

鋼橋の理論と計算 (第1巻)

鋼橋の理論と計算

フリードリッヒ・ブライヒ 原著

奥田 秋夫 共譯
綾 龜 一
猪 瀨 寧 雄

最新土木工學名著續譯

第1回配本

コロナ社

D08.01
B
36540

鋼橋の理論と計算

フリードリッヒ・ブライヒ 原著

奥 田 秋 夫
綾 龜 一 共 譯
猪 瀨 寧 雄

登録	平成 1年 7月 24日
番号	第 36540 号
社団法人	土木学会
附属	土木図書館

名著100選図書

コ ロ ナ 社

序 文

數年前著者が鋼橋の計算に関する著書を出版せんとする計畫を立てた時、この著述の際に根本的に性質の異つた併し密接な關係にある二つの問題を解かねばならぬ事は既に明らかであつた。この書物が科學的特長を失つてならぬならば、現在行はれてゐる鋼橋計算方法の詳論は、その計算方法の基礎である理論的及實際的の原理を詳細に批判する事から始めねばならない。それ故鋼橋の理論は實際の計算に對立せしめられた。勿論、理論と計算を其都度統一された總體として、又計算を先の理論から自然生じた結果として述べんとする努力が拂はれたが、ここに述べられる問題が多様であるから一部分は陳述された題材の他の配置も必要であつた。鋼橋の構造に関する知識を前提とした本書は私の望む様に、一方鋼橋計算方法の深淵な研究を可能ならしめ、他方實地の技術者に設計の際、參考書ともなりハンドブックともなる、この二つの目的を満す事が出来るであらう。

鋼橋理論の原理は架設された橋梁の比較研究の結果及研究室の實驗の結果に基いてゐる。然し理論が實際の根據に如何ほど缺けてゐるかは最初この著作の起稿中自分に甚しく意識された事であつたが、鋼橋工の廣い範圍に於て多くの未解決問題の實驗的研究の必要が漸く認められて來たから、今後數年間には多くの事がもつと良くなるであらう。過去約 15 年間に行はれたドイツ鋼構造協會の實驗には多くの解決が熱望された。多くの成果がスイス橋梁製作協會の技術委員の非常に巧妙に行はれた實驗に期待された。又他國に於ても殊に北米合衆國ではこれまでの場合よりも多く鋼構造のための實驗研究をなす必要が著しくなつた。

若し各場合に於て實驗結果が費した努力と一致しない時には、その理由は往々全然假定をせず實驗を行つたことであつた。研究假定なしでは、又注意深い徹底した理論なしでは、どの實驗も確に無意義のものである。實驗は理論を確認する事が出来、その廣い完成と根本的變化に對する指示を與へる事が出来る。問題を立てる事は全く簡單明瞭であるべきで、一時に多くの問題に満足な解答を得る事は始ど出来ない。ただ理論及實驗研究がうまくゆく時には成果は期待して良いだらう。

實際に働いてゐる技術者の世界では往々にして、多くの問題を大規模な裝置の實驗に依つてより正確に解明する事は、一に適當な手段を必要とすると云ふ意見があるから、私の考へを述べなければならない。然し乍ら最も卓越した最も成功せる實驗者の研究は、これまでにたい理論と實驗の密接な結合のみが認識發展を可能ならしめた事を證明してゐる。

著者は本書を 8 編に分つた。第 1 編の緒論の部分を除き初めの四編は鋼橋構造に重要な技術の材料強弱學及彈性理論の問題を詳論し、本質的な橋梁構造に就ては本書の後半に論じてゐる。

第 1 編は荷重に就て述べた。移動荷重の動力學作用の數學的取扱ひに大きな章を充てた。この面倒な方面に就て詳細に述べる事は自分には重要であると思はれた。何故なら、この問題と

安全度の問題は密接な関係にあるからである。著者の與へた説明が又力學の問題をあまり習はない讀者にもよく了解出来る事を望んでゐる。

次の編は、材料の力學的性質と關係ある實際に基づく設計方法に對する基礎に就て述べた。安全度及許容應力に關する第7編は既に1918年に書かれたものである。それ故に著者は1922年の春新しい國有鐵道規定が現はれたので、驚いて當時既に印刷した著者の論文に新規規定に基づき二三修正、論及する事が必要となつた。

