



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(1) :
序論および欧米における古代,中世,文藝復興時代の橋
梁

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-07-23 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/10258/3612

橋梁の歴史的変遷とその発達動向について（1）

—序論および欧米における古代、中世、文藝復興時代の橋梁—

中 村 作 太 郎

On the Historical Changes of Bridges and the Tendency of Their Progress (1)

The Introduction and the Bridges of Ancient Times, Middle Ages
and the Renaissance in Europe and America

Sakutaro Nakamura

Abstract

As an introduction the present writer stated his opinion on the origin of bridges and the tendency of their historical progress, and moreover he discussed and stated in full on the bridges of the first half period (Ancient Times, Middle Ages and the Renaissance) in Europe and America.

I. 序 論

1. 橋梁の起源^{1)~11)}

橋という漢字は辞典によれば、喬木すなわち高い木を意味していたものが、何時しか河などの上に架けるいわゆる橋を意味するようになったらしい。

英語の Bridge はスカンディナビア古語の Brygge, Brig から起り、これは船舶用語であっていまでも船に残っているが、このチュートン系の言語は Brug (オランダ), Bro (スウェーデン, ノルウェー), Brücke (ドイツ) と変化し、ラテン系では Pon から Ponte (イタリア), Pont (フランス), Puente (スペイン) と変化し、スラブ語では Most と変化する。

また、橋という言葉はしばしば橋梁と書かれる。橋ははしの総名、梁は水上の橋、しかし梁上之君子などの成語もある通り梁は家屋において柱の上に横に組み渡してある水平材を普通にいい、梁と桁とはほぼ同じ意味であるから、橋梁と橋桁とは同じ意味を持つわけであるが、今日我々は総称の場合に橋梁を用い、橋から床の部分などを取り去った主骨部分を橋桁と呼ぶのであって、万葉集第 11 卷寄物陳思に、「おはりだの 坂田乃橋之、さかたのほしの 壊者、くずれなほ 従桁将去、けたよりゆかん 莫戀吾妹」とあるから、日本では古くから橋の主骨を桁といいならわしていたように見える。

橋に関する二、三のの異語についていえば、缸は石を集めてこれを細工して架けた橋すなわち石橋であり、木造の小橋には杠という文字もある。誤り易いのは棧であって、これはかけはし（棧橋）と読み、その第一は急峻な山腹や絶壁を横に沿って通ずる山道において、柱を樹て踏み板を張り渡し、これを通路としたものであって、普通の橋は溪谷を直角に横断するに対し

かけはし
 棧は溪谷に沿って行くのであるから方向が全く違う。その第二は谷の深くあるいは流れの急であって橋杭の立てられない個所に一跨ぎで架け渡す種類の橋をいい、和漢三才図絵に、「木會路の山川に両岨よりこれをかけ渡す、昔の棧橋は藤蔓を用い板を縛り大鉄鏈をもって桁となす、近頃尋常の橋の如くしかして橋杭なきのみ、上松と福島の間にある」と書いてあるが、同書別頁の棧に対する挿畫には前記第一義の構造が畫いてある。棧は棚と同義である事からいえば第一義の方が適當ではなかろうかと思われる。

鉄道高架線などが街路を横断して乗越している場合に、その街路の上に架かっている橋桁をしばしばガードと呼ぶ。この俗語はガーダー (Girder 英国) すなわち、橋桁からの転訛であって、明治初年本邦鉄道が英国の影響を多分に受けていた頃に工夫の使っていた言葉が残ったものである。

橋はその用途により、またその構造型式その他により種々の名称に分類されるが、その詳細についてここでは触れないこととし、西洋における特殊の名称二つについてのみ述べる。すなわち、Aqueductとは水路を通しての橋いわば水道橋を指し、Viaductは現在では下が河川や水流のない陸地のみである橋すなわち陸橋をいうのであるが、ローマ時代には道路橋を意味するものであった。

太古、人類が最初に造ったものは、衣食住の住たる家屋であり、家と家との間、家の集合よりなるところの部落と部落の間には交通のために道路を必要とした。道路はその地形によって河川、溪谷を越えることを必要とし、これがために簡単な橋梁を造るに至った。従って「家と道と橋」との間には互に相関連した密接なる関係が存在した。

人類はまたその原始時代において水流の傍に住んでいたということから考えても、人類の生活は橋と密接な関係のあったことが想像出来るところである。我国におけるあの著名な甲斐の猿橋では、絶壁が廊下状をなしているあの溪谷に最初に橋を架けたのは猿であるという傳説さえある。猿のような高等な動物は人類よりも先きに架橋術を知っていたかも知れないのであって、風水害で自然に溪流の上に架った倒木の上を歩み、あるいは岸か



図-1 原始時代に猿が架けた橋の想像図
 (モンキー・ブリッジ)

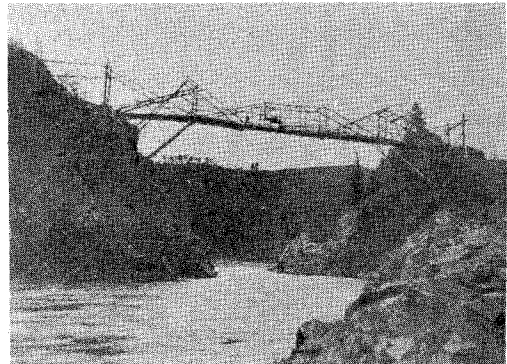
ら岸に渡って自然に蔓った蔦や藤の蔓を傅り、このようにして猿猴の類が容易に溪流を越えたことも想像出来るのである。しかし、これ等は天然物を利用しての橋、すなわち天然橋であって、溪流の上に適当な自然の倒木がない場合に、若し物真似上手な猿が天然橋から得た暗示によって他所から倒木を運び出し、これを溪流の上に架け渡して対岸に渡ったとすれば、それこそ橋梁技術の起源であって、石器時代の我々の祖先はすでにこのような技能は習得していたのに違いないのである。

河幅が廣ければ水中に点在する岩石の上に順次に丸太を架け渡し、いい換えれば岩石を橋脚として長い橋を架けることを知り、蔦葛を谷間に架け渡しただけでは歩いて渡れないので、これに床板や欄干などを取付けてその上を歩くように進歩したものと考えられる。

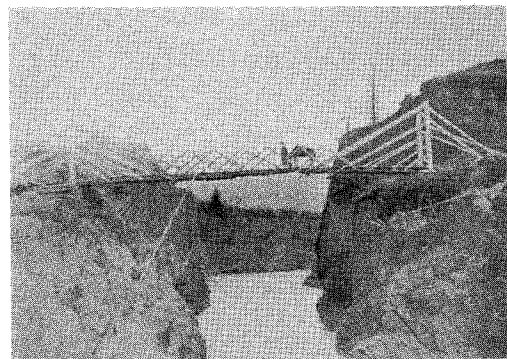
アフリカおよび南洋の探險紀を撮影した映画の中に鱒の游泳する河川において土人達が巧妙且つ軽快な方法をもって架橋する場面が見られるのは、太古の人類の生活とその架橋技術などを想像させられ、橋梁技術は人類の文化と共に数千年またはそれ以前の昔からあったと考えることが出来る。

原始時代の橋の型式の基本形は、板や丸太を架け渡すような種類の桁橋^{けたばし}と藤のような強力な蔓状植物や割竹のようなものを縊り合わせて太い綱のようなものを作りこれを何條か谷の一端から対岸に張り渡す種類の吊橋^{つりばし}と石材を積み疊んで作った拱橋^{アーチばし}の三種類であり、古代・中世・文藝復興時代・近世および現代の橋梁の進歩発達はこれ等から出発したものである。また橋梁材料としては、木材・竹・蔓状植物などのほかには主として石材が用いられたことが現存している石造拱などより推察することが出来る。

近代橋梁の定義は、人類文化の発達につれて益々複雑になりつつあるが、最も簡単に表現すれば、「溪谷・河川・鉄道・道路その他の障害物を越えて、交通運輸のために造られた構造物である。」といい得るが、原始時代における橋梁は、「人類またはその他の動物が、溪谷・河川・そのほかの障害物を乗り越えるために通路として架け渡した築造物である。」ということが出来ると思う。

