室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

橋梁の歴史的変遷とその発達動向について(2) : 欧米における近世および現代の橋梁

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-07-24 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 中村, 作太郎 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/3643

橋梁の歴史的変遷とその発達動向について (2)

—欧米における近世および現代の橋梁—

中　村　作太郎

On the Histrical Changes of Bridges and the Tendency of Their Progress (2)
The Bridges of Recent Times and Present Age in Europe and America

Sakutaro Nakamura

Abstract

The present writer made the thorough invetigations on the bridges of Recent Times and Present in Europe and America , and he discussed and stated in full on their historical materials.

Ⅰ．近世の橋梁

1．概　説

近世すなわち，18世紀および19世紀における橋梁の目覚ましち発達は，橋梁用材ならびに橋梁理論の革命的な躍進を背景としている。中世末までの橋梁はいずれも石材あるいは木材によって造られ，構造も旧態依然たるものであったが，18世紀に至り，鉄材の進出が遂に橋梁の面目を一新したといっても過言ではあるまいと思う。

世界最初の鉄橋は，英国コールブルックデールにおける支間32 mの鋳鉄製拱橋（1,776）であり，続いて同様の橋が各地に架けられた。しかし鋳鉄が張力に対し弱い関係上，これらの橋は殆んど従来の石造拱橋の手法を真似たものであり，構造的には左程の進歩は見られなかった。次いで，錬鉄が出現し，圧延した型鉄の製作が可能となり，橋梁は初めて張力に強い材料を獲得し，その形式および構造に画期的な進歩を示した。

その代表的なものは，英国コーンウェイのメナイ峡に架けられたブリタニヤ函橋（1,845～1,850）とテルフォードの設計による大吊橋（1,826）とであろう。前者はステフェンソンの設計による鉄道橋で，最大支間72 mを有し，鈑と山形鋼とによって造られ，全体が函状を呈している。また，後者は錬鉄製鎖を用いた吊橋で，中央支間約170 mを有し，錬鉄時代初期の作品としては実に驚異的な大構造といえよう。

このようにして1,880年頃までは錬鉄の全盛時代が続き，以後鋼の時代に移って今日に及んでいる。この間における鉄橋各形式の変遷について一瞥するならば，ブリタニヤ橋のような充腹の函橋はその後殆んど使用せられず，その代りとして目の細かい格構桁が現われ，これが進化し

て複雑な多叉構となり，力学理論の発達と共に再転して今日のような簡単な構桁形式へと移行したものと考えられる。

なお，今日あるような鈑桁構造は，ブリタニヤ橋とは関係なく，むしろ構桁よりも遅れて発達した形式といえる。一方において，吊橋は錬鉄製鎖から鋼製眼鈑となり，更に米国においては多数の鋼線を撚り合わせた鋼索に代えられ，益々その支間を増大するに至ったのである。今日，世界的大橋梁工事の第一線に活躍しているものは実にこの吊橋の形式である。

2．石造アーチ橋

ローマ時代および中世紀，文芸復興時代の石造アーチについては，すでに研究報告第8巻第3号において論述した通りであり，その架橋も軍事払術者の手から僧呂，石工職，建築家の手に移り，その末期においては芸術家が橋梁の意匠に心血を注ぐようにさえなった。しかし近世においては，科学的な研究と改良が従来の経験に併行して蓄積せられ，従来なかった科学的架橋技術が生れるに至った。

すなわち，この時代には技術者なる新しい職名を持った専門家が現われることとなり，橋梁はこの技術者によって計画設計ならびに工事監督せられ，建築家がその意匠を分担し，石工職はその畳築工事を担当するようになり，仕事の分業が起ったのである。

人智が啓発せられ，自由討究の思想とともに観察実験の研究方法が世に起り，自然科学およびその応用が世に拡がるに従って益々発達して行ったが，この時代における最初の中核をなすものは何んといってもフランスの技術といえよう。

この時代における初期のものとしては，ロアル河のブロア橋や水利技師シエジイの手にかかったテレリルポオルの橋などがあるが，ペロオネこそは臣匠ともいうべき代表的技術者であって，彼は従前の石造アーチの橋脚が巨大に失することを指摘し，径間長と橋脚幅との比を5：1とするような慣習を改め，左右アーチの推力がほぼ同じである限りにおいては，10：1の割合でよいことをパリ郊外に架設されたヌイリイ橋（1,768）において実証したのであった。

この橋は37 mのアーチを5径間有し，橋脚幅は上述の比で示されるようにきわめて小さいから，従前の石造アーチのように1径間毎に架設することは不可能であり，5径間を同時に施工する工法をとった。アーチの支保工を撤去するに際して，ルイ15世が親しく来駕してこれを見物したと伝えられている。

ペロネオの更に思い切った改良は扁平なるアーチを架けること，すなわち径間長に比して拱矢を小さくすることであった。1,771年彼が架設した聖マクザンスの橋では，22 mの径間長に対して1.8 mの拱矢，すなわち12：1の比を有する扁平なるアーチとなっている。なお，ペロオネの著名な代表作品は，何んといってもパリのコンコルド広場におけるセイヌ河橋であろう。この橋は，1,786年すなわちフランス革命の直前に起工され，いわゆる「恐嚇政治時代」を経て，1,791年に竣功した扁平なる欠円のアーチ橋で，5径間よりなり，中央径間31.2 m，拱矢4 m，す

なわち約８：１の扁平度を有する当時としてはかなり大胆な設計作品であった。

イギリスにおいては，ジョン・レニイが最も傑出していたと思われる。レニイの設計したアーチは，ペロネオの欠円を用いたのに対し常に楕円の半分を使用することを特徴としており，それは明らかに文芸復興期におけるイタリーの橋の影響を受けているものと考えられる。その楕円は半径一定なる欠円の単調さに比べれば，はるかに変化に富み，曲線としては優美な感じを与えるところに特徴がある。

レニイが1,817年にテームズ河にワオータールウ橋を架設し，1,831年ロンドン橋を建造したことは有名であるが，この二つの橋は単にレニイの傑作であるのみならず，19世紀における石造アーチの典型を示すものといえると思う。

また，燈台工事で著名なスミイトンも幾つかの橋を架けたが，彼は「天然セメント」の製法を1,756年に発明し，石造アーチ橋に貢献するところきわめて大きかった。現在使用されているセメントすなわち，「ポートランド・セメント」の発明は1,824年であって，強力なセメントが製造されて以来，セメント・モルタルは石造構造に多大の影響を与え，アーチは必ずしも正しく仕上げられた切石でなくとも，例えば荒く割った程度の切石を使用しても，モルタルで結合すれば畳築することが可能となったのである。

19世紀の欧州は，政治的には曲折多端をきわめたが，機械文明は進歩発達し，いままで強度と耐久性の点で橋梁の王座を占めていた石造アーチも，鉄橋の抬頭によりその位置を逆転する破目に立ったのである。しかし，石造橋はその荘重なる外観に親しみを感ずるという理由で，この19世紀においてもしばしば愛用された。また石材の乏しい地方では煉瓦にて切石に代えたアーチ，すなわち煉瓦をセメント・モルタルで畳築した煉瓦アーチ橋も盛んに架設された。パリのような都会においては，洗練されない鉄橋よりも人心に親和感を与える石造アーチ橋が好んで架設されたのである。

パリはナポレオン三世により大規模の市区改正が行われ今日のような美しい市街となったのであるが，シュンジュの橋（1,860），アルマ橋（1,860），ドウトイユ橋（1,865）などはその代表的橋梁であり，径間はいずれも約30ｍで，ペロネオの用いた手法に倣い，ナポレオンを象徴したＮの頭文字が入れられている。

これらの橋は美しい都会の橋として重要ではあるろうが，橋梁技術の面からいえば，もっと規模の大なるものや新しい構法をとったものの方が大切と考えられ，その点ではドイツにおけるザクゼン州ゲルチタアルの低地を横切る鉄道橋などは，2,000年の昔ローマ人がガアルの谷に架けた水道橋をも凌駕した注目すべき大構造である。その全長579ｍ，最高部の高さ80ｍで三層より成り，中央部だけ二層から出来ており，この部分の径間は30ｍとなっている。

また，スイスの鉄道の多くは山岳鉄道で，到るところに渓谷があり，しかも石材が豊富にあるから，ここに架けられる鉄道橋の多くは石積のアーチ橋であって，イタリー国境に近いアルブラ

線，すなわちダボス付近には有名なものが少なくない。ジロス橋は野面の粗石を積みあげた巨橋であり，ランドワッサァ橋は6連のアーチから成し，平面的に見て多角形を描いており，橋脚の高さは60 mにも及んでいてきわめて不安定な形状を有している。

19世紀後半の石造アーチ橋の特質は支間の拡大であり，これに伴って側面に空洞を造ったことであろう。また，20世紀に入る前後，コンクリートが新しい構造材料として橋梁界に登場したため，石造アーチ橋の架設が減少するようになった。殊に鉄筋コンクリートの出現があってからは，耐荷力において優れ，しかも弾性理論によって計算することの出来る鉄筋コンクリート・アーチ橋の架設に代ることとなった。

石造アーチの最後を飾る巨橋には，1,903年ルウクサンブウル国のアドルフ橋（径間84.5 m，セジュルネ設計），フランスのラボウル橋（1,884年架設，径間61.5 m），ドイツのプラウエンのフリィドリッヒ・アウギュスト橋（1.905年架設，径間90 m）などが挙げられる。ここに示す径間長を見ても，従前のものに比べ著しく増加しており，プラウエンのアーチ橋は石造アーチとしての最大記録を保持している。

3．木造橋

文芸復興時代イタリーの建築家アンドレア・パラディオ（1,518～1,580）は，木材の柱を格子状に組み合わせてトラスを造り，これを屋根組みあるいは橋桁に用いたと記録せられている。その記録には図面まで残っているにもかかわらず，この卓越した工法は継承せられずに終り，それより2世紀半を経過した後に，スイスに別個なる新しい木橋術が興ったのである。すなわち，18世紀の中頃アッペンツェル州トイフェン村に住む大工のグルウベンマン兄弟（兄：ウルリック，弟：ヨハネス）は，木造の大橋梁の架設を日頃から考究していたが，兄のウルリックは1,758年シャッフハウゼンのライン河に支間52～59 mの2径間よりなる木橋を架け，弟のヨハネスもその上流ライヘナウに支間73 mよりなる木橋を架設し，お互いに気を吐いた。

また更に，この二人の兄弟は合作して1,758年に支間119 mに達する一大木橋をチュウリッヒ市の西方ウェッティンにおいて架設したのである。支間100 mを超えるような木造の橋桁は全く古今未曽有のものであろう。現在，このグルウベンマン兄弟が近代木橋の始祖と伝えられているのは上述の大きな業績によるものと思われる。