本書第3編に於て鋼橋抗壓材のバックリング安全度に就ての説明に非常な大部分を充てた。不安定平衡の理論の本質的議論は、先づ最も重要なバックリング公式の詳論を書いて讀者をして段々とこの面倒な範圍に導き、そして抗壓材の普通の計算方法を概念的に把握し得る様にした。先づ第9章には直材のバックリング強度の理論を述べた。この作成の際には、多くの技術者によつて最近數多くのよい發表があるにも拘らず、尙正しく理解出来ないバックリング問題の核心を出来る限り明瞭に分解する様努力した。變断面部材及集成部材のバックリング強度を求めるとはバックリング問題を取扱ふ際に更に非常に豊富な方法を導く事が出来るために Ritz の方法を使用した。第8章には、使用のため概念的に集めたバックリング長に對する規定を述べたが、第11章に於て尙詳細に理論に基いて研究した。又彈性的に支持された弦及拱桁のバックリング安全度に就ても詳細に論じた。この編の最後に抗壓材の腹板のバックリングに就ての章を作つた、そしてそれがバックリングの弾性及非弾性範圍に對する問題が容易に理解出来る説明であるのみならず、又専門計算者にとつて鋼橋設計の際必要に應じて簡単な公式を立てられる様にならむ事を望んでゐるのである。

第3編の研究はこゝに問題の實地基礎として、本質的には Tetmajer の公式に基いたが、その一般性はこれによつて害されてない。この編中に述べた特別な計算方法は、或る他の經驗的に得たバックリング法則に基いて成り立つ事は勿論である。そこで基礎となるバックリング法則を表はすにはこの編の式又は表の數値を變へれば良い。

第4編では簡単に先づ張力、壓縮、彎曲と捩力との重要な問題を簡単に述べた。こゝに部材結合、アイバー、鉸孔周圍の應力状態等を觀察する多くの問題を論ずる事が必要と思はれた。これを理解する事は自分の經驗から知る様に、實地技術者に構造細部の鋼橋組立の際に多大の利益がある。最近 Föppl, Weber 等の研究に依り重要な解決をなした捩力の問題に就て、又鋼橋の構造部材の捩力率の影響に就て批判をなすために大きな章をこれにあてた。

第5編には鋼橋の床版の計算を述べた。床の計算は殘念な事に二三の理論的觀察に基くのみであるが、集中荷重の作用に對する一般法則を立て得る様に簡単な荷重分布の理論を先に掲げた。この範圍に就ては橋梁製作者に満足に行く様な確かな實驗結果は全くないのである。又鐵筋コンクリート床版の計算に就ても詳論した。それはこの程度の床版は新しい道路橋では益々意義多くなつて來たからである。この編の後半は床組即ち縦桁及横桁に就て論じた。

主桁計算を述べた第6編の題材の選擇に當つては不靜定系の豫備の設計及計算に對する近以

公式を導く事を眼目とするに是非必要な程度に一般計算方法に論及すると云ふ原則から出發した。何となれば著者の經驗から橋梁設計の着手に、如何にかゝる參考資料が望まれてゐるかを知つてゐるからである。主として Müller-Breslau の基礎的研究による構造力學の多くの良い研究がある事は讀者はよく知つてゐると思はれるから、實際の構造力學理論を精しく論述する事は不必要であると思ふ。第20章で結構主桁に就ては、結構の構造に關して簡単に述べた。結構の細部の理論は未だ初歩であつて、彈性論及實驗研究は解決すべき尙多くの問題が存在する。結構二次應力に就ても詳細に論じ又簡単な考察によつて二次應力の評價に對する方法を導く事を重要視した。但しこの二次應力は著者の考によればどの方面からみても餘り意味がないと思はれる。二次應力の問題に於ける著者の立脚點は二三の簡単な章で述べた。

横構及對傾構並に支承及鉸の計算は最後の二編に詳論した。

提供した題材の排置方法に關して述べると、出来る限りは、一般又は理論的考慮による結果から簡単な結論を得る様に努力した。使用すべき數學式を立てる際には出来る限り簡単にした、この際數字を用ひて面倒な公式は近似式を以ておきかへる方法を用ひた。使用に際して重要な方程式及法則又は數値は適當な場所に表として集めた、それ故場合場合に早く見付け事が出来るであらう。數字を入れた例題によつて本文を生かし、一般説明を完全にし、それによつて其等の了解を容易にせんと望んだのである。二三の場合例へば横桁、縦桁の計算に就ての編に於ては例へば長々しい一般詳論に代へて、特に初心者に計算の模範を示さんとした。