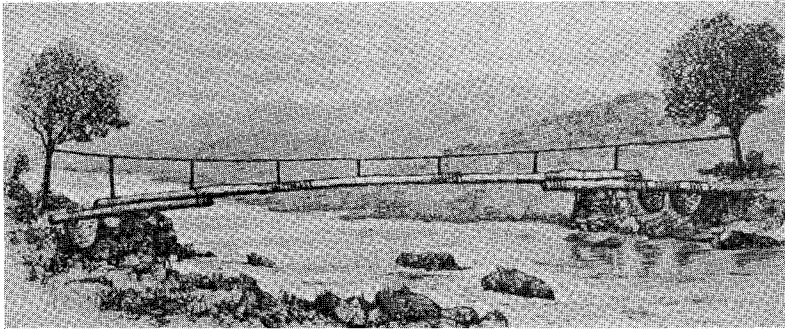


(a) Alwillgate に架けられた原始橋



(b) Moricetown に架けられた原始吊橋

図-2 紀元前カナダの Bulkley River に架けられた原始的橋梁

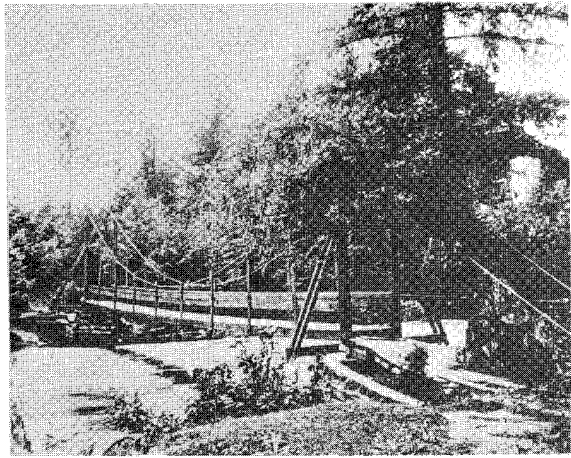


(a) アジアの kaukaus に架けられた原始吊橋

図一1は原始時代に猿が数匹身を連結して橋を架けたという伝説より画いた想像図であり、図一2は紀元前におけるカナダの原始的橋梁の図であり、図一3はアジアおよびアラスカに架けられた原始的吊橋の図である。また、図一4は印度支那に架けられた原始的木橋の図であり、図一5は東アフリカに架けられた原始的吊橋の図であり、図一6はボルネオにおける原始的竹の橋の図を示している。

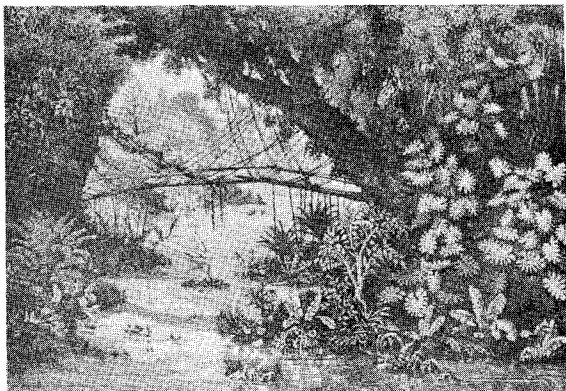
更に、図一7は谷間に自然に架けられた木の幹の橋、図一8は南オーストリアにおける自然に横たわるユーカリ樹の幹の橋、図一9は印度支那における滝の上に自然に架けられた木の幹の橋、図一10は北アメリカの山嶽地方に架っている天然橋を示した図である。

図一11は原始時代における橋梁の原型を示した代表的の図である。



(b) アラスカに架けられた原始吊橋

図一3 アジアおよびアラスカにおける原始的吊橋



図一4 印度支那における原始的木橋



図-5 東アフリカに架けられた原始的吊橋

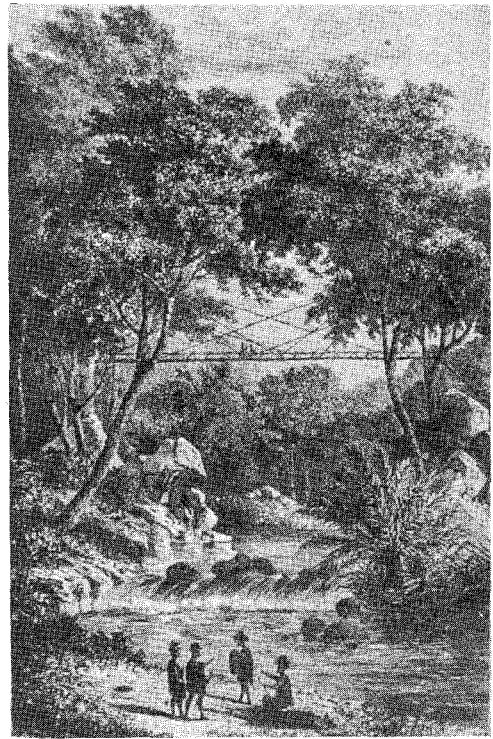


図-6 ボルネオにおける原始的の竹の橋



図-7 谷間に自然に架けられた木の幹の橋



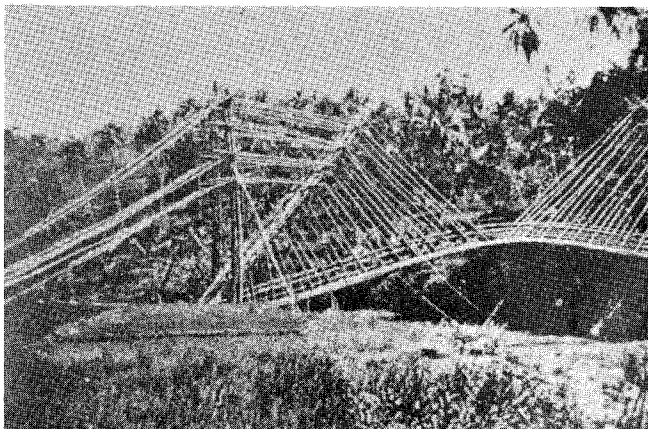
図-8 南オーストリアにおいて、自然に架けられたユーカリ樹の幹の橋



図-9 印度支那において滝に自然に架けられた木の幹の橋



図-10 北アメリカの山嶽地方に架つている天然の木橋



(a) 原始時代の竹の橋



(b) 原始時代の木橋

図-11 原始時代における代表的橋梁

2. 橋梁の歴史的発達傾向に対する所見¹²⁾

すでに橋梁の起源について論述した通り、原始時代より橋梁の発達は人類と文化発達史と共に歩み続けて来ている。天然自然の岩石の築造が石造拱橋の造成に利用されて来たことは周知の事実であり、吊橋の原型が藤蔓や蔦蔓の植物の張力にたよっており、また桁橋の原型が樹木の暴風時における小川への自然横架に暗示を得たものであるといわれている。また、竹の張力に強い性質を利用して古代民族の架けた竹の橋も現存しているし、英国人の想像図として著名な「モンキーブリッジ」もまた吊橋の原型と考えられるのである。

現在の橋梁技術が生み出されるまでには、数重なる歴史の変遷を経ているが、その型式からいえば、^{アーチ}拱橋・吊橋・桁橋の三種類が基本となり発達しているとみてよいと思う。

原始時代の人類は直感的にある形状のアーチ構造は圧縮力のみ受け、非常に大きな耐圧力を有していることに気付いたし、また吊橋構造は引張力にさえ耐えることが出来れば安全であるという至極簡単な考えに逸早く感付いたものと思われる。しかし水平な桁橋構造の曲げ現象の不可解さについてはかなり疑問を持っていたものと考えられる。

それは水平な桁橋構造の技術的発達が比較的遅れていることと、原始時代および古代に造られた著名な桁橋が殆んど見当たらないことから明かであろう。桁橋の初期は主として木桁橋にのみ発達したのは、コンクリートや鉄材の出現がはるかに遅く、石材の詰合せで水平な桁橋の架設が甚だしく危険なことを古代人はよく知っていたからであろう。

材料的にみて石材を利用出来る構造のアーチ橋が、古代および中世の時代に非常な発達を遂げたのは当然のことであり、また永久橋としてその一部が残存しているのは自然の成行でもあろう。

また、主要材料に鉄材を使用した記録的な橋は17世紀に中国において架けられた吊橋をもってその初めとされている。鉄材の多量生産が可能になるにつれ、コールブルックデールの全鉄製アーチ橋、ブリタニアの函桁橋などが続々と架けられるようになった。

このように材料の科学的進歩が橋梁発達の歴史に大きな影響を与えたことは今も昔も全く変わらないのである。19世紀以後における橋梁の進歩発達は全く鋼鉄の進歩と鉄筋コンクリートの発明によるものがその主体をなしているとも見られ、橋梁技術の発達進路に大きな方向付けをなしている。

20世紀に入ってからには更に構造力学の発達、高張力鋼の進歩、電子計算機の発達、プレストレス工法、溶接技術の進歩など数え切れないほどの科学技術の発達に大きくその進路を左右されて来ている。19世紀の後半から20世紀にかけて鋼鉄トラス橋は著しい発達を遂げたが、世界大戦後の現代においては専ら桁橋特にその平面形状および横断面形状に関する研究が盛んに行なわれ、斜桁橋・曲線桁橋のほか、合成桁・箱桁・格子桁・鋼床板などを用いた橋梁が盛んに架設されるようになった。

勿論これらの橋梁が発達した原因としては、高張力鋼の出現と溶接技術の進歩ならびに、桁橋の立体的解析が構造力学の発達により可能になったためであるといえる。これらの橋梁技術発達の変遷は他のあらゆる歴史の変遷の経路と同じように、ある波型を画いてその進路を作りつつあるものと考えられ、橋梁架設に関係のあるあらゆる方面における歴史的発達が関連しているのである。