このような木橋術の構法については，それより以前すでにスイスやドイツに普遍しているが，ドイツには卓越した技術者が出て1,600年の末頃から構法の発達を見せている。すなわち大工が木造の渡り廊下を作り出したのもこの時代であり，ウィルヘルやフォーゲルのような技術者が出て木橋の架設を行なっている。土台木をならべ束柱を立て，貫を通し上に桁を渡し，上部に屋根を作るのが渡り廊下であり，更に側面に板壁を張ればそれだけ丈夫になるが，これを両端だけで支える橋桁とするためには，それ以上の補強が必要である。橋脚から方杖すなわち突っかい棒を斜めに出して支える工法も行なわれたが，その典型的な橋として著名なのは1,718年架設

のグリムマのムルデ橋である。

こうした橋は現在でもスイスに多く，橋に屋根を付けることは風雨による腐朽を防止する意味からいっても得策である。

19世紀の初め，ナポレオンの制覇によって混乱した欧州に比べ，南北アメリカがスペインの勢力を排しながら新しい世界を築いて行った頃，西部に向って未開の地を開拓する者達にとって橋の架設は一つの大きな仕事であった。北米には樹木が多く，欧州の諸民族が入り混んでいたので，屋根のある橋すなわち，カバァド・ブリッジはその人達によって移入されたものと考えられ，スイスの北境から移入された木橋の発達が米国において進歩を遂げたと見ることが出来る。

米国では，柱を組み合わせて橋桁を作る技術，すなわちトラス構法なる技術が，樹木の多いことに影響され，当時の先進国の何れよりも早く発達を遂げているという事実は注目に価するものと思う。

初期における木造橋の権威としては，パルマア，ウェルンワアグ，セオドア・バアなどを挙げることが出来ると思うが，パルマアの傑作とされているフィラデルフィアのパアマネント・ブリッジ（永久橋）は特に優れたものとして著名である。被覆された木橋ではあるが，その主骨は後年のハウ・トラスのような簡単な斜材を持った洗練された構造のトラスであって，中央径間59 m，側径間46 mあり，1,798年に建設されたものである。これと接近して同じくシュルキイル河に架けられたファアマウントのコロッサス橋はウェルンワアグの傑作であり，その支間105 mにも達している。また，バアが1,815年にマクコオルの渡船場に架けた木造アーチ橋は支間110 mにも及び更に大型のものであった。

これらの木造橋の主骨は柱を組み合わせて造ったトラスではあったが，厳密にいえば全体としては桁ではなくアーチ的な構造であり，支点には斜め方向の作用力を与えるような構造であった。それを根本的に改良し，支点に対しては桁と同様の力学的作用をするトラスを考案したのは，ニュウヘブンの工学者イシエル・タウンであって，彼はこの研究の結果1,820年に自分の名を冠してタウン・トラスと名付け，その特許をとった。

タウン・トラスは綾状に組んだ桁すなわち，ラテイス・ガアダアの初めであって，腹材に板が用いられるところに特徴があり，後年鉄トラス橋が発達するようになってもこの形式は広く愛用せられたのである。すなわち，タウンの綾構こそはトラス入門への第一段階と見られ，桁の力学的作用と全く異なるトラスの特性を的確に応用した点に大きな価値が認められたのである。

次に，米国の陸軍中佐ロングは，タウンの発明した綾構の複雑さを解決してこれの簡易化に成功し，1,830年に特許をとったが，それは横腹の部分に単一なる襷状の斜材と柱材のあるトラスであった。当時米国においても鉄道が開通し，このトラスは早速鉄道橋として用いられるようになった。

こうした単純なトラスでは，斜材には主として圧縮力を受けさせる方が好都合であるところ

から，ウィリアム・ハウは1,840年柱材には引張力のみを作用させる目的で錬鉄棒を用いた。すなわち，考案者の名を冠したこのハウ・トラスは正確にいえば木鉄混合のトラスであり，その後世界各国に広く用いられるようになり，木造トラスの繁栄に大いに貢献した。

4．鉄　橋

主要材料に鉄を使用した橋の初めは，17世紀中国に架けられた吊橋であるという記録が1,667年刊行されたアムステルダム版の書に記載されている。鉄棒の両端を丸めて鎖とし，これを連ねて吊橋のケーブルとしたことはわかっているが，詳細については全く不明である。

鉄の歴史は人類の発達史とともにきわめて古いにも関わらず，加熱に木炭を使うようにな手工業の範囲で作られる鉄では，構造物を築造するほどの大量にはならず，1,755年フランス人の一人が鉄橋の架設を計画し工事を始めたけれども，中止の止むなきに至り失敗に終ってしまった。

しかし，1,779年英国人エブラム・ダービーは遂にこの困難を克服し，石炭コークスを用いる製鉄法に成功し，世界最初の全鉄製アーチ橋をコールブルックデエルのセバーン河上に架設した。支間30 m，拱矢15 mの鋳鉄部材を組み合わせたアーチであるが，構造力学的にはきわめて曖昧な構造であった。しかしその耐荷力の点では見るべきものがあり，現在もなお残っているし，また総鉄量378.5 tという大規模の鉄橋工事は当時としては驚歎のほかなく，すでに鉄は手工業の範囲を脱して近代重工業の領域に入って来ていると見ることが出来るのである。そして鋼橋という言葉がここに生れるようになったと記録されている。

いままで橋は木や石で造られていたのに反し，ここに金属の橋が出来たということから金属橋（Metallic bridge）の名称さえ現われたが，この橋に用いられたような鋳鉄は全く不適当なものであり，炭素含有量が多くて硬いけれどもその欠点は脆いところにあった。圧縮強度がきわめて高いので，例えば後年パリに架設されたアレキサンダー三世橋のようにアーチ形に造るのも一方法ではあったが，根本的解決にはなっていないのである。

鋳鉄に続いて大量に製造されるようになったのは錬鉄であり，これは鋳鉄よりも靱性があり鍛錬することが可能であって，英国人ヘンリイ・コオトが1,783年これの圧延加工法を発明したので，錬鉄による橋の鉄橋化が各地に興り，鋳鉄よりもはるかに引張力に強い鉄橋が架けられるようになった。

橋梁の鉄橋化は，技術に産業に経済に当時の首位を占めていた英国において最も盛んであったから，引張力に強い錬鉄棒を吊橋のケーブル材料として用いた当時としては大支間の吊橋がこの国に出現したのである。ウェールスの北西端に孤立したアングルシイと本島とを結ぶメナイの吊橋が1,825年トーマス・テルフォードの設計によって架設された。

この橋の支間は177 m，橋床は水面から30 mの高さにあり，両岸に石造のアーチと巨大な石塔が立っており，この石塔から左右に各8本の錬鉄棒の鎖がケーブルとして張り渡されたもの

である。開通後十数年過ぎた時，突風によってこの橋は激しく動揺し各所に故障を生じたが，各鎖の連結を強めて動揺を防止し，また床の死荷重を増加することにより，風害を防ぐことが出来た。

当時の英国において特筆すべきことは，鉄道の異常な発達であり，この鉄道の発達にともない，各所に大橋梁が架設されるようになった。すなわち，1,825年ジョージ・ステフェンソンがダアリントン鉄道に最初の鉄橋を架設したのを初めとし，19世紀の中頃にはローマ時代以来の第二の大橋梁架設時代が展開した。その中で最も特筆すべきものは，メナイ海峡を跨ぐブリタニアのチュウビュラア・ブリッジであり，これは函桁橋として著名である。1,843年英国議会はメナイ海峡を越えてホリイヘッドに至る鉄道の敷設を可決し，蒸気機関車「ロケット」号を最初に走らせたジョージ・ステフェンソンの息子ロバート・ステフェンソンが主任技師としてこれの計画設計に当った。

彼はすでに架けられているテルフォードの吊橋の西方で海面から「ブリタニヤ」の岩礁が露出している地点を選び，アーチ橋，吊橋などの比較設計の結果，構造力学の研究者ホツジキンソンなどの協力を得て，吊橋とせずに函形桁橋で足りるという結論に到達した。すなわち，1/6の縮尺よりなる模型により実験した結果，円形・楕円などの断面に比べ，函状の矩形断面の最良なることが確認されたのである。鉄道は複線で，橋脚は豪壮なる石造塔状の構造からなり，橋桁は4径間，並列する橋桁断面は函形で，錬鉄板にてその壁が造られ，上下にはI桁が並んでいるのである。最長の支間は140 mあり，1,850年に開通し，100年後の現在においてもそのまま残っているが，このような巨大な函桁橋が，その当時すでに架けられたという点で注目に価するものと思う。

この架橋に成功したスエフェンソンは，その付近ならびに海を越えたカナダのモントリオールにこれと同じような函桁橋を架設したほか，ニュウキャッスルに二階からなる有名なハイレベル橋を架設した。また，1,859年にブルネルがサルタッシュに支間75 mの鉄道橋を架設したが，この橋は吊橋とアーチ橋とを組み合わせたようなレンティキュラア・トラスであって，横から見ると魚形を呈している点が大変変っている。また，この形式に似ているが，腹部に斜材のないローゼ桁橋が，後年ドイツのハンブルグにおいて架設された。

ジョン・レニイ架設のロンドンにおけるサウスワアクス橋は鋳鉄ブロックによって造られたアーチ橋であり，支間73 mよりなり，1,872年に開通した。また，鈑桁すなわち，プレート・ガーターの構法は，ロンドンの造船所主であったウィリアム・フェアバンの考案により始められたもので，彼は1,846年この構法により支間18 mの鉄道橋をリバプウル運河に架け鈑桁の特許をとった。

現代の鈑桁支間は100 mといえども実用的に可能であるのに対し，100年近く前の錬鉄時代では，ブリタニアの函橋は別として，支間30 m程度がその実用の限度であり，鉄橋のトラス化が

重要問題として考えられるようになった。

錬鉄トラスは，構造力学の未発達の創始期にあっては簡単に解決されず，先駆の技術者達は実験や試作により幾多の苦難を重ねて未解の問題と取組んで行ったのである。トラスの進歩発達は，鈑桁よりトラス，ロング・トラス，ハウ・トラス，プラット・トラス，ワーレン・トラス，補助材付ワーレン・トラスというように移変して行ったのである。ハウ・トラスの考案は実に偉大なる発明であり，上弦材には圧縮力，下弦材には引張力，柱材には主として引張力，斜材には主として圧縮力がそれぞれ起り，柱材の引張力を処理するため錬鉄棒を使用したのがハウ独特の構法であった。

また，錬鉄のみでトラスを造る場合には，圧縮部材の長さをなるべく短くした方が良く，そこに着眼したのは米国のカレブ・プラットおよびトオマス・プラットの父子であって，1,844年に特許を獲得したのである。斜材はハウ・トラスとは反対の方向に入れるのをその特質とし，柱材は圧縮力を受ける部材としたものである。

次に，ワーレン・トラスが英国に起り，道路橋や鉄道橋に盛んに用いられたほか，桁の補強からトラスに進化したと考えられる系統のもの，すなわちキング・トラス，フィンク・トラス，ボールマン・トラス，ホイップル・トラス，プラット・トラス，フィーレンデール・トラスなどが出現した。

ボールマンは米国のボルティモア・オハイオ鉄道会社の技師であったが，1,852年ハアパア渡船場にボールマン・トラスを架設し，ホイップルはトラスの応力解法を理論的に案出した第一人者であり，1,847年にトラスの理論を発表した。

