠、侯家源：檢查津浦鐵路黃河橋毀壞情形之報告及舉起與修理之建議、工程、vol. 4(3), pp. 395-423, 1929.
- 20) 鉄道部科学研究院：旧線鐵路橋梁承載能力的分析和新線鐵路橋梁設計活載標準的研究報告、1983
- 21) 顧懋徵：叙昆鐵路馬過橋之設計、新工程、No. 5, pp. 9-11, 1941.
- 22) 羅英：非常時期建築橋梁之經歷、工程、vol. 15(1), pp. 39-48, 1942.
- 23) 凌鴻勳：三十年來我國工程事業之檢討、工程、vol. 15(3), pp. 3-4, 1942.
- 24) 蔡孔阜：我國鐵路活載標準的演變、橋梁建設、1987年2期, pp. 67-78, 1987.

(1997. 5. 29 受付)

#### THE HISTORY OF DEVELOPMENT OF RAILWAY BRIDGES DESIGN STANDARD IN CHINA

Zhi-Lin HAN and Shunsuke BABA

This paper is based on the vast amount of papers published and documents related to Chinese railway bridges before 1949. The railway bridge design, in the period before and in the early beginning of the establishment of the railway bridge design standard, is introduced, also the history of the modification and development of the modern Chinese railway bridge design standard presented. Focus is given on the effect of foreign standard on the Chinese design standard, and comparisons are made between the Chinese railway design standard and Japanese one.