特に最近では、アメリカにおけるタコマ橋の墜落事件があつて以来、長径間吊橋の動力学的研究が盛んとなったほか、斜張橋の出現、長径間トラス橋および新型アーチ橋などの登場を見逃すことは出来まい。しかも橋梁の大型化により、電子計算機利用による耐風震構造としての動力学的研究が盛んに試みられるようになって来た。

また、我国における世界大戦後の橋梁架設状況を見るに、スパンの割合小さな鉄筋コンクリート橋が著しく激増したことも見逃せない事実であり、それは昭和の初めに端を発しているが、欧州特に西ドイツにおける橋梁技術の進歩・発達に負うところがきわめて多いのである。我国におけるコンクリート橋の永久橋としての普及率は鋼橋をはるかに凌いでおり、1951年3月の統計によれば、全国の国府県道路橋の総数は115,522橋でその延長1,481.14 kmに達しているが、その中でコンクリート橋は55,366橋に及びその延長551.57 kmであり、鋼橋の2,869橋その延長190.71 kmに比べその数において19倍、延長において約3倍の普及率となっている。また、プレストレスト・コンクリート橋が世界大戦後に普及され、最近になるほどスパンの長いものが架設されて来たことは、我国のみならず世界各国でもいえることであろう。プレストレスト・コンクリートT形橋としては30~40 mのスパンまでの施工が可能となっている。

また、我国における世界大戦後の鋼橋架設状況を見るに、戦争のため橋梁技術者の中堅となるべき人材の養成が中絶され、一時非常な退歩さえ余儀なくされたが、その後欧米の技術を取り入れて復活され、従来のプレート・ガーダーに代って合成桁橋が普及され、小・中径間の橋として続々と架設されるようになったのである。そのほか、スパン100 m前後の橋としては、ランガー桁橋またはランガー・トラス橋が盛んに架設されるようになったが、これも海外の影響を受けた我国橋梁界における一つの特徴と見ることが出来よう。それから普通型の単純トラス橋の架設は世界大戦前に比べはるかに減ったけれども、長径間の連続トラス橋やゲルバートラス橋が増加しつつあるのも最近の特色であろう。たとえば、九州の天草一号橋や大阪南港の港大橋などはよい実例といえよう。

それから世界大戦後一時流行しかけた合成トラス橋は、種々問題点もあり最近余り使用されないが、研究如何によっては発達の可能性が全くなくなったわけではないと思う。

今後の発達傾向として当然考えられるのは、長径間のトラス系橋梁・アーチ橋・斜張橋・吊橋などに対しても立体的解析の行われることと、地震・風圧などに対する動力学的解析の展開、電子計算機の利用による合理的計算、設計法の確立などにあることと考える。

また、鋼材の強度増加による部材断面積の減少にともなう変形量の増大は、橋梁の有限変形理論の発達に拍車をかける結果となろうし、溶接技術・高張力ボルトの進歩発達は、新しい立体構造形式を生み出す原動力となるであろう。それから、新しい装置・機器にともなう計測技術の進歩発展は、橋梁の模型実験・実物実験に繋がる橋梁診断学の発達を促すこととなり、非破壊試験法の適切なる利用に大いに期待してもよいことと思う。

このような応力測定法の進歩発達は、またプレストレスト鋼橋の出現を促す結果ともなり、橋梁架設工法の斬新的な進歩開発と架設応力をも加味した厳密計算法の新しい開発のため非常に役立つこととなろう。

次に、橋梁の計画・造形美についての進歩発達について考察してみるに、世界大戦後における斬新な発達・改革は全く見受けられなく、材料の節約と経済性が設計の主体となったため、美観の面については寧ろ退歩したともいえると思う。

過去の経験の集成と統一された鋭い感覚の集合による創造性により、造形美の調和と科学的合理性を融合させることがきわめて大切であると考ええる。

今後橋梁の正しい進歩発達を遂げるためには、橋梁に関連ある学者・研究者・教育者・技術者などが一致協力し、総合力をあげて広い視野に立ちながら創意工夫して行かなければならぬものと思う。以下、橋梁の歴史の変遷とその発達動向についての詳論を述べる。

II. 欧米の前半期(古代・中世・文藝復興時代)の橋梁

1. 古代の橋梁^{2),3),5),11)}

橋の創始者は序論のところで述べたように人類以外の動物であるかも知れないことに気付くのであるが、相当の形態を整えた橋梁の起源を調べて見てもそれは殆んど人類の文化史と共に始まっている。Waddell がその著書に示している印度の橋または R. Fletcher の引用しているいわゆる Rope bridge および Tublar cane bridge などは古い時代の面影をしのばせる好資料であろう。

紀元前3,000年の昔、すでにバビロンのチグリス河およびユーフラト河には尖頭石造拱橋が盛んに用いられたという記録があり、エジプトのピラミッド建造にも多数の石造拱が応用されている。ユーフラト河にその当時架けられた拱橋の全長は660ftにも及ぶものがあつたと伝えられている。木橋の起源は更に古く遡るはずであるが、Brangmen および Sparrow の述べるところによれば Pons Sublcus は紀元前640年頃に架けた木橋である。欧州に現存する最古の橋は紀元前181年に築造された Pons Senatorius という石造拱である。これは洪水に見舞われ現存するのはその一部であり、現在“Ponte Rotto”すなわち Broken bridge と呼ばれている。

さて、歴史の最も古い木橋の発達経路について調べて見ることにする。人文の未だ開けなかつた時代にあっては一部落から他部落に通ずる道に架けられた橋は丸木橋すなわち、人の足を渡

すに十分なだけの幅の獨木橋だけであったが、その後橋も道路と同じ目的を有する以上橋上にて往く人と帰る人とが行き交うだけの幅を必要とするようになり、更に数人が同時に交通する必要に迫られ、数本の樹幹を並列して岸より岸に架け渡し、その上に小枝を編布し土砂をもってこれを覆い橋床を設けることを工夫した。これが半開人達の架橋状態であったが、更に人智が進み、河幅の可なり大なる場合にも架橋出来るようになって来た。すなわち一本の幹ではその長さ短く、河川に架け渡し出来ない場合には、河中に粗雑なる丸太・石柱などを建てこれに樹幹を架け渡し、岸との連絡を保つこととなり橋脚を築造することの端緒を開いた。更に人文が発達し、社会状態が進むにつれ橋梁もまた進歩発達して行ったことは当然であり、橋上に敷板を張り高欄を設けるようになったが、これははるかに後世のことである。

木橋について石橋が架設されるようになり、紀元前3,000年の昔バビロンに尖頭石造拱橋が盛んに架けられたことはすでに述べた通りであり、更に西アジアおよびエジプトに発達し、ローマに至って大成せられた。ローマ人架設の石造拱は今日もおイタリーローマ市のテイベル河上に、中部イタリーカムパニヤの平原に、南フランスのプロバンスに、スペインに、その雄姿を見ることが出来、ローマ人は石造拱を久遠の橋として光輝ある地位に高めたのであった。石造拱の発祥地を地中海の東海岸なる小亜細亜地方またはエジプトであるとするのは、歴史家の意見のほぼ一致するところであり、それは遺跡によって確かめられている。エジプトにおけるギゼエのピラミッド(紀元前3,000年~4,000年)に残っているコルベル拱は、拱というよりはむしろ切石を突桁式に突き出した構造であって、エチオピアの技術を移入したと伝えられるテーベの墳墓における拱(紀元前1,500年)こそは立派な石造拱である。

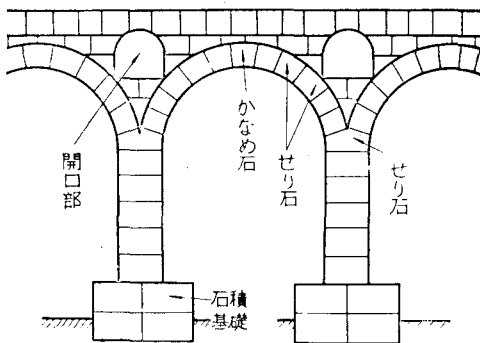
拱は地盤を横方向に推す力をも持っているから、軟弱な地盤の上に築かれた拱は両脚が開いて崩壊し易く、従ってエジプト人の言い傳えに残っている「拱は安眠せず」という言葉は、拱の力学的性質を如実に物語っており、一説によれば拱の物理的性質を理解しなかったエジプト人は、移動し易い砂の上に拱を築いて失敗し、そのために拱を嫌ったともいわれている。これに反しローマ人はよく拱の特質を理解し、これを橋梁に廣く応用したことで著名である。しかしこのローマ人に拱の技術を傳えたのは紀元前1,300年頃より北イタリヤに住み、ローマ人に征服されたアジア系のエルトリア人である。