ワーレン・トラスは1,846年ベルギーにおいてヌウビイユによって架設せられ，また英国においては1,848年ジェームス・ワーレンおよびウィルビル・モンツアニがワーレン・トラス構法の特許を獲得し，ウィルドは応力計算を行なってニュワアクのダイク鉄道橋（支間79 m）を設計架設した。次に二重ワーレン・トラスが英国を初め，ドイツにおいても研究せられ，種々検討されるに至ったのである。

このように，19世紀は橋梁の形式において著しい進歩をみた時代であり，連続桁の特性もその前半において力学的には明らかにされ，後半において橋として応用架設されているし，またドイツのゲルバーによって発表されたいわゆるゲルバー桁の構造も応用されるようになったが，その構想は突桁橋または片持梁から起ったものである。

米国では，1,811年トオマス・ポープがその「橋梁築造階梯」の中で，ゲルバー桁のことを「空中差し掛けの橋」としてこれを述べているが，これを近代化して実際に架設したのは，1,867年ドイツ人のハインリッヒ・ゲルバーがバイエルン州のハスフルトのマイン河に架けた道路橋をもってその最初とする。この3径間ゲルバー桁の基本は，3径間連続桁の中央径間に二つのヒンジを置き，これによって桁の連続性を中断しながら橋脚上ではなお連続桁的特質を残すのであ

る。1,877年米国においては，早くもケンタッキイのデイクスビールにゲルバー桁よりなる大鉄道橋が架設されたが，その数年後英国においてもフオース湾の橋梁の計画に対し，この形式が応用された。

このように，鋳鉄橋から錬鉄橋への移行によって益々長大径間の橋梁が架設せられるようになるのである。

5．鋼　橋

鋼それ自身は何等新しい材料ではないにしても，これを多量に必要とする橋桁を組み立てることは，「手工業」による鋼では到底経済的に望み得るものではなく，18世紀以前には鋼橋と名付けられ得るものはなかったのである。

1,828年ウィーンの吊橋では鋼でアイ・バアを作り，これをケーブルとして強力な吊橋を架けることに成功した。しかし鋼が余りに高価であるためその後数十年に渡りこの種橋梁の架設は跡を絶った。

その後1,855年ベッセマアの製鋼法が発明されて，鉄から炭素と珪素の含有量を減らし，靱性および延性ともに優秀なる鋼を製造出来るようになり，鋼は新しく構造用鋼として出現するに至ったのである。しかし，錬鉄に比べまだ高価に過ぎたため錬鉄との競争が繰り返されたが，1,880年にかけ，漸く鋼が商業界に市場を独占するようになり，錬鉄橋に代り鋼橋時代が出現したのである。

いま，初期の鋼橋の中大かるものを挙げれば，米国のイーズ橋，グラスゴウ橋，ブルックリン吊橋，英国のフォース橋などを列記することが出来る。

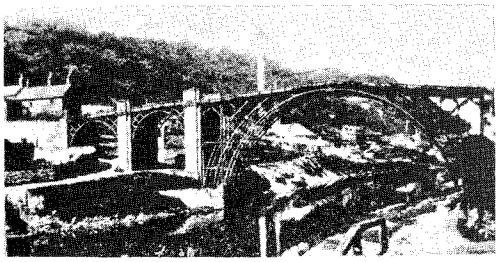
1,874年イーズ大佐により，ミシシッピイ河に臨むセントルイス市に3径間の大鋼橋が架設せられた。この橋は全鋼製ではなくしても，鋼の普及に先立ちクロム鋼を用い，ミシシッピイ河底に強固なる基礎を造るために圧搾空気送入の潜函工事を初めて大規模に施工した。中央径間158 mの固定拱で床は二階から成り，上段には公道，下段には鉄道を通じている。1,869年起工して以来，技術上の困難のほか洪水あるいは暴風に見舞われて工事の進捗を阻止されたが，6星霜に渡る障害を乗り越えて，1,874年遂に成功を収めて完成したのである。

イーズ橋は近代鋼橋の元祖とはいえるとしても，全鋼製ではなく錬鉄を混用しており，全鋼橋の橋の第一番目のものは米国ミズリイ河グラスゴウの鉄道橋を挙げることが出来ると思う。

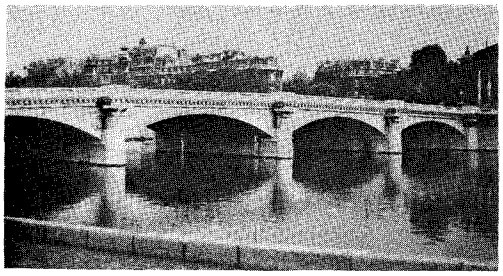
その当時，バアリントンのヘイという技術者が製鋼に成功し，自分の名を付けた「ヘイ鋼」を市場に売り出していたが，その価格の低廉なのにもかかわらず，多くの技術者達がこれの良さに気付かずにいたところ，優れた技術者のスミス将軍がこの「ヘイ鋼」に着目して実験研究を行ない，錬鉄に勝る特性のあることを知り，世間の非難を浴びながらもグラスゴウ鉄道橋の架設にこれを採用した。この橋は支間約96 mの鋼トラス5径間よりなり，1,879年見事成功裡に架設を終った。その後大型機関車の使用に伴い，1,903年架け換えがあった時，解体して調べ

たところ,「ヘイ綱」の強度は意外に大きく，スミスとヘイの両氏の業績の偉大さが改めて裏書きされる結果となった。

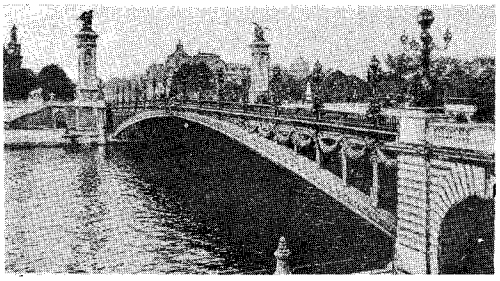
英国スコットランドの東海岸には，二つの入江があり,その一つにはフォースの入江といい，1,890年に前後7ケ年の歳月を費いして架設に成功したあの有名なフォース橋が跨ぎ架けられているし，もう一つの入江はテイの入江と呼ばれ，彼の著名な墜落事件を起したテイ橋がここに架け渡されたのである。テイ橋は支間60mの錬鉄製ラテイス桁よりなり,これが85径間蜿蜒として続き，橋脚は基礎を海底岩盤において煉瓦および切石で畳築した上に6本の鋳鉄管柱を高く樹てたものであって，各柱は錬鉄棒で筋違をなし，橋桁は海面から約27mの高さにあった。この橋は1,877年に竣工したが，それから2ケ年を過ぎた1,879年，橋脚をなしている錬鉄管柱および耐風構として付けられたその筋違の不備により，橋脚が風下に傾斜倒壊し，これに伴って上部構造の橋桁は完全に墜落した。この橋は列車の垂直荷重に対しては充分安全であったが横方向の耐荷力の不足から強風のため脆くも海底の藻屑と消えたものと推定される。



(a) イギリスのコールブルックデール橋（1,776）



(b) フランス，パリのコンコルド橋（1,791）



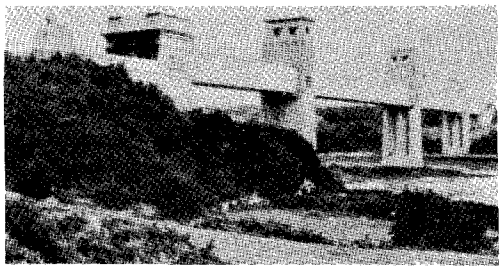
(c) フランス，パリのアレキサンダー三世橋（1,900）

図－1 近世におけるアーチ橋

これに対し，フォース橋は幅員約1,000mに達する入江を横断するのに，岩礁に高さ105mの大鋼塔三基を樹てることに始まり，521mという大径間からなる二連のゲルバー式構法のトラスを採用した。トラスの組み方は二重ワーレン型とし，鋼材には平炉法すなわち，1,860年代にフランス人ピエル・マルタンおよびドイツ生れのチャーレス・シイメンスの発明したいわゆるシイメンス・マルチン法と称する今日構造用鋼製造に用いられる製鋼法によって造られた鋼を採用した。

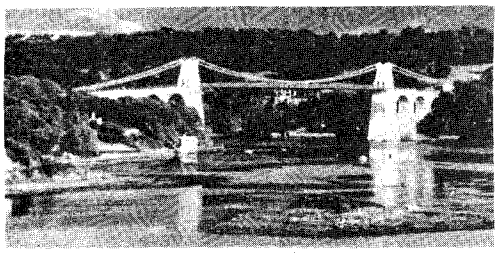
フォース橋を架設する計画は,エディンバラから東北に通う鉄道敷設のために起ったもので,19世紀末期における大英国の一大計画でもあり，主任技師として内定したのはテイ橋を架設したトーマス・ブーチであったが，テイ橋の墜落事件によって後退せしめられ，ジョン・ハウラアおよびベンジャミン・ベーカーの両氏が計画を担当させられた。

フォース橋は，鋼材を用いて成功した橋の著名な例であり，テイ橋の設計と構造工学上より

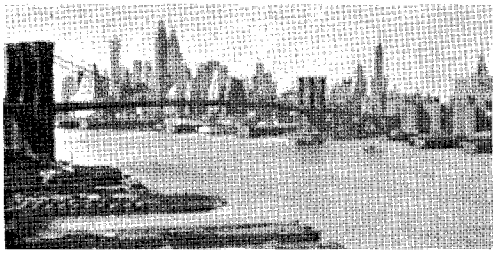


イギリスのブリタニヤ函橋（1,850）

図－2　近世の初期箱桁橋

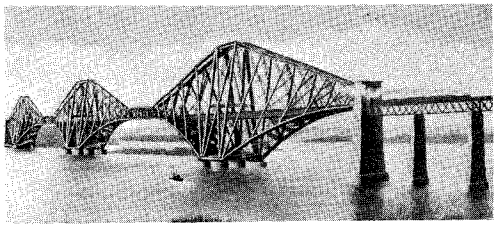


(a)　イギリスのメナイ吊橋（1,826）



(b)　アメリカのブルックリン吊橋（1,883）

図－3　近世における吊橋



イギリス，スコットランドのフォース橋（1,889）

図－4　近世のゲルバートラス橋

比較して見れば非常に有益な資料が得られるところである。

フォース橋は1,883年に起工され，基礎には箱枠および圧搾空気潜函が用いられ，いずれも下層の硬質岩盤まで達するのであるが，潜函は錬鉄製で円形断面を有し，最も深く沈めたものは30 mであった。

フォース橋におけるトラスの主要抗圧材には円形断面の柱すなわちパイプ状の柱を用いているが，このことは力学的に見て最も合理的と考えられ，最小の材料で最大の効果を発揮することの出来る事実を当時の人々達はすでに知っていたものと考えられ，英国人は好んでこのパイプ状の柱を使っている。