勿論完全を要求するのではないが數多くの文獻を参照されたい。

本書にては鋼橋の理論と應用せる計算方法を同時に一緒に説明せるものである。著者はこれを以て先づ第一に鋼橋の構造を論じてゐる現在の教科書及ハンドブックの多くの同業者が歡迎してゐる補足たらしめんと望んでゐる。

Wien に於ける技師 Franz Anderle 氏は例題作成及校正に就いて非常に助力された、氏に對して茲に感謝の意を表す。

本書の完成は最初の計畫では1922年に發行される筈であつたが、本職の多忙な仕事の爲めに非常に遅れて終つた。著者は急いで本書を印刷された好意及配慮下された装禎に對して出版者に感謝する。

1924年1月 Wien に於て

Dr.-Ing. Friedlrich Bleich

緒 論

鋼橋の静力學的計算概論

構造物の静力學計算の目的は、その各部分の適當な經濟的な設計に對して充分正確なる立脚點を見出すにある。それ故に計算は場合場合に應じてこの目的は勿論實際の見地から觀察せる目的を遂行する迄行ふ。静力學計算の範圍及正粗の度合も亦この目的に適應されなければならぬ。構造物設計に應用せる計算方法は簡單明瞭にして、誤算及誤解を出來得る限り除去し、その計算に對する時間浪費を最小限度に止めるべきである。然しながら、一方計算は構造物に於ける實際の力の作用及施工過程の出來得る限りの正確な像を與へなければならぬ。簡単な事と正確な事が往々お互に相容れない事は悲しむべき事實ではあるが、こゝに正しい中間の道を發見する事は専門技術者の藝術である。吾々は鋼構造物の理論と實際の必要に適應した計算方法とを取違へはしない。静力學研究に基く各場合に横はる體系はたゞ抽象によつて得た事實の様式にすぎない。一方實驗研究及理論の任務はこの様式を確定し、批判的に解明し、多少でも眞理により近づく様に確定する事である。一方専門計算者の使命は各々の場合に對して適當なる様式を探求し、常に理論的批判を眼中に持つて、種々の應用場所に必要な方法及公式の流通範圍を概観するにある。理論を以て常に従事する事は橋梁構造技術者に常に新しい認識を起させ、彼に方法及公式を内容なき空なる幻影へと陥し入れる事を避けしめるのである。結果と進歩は共に理論と實際の密なる共同作用を結びつけて來た。

鋼構造物の斷面決定は變形が構造物の目的と一致しなければならぬ事情を同時に注意して、通常最強の應力を受ける場所の材料の應力が或る極限值を越さないと云ふ條件によるのである。こゝに於て吾々は計算した應力値が實際の材料應力と正確に一致してゐると云ふ誤れる意見に注意せねばならない。この計算による應力は實際静力學計算の際——只この場合のみを考へようと思ふが——通常單に多少なりともよき近似値を與へるのみである。何故ならば、吾々の計算は確に眞實に比較して大抵非常に單純な様式に作るからである。この近似値は實際の應力に上から近づく、即ちあらゆる事情で計算した應力が實際に働いてゐる材料應力に對して上の極限值を作ると云ふ要求を滿さねばならぬ。¹⁾

實際計算の際に橋梁の問題となつた箇所に於ける材料應力の眞の値を定める事は不可能であつて、只實際の應力がそれを超過しそうな上の極限值が求められるのみである。必要な計算方法の節約を試みるためにそれを尙近く上の極限值に下の極限值を對立させる事が出來ると云ふだけである。この兩極限值がお互に近ければ近い程用ひた計算方法はより正確であり、そ