初期共和政ローマがガリア人を撃退して盛んに軍用道路を建設し、イタリヤ半島を征服した当時には、いまだ木橋を多くかけていたが、ケーザルが地中海沿岸諸国を平定し続いてアウガススの帝政ローマが興ると、道路水利事業が盛んに行われてローマ市街には宏壮なる建築が當まれ、道路橋や水道橋その他到るところに石造拱の構造が造られた。それは高さ80m、観客9万人を収容出来る有名な闘技場(コロツセウム)が石造拱の連続で構成されていることによっても高度に発達した造拱術の一端を窺い知ることが出来る。また凱旋門にしても長い廊下のアーケードにしても、石造拱構造に外ならなかった。

ローマの拱はアークすなわちその曲線は円であって半径は 30 m を超えるもの少く、従って支間は決して大きくはなかったが、拱矢は比較的高くすなわち半円状をなすものが多かった。それは支点に作用する水平反力を小ならしめ、「拱は安眠せず」と伝えられた崩壊作用を警戒したのでであろうと考えられる。ローマ人はきわめて堅牢な基礎を造って拱を安定せしめることに成功し、その型態はギリシヤ建築が専ら美を求めたのに反して豪壮且つ実用的であり、拱を形作る切石は火山岩あるいは凝灰岩のような凝成岩を用い、目地すなわち石と石との合端には膠材なく直接に重ね合せ、側壁の石積みはその目地が床の方向に平行し、その点では我国に見られるような中国系統の拱とは異っている。

このように古代ローマ人が建設した多くの石造拱は、約 2,000 年の星霜を経た今日でも残っているし、またその業績は本国のみならず、南フランスやスペインにあるいは北アフリカや小アジアの領土にまで及んでいる。

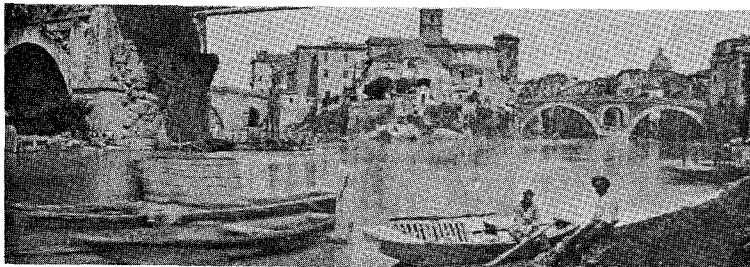
古代の橋として石造拱のほかに、木造橋のあることはすでに述べたところであるが、この木造橋が自然木の横架より整然たる木桁橋の形態を備えるに至った経過は、浮彫その他の史料に窺われるところであり、紀元前 780 年頃バビロンのユーフライト河には、幅 10 m の木桁橋が架けられ、またローマのテイベレ河には、紀元前 620 年にサブリチウス橋が造られている。これ



(a) ローマ時代におけるアーチ橋の構造



(b) フランスのニームに架けられたガールの水道橋



ロトー橋(左) セステウス橋(奥) ファブリチオ橋(右)
B.C.178 B.C.46 B.C.62

(c) ローマにおいてテイベレ河に架けられた古橋

図-12 欧米における古代の代表的石造アーチ橋

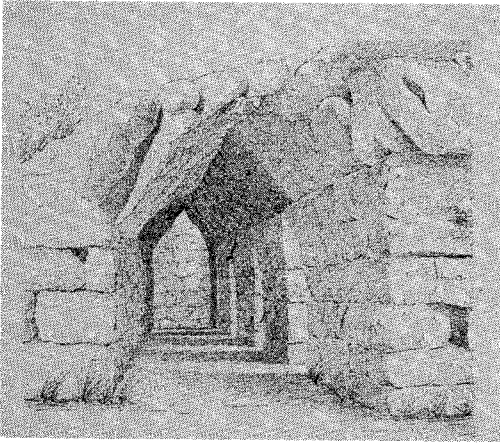


図-13 発掘によつて見出した Tiryns における Oberburg の坑道

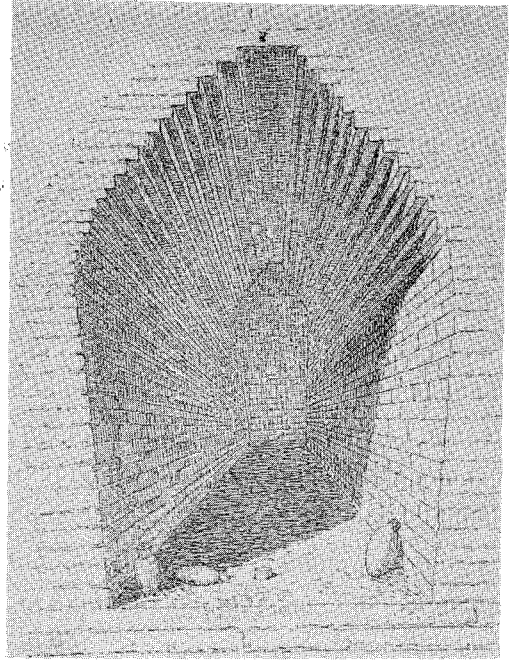


図-14 Mongheir の墓地街におけるアーチ形坑道



図-15 Mykene における石造の獅子門

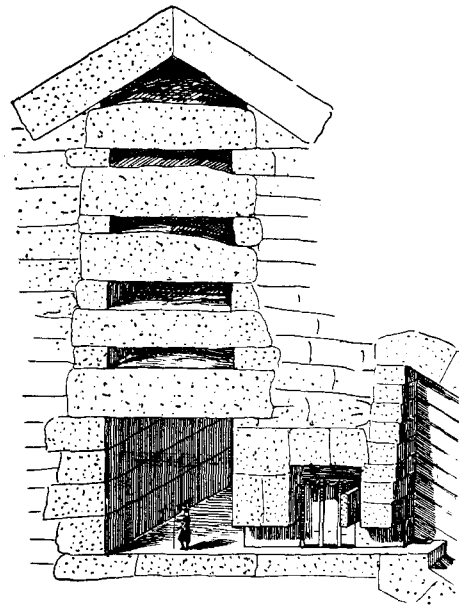
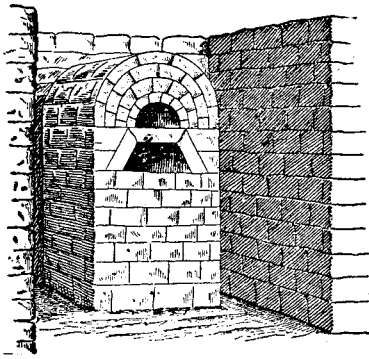
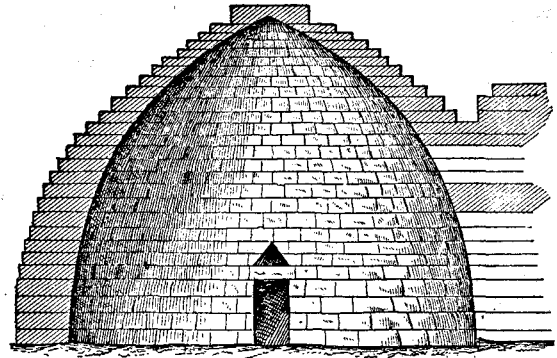


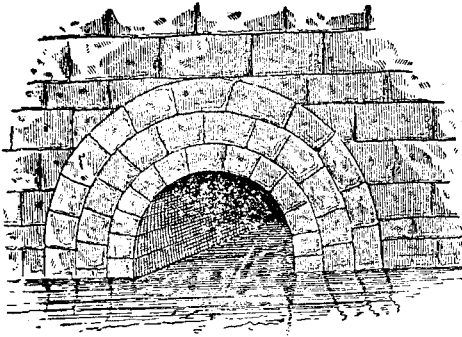
図-16 Cheops のピラミッドにおける屋根の取付構造



(a) 石造アーチを用いた Campbell の墓



(c) ドーム型の石造財宝置場



(b) 石造アーチを利用した下水道

図-17 西欧における石造アーチの利用建造物

らは固定橋脚を持つ木橋の例であるが、当時は軽舟上に木桁を載せた船橋が多かったようである。主桁は何れも単純な木桁で径間はおそらく 10 m を越えなかったものと思われる。その後組合桁や突桁形式が案出されたが、何れも充腹桁の形式を脱せず、木構桁の出現ははるかに後年のことである。

図-12 は西欧における古代石造アーチ橋の例であり、図-13 は発掘によって見出した T-iryns の Oberburg のアーチ形坑道、図-14 は Mongheir の墓地街におけるアーチ形坑道、図-15 は Mykene におけるアーチ作用を利用した石造の獅子門、図-16 は Cheops のピラミッドにおけるアーチ作用を利用した屋根の取付構造の例である。また図-17 も西欧における石造アーチの各種利用建造物の実例である。

2. 中世の橋梁^{4),5),8),9),11)}

大ローマ帝国没落して諸勢力は分散し、ゲルマニヤ民族の大移動の行われた中世の西欧は、そこにいわゆる暗黒時代を出現したのであったが、地中海沿岸に発達したサラセン文化は次第に西欧に移入されて、橋梁の技術においても復活が見られ、封建制度下においての部市の勃興および法皇権の伸長などに伴い、遅々たるものではあったが橋梁の架設が欧州各地に行われる