図－1は，近世におけるアーチ橋で，(a)は鋳鉄製アーチ橋としてイギリスに架けられたコールブルックデール橋（最初の鉄橋，支間32 m），(b)はフランスの石造アーチで有名なコンコルド橋(支間31.2 m),(c)はフランスの鋳鉄を用いたアーチのアレキサンダー三世橋(橋長107 m)である。図－2は，近世の箱桁橋として有名なイギリスのブリタニヤ函橋（支間140 m），図－3は，近世における吊橋の例で，(a)はイギリスのメナイ峡に架けられた吊橋（支間177 m），(b)はアメリカのブルックリン吊橋（支間486 m）である。また図－4は，イギリスのスコットランドに架けられた近世後期のゲルバートラス橋として有名なフォース橋（支間518.2 m，世界第2位）である。

II. 現代の橋梁

1. 概 説

すでに述べた通り，1,880 年頃までは錬鉄を用いた橋の全盛時代が続き，それ以後鋼の誕生にともない鋼橋時代に移り今日に及んでいる。すなわち，ブリタニア橋のような充腹の函橋はその後殆んど用いられず，その代りとして目の細かい格構桁が現われ，これが進化して複雑な多叉構となり，力学理論の発達と共に再転して今日のような簡単な構桁形式へと移行したものである。また，世界大戦の終結後すなわち，1,945 年以後には函桁橋が横捩り剛性の優れていることと合理的経済設計の観点より種々研究され，再び用いられるようになって来たことは大いに注目に価するところであろう。

一方吊橋は，鋼鉄製鎖から鋼鉄眼鈑となり，更に米国において多数の鋼線を撚り合わせた鋼索に代えられ，益々その支間を増大するに至ったのである。

今日，世界的大橋梁工事の主役を演ずるのは実にこの形式であり，1,931 年竣工のニューヨークにおけるハドソン河橋は支間約 1,067 mを有し，人類の到達し得る最大支間と思われたのであるが，数年ならずしてサンフランシスコのゴールデンゲート橋が 1,937 年に架設せられ，この記録をはるかに破る実に約 1,280 mの支間を誇示し続けて来たのである。しかし，その後 1,964 年 11 月に 70 ケ月の工期で完成したニューヨークのベラザノ・ナロウズ橋は，全長 4,175,76 m，中央支間 1,298 m，側径間 370.33 mで，中間支間の比較では現在世界第一となったのである。

最近の橋梁技術界において見過し得ないことは，高価鋼が橋梁の分野に進出して大支間の征服を可能ならしめたことおよび電弧溶接法が漸次完成の域に近付いて橋梁の工費および材料の節約に新しい希望を与えたことであり，今後の鋼橋構造はこの二つを中心として第二の革命に入りつつあるのである。また，橋梁用材の革新に対し，鉄材に劣らぬ寄与をなしたものにコンクリートがある。

1,855 年，ポルトランド・セメントが創製されて以来，従来石材を用いたところに盛んにコンクリートが使用されたが，単純なコンクリートは張力に弱い欠点を免れなかった。この欠点が鉄筋コンクリートの発明により除去されることとなり，コンクリートが一躍して橋梁用材界の寵児となったのは当然のことであろう。

いまやこの新用材は従来の重苦しい石拱を一変して軽快斬新な拱様式を生み，更に桁構造あるいはラーメン構造として中小支間に広く賞用されたのみならず，各種橋梁の下部構造には絶対欠くことの出来ない主要材料となったのである。

木橋について述べるならば，19 世紀前半においてタウン，ハウ，パラットなどの新形式が続々考案され，その最盛期に達したが，鉄および鋼の一般化につれて，抗張材は鉄および鋼を用い

るようになり，最近においては，コンクリートおよび鋼の進出によって，遂にその影を潜め，僅かに仮橋，簡易橋または応急橋として架設せられるに過ぎない。

中世以前の橋梁は，全く過去の経験の蓄積によって営まれ，何等力学的理論の背景を持たなかったが，17世紀頃から抬頭して来た力学理論は，材料および構造の力学的性質を究明することに努め，橋梁を構造工学的見地より理論的に取扱う端緒をひらいたのである。

その後，構造理論は他の自然科学の発達と相俟って華かな展開を示し，特に19世紀中葉以後における幾多の業績は誠に絢爛きわまりないものであって，遂に20世紀初頭には理論的橋梁工学の体系を築きあげるに至ったのである。

1,937年，中央支間1,280 mで世界最大支間を長い間保持し，現在第二位となっている吊橋，金門橋（Golden Gate Bridge）が架設されて以来，続々と長径間の吊橋が架けられ，1,954年頃に全長では世界最大とされるマキナック橋（Mackinac Bridge）に関する実験がWashington大学において実施され，更に1,954～1,957年間に架設されている。また，現在世界第一の最大支間を誇るベラザノ・ナロウズ橋は，1,960～1,964年間に架設され，その近代的巨大橋の雄姿をニューヨークのスターテン島海上に横たえている。

次に，1,950～1,964年間には，P・Sコンクリート橋，合成桁橋，合成トラス橋，合成箱桁橋などが続々と出現し，一昔前に用いられたような単純な形式の鈑桁橋やトラス橋はそのままの構造では用いられなくなって来た。また，格子桁橋や格子合成桁橋が盛んに用いられるようになったほか，斜橋，曲線橋もその応力解析の研究と相俟って発達したし，曲面板の解析理論の発達，鋼床板箱桁橋，鋼管桁橋・鋼管拱橋・鋼管トラス橋などの設計理論の進歩も見逃すことが出来ないと思う。

更に，半剛節静定多角形トラスの考案，立体トラスの理論解析，曲線トラスの解法などの面で急速なる進歩が見られたほか，プレストレス鋼橋の架設に関する研究やアルミニウム合金橋の架設研究の面でも著しい発達が見られた。

一方，鋼の金属学的研究が進み，高張力鋼の出現にともない，高張力鋼で造られた橋梁の架設も盛んになり，また溶接技術の進歩・発達によって溶接橋梁が盛んに架設せられるようになり，殆んどの鋼橋は溶接化される時代に突入し，溶接トラス橋の架設も見られるようになった。

橋梁の難解なる応力解析やその計算も，電子計算機の進歩・発達により容易に解決されるようになり，その手法が設計計算に盛んに用いられるほか，最適設計に関する研究の面で著しい進歩が見られた。また，塑性理論を考慮に入れた極限設計も段々と行われるようになり，力学的経済性において優れた橋梁が架設されるようになって来た。

それから，橋梁の模型実験，実物橋梁の載荷試験などにおける応力測定・ひずみ測定に関する技術の急速な進歩により，工学におけるあらゆる計測器機を酷使した「橋梁診断学」なる新分野が現われるような時代となって来た。そしてこの分野に関連して，光弾性模型実験，X線

応力測定，電磁波および超音波による応力測定などの非破壊試験による各種測定法も盛んに用いられるようになった。

吊橋を初めとする各種橋梁の振動問題は，旧タコマ橋の崩壊事件などの影響を受けて種々研究されるようになったほか，橋梁構造の地震動に関する研究も高層建築における耐震的研究に啓蒙されて注目されるようになって来た。

このように，現代橋梁の欧米における発達振りには著しいものがあるが，しかしまだまだ未完成の問題が多く，今後に課せられた研究課題を数えて見ても切りがないほどである。

2．鉄筋コンクリート橋

(1) 緒　言

フランス人 Joseph Monier が初めて鉄筋コンクリートの特許をとったのは 1,867 年といわれ，彼は翌年に鉄筋コンクリート製の管と貯水槽を製造し，その翌年には床板を作り，更に 1,873 年に至って鉄筋コンクリート橋を架設したのである。また，1,875 年に Charellet の城前公園に支間 16.5 m，幅員 4 m の Dorf 橋が架設されたのを見れば，鉄筋コンクリート橋はすでに約 100 年の歴史を有している。この間における鉄筋コンクリート技術の進歩は実に目覚しいものがあり，石工橋や無筋コンクリート橋に代って益々支間の大なる鉄筋コンクリート橋が架設されるようになった。

20 世紀に入り，現在までにほとんどすべての様式の鉄筋コンクリート橋が施工されており，その支間長の最大記録も年々増大し，現在 304.8 m の鉄筋コンクリートアーチ橋が 1,962 年にオーストラリヤに完成しており，今後支間 1,000 m の鉄筋コンクリートアーチ橋も施工可能であるとさえいわれている。

フランスは，鉄筋コンクリートの起源地であるだけに，その発達振りは群を抜いており，現在世界における各様式の最も優秀な実例はほとんどフランスにあるか，またはこれにならったものである。

ドイツは，フランスに次いで鉄筋コンクリート橋の発達を見ており，特に 1,934 年頃より延長 10,000 km に達する国有自動車道路の建設事業が着手されてからは，多数の鉄筋コンクリート橋の架設を見るようになり，その設計および施工上の発達も著しいものがあった。西欧における鉄筋コンクリート橋に関する技術と理論の発達は，実にこのドイツおよびフランスの両国を中心として行なわれたといってもよいと思う。

第二次世界大戦までの長径間コンクリート橋としては，アーチ橋が最も多く用いられ，その支保工，コンクリート打設，内部応力調節などの施工法に関し多くの新工法が研究され，その実用化が開発された。そして，フランスの Freyssinet，ドイツの Dischinger，ウイーンの Baravelle などは，上路式開側固定アーチ橋を鉄筋コンクリートによって，支間 1,000 m のものまで建設可能であると発表している。

(2) 鉄筋コンクリート板橋

斜板橋の研究がVogt, Nielsen, Olsen, Rüsch, Hommberg, Marxなどにより行なわれ，それぞれ1,940, 1,944, 1,951, 1,956, 1,958年に発表されたほか，プレキャスト・コンクリート板橋，中空板橋，連続板橋などが次々に研究，架設されるようになった。

1,950年，ドイツのWeikersheim近傍でTauber河に架設されたWeikersheim Tauber橋は，中実断面の3径間連続板橋で，支間は15.20 m＋21.10 m＋15.20 mである。また中空板構造の例としては，ドイツのPforzheim市でNagold河に架設されたHindneburg橋があり，これは2径間の連続板で，支間21.60 m＋44.40 mであることが1,931年のBeton und Eisenに発表されている。

(3) 鉄筋コンクリート桁橋

支間15 m以上の鉄筋コンクリート桁橋としては，T形桁がよく用いられるが，この形式は負の曲げモーメントに対して不利であるから，30 m以上のゲルバー桁や連続桁では，橋脚付近に下方床板を設けて，この部分だけを箱形断面とすることが多いが，これもやはりT形桁の一種と見なされるのである。

支間40 m以上の鉄筋コンクリート桁橋は，1,962年の調査によれば，世界において27橋架設されている中，26橋までは欧米において架けられている。この中でゲルバー桁橋が最も多く15橋となっている。横断面はT形断面が圧倒的に多いが，この他箱桁断面のものが数橋交っている。