1) こゝに第一に所謂一次應力を考へる。二次應力の判斷は他の見地に從ふのでこゝでは考慮しなくてよい。

れだけ吾々は危険を冒す事少く材料を浪費する事が僅少である。理想的の静力學計算は材料の應力が立證し得られない場合に於て行はれ、そしてこれは大抵各應力に對して二つの値を與へる、即ち一は上の、一は下の値で、その間に實際の應力があるのである。¹⁾ 勿論下の極限值は箇々の場合に證明する必要はなく、用ひた計算方法の批判の際に、凡ゆる場合に就て本當の應力が計算した上の限界を表はす最悪の場合を如何程離れてゐるか云ふ事が明になればそれで充分である。それ故にこの下の限界を確定する事は鋼橋理論問題の一つなのである。

各静力學計算の基本は、研究系統中の應力及變形を定める荷重及その他の影響を確定するにある。確に橋梁製作者は少くも大抵の場合には政府又は鐵道管理者の規定に依るのが好都合である。かゝる場合でない時には、又それは往々廣く出て來るのであるが、計算の基礎となる荷重確立の際、殊に活荷重の際には大きな注意を必要とする。依頼者から引受けた計畫は最も正確に調査しなければならぬ。且静力學計算に基礎となる荷重列車を、常により重い荷重列車へと移る人間の目論見の或る變化を見越して確立すべきである。同様の注意を以て橋梁の自重の問題も取扱はねばならぬ。設計製圖の仕上げの後、又重量計算を行つた後に自重評價に關して静力學計算を吟味して、一方好しからぬ不意打をさけ、又他方鋼の無茶な浪費を制限する事は無條件に必要な事である。

更に、そう強調は出來ないが、ある特殊の目標として、鋼橋の抗壓材の断面決定の際には、ボニー橋の彈性的に支持された弦の設計の際に、充分なるバックリングの安全度に熟慮を拂はねばならぬ。何故なれば、經驗によれば、橋梁墜落及事故の多數は、その原因が皆墜落した橋の作用部分の不充分なバックリング安全度にあつたからである。²⁾

充分な注意は又鋼橋の部材の結合場所の研究及び計算に必要である。この點は今迄間違つてゐたし、今でも間違つてゐる。部材連結、衝頭結合、横桁、縦桁の結合部はその弱點である。こゝに常ではないが、たゞ結合場所に於ての應力の普通の静力學的證明が問題であるので、かゝる場所に於ける力の作用の正しい理解及結合の正しい構造的完成に對するかくして得た認識の利用は大變重要な事と思はれる。

彈性限界を超過した後は一次應力よりも徐々に増加する本質的の特徴を持つた二次應力は一次應力とともに計算し、断面決定の際に考慮する事は普通行はないのであるが、分別ある計算者は眼中に或る桁組織の長所及短所に對する立脚點及二次應力を熟慮する事により、構造的完

- 1) 簡単な例：彈性的に固定された桁に於て應力状態を計算する事は非常に困難である。故に自由に架つてゐる桁としての計算は上の限界を、固定された桁としての計算は下の限界を夫々桁の中央の實際應力に對して與へる。
- 2) G. L. Girard の論文 „La recherche de la légèreté dans les constructions métalliques” Revue universelle des mines 1911 の説明によれば 1881 年から 1897 年の間に 19 の完成せる橋梁の墜落せるもの内 15 迄はその原因は部材のバックリングによるものであつた。他の 4 の事故は資料によるも其の原因は不明である。

成に對する暗示を得るために特別の場合二次應力の大約の大きさに就て明瞭にせねばならない。

静力學計算は作用力——單に荷重と呼ぶ——から出發せねばならぬ。各荷重の作用は構造物の基礎まで研究せねばならぬ。夫々の構造部材の計算は各部材が荷重から出發して並んでゐる順番に従つて行ふのが適當である。鋼橋の際には先づ床版を、次に縦桁、横桁、それから主桁、及横構と最後に支承及橋臺、橋脚を計算する。自重及靜止活荷重又は移動活荷重の作用の外に、尙空氣温度の偏倚及太陽光線の作用、支承及基礎沈下の影響を顧慮する。最後に又試験荷重に對する比較値を得、且橋梁構桁の剛度の判定に對する基礎を得る爲に使用荷重による特殊の點の變位を確定する。

上の事は大體に於て新設計に關すると、又は現存せる構造物の吟味に關するとを問はず、鋼橋の静力學計算を行ふ際問題となる見解である。本書の各章に於ては、こゝにたゞ非常に簡単にふれた問題をより精しく扱ふ機會と、説明された原則の各場合の應用を學び知る機會を得られる事であらう。