に至った。

この中世紀の石造拱はローマ時代のものに比べ、支間は一般に大となり、拱の形状はローマの缺円のみを用いたのに対し、楕円・尖頭形などを用いたものが出現した。支間の大なる石造拱の例をあげれば、スペイン北西部オレンセのマホール橋（径間 48.5m, 拱矢 41m, 1230 年創建）、イタリーのヴェロナの古城橋（径間 48.7m, 1356 年架設）、イタリーのトレツツオの拱橋（径間 72m）などがある。また石材の疊築にセメントあるいは石灰を使用する方法の用いられたことも一つの進歩と見るべきであろう。しかし中世紀の拱はローマのそれに比べれば、総合的について技術は低下していると見る方が正しいようである。

中世紀の橋とローマの橋との型態上の差異は、中世の橋に要塞化されたものの多いこともその一つである。この要塞化は実に 19 世紀末まで長く続き、例えば 19 世紀末に架けられたドイツのライン河の諸鉄橋、近くはロシアの極東進出に際して架けた橋梁においても存しているのである。すでに述べたヴェロナの橋にしてもフランスのヴァラントレの橋にしても、橋上には胸壁銃眼などあり、その構造は封建都市外周の城郭と同様な厳めしい防禦構造から出来ている。

更に橋脚の両端における水切り部分をそのまま上方に続けて橋床の高さまで上げ、すなわち橋幅を橋脚上で左右に拡大したことはローマ時代にはなかった構造特質であろう。要塞を兼ねた橋としてはここに歯状の胸壁を高欄代りにおくことによって側面の敵を防ぐことが出来、平和時には橋上に集る人達の休み場所にも利用されたのである。また中世紀の橋に現われた一つの特徴は橋上に家屋を連ねたり、店舗としたり、あるいは住居とすることなどであった。

地中海に燦然と輝いたサラセン文化の遺した橋には、コルドヴァ回教国の繁栄したスペインにおいて、ローマ人を凌ぐかとさえ見られるような優れたものがある。マドリド近くのトレド市に現在でも残っている石造拱橋などは橋梁の歴史上重要な資料をなすものと思う。トレドはタホ河がU字状に屈曲した中に聳える丘の上に建てられた典型的城塞都市であってその入口に架けられたアルカンタラの橋は、アルカザル（王宮）の前面なる奇景に富む溪谷を跨ぎ、866 年モオル人によってはじめて建設せられ、1258 年のアルホンゾ王の修築をはじめしばしば手を入れられて現在に至っている。その対称を無視した側面の形状、その素朴な表面の仕上げ、側径間の取扱い手法、周囲との調和の配慮など、我々に多くの暗示を与えるものである。樹木に乏しく裸の岩と灼けた土の露出しているようなこの土地において、ラテン系のいわゆるギリシヤ文化的の対称を基本にした構造を造ったとすれば、それは造型的には疑いなく失敗の部類に入るものであろう。このことはトレドの裏口をなすサン・マルチンの石造拱橋においても当て嵌まることである。この橋は突起状の岩石が荒々しい風景を作り出しているタホ河の溪谷において、高さ約 30m の上空を跨ぎ、構造は 5 径間の尖頭アーチから成り、1212 年の創架といわれている。尖頭アーチを用いたことは如何にもサラセン的でありカリフの国柄を示すものであるが、構造力学的には確かに不適当なものといえよう。従ってその当時の工事には種々失敗

があったらしく、旅行辞書のベテカにはその当時の挿話が書かれている。

アーチの中央の尖っている尖頭拱は、力学的には勿論不合理な形であるが、サラセン的すなわち回教的であるので地中海沿岸には相当の数を占めている。スペインのバルセロナ付近のマルトレルの尖頭拱もその一つで、路面は太鼓状に反っていて中央径間 41m、拱矢 17mで、1290年モオル人の創架したものとされている。

また中世紀の橋にはゴシック建築としての尖頭拱も少ない。例えば南フランスのテウルウズ地方のモンタウバン橋やヴァラントレ橋などはその代表的な橋である。モンタウバン橋はコンシュウル(執政官)の橋が本名であって封建時代の枯渇した財源では執政官も架橋能力なく、橋梁僧団の援助を受け橋銭による収入を基にして数十年の後すなわち 1335年竣工したものである。

12世紀における橋梁同胞団(Fratres Pontes, Frères du Pont)は、ヴェネディクト派カトリック僧徒の集団であり、本據をイタリアのルツカにおき、諸侯の割據や打ち続く戦乱で壊れたままになっている道路や橋を修築再建し、また旅行者や巡礼者のために庵堂や避難所を造らうとする僧団であった。それは我国でも道登、行基のような僧侶や弘法大師が勧進橋を架けたり、土木拓殖の事業を起して世に奉仕したことに甚だ似かよっている。

聖ベネゼエ橋はローマ法皇領の特別地である南フランスのアウキニオン市に臨むローヌ河に牧童ブノア(後のベネゼエ上人)により 1178年起工され前後 8年を費して竣工したこの種の橋梁の初期のものであり、最も著名な橋となっている。この橋はその当時 22の拱より出来ていたにもかかわらず、洪水および戦乱で幾度か中断せられ、そしてまた修繕され、結局において現在ではアウキニオン市寄りの 4径間を残しているだけの断橋となっている。そして第二橋脚上に幾つかの奇蹟を伝える聖ニコリュウスの御堂がいまなお残っているのは如何にも中世紀の宗教的な薫りのする橋である。幅員は僅かに 5mに足りず途中で狭くなった所もあるが、それは実用上充分であったろうし、またその頃の城塞都市の一般として軍用上にも狭い方がよいとして考えられていた。また橋の中心線が一直線をなさず上流に向けて「く」の字に僅か凹凸しているのはどのような理由によるかを考えてみるに、おそらく(1)洪水に対する抵抗力を増すため、(2)戦略上の必要から、(3)当時の工事設備が甚だ貧弱であったための三つの理由によるものと思われる。聖ベネゼエ橋はローマの拱構造をよく研究してから架設せられたといわれており、ローマのものとは違って拱の曲線に長軸を上下方向にとった楕円を用いている点に新しさがあがり、また全体としての構成にも優れた美しさを感じられる。しかし僧侶の奉仕作業によるためか、その各部分の仕上げに如何にも稚拙なところのあることは否定出来ない事実である。橋の方向に「く」の字形に曲っているのは、橋脚締切工事に幾度か失敗したあげく、橋脚が一行になることを避けたためで、拱も自然迂曲して架けられたものと思われる。この橋は稚拙ではあるが、一面造型的には学ぶべき点が少くないようである。

橋梁僧団の建造した最大の橋は、この下流にある聖エスプリ橋であって、1265年から1307年に渡る長年月を経て落成し、26の拱からなる1,000mに及ぶ長橋である。この橋もまたアヴェキニヨンの聖ベネゼエ橋と同様に、恰も船の形をしたような大きな橋脚を有し、それが河を横断して点々と並んでいるところから、これを船橋の遺風とみる人が少なくないようである。しかしそれは橋脚の水切部分（上流・下流両側共）が比較的突出しているために聯想されるのであって、当時の拱は一径間毎に架設して行った関係上このように巨大な橋脚が特に必要となったもので船橋とは何ら無関係であると考えられる。

また中世紀の石造拱橋においては、橋上に屋根のある家を建てるものが少なく、それはその当時の特異性の一つでもあった。橋の上に住居を持つのはマレイ半島およびこれに次ぐ島々の水上生活を思わせるものがあるが、英国湖沼地帯のグラストンバリーの湖上聚落などは同じくこれに類するものであり、このような生活方法の一端は都市の橋の上にも現われ、また印度には木橋の上に家を構える風習もある。中世紀の石造拱橋の上の建物はある場合は要塞を兼ねており、その他の場合は純然たる商店か住居であった。

イギリスの主都ロンドンに架けられた最初のロンドン橋は橋上に商店を連ねたものとして著名である。ローマ植民地時代以来テムス河に幾度かロンドン橋は架けられて来たが、戦乱と腐朽による改造工事の繰り返しであった。古ロンドン橋として著名なこの橋は橋梁僧団に関係あるコールチャーチのピイタアが1176年廣く世の寄進を集めて着工し、その後彼の歿後（1205年）フランスの僧侶イザンベエルによって引継がれ、羊毛税を財源として1209年に竣功した。その全体は橋というよりも細長い建築群が河を横切った構造であり、20の拱がならび、両端には税関と警備を兼ねた水門を設備していた。橋上に雑然と建った家屋は商店とアパートメントであって、数回の大火災や地盤沈下により橋は痛められながらも、1735年ウエストミンスター橋の出来るまでは他橋の追従を許さず、自らロンドンの中心となったイギリスの歴史上忘れることの出来ない名橋であった。同じようなことはフランスのバリのノートル・ダム橋においても見られ、シテエの中之島からセイヌ河を渡る中世紀時代のこの橋は、橋というよりは狭い繁華な街路であって、橋の上からはセイヌ河の水が見えなかったとさえいわれている。これらの橋上に家屋を連ねたものは、都市の近代化と共に次第に改造され、現在来だに残っているものは中世紀以後発達の停止した古い都市に架設されたものであって、イタリーのフィレンツェ（フローレンス）のアルノ河に架けられたポンテ・ヴェツキヨ（古橋）などはこれの代表的なものといえる。これは14世紀の建築家ツツデオ・ガツデイの設計になる3径間（28m + 31m + 28m）の石造拱であって、幅員は34mあり、長さにおいてはすでに述べた2橋に劣るけれども幅は廣く、歩道の上には3層樓が続き、ウヒイチの宮殿からピツチの宮殿に通ずる廻廊が、アルノ河上でこの橋の3階を通り抜けている点など、如何にも中世紀の封建時代を偲ばしめるものがある。