しかし，鉄筋コンクリート桁橋として世界最長記録78 mを有するVilleneuve-Saint George橋は箱形断面のゲルバー桁形式であり，フランスのセイヌ河に架設されている。連続桁としての最長支間はNew Waterloo橋の77.20 mで，イギリスのロンドンに架設されているし，突桁橋では，ブラジルのSanta Katharina橋の68 mが最長支間となっている。

支間50 m以上の鉄筋コンクリート桁橋を列記して見ると，1.924年アメリカRosedaleに架設された突桁形式のGoverner橋（支間長14 m＋64 m＋14 mの3径間），1,927年フランスNantes Loire河に架設された突桁形式のMadeleine橋（支間長44.8 m＋67 m＋44.8 mの3径間），1,930年ブラジルのRio Parahyhaに架設された突桁形式のRio de Janeiro橋（支間長12 m＋51 m＋62.5 m＋51 m＋12 mの5径間），同じく1,930年ブラジルのRio de Peixeに架けられたやはり突桁形式のSanta Katharina橋（支間長23.67 m＋68 m＋23.67 mの3径間），同じく1,930年ドイツに架けられたゲルバー形式のDonau Groβmehring橋（支間長42 m＋61.5 m＋42 mの3径間），1,935年ドイツのBernbugに架けられたゲルバー桁形式のSaale橋（支間長17 m＋61.78 m＋16 mの3径間），1,937年イタリーのPisaに架設されたゲルバー桁橋のArno河橋（支間長34 m＋52 m＋34 mの3径間），同じく1,937年アメリカのPuget Sound, Wash. に架けられたゲルバー桁橋のPurdy Spit橋〔支間長（12.3 m）＋42.7 m＋58 m＋42.7 m＋（12.3 m）の5径間，（　）内は突桁部〕，1,938年ソ連のPalmburgに架設された突桁橋

の Pregel 橋（支間長 15×23.8 m＋36.4 m＋65 m＋36.4 m＋65 m＋36.4 m），同じく 1,938 年フランスの Marne 河に架けられた突桁橋の Bry 橋（支間長 20.475 m＋70.75 m＋20.475 mの3径間），1,939 年フランスの Seine 河に架設された突桁橋の Villeneuve-St. Georges 橋（支間長 40.9 m＋78 m＋40.9 mの3径間），1,940 年イギリスの London, Thames 河に架けられた連続桁橋の New Waterloo 橋（去間長 27.73 m＋73.82 m＋3×73.02 m＋73.82 m＋27.73 m），1,949 年スイスの Aproz に架けられた連続桁橋の Rhône 橋（支間長 23.5 m＋52 m＋23.5 mの3径間）などがある。

(4) 鉄筋コンクリートアーチ橋

鉄筋コンクリートアーチ橋の支間または径間の長さにおける世界記録の変遷を調べて見ると，次の通りである。

1,900 年にフランス人の Hennebique がフランスの Vienn 河上に径間 50 m 3連の固定アーチである Chattelleraulf 橋を架設したが，1,904 年に至り，ドイツの Clsar 河に径間 72.25 m 2連の3ヒンジ開側アーチである Grünwald 橋が架けられて世界最長となった。次に，その4年後の 1,908 年には径間 79 mの陸橋，Gmündertober 橋がスイスに架けられ，その記録は 1,910 年ニュージーランドの Auckland に架けられた径間 97.54 mの3ヒンジ開側アーチの Grafton 橋により破られた。しかしまたその翌年の 1,911 年には，イタリーの Tibre 河上に架設された径間 100 mの Rome 橋によりその記録は更新され，その後 12 年間に渡り世界最長記録は保持された。この間スイスの Plessur 河上にも鉄道橋の固定アーチ橋である支間 100 mの Langwies Tal 橋が架設されたがこれを凌ぐに至らなかった。

1,923 年に至り，アメリカの Mississippi 河上に径間 121.92 mを有する開側固定アーチ橋の Minneapolis 橋が架設されて初めて世界記録はアメリカに移ったが，同じ年にフランスの Seine 河に支間 131.8 mの下路式固定アーチである St-Pierre-du-Vaurray 橋が架設され，再び記録は欧州の保有するところとなった。この橋は下路式の固定アーチ橋で，フランス人技師の Freyssinet の独得の設計および施工法によったものである。

その5年後 1,928 年には，フランスの Crusilles 付近に支間 139.8 mの Caille 橋，1,930 年には，やはり Crusilles 付近の Elorn 河上に支間 186.4 mの Plougatel 橋が架設され，フランスの王座はゆるぎないものに思われたが，1,940 年に至りスペインに支間 210 mの Esla 橋が出現し，更に 1,943 年スェーデンに支間 264 mという驚異的記録の Sandö 橋が架設され今日に及んでいる。しかし，この最後の2橋もフランス人の手によって設計されたものであり，またいずれもフランス人技師のフレシネの工法を採用したものであるから鉄筋コンクリートアーチ橋における技術の王座はやはり依然としてフランスの保有するものといっても間違いではないと思う。

なお，これらの長径間鉄筋コンクリート橋の断面には，箱型断面のものが圧倒的に多いが，

その次の断面形では方形断面となっている。

3．プレストレスト・コンクリート橋

プレストレスト・コンクリートの考えは，相当古くからあったが，初めて実際的な成果として現われたのは，1,886年P. H. Jackson（アメリカ）および1,888年W. Doehring（ドイツ）がほとんど同じ時代におのおの別個にPCに関する特許をとったのが最初である。その後J. Mandl（1,896，オーストリア），M. Koenen（1,907，ドイツ），J. G. F. Lund（1,907，ノールウエイ），G. R. Steiner（1,908，アメリカ）等の研究があったが，いずれも普通強度の鋼を使用したのでコンクリートのクリープなどによるプレストレスの損失のため失敗に終った。1,923年にF. V. Emperger（ウイーン），R. H. Dill（アメリカ）等が初めて高強度鋼を使用したがまだ実用化には至らなかった。しかし1,928年には，Dischinger（ドイツ）が付着のない方式で，またFreyssinet（フランス）が付着を有する方式でいずれも高強度鋼を使用して成功し，これより1,940年までの間にHoyer（ドイツ），Magnel（ベルギー），Abeles（イギリス），M. Schorer（アメリカ）等の研究があって，プレストレスト・コンクリートは急速に発展するようになった。しかしこれも世界大戦争により一時停止の状態となったが，戦争終了後は復興事業や新規建設事業の開始とともに再び急激な発展を見せ，世界各国における今日のような著しい普及発達を見るようになったのである。

世界における長径間プレストレスト・コンクリート橋としては，戦前の1,937年すでにドイツにDischinger工法により架設された3径間ゲルバー式PC橋のAue橋があるが，最も著しい発展を見せたのは終戦後のことである。

戦後の最長支間の記録はデビダーク工法によるドイツのKoblenz橋の122.85 mであって，これは戦前の鉄筋コンクリート桁橋の最長支間78 mを有するVilleneuve-Saint-Gerges橋に比べて約1.6倍となっており，支間40 m以上の長径間PC橋の36橋中，70 m以上のものだけで13橋にも達している。また，長支間桁橋の形式としては，戦前ではゲルバー桁橋が多かったが，戦後では連続桁やラーメン橋などの不静定構造が多く用いられている。

前述のKoblenz橋は1,954年に架設されたもので3径間連続桁形式よりなり，第2位の長支間114.2 mを有するドイツのRhein河に架けられたNiebelungen橋もやはりデビダーク工法でFrevorbau方式で架けられた連続桁橋である。第3位は1,950年ドイツのNecker Kanal（Heilbronn）に架設されたBöckinger橋で，その中央径間96 mの連続桁橋であり，レオンハルト工法を用いた3径間（19 m＋96 m＋19 m）の橋である。

第4位は1,956年ドイツのBerlinにおけるHavel河に架設された1ヒンジ連続桁形式のDischinger橋〔支間長（13 m）＋92 m＋（13 m），（　）内は突桁部〕である。

支間80 m代では，1,950年ドイツのDonau河にデビダーク工法で架設された自定式ラーメン形式のUlm Gänstor橋〔支間長（6.85 m）＋82.4 m＋（6.85 m），（　）内は突桁部〕のほ

か，1,956年イギリスのNottinghamにおいて，Trent河にマニエル工法のFreivorbau方式で架けられたゲルバー形式のClifton橋（支間長38.1 m＋83.8 m＋38.1 m）がある。

それから，70 m代のものを列記して見ると，次の通りである。

フランスEsblyのMarne河橋（1,950，フレシネ工法，2ヒンジアーチ，支間74 m），フランスTrillbardouのMarne河橋（1,950，フレシネ工法，2ヒンジアーチ，支間74 m），フランスUssyのMarne河橋（1,950，フレシネ工法，2ヒンジアーチ，支間74 m），フランスChangis-Saint-Jeauの Marne河橋（1,950，フレシネ工法，2ヒンジアーチ，支間74 m），フランスAnnetのMarne河橋（1,950，フレシネ工法，2ヒンジアーチ，支間74 m），オーストリーEbenseeのTraun河橋(1,955，BBRV工法，ゲルバー形式，支間72 m），ドイツUlm-Riedingen間のDonautal橋（1,953，レオンハルト工法，連続桁形式，支間62 m＋70 m＋70 m＋70 m＋62 m），ドイツAbusburg−Lahn間のLech橋（1,952，デビダーク工法，自定式ラーメン形式，支間71 m），ドイツBerlinのRohrdamm橋（1,953，デビダーク工法，Freivorbau方式，自定式ラーメン型式，支間72.8 m）。

上述の記録を見ればわかる通り，長大支間のプレストレスト・コンクリート橋には，デビダーク工法，Freivorbau方式のものが多く，しかも1ヒンジ連続桁形式のKoblenz橋（支間101.47 m＋113.9 m＋122.85 m）およびNiebelungen橋（支間101.7 m＋114.2 m＋104.2 m）が世界で第1，第2位を競っていることは注目に価するものと思う。また，プレキャスト・コンクリート工法も戦後盛んに用いられるようになった。

このように，プレストレスト・コンクリート橋は，欧州特にフランス，ドイツ，イギリスなどに著しい発達振りが見られた。

4．鋼　橋

(1) 鋼桁橋

鋼製の桁橋では，支間が10 mに満たないように小さい場合には，製鋼所で圧延したままのI形鋼をもってその主桁とし，この上に床を設けるのが普通である。断面がI字形をしているこの鋼材は，曲げ作用に対し強い形に作られているから，殆んど加工をしないでも桁の材料として適当している。

支間が鉄道橋で6.7 m以上，道路橋で約10 m以上の長さになると，鈑と山形鋼を集めて断面がI字形になるように組み合わせて造った鈑桁（Plate Girder）を用い，支間長10 m～40 m程度までが標準の長さとされている。

単径間の場合にはこの鈑桁を単純に支持すればよいが，数径間に渡って架設される鈑桁は，各径間毎に独立した単純桁とせずに，連続桁として両隣接径間に渡って直結したものとすることが出来る。このようにすれば，同支間の単純桁に比べて曲げモーメントが減少するから，桁高を低くすることが出来て鋼重も減少し，同じ断面の鈑桁にて支間を10～40%増大することが