このように静かなるアルノ河にその姿を映し、古雅愛賞すべき風情のあるポンテ・ヴェツキヨの古橋は、その構造および技術の上においては特筆すべきものがないけれども、都市計画の立場より見ると、橋梁の両側にアーケードを設けて店舗を構えたこの中世紀的方法は、現代における狭隘なる都市中心部の水面利用の一方法を暗示しているものといえよう。

図-18はフランスのローヌ河に架けられたフランス民謡で名高いアヴキニヨンの橋であり、図-19はスイスのルツェルンにおける木橋として有名なカベル橋であり、図-20, 21はスペインのトレドにおいてタホ河に架けられたサンマルチン橋とアルカンタラ橋で、中世の代表的な石造拱橋である。また、図-22はイタリアのフィレンツェ（フローレンス）においてアルノ河に架けられた家屋付きで著名なベツキヨ橋であり、図-23はチェツコスロバキヤのプラハにおいてモルダウ河に架けられたカルル橋で、文藝復興時代へ移り変わる兆しの強い橋梁として著名である。これらの図は何れも中世における著名で代表的な橋を示したものである。

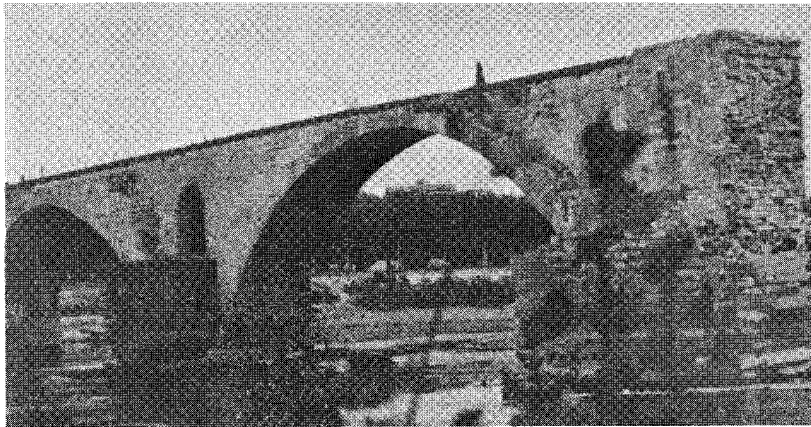


図-18 フランスのアヴキニヨンの橋 (1188)

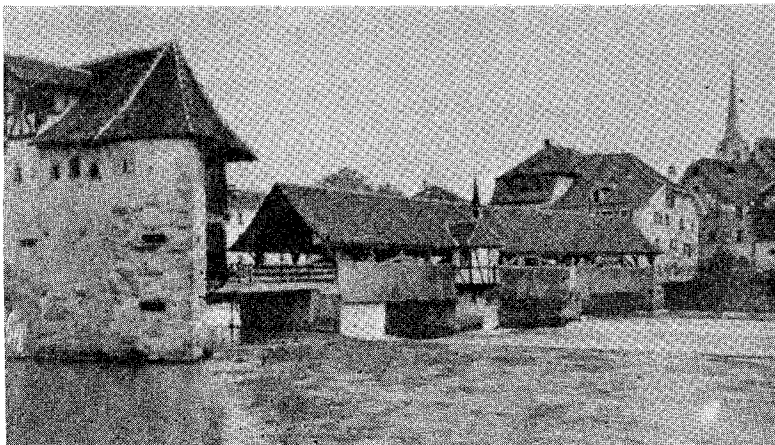


図-19 スイスのカベル橋 (木橋 1333)

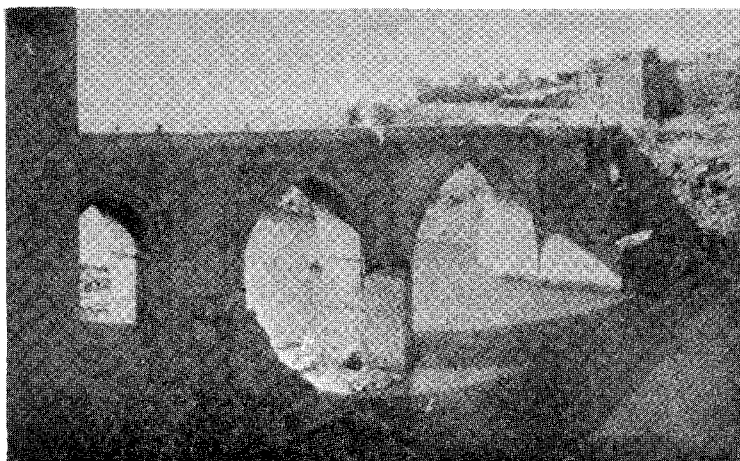


図-20 スペインのサンマルチン橋 (1212)

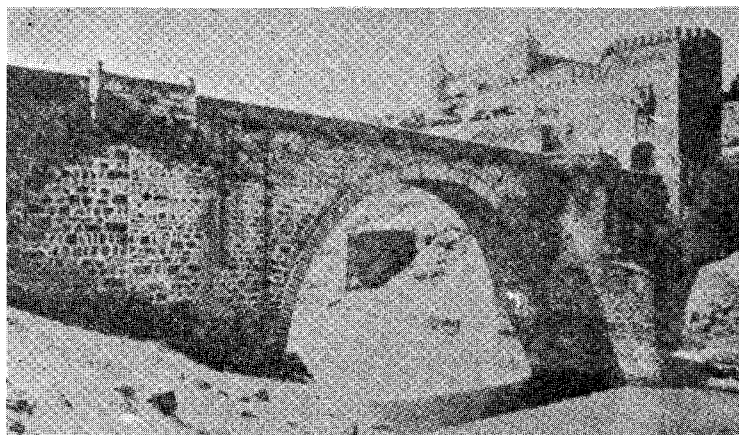


図-21 スペインのアルカンタラ橋 (866, 1380)

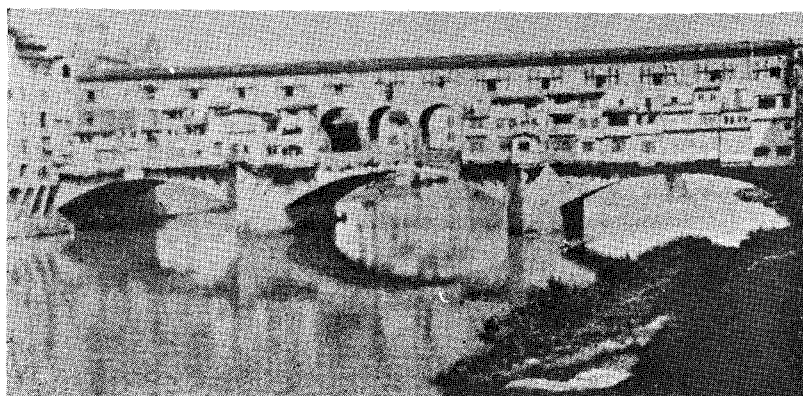


図-22 イタリアのベツキヨ橋 (1345)

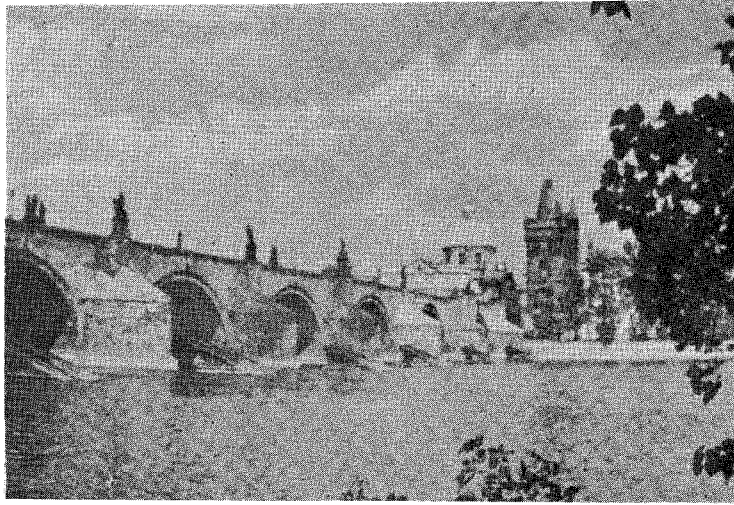


図-23 チェツコスロバキヤのカルル橋 (1357)