出来るのである。連続桁の欠点は，支点の不等沈下によって生ずる危険な応力の発生であり，地盤の軟弱なところでは，中間にヒンジを挿入したゲルバー桁工法（突桁式）を採用するようになった。世界大戦前までは，上述のような鈑桁が単純桁，連続桁，ゲルバー桁のそれぞれの形式で橋梁界に君臨して来たのであるが，戦後においては鋼材の節約を主体とした新しい合理的設計・施工の発達に見覚ましいものがある。

終戦後，諸外国の橋梁設計方針の中，第一にあげなければならないことは，橋梁を構成する各部材が協力して荷重を支持するように設計し，この意味において綿密な計算の労を厭わないことである。この一つの現われが合成桁工法で，この考え方は必ずしも新しいものではなく昔からあったけれども，これが広く実施されるようになったのは，世界戦争後のドイツにおいてである。

ドイツでは，現在支間約 30 m以下の上路道路橋では，この合成桁の採用が常識とさえなっており，道床敷きの上路鉄道橋にも広く利用されているが，この影響を受け，米国その他の国々においても，最近の道路橋には当然のことのように合成桁工法が広く用いられるようになった。

終戦後，ドイツの Düsseldorf, Bonn. Köln などでライン河上に，支間がいずれも 200 m前後，中央の桁高が支間の 1/60 程度という従来の常識に外れたような長径間のプレート・ガーダーの道路橋が完成されたのである。

すなわち，1,951 年ドイツの Düsseldorf－Neuss　Brücke（支間 103 m＋206 m＋103 m），Bonn－Beul Brücke（支間 99 m＋196 m＋99 m），1,948 年ドイツの Köln－Deutz Brücke（支間 132 m＋184.5 m＋132 m）などが 3 径間連続桁として架設されたほか，ドイツの Bremen に 4 径間の Bürgermeister－Smidt 橋（支間 15 m＋112 m＋30.6 m＋63.2 m）も架設され，下路ブレースト・タイドアーチの旧橋に比べ，その単位鋼重が約半分で足りたと報告されている。

上述の 4 橋ばかりでなく，欧州の各国および米国においても同様の苦心が払われ，米国では主として，エキスパンデツドメタル式の網目状鋼床（Grid floor, Metal grating）が使われ，1,951 年に完成したニューヨークのハーレム河上に架けられた世界最長の昇開橋（人道橋，中央支間 95 m，桁高 3.0 m），シカゴで最も新しい二葉跳開橋の Bataan-Corregidor 記念橋（純径間 64 m）その他多くの橋に，このグリッド鋼床が用いられている。

最近の米国にも長大支間の上路プレートガーダーの道路橋が多く，ペンスルベニア有料道路中の Passaic 河および Hackensack 河に架けられた橋は，いずれも中央支間 114 m，桁高 4 mの 3 径間連続プレートガーダー橋である。

1,940 年アメリカに架設せられた Dirschau Bridge はその最大支間 142.3 m，1,850 年イギリスにおいて架設された Britannia Bridge はその最大支間 140.2 mで，これらはドイツのものよりは小さいがかなりの長さとなっている。

また，鋼床板は世界大戦後ドイツにおいて急速な進歩発達を遂げたが，その最も大きい特長

は自重が非常に軽く，橋梁の死荷重を大幅に軽減出来るということである。鋼床板では鉄筋コンクリート床版の重量の 1/3～1/7 の自重なので，戦争によって破壊されたドイツの橋梁を最小の材料にて復旧しようとした強い要望に基づいて研究開発されたもので，すでに 1,934 年以前から試作研究が行われていたものである。

1,934 年に Jungingen のアウトバーン上の Feldweg－brücke（支間 8.0 m＋12.5 m＋12.5 m＋8.0 mの連続桁）に初めて鋼床板が用いられたが，それ以前に Stuttgart 工科大学において，各種の実験研究が行なわれている。その後，1,936 年に Kirchheira. a. Teck のアウトバーン橋（支間 17.5 m＋17.5 m，幅員 24.4 m）がやはり鋼床板を用いて架設されている。そのほか，世界大戦で爆破された Meppen の Haase 昇降橋（支間 38 m）が 1,945 年鋼床板を用いて架け換えられたし，1,950 年に中央支間と桁高との比が 1/59 という実現不可能と思われるようなスレンダーな連続桁橋の Mannheim における Kurpfalz 橋（支間 56.1 m＋74.8 m＋56.1 m）が主桁作用をも考慮した本格的鋼床板橋として架設されている。

1,950 年以降欧州において架設された鋼床板橋を列記すると次の通りである。

Kurpfalz 橋（支間 56.1 m＋74.8 m＋56.1 m），Köln －Mülheim（支間 85 m＋315 m＋85 m），Hedemünden Autobahn 橋（支間 80.06 m＋95.86 m＋96 m＋80 m＋63.96 m），Fried－Ebert 橋（支間 128.4 m＋285.22 m＋128.4 m），St. Alban 橋（支間 57.5 m＋ 135 m＋57.5 m），Save橋（支間 75 m＋261 m＋75 m），Nord 橋（支間 108 m＋260 m＋108 m），Norderelb 橋（支間 101.35 m＋102.00 m＋101.35 m），Saverin 橋（支間 49.11 m＋89.13 m＋47.81 m＋301.674 m＋150.68 m＋52.456 m），Düsseldorf － Neuss 橋（支間 103 m＋ 206 m ＋ 103 m），Bürgermeister Schmidt 橋（支間 63.24 m＋30.56 m＋112.00 m＋15.00 m），Porta 橋（支間 63.72 m＋77.88 m＋106.20 m），Speyer 橋（支間 52 m＋163.45 m＋106.95 m），Manheim－Ludwigshafen（支間 913 m＋91.3 m＋91.3 m），Kehl－Strassburg Rhein 橋（支間 122.7 m＋122.7 m）。

この中で Düsseldorf に架けられた Nord 橋以下の橋梁は，箱桁と鋼床板の併用形式を採用したもので，単位鋼重の少ないことからもわかるように，非常に合理的で経済性に富む構造形式であるといえる。

すでに述べたようにドイツにおいては，Köln Deutz，Düsseldolf －Neuss，Bürgermeister-Smidt の諸橋のように，支間 100 m～200 mの長大連続桁橋に合成箱桁橋が用いられ，効果を収めているほか，Schöntal 橋（支間 36 m）のように上路鉄道箱桁橋としても使用されたのである。アメリカにおいては，North Bend，Portage Canal の 2 橋に見られるように，コンクリート床板を 2 個の鋼箱桁に連結した合成箱桁により，支間 40 m前後の単純桁橋に新しい経済的構造を生み出している。

また，床組構造も主桁と横桁とを一体の格子構造と考えたり，縦桁と横桁は橋床により協同

して支えられると考えて，厳密解析により設計計算を行なうようになって来たのである。

(2) 鋼トラス橋

現代におけるトラス橋の殆んどすべては構造用鋼により作られており，その支間は40 mより200 mの長きに及び，単純トラス，連続トラス，ゲルバー・トラスなどの諸形式をもって架設されるようになった。19世紀後半の錬鉄トラス時代には，トラスの格点はピン結合により製作されるのが常であったが，ピン結合の欠陥が明らかになるに及び，最初にこれを廃して組合わせ部材のみを用い，格点には鈑を当てて各部材を固結したのはドイツの技術者達であった。格点の剛結化が叫ばれていた当時，1,877年南ドイツのミュンヘン工科大学では，「トラス部材の三角形が荷重のために角変化を生ずる時，如何なる応力が生ずるか」の懸賞問題を世に提出したところ，1,880年マンデルラが提出した論文「剛結合に基づいて生ずる単純トラスの二次応力計算」が当選し，現在における剛節トラスの二次応力理論の端緒を開いた。その後，ミュウラア・ブレスラウ，モール等はこれの近似計算法を新たに提案し，この方面の研究が進められた。

元来ドイツでは，ワーレンを幾重にも重ねた綾構（ラティス・ガーダー）を好んで用いたが，その記録的な代表作としてライン河のワイヒゼル鉄橋を挙げることが出来よう。その後，イギリスでも函橋をやめ，1,869年にランコルンの綾構を架設している。

1,927年ドイツのウェーゼル河鉄道橋（支間104 m）が架設された際，剛結合としての精密計算が行われ，格点をヒンジと仮定して行なうことの欠点を是正出来，一時とりやめの傾向にあった菱形トラスに再興の端緒を与え，その後続々とトラス橋が架設されるようになった。

なお，ドイツにおいては，1,926年エルベ河に架けられた鉄道橋のヘムメルテン橋（中央支間106 m），1,932年ライン河に架設された3径間連続トラスのルウドウイッヒスハーフェン橋（支間91.3 m）のほか，幾つかの形式のトラス橋が現存している。

また，アメリカやカナダなどにおいてもトラス橋は続々と架設され，その長大支間を誇っている。

いま，単純鋼トラス橋で長大支間のものを列記して見れば，次の通りである。

アメリカのMetropolis Bridge（1.917，支間219.5 m），アメリカのPaducah Bridge（1,929，支間218.2 m），アラスカのTanana River Bridge（1.922，支間213.4 m），アメリカのMac Arthur Bridge（1,911，支間203.6 m），アメリカのHenderson Bridge（1,933，支間202.7 m）。

更に大径間のトラス橋としては，当然連続トラス橋，ゲルバートラス橋の形式を用いなければならない。ゲルバートラス橋は連続トラス橋の欠点，すなわち支点の不同沈下の悪影響，応力計算の煩雑なこと，温度応力の危険な影響などをなくするため考案されたものであり，普通の連続トラス形式は一時用いられなくなったが，その後施工法の改良などによりその長所が見直されるようになり，最近では続々架設されるようになった。

長大支間のゲルバートラス橋を列記すれば，次の通りである。

カナダのQuebec Bridge (1,917, 中央支間548.6 m), イギリスのFirth of Forth Bridge (1,889, 中央支間518.2 m), アメリカのNew Orleans Bridge (1,958, 中央支間480.0 m), アメリカのSan Francisco−Oakland Bay Bridge(1,936, 中央支間426.7 m), アメリカのLongview Bridge (1,930, 中央支間365.8 m), アメリカのQueensboro Bridge (1,909, 中央支間360.3 m), カナダのSecond Narrows Bridge (1,960, 中央支間353.3 m), アメリカのCarquinez Straits Bridge (1,927, 中央支間335.3 m)。

また, 連続トラス橋の中, 長大支間のものを選んで見ると, 下記の通りとなる。

アメリカのDubuque Bridge (1,943, 最大支間257 m), アメリカのEarle C. Clement Bridge (1,944, 最大支間252 m), アメリカのSt. Louis Country Bridge (1,956, 最大支間246 m), アメリカのKingstone Rheine Cliff Bridge (1,957, 最大支間244 m), アメリカのSciottoville Bridge (1,917, 最大支間236 m), アメリカのChain of Rocks Bridge (1,927, 最大支間213 m), アメリカのNew Jersey Turnpipe Bridge (1,956, 最大支間208 m)。

このように長大支間の連続トラス橋は殆んどアメリカに架設されているが, 最近我国に架設された世界最長支間を誇る天草1号橋 (天門橋) を初めとする連続トラス橋ブームはこのアメリカの影響を受けたものと思われる。

(3) 鋼アーチ橋

アーチは上方に反れる曲桁または曲構であって, 支点は特別の場合を除いては水平移動を起こさず, そのために垂直荷重によっても傾斜した反力を生ずる。

アーチをヒンジの有無および数によって分ければ, 無鉸拱または固定拱, 1ヒンジ拱, 2ヒンジ拱, 3ヒンジ拱となり, またアーチを構造上より区別すれば, 肋拱または鈑拱, トラス化された拱すなわち, 腔構拱, 構肋拱のほか, 繋材を用いて不静定水平力を吸収するようにした繋拱, 最近盛んに架設されるランガー桁またはランガー構, ローゼ桁またはその応用形式, 突桁拱すなわち, カンチレバーアーチおよびバランストアーチ連続拱などとなる。

1,900年以降に架設された現代の橋梁中, 鈑桁断面を持つアーチ橋としては, アメリカのニューヨークにおけるハアレム河橋 (支間244 m), スウェーデンのストックホルムにおけるメラルゼー橋 (支間204 m) などは規模の大なるものといえる。

アーチ橋の支間が大きくなると, 鋼重を軽くするために骨組をトラス化する必要があり, トラス化されたアーチはドイツに多く, 場合によっては繋拱とするものも少くない。いま, ここに長大支間を有するアーチ橋を列記すれば, 次の通りである。

アメリカのBayonne Bridge (1,931, 支間503.1 m), オーストラリヤのSydney Harbour Bridge (1,932, 支間502.9 m), カナダのPortman Bridge (1,964, 支間366.0 m), チェッコスロバキヤのMoldau River Bridge (1,965, 支間330 m), アメリカのBirchenough Bridge (1,935, 支間329.2 m), アメリカのMercy Bridge (1,961, 支間325.0 m) アメリカのNiagara

Bridge（1,962，支間304.8 m），アメリカのHell Gate Bridge（1,917，支間298.9 m），アメリカのRainbow Bridge（1,941，支間289.6 m），スウェーデンのTjörn Bridge（1,960，支間278.0 m）。

ランガー桁は1,881年頃Langerの考案により，オーストリヤのグラース付近においてムール河上に架設され，主として橋桁の補強に用いられたが，その後新形式として採用されるようになり，1,929年ドイツのウェーゼル河に中央支間119.61 mの複線鉄道橋が架設された。最近の例では，1,950年ドイツに架けられた支間250 mのDuisburg-Rheinhausen橋がある。

また，ローゼ桁は19世紀の末ドイツのエルベ河に支間96.35 m 10径間のレンズ形の弦材を有する鉄道橋が架設されたことに始まるが，この形式の橋はLohseの考案したものと伝えられている。20世紀に入ってからの例としては，Fr. Bleichの設計により1,915年ウィーンのDonaukanalに架けられたWien Aspern橋（支間12.74 m＋59.15 m＋12.74 m）を代表作とし，そのほかにも沢山ある。

(4) 鋼ラーメン橋

ラーメン橋の中，普通用いられる門框は1本の上梁の両端または間に2本の脚を剛結したものであり，脚は垂直のものも傾斜したものもある。脚底の支承はヒンジまたは剛結とするが，脚は鋼構造であるから石工の橋脚に比べ相当に空間の節約が出来る。

門框の特色の一つは上梁の高さが単桁に比べ低くてすむことであり，単桁では径間の1/10～1/12とするのに対し，門框では1/15またはそれ以下とすることが出来，甚だしいものは1/35にした例もある。それから，径間は20 m～30 m程度の例が多いが，特別の例として，ドイツのNeckar河に架けられた支間約70 mのWilhelm Brückeがある。

ラーメン橋の一種として，1,911年ベリギーのVierendeel教授の考案したフィレンデール桁（Vierendeel girder）と称し，上弦材および下弦材のほかには腹材として垂直材のみ使用し，その格点を剛節としたものがある。実物大の実験の結果，理論値とほぼ合致することが確められて実施に移されたものであるが，ベルギーおよびその付近に架設の実例が多い。なお，拱橋や繋拱橋に応用された例や，門構，屋根，信号塔などに用いられた例もかなりある。

曲弦のフィレンデール橋の例としてはMalines鉄道橋，平行弦フィレンデール橋の例には第一ポン・ダベルゲム橋（支間42 m）があり，門框橋としてはSchönfliesser橋，曲弦構フィレンデール橋の例にはポン・ルート橋（支間36 m）などがある。

(5) 吊　　橋

吊橋設計の実用的理論は，19世紀の後半アメリカおよびドイツにおいて普遍化され，剛性ある橋桁，ラーメン，アーチなどに用いる弾性理論がそのまま近似解法として吊橋に適用されたが，幾つかの仮定を含んでおり，支間が300 m，400 mと巨大化して来ると，その変形が著しく大きくなって来るので，その変形の影響を考慮に入れたいわゆる撓度理論が登場するように

なって来た。中部ヨーロッパにおける橋梁工学の大家であるヨセフ・メランが若かりし頃，1，888年に，精密理論としての撓度理論を発表し一躍有名になったのである。メランの名声はアメリカにまで伝わり，この撓度理論は巨大な吊橋を架設するアメリカにおいて整理され，ニューヨークのマンハッタン橋（1,910）にモイセイフ等により実用に供された。この橋は同じイースト河にすでに架けられてあったブルックリンやウィリアムスブルクの吊橋とは異なり，補剛桁の高さが著しく低く，軽快なことである。

この橋が完成してから間もなく，ドイツではこのアメリカ風の吊橋とは全く違った形式の吊橋すなわち自碇式吊橋を考案し，1,914年に中央支間184 mのものがケルンにおいて，ライン河を横断して架設された。この新形式の吊橋は，後年アメリカのピッツバアグ橋やドイツのドナウ河橋として実用に供された。

1,924年アメリカのニューヨークにおけるハドソン河の上流であるベア・マウンテン公園前に，支間497 mの吊橋が架設され，また1,926年にアメリカのヒラデルヒヤに支間533 mのデラウエア河吊橋が架設された。また，1,929年アメリカとカナダとの国境水路を結ぶデトロイト吊橋（支間564 m）が架けられ，1,932年には，ニューヨークのハドソン河上に中央支間1,067 mのジョージ・ワシントン橋が架設され，1,936年には，サンフランシスコとオークランドを結ぶ中央支間704 mのトランスベイ橋，1,937年には，サンフランシスコにおける湾口を結ぶ中央支間1,280 mのゴールデンゲート橋が架設され，その後続々と長大吊橋がアメリカおよびヨーロッパにも架けられるようになった。世界第一の最大支間を誇る吊橋は，1,964年アメリカのニューヨークにおけるベラザノ・ナロウス橋で，その中央支間長1,298.5 mである。

次に，現代における欧米に架設された長大吊橋を列記すれば，下記の通りである。

アメリカのVerrazano-Narrows Bridge（1,964，中央支間1,298 m），アメリカのGolden Gate Bridge（1,937，中央支間1,280 m），アメリカのMackinac Straits Bridge（1,957，中央支間1,158 m），アメリカのGeorge Washington Bridge（1,931，中央支間1,067 m），ポルトガルのTagus River Bridge（1,966，中央支間1,013 m），イギリスのForth Road Bridge（1,964，中央支間1,006 m），イギリスのSevern Bridge（1,966，中央支間988 m），アメリカのTacoma Narrows Bridge（1,949，中央支間853 m），ベネズエラのAngostura橋（1,967，中央支間712 m），アメリカのSan Francisco-Oakland Bay Bridge（1,936，中央支間704 m），アメリカのBronx-Whitestone Bridge（1,939，中央支間701 m），カナダのQuebec Road Bridge（1,969，中央支間668 m）。

それから，最近西ドイツを主体としてヨーロッパに斜張橋といわれる構造形式の吊橋が盛んに架設されるようになった。ドイツのKölnにおけるSeverin Brücke（1,959）がその一つであり，全長691 mの中の主径間（302.00 m＋150.70 m）が斜張橋構造である。その他，ドイツのDüsseldolfにおけるNordbrücke Düsseldolf, Oberkassel, Knieの三つの道路橋はいずれも斜張

橋構造である。

最近，欧米に架設された斜張橋は多いので，長大支間のものを列記すると，次の通りである。

ドイツにおけるKnie橋（1,969，最大支間320 m），Severin橋（1,959，最大支間302 m），Rhine River橋（1,965，最大支間280 m），Bonn-Nord橋（1,967，最大支間280 m），Theodor Heuss橋（1,957，最大支間260 m），Rhine River橋（1,957，最大支間260 m），Rees橋（1,967，最大支間255 m）。

また，最近ベルギーのジェーンの近くマリアケルクの運河に架設された自碇式吊橋構造は，珍らしいことに補強桁にプレストレスト・コンクリートを用いたところに特徴があり，プレストレスト・コンクリート橋の歴史にも関連がある。

(6) 可動橋

普通の橋は橋台や橋脚の上に固定して架けられるが，可動橋というのは橋桁が上方に上ったり左右に開いたりすることの出来る種類のものである。

可動橋の欧州における歴史はかなり古く，中世紀の頃から架けられているが，現代における可動橋の形式は19世紀の末から30世紀にかけて目覚ましい発達を遂げた結果用いられるようになったものである。現代における可動橋の種類には，旋開橋，跳開橋，昇開橋，退開橋，渡し船，浮橋などがあり，世界中で代表形式として広く用いられているものは跳開橋と昇開橋を挙げることが出来ると思う。

旋開橋の例としては，カンタラにおけるスエズ運河の可動橋，Raritan Riverに架けられた可動橋（1,908）があり，跳開橋の例としては，ロンドンのタワア・ブリッジ（1,894），北米のコーニー・アイランド・ブリッジ，バファロにおけるミシガン・アブニュー可動橋，米国シカゴにおけるバスキュール・ブリッジ，アムステルダム可動橋，オランダのエダム可動橋，ブエノス・アイレス可動橋などがある。

昇開橋の例としては，1,892年アメリカのシカゴでワッデルが初めて考案架設して以来，各地に広く架けられ，KansasのMissouri河に架けられたFratt River橋，Portlandの Williamette River橋などの例がある。

渡し橋は，輸送橋とも称され，スペインのBilbaoに架けられたのを初めとし，マルセイユ旧港の入口にある橋，スペインのビルバオにおけるボルチュガレイテイ橋（1,893），イギリスのマンチェスタアの輸送橋（1,905），ルーアン運搬吊橋（1,899），ミッドルスブルグ運搬橋（1,911），ボルドウ運搬吊橋，ニューポート運搬吊橋，アメリカのDuluthの避難港口の渡し橋（径間120 m），フランスのBordeaux橋（支間400 mで最長）などがある。また，舟橋の長大な例としては，ライン河に架けられた舟橋に，全長362 mのものと402.6 mのものがあり，退開橋は大きな動力を要し，場所塞ぎともなるので仮橋のほかは余り用いられない。