3. 文藝復興時代の橋梁^{4),5),9),11)}

文藝復興時代すなわち15世紀前後の石造拱橋は、本質的には中世紀の一般の諸橋と大差ないにもかかわらず、美術文学の華やかな展開を示した時代の影響が意匠ないし装飾の上に顕然としてあらわれていることは、当然のことではあるが特筆に値するところでもある。

文藝復興の中心がイタリアのフィレンツェ市に在ったと同じように、この期の代表作はやはりこのフィレンツェ(フローレンス)に残っているアルノ河の聖トリニタ橋がそれであるが、

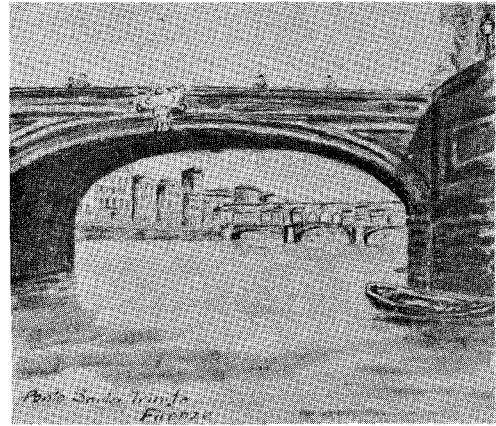


図-24 イタリアの聖トリニタ橋 (1567)

直ぐ上流に架けられているヴェツキヨとは実に良き対照を示している。聖トリニタ橋は大理石仕上げの3径間(26 m+29 m+26 m)よりなり、二つの橋脚は幾分巨大に過ぎるの感を与えるが、これは楕円形をした優美なる拱を支え、壁面の仕上げは簡潔ではあるが気品のある装飾により全体としての安定観を保ちながら軽快なる麗色を示している。これはローマ人の勇渾豪健なるに比し、封建時代における稚拙で武装した型態には全く見られない精緻曲麗なる橋梁美の極致を示しており、古今の石造拱中最上の美的傑作といえると思う。本橋は1570年竣功し、ピツティ宮殿の建築家なるバルトロメオ・アマナテイの設計によるものである。

またこれと同じ時期に架けられた著明な橋としては、水都ヴェネチアの大運河にあるリアルトの廊橋をあげることが出来よう。ミケランジェロの作品とする説もあるが、一般にはアント

ニオ・ダ・ポンテの設計であるという定説の方が有力である。1591年に架設された径間51.7mの大理石造りの橋で、アーチに沿った階段が通路となり両側には装飾されたアーケードが並び、その下には現在土産用としての美術品などの店がある。ヴェネチアの橋としてはドーチェ宮（王宮）の3階から濠を跨いで刑務所に続いている小さな橋がその有するローマンスのため著名なものとなっている。王宮で裁判されて刑務所に護送されたものは殆んど死刑に處せられたので、いわば地獄への橋であり、この橋の名は“嘆きの橋”と呼ばれている。

フイレンツエ（フローレンス）にしてもヴェネチアにしても、建築物には驚くべき傑作の数々があるのに反し、文藝復興期藝術の一端を示すべき本格的の橋梁は、厳密に言えば聖トリニタ橋が唯一つあるのみといえよう。それは丁度我国において古来、社寺佛閣その他の木造建築にその粹と精緻を盡した傑作の多いのに反し、橋梁の多くが簡単な構造で出来ていた事実を想起せしめられるところである。

イタリアの文藝復興の影響はややおくれてフランス・イギリスに及び、パリのボン・ヌウフの新橋およびロワイヤル橋などはその時期の石造拱である。ボン・ヌウフの新橋はパリのシテエに在り、全長353mで14~17mの拱を12径間連ね、橋脚は三角形水切りを付した荘重なる輪廓を持っており、イタリアの橋の優美華麗なるに比べはるかに荘麗の美を呈している。この橋の拱は楕円状をした三心円であるが、ロワイヤル橋では楕円を用いている。

この文藝復興期およびこれに続く時代の石造拱橋は、拱自身には特に変化もないが全体の設計と施工法においては革進的な進歩が認められ、それは古代ローマの的確ではあるが粗野な構造や中世紀の田舎じみた荒作りの構造に比較すると、誠に時代を劃した諸相のあることが見出されるところである。特に基礎工法の発達および石造構造法の技術的進歩が革進の基をなしているのである。この時代の石造拱橋を深く観察すれば、古代ローマの拱橋の原始的であったことが初めて感じられ、現代橋梁の基本がこの16世紀時代の橋梁技術にあったことに気づくのである。

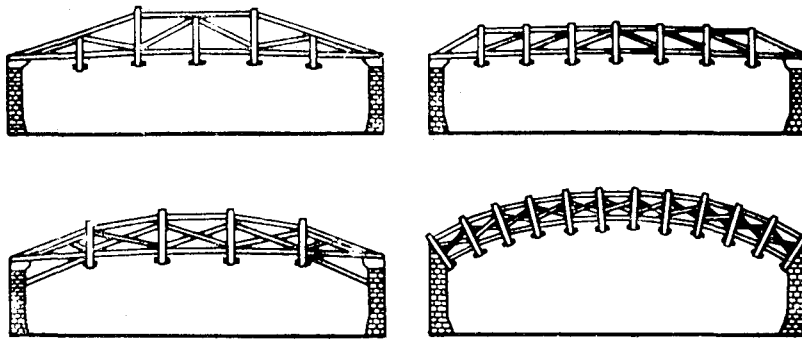


図-25 アンドレア・パラディオの発明したトラス構造

図-24 はイタリアのフィレンツェ（フローレンス）におけるアルノ河に架けられた聖トリニタ橋で、工法的にも美術的にもこの時代の傑作といわれている。図-25 はアンドレア・パラディオの発明したトラスの図であり、図-26 はイタリアのベニスに架設されたリアルト橋で、有名なアントニオの設計によるルネッサンスの香り高い代表的作品である。また、図-27, 28, 29 はフランスのパリにおいてセーヌ河に架けられたポン・ヌフの新橋、アリー橋、ロワイヤル橋で、何れもこの時代における代表的石造拱である。

このように、文藝復興時代に架けられた橋には古代・中世の時代に見られない藝術的風味が加味されたほか、トラスの発明などが特筆すべきものであろう。

3. 考 察

A. 原始時代および古代の橋梁

天然自然の岩石や樹木・竹・蔦や藤の蔓などによる天然橋のほか、映画などによく見るアフリカや南洋の探険紀行の中に出て来る土人の架けた橋などは、特別に我々の興味をそそるものがあり、原始民族の架橋方法なども想像出来る場所である。動物の架けたと想像される Monkey Bridge も吊橋の原型と考えられ大変面白いと思う。

原始時代における架橋術は全く想像の範囲と考えられるが、相当の形態を有する橋となれば、紀元前3,000年の昔すでにバビロンのチグリス河およびユーフラト河に、尖頭石造拱橋が盛んに用いられた記録は注目に値するものと思う。またエジプトのピラミッド建造にも多数の石造拱が応用されている事実が確認され、古代人のアーチ技術の偉大さが痛切に感じとられるところである。

木桁橋の始めは古代における独木橋がその原型であり、紀元前780年頃バビロンのユーフラト河に幅10mの木桁橋が架けられ、ローマのティベレ河には紀元前620年に固定橋脚を有するサブリチウス橋という著名な木桁橋が架けられたが、当時は軽舟上に木桁を載せた船橋が多く、

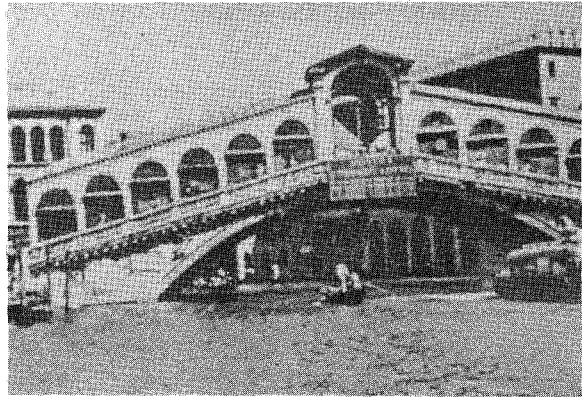


図-26 イタリアのリアルト橋 (1591)