5．高張力鋼橋

現在，長大径間の橋や特種の用途に用いられる橋には，普通の軟鋼よりも強度の大きい鋼材すなわち，高張力鋼を使用し，部材の所要断面の縮少により自重の軽減，運搬および架設費用の軽減などを計るようになって来た。

高張力鋼は材料力学上，まだ多くの問題を残しているが，その研究とは平行して実際の橋梁架設に年々用いられるようになりつつある。

橋梁技術に一つの革新をもたらしたドイツにおけるライン河の橋梁が，溶接性良好な引張強さ 50kg/mm² 級の生産に負うところ大であった事実に刺激を受け，世界各国において溶接性の良好な構造用高張力鋼の研究とその応用が盛んに行われるようになり，M_n－S_i 系の高張力鋼に対する焼入れ，焼戻しの熱処理による調質鋼がアメリカの US スチールのＴ－１鋼の影響を受けて生産され，より引張強度または降伏点の高い溶接構造用鋼材が生産されるようになった。

しかし，高張力鋼の種々の問題，例えば疲労・圧縮応力に対する取扱い，安全率などに関する問題はあるけれども，すでに高張力ボルトの使用を初め，部分的には殆んどお蔭を蒙らない長大径間の橋はなくなって来つつある現状である。

合金鋼として優秀なのはニッケル鋼であり，アメリカ，ドイツなどには多少用いられたが，価格が高いので現在は余り用いられず，比較的安価な珪素鋼が用いられるようになり，1,915 年 Ohio 河に架けられた Metoropolis 橋（径間 219.5 m）に使用された。

それから，1,932 年架設された長径間のアーチ橋である Killvan Kull 橋には，普通の炭素鋼のほかに，珪素鋼およびマンガン鋼が用いられている。

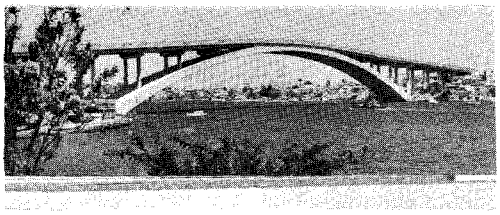
第二次世界大戦後に高張力鋼を用いた吊橋の例だけでも可なりあり，アメリカでは，マキナック橋（1,957），新タコマ橋（1,950），デラウエア・メモリアル橋（1,951），ウォルト・ホイットマン橋（1,957）などあり，ドイツでは，ローデンキルヘン橋（1,941），ケルン・ミュルハイム橋（1,929）などがある。

そのほか，戦前のものでは，アメリカのゴールデン・ゲイト橋（1,937），サンフランシスコ・オークランド・ベイ橋（1,936），アムバサダ橋（1,930），ブロンクス・ホワイトストーン橋（1,939），トリボロー橋（1,936）などがある。

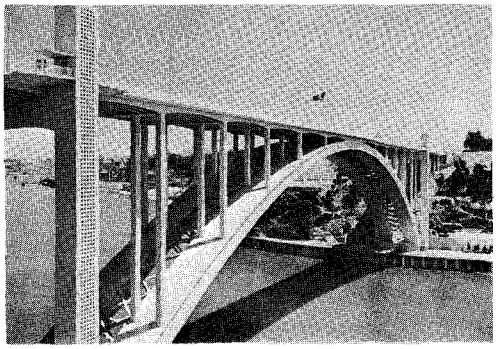
これらの橋には，Si 鋼，C 鋼，St 52 などが用いられているが，吊橋以外のトラス，プレートガーダー，鋼床板などにも各種の高張力鋼が盛んに用いられて来ていることがアメリカなどの資料により明らかなところである。

6．アルミニウム合金橋

橋梁に用いられる高力アルミニウム合金としては，殆んどすべて 14 S 合金が使われるが，その理由は製造過程において冶金学的の困難が比較的少ないこと，価格が割合に安いこと，強度が大なること，熱間加工性が比較的良好なること，切欠き衝撃値が大なることなどによるものである。Reynolds Metals Company の R 301，ＡＣ 26 S，イギリスのＡＷ 15，フランスのＡ－

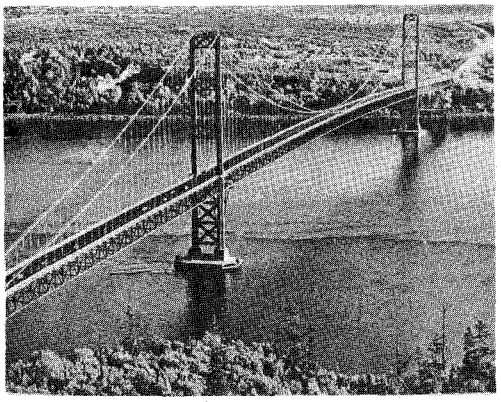


(a)　オーストラリアのグレイデスビル橋（1,964）

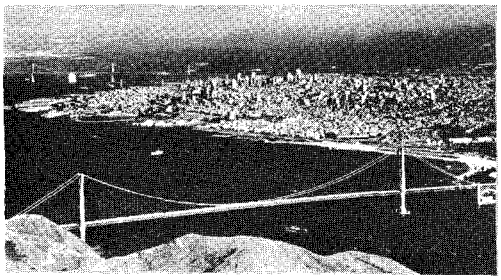


(b)　ポルトガルのアラビダ橋（1,963）

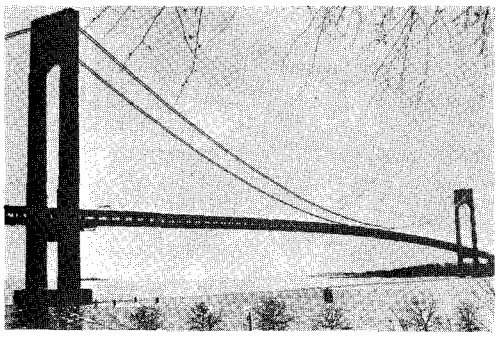
図－5　現代の鉄筋コンクリートアーチ橋



(a)　アメリカの新タコマ橋（1,950）



(b)　アメリカのゴールデンゲート橋（1,937）



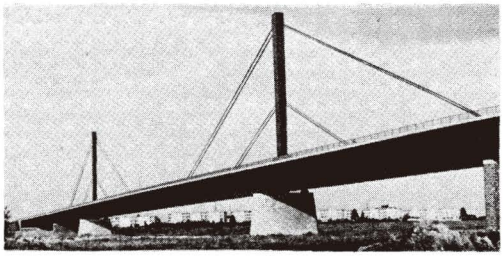
(c)　アメリカのベラザノ・ナロウズ橋（1,964）

図－6　現代における吊橋

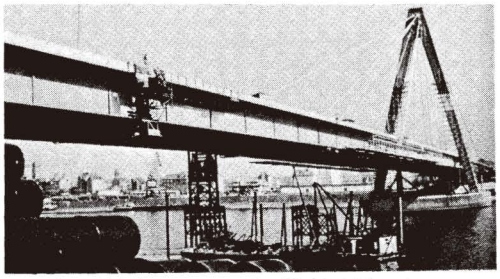
U４Gなどは14Sと同等の合金であり，橋梁に用い1,500kg/cm²程度の応力を許し得るものとしては，14S－T6，AC26S－T，AW15Bなどを挙げることが出来る。

アルミニウム合金を橋梁に用いた例は，1,933年に実施されたアメリカのPittsburghにあるSmithfield Street橋の橋床改築工事であり，その後1,946年にアメリカのMassenaにおいてGrasse河に支間28.5mの全アルミニウム合金のプレート・ガーダー鉄道橋が架設されたほか，1,948年にはイギリスのSunderlandの港に全アルミニウム合金の跳開橋であるSunderland Bridge（支間37m）が架けられ，1,950年にはカナダのArvidaにあるAlcanの大工場に近いSagueney河にArvida道路橋（幅員8.5m，中央支間88.4m）が架設された。このArvida道路橋は世界最初の全アルミニウム合金アーチ橋で世人の注目を集めたが，同じ1,950年に，イギリスのスコットランドにおけるCluneのTummel河上に，全長94.64mの全アルミニウム合金よりなる3径間連続トラス橋が架設され，アルミニウム合金橋の前途に光明が与えられた。

その後アルミニウム合金橋が世界各地に架設されたものの，弾性係数の小さいこと，衝撃の



(a)　西ドイツのレバクーゼン橋（1,965）



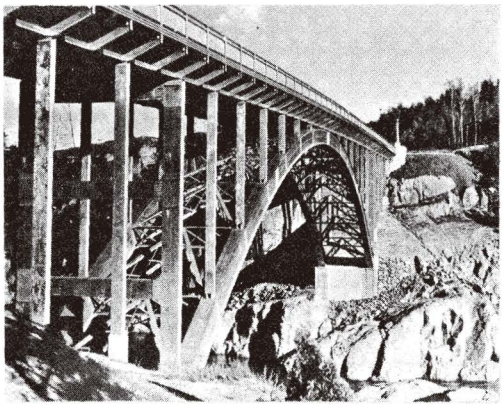
(b)　西ドイツのセベエリン橋（1,960）

図－7　現代の斜張橋



イギリス，コンドンのタワァ・ブリッジ（跳開橋，1,894）

図－8　現代初期における可動橋



カナダのアルビダ道路橋（1,950）

図－9　現代のアルミニウム合金橋

影響，座屈や疲労の問題，熱膨張問題，降伏強度の高いことその他のため，発達が中絶のままの状態にあり，その架設も歩道橋のような軽量荷重の橋に限定される傾向にある。アルミニウム合金の一大欠点である変形量の著しく大きい性質を改善出来ないものであろうか，これは非常に問題であるが，その設計・施工の面でも研究の余地はあると思う。

図－5は，現代の鉄筋コンクリートアーチ橋で，(a)はオーストラリアのシドニーにおけるグレイデスビル橋（支間304.8 m，世界第1位），(b)はポルトガルのアラビダ橋（支間269.8 m，美観で傑出）である。図－6は，現代における吊橋の例で，(a)は，アメリカの新タコマ橋（支間853 m），(b)はアメリカの有名なゴールデンゲート橋（支間1,280 m），(c)はアメリカのニューヨークに架設されたベラザノ・ナロウズ橋（支間1,298 m，世界第1位）であり，図－7は，現代の斜張橋で，(a)は西ドイツのライン河に架けられたレバクーゼン橋（中央支間280 m），(b)は西ドイツのケルンに架設されたセベエリン橋（最大支間302 m，世界第2位）を示す。図－8は，現代初期における可動橋として有名なイギリス，ロンドンのタワア・ブリッジ（可動径間60.96 m）であり，図－9は，現代のアルミニウム合金橋の一例で，カナダのケベック州に架設されたアルビダ道路橋（中央支間88.4 m）である。

（注）

近世および現代における欧米の橋梁で，その他の各種形式のものの写真については，研究報告の続編において掲載する予定であり，参考文献については，研究報告(1)参照のこと。

（昭和51年５月22日受理）