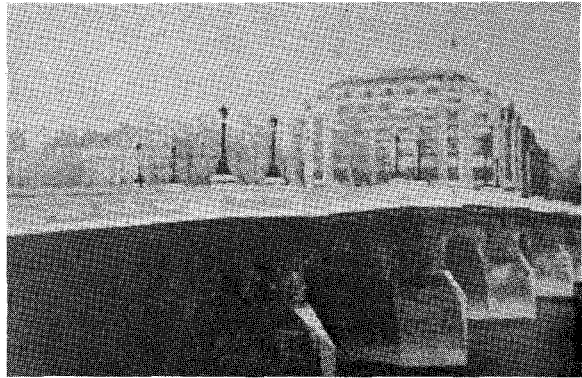


図-27 フランスのポン・ヌフの新橋 (16世紀末)

主桁の支間は 10m を越えなかったようである。その後組合桁や突桁形式の木桁が案出されたが何れも充腹桁の形式を脱せず、木構桁の出現ははるかに後年の文藝復興時代に入ってからであった。

このように石造拱橋は比較的速かに発達したが、桁橋が 19 世紀の初期鑄鉄桁の使用せられるまで多く進歩しなかったのは、桁橋に適切な材料の出現がなかったためと考えられる。また吊橋にしても、植物の蔓や竹などの利用により割合に早くから架設されているが、本格的な吊橋はやはり鉄材の出現後、すなわち 17 世紀以後に発達しており、これは当然の成行きであろう。

B. 中世および文藝復興時代の橋梁

ローマ帝国の崩壊と共に大橋梁の築造も暫らく影をひそめ、中世中期は橋の

歴史の上でも暗黒時代であって、欧州においては約 1,000 年以上の間技術的進歩は殆んど認められなかったといってもよい。モール人は北アフリカの回教民族であり、10 世紀から 13 世紀にかけて度々スペインやポルトガルに侵入・定住し、土木建築術に優れた才能を発揮して多数の橋や城・寺院などを建設している。スペインのトレド市に残る二つの橋、アルカンタラ橋とサンマルチン橋はこのモール人の残した傑作といえると思う。しかし中世から文藝復興期にかけての橋梁を全面的に批判すれば、構造上の発達は何等見るべきものがなく、単に造型美の面で多少の進歩を示したものと推察出来るところである。すなわち、ローマの石造拱が単に簡素と偉大の美を表わすのに対し、この期のものには幾多の変化と精彩とを加えたものが多いということが出来る。

いま、この期における主なる特徴を列挙すれば次の通りである。

- a). 封建戦国の時代の反映として橋梁に要塞的防禦工を施したこと。
- b). キリスト教の隆昌と共に橋梁にも礼拝堂の類を付加したこと。
- c). 都市の繁栄に伴い、橋上に家屋店舗を設けたこと。
- d). 拱軸線に曲麗優雅な曲線を用いたこと。

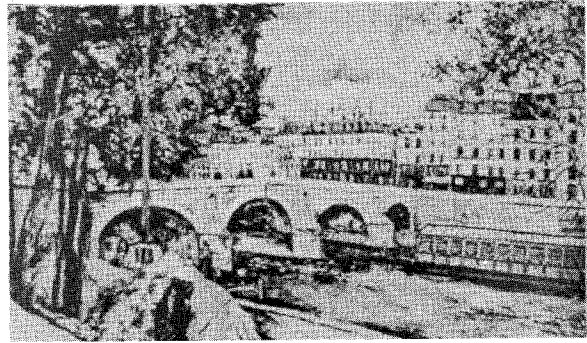


図-28 フランスのマリー橋 (1614~1634)

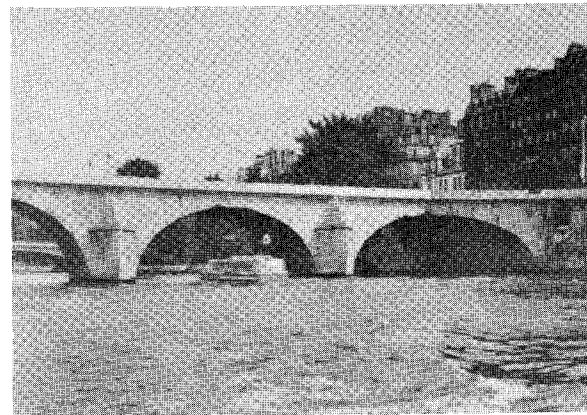


図-29 フランスのロワイヤル橋 (1685~1689)

なお、中世においてはベネディクト教派の僧侶達が「橋梁同胞団」を結成して各地に橋梁の修築も行ったことおよび文藝復興期において、レオナルド・ダ・ヴィンチ、アンドレア・バラディオなど当時の世界的藝術家達が、橋梁の意匠に心血を注いだことは特筆すべきことと思う。

C. 総括

橋は昔から公共の構造物として庶民に使用され、人類の生活文化史と共に発達して来ており、実に人間的な暖かみを内に保有しているように思う。

橋梁学者スタインマンが、橋のことを「人類の創造的努力、いかえれば美を創造する戦いおよび機械の表現であり、また人間の夢や希望や渴仰の達成であると共に、人間が自然の諸力に対して挑みかかる英雄的闘争の象徴である。」と語っている。このように、優れた橋は擬人化すれば知・情・意の均整とれた強力なる人間像を象徴するものと考えられるのである。

また橋は昔からきわめて神秘的な構造物として取扱われており、橋に関する逸話・伝説は数え切れないほどあり、特に欧州の国々には面白いものが沢山ある。これは明かに橋を造ることが如何に難しく、無事完成するためには数えられないほどの苦心と努力が積み重ねられて来ているかを物語るものであろう。

次に、欧米において前半期(古代・中世・文藝復興時代)に架設された主要な橋を列記して見ることにする。

a). 古代の橋梁

ロトー橋(イタリアのローマ、テレベ河, B. C. 46), サン・エンジェル橋(イタリアのローマ、テレベ河, B. C. 134), ファブリチオ橋(イタリアのローマ、テレベ河, B. C. 62), セステウス橋(イタリアのローマ、テレベ河, B. C. 46), ガールの水道橋(南フランス、ニーム, B. C. 19), クロジオの水道橋(イタリアのローマ), 悪魔の橋(スペインのセゴビア), 古代シリアの橋(シリア), モロッコの石橋(モロッコのマラケジュ効外)。

b). 中世の橋梁

アルカンタラ橋(スペインのトレド、タホ河, 初期 866, 後期 1380), オーシャンジュ橋(フランスのパリ, 初期 1141), アヴェキニヨンの橋(フランスのアヴェキニオン, ローヌ河, 1188), 古ロンドン橋(イギリスのロンドン, 1176~1209), サンマルチン橋(スペインのトレド、タホ河, 1212), カベル橋(スイスのルツェルン, 1333), アール河橋(スイスのベルン, 13世紀), ベツキヨ橋(イタリアのフィレンツェまたはフローレンス, 1345), バグリア橋(イタリアのベニス, 1360), アダ河橋(イタリアのテレゾ, 1377), シュプロイヤー橋(スイスのルツェルン, 1407), カルル橋(チェツコスロバキヤのプラハ, モルダウ河, 初期 1357, 後期 1503)。

c). 文藝復興時代の橋梁

ノートル・ダム橋(フランスのパリ, セーヌ河, 1505), 聖トリニタ橋(イタリアのフィレンツェまたはフローレンス, アルノ河, 1567), リアルト橋(イタリアのベニス, 1591), ポン・

ヌフの新橋（フランスのパリ，セーヌ河，16世紀），マリ一橋（フランスのパリ，セーヌ河，1614～1634），ロワイヤル橋（フランスのパリ，セーヌ河，1685～1689）。

上述の橋は古代・中世・文藝復興時代における主要なものだけであるが，このほかにも数え切れないほどの橋が架設されており，その大部分は石造拱橋と木橋であるのもこの時代の特徴である。またこれらの橋はその技術面や藝術的手法において，近世および現代における橋梁の基本となったのも事実であろう。

なお，本文を纏めるに当り，下記の引用文献に負うところきわめて多いことを付記し，各著者に対し心から感謝の意を表する次第である。

（昭和50年5月19日受理）

文 献

- 1) J.A.L.Waddell: Bridge Engineering Vol.1 2～35(1916), John Wiley & Sons.
- 2) C.C.Mehrtens: Eisenbrückenbau I, 14～59(1908), Verlag Wilhelm Engelmann.
- 3) M.A.Howe: A Treatise on Arches, 13～19(1897), John Wiley & Sons.
- 4) 土屋忠・山本修共訳：セジキク・タイラア自然科学史，1～530（1940），岩波書店。
- 5) 成瀬勝武：橋，1～205（1941），河出書房。
- 6) 成瀬勝武：橋梁，1～8（1934），岩波書店。
- 7) 大野諫：大野橋梁汎論，142～162（1932），淀屋書店。
- 8) 青木楠男・牧野喬：橋梁工学，16～21（1938），アルス社。
- 9) 鷹部屋福平：橋の美学，1～96（1942），アルス社。
- 10) 鷹部屋福平：世界橋梁写真設計図説，1～188（1931），正興館。
- 11) 来島武・成瀬泰雄：世界の橋，1～265（1968），森北出版社。
- 12) 中村作太郎：土木学会北海道支部研究発表会論文集第29号，209～214（1973）