

カンチレバー橋の歴史

The History of Cantilever Bridge *cantilever bridge, Forth bridge, cantilever **

三浦基弘** 前田 研一***

By MIURA Motohiro, MAEDA Kenichi

著者らは桁橋、カンチレバー橋、アーチ橋そして吊橋について、これら四つの形式のルーツを調査・研究してきた。橋のルーツに関する文献は西洋のものがほとんどである。それらの文献では、カンチレバー橋のみはルーツを東洋と紹介している。しかし、それ以外の形式については、ルーツを西洋としているものがほとんどである。本論文はカンチレバー橋のルーツを東洋に求め、文献調査に研究成果を加えて、その歴史的意義を明らかにするものである。

1. はじめに

本論文は、橋の形式のルーツを調査・研究したものであり、本研究会で発表した「フォース橋の隠された歴史―片持梁と渡邊嘉一」で、カンチレバー（片持梁）の形式は東洋がルーツであるとの文章を発見したことに研究の端を発している。現地に赴きフォース橋、グラスゴー大学、グラスゴー大学附属レコード・センター、ミッチェル図書館で調査・研究したことをまとめ、他のカンチレバー形式についても調査・研究した。

2. カンチレバー（片持梁）のルーツ

カンチレバー構造は片持（突桁）梁が原点である。この突桁橋は、インド、パキスタン、中国の奥地などで古くから利用された。チベットのワンジポールには 1620 年に架けられたスパン 34 メートルの橋（図 1）が、前世紀初期まで約 300 年存在していたという記録がある¹⁾。また、年代は不明であるがカシミールの首都スリナガルに流れているジェラム河に架かっていた木製の片持梁橋がある（図 2²⁾）。この橋の造り方は、杭打ち基礎の上に木船の中に石を詰め、沈めて橋脚にした。この上にヒマラヤ杉の丸太を交互に十字に積み重ね、その際上部にいくに従って丸太を長くした。最後に径間部に桁を渡した。

* **Keywords**: カンチレバー橋, フォース橋, 片持梁

**正会員 工修 東京都立小石川工業高等学校建設科教諭
(〒169-0067 東京都新宿区富久町 22-1)

***正会員 工博 東京大学大学院教授工学研究科
土木工学専攻
(〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)



図 1 ワンジポールの刳橋

その上には小さい店³⁾が立ち並んでいた。丸太で造った橋脚は、組み合わせた丸太間に隙間があるため洪水に耐え、長年存続したという⁴⁾。

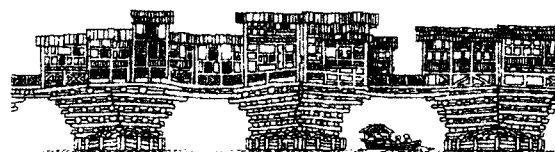


図 2 ジェラム河の刳橋

3. 日本における片持梁橋のルーツ

片持梁橋は、通常の橋のように橋脚がかけられないところに架けるものである。別名、肱木橋、刳橋、枯橋、突桁橋と呼ばれる。刳橋の原理（図 3⁵⁾）は以下のようである。

まず両岸から肱木 A を出し、下部を石 C で押さえる。

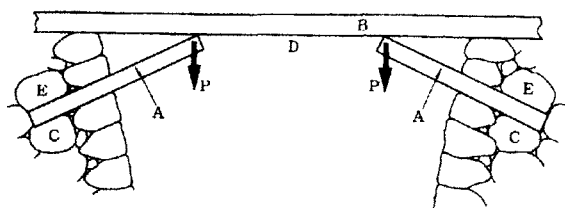


図3 刎橋の原理

両舷木の先端の空間DはAの上に桁Bを渡してふさぐ。しかし、Aの先端にはBからの力Pが働くのでAの端は撥ねあがる。これを防ぐために石Eで押さえる。これで橋脚のない刎橋ができるが、两岸の間隔が広い場合は、舷木を増やして使えばよい。

刎橋で古くて代表的なのは猿橋である。架け替えを繰り返しながら、現在も山梨県大月市猿橋町の桂川に架かっている。『和漢三才図会』(巻第34)によれば、渡来人、路子工が612年に架けたとされている。

現在の猿橋は 1984(昭和 59)年 8 月に再建され、桔木はプレート梁、露出部分は厚さ 6cm の桧材で、埋め込み部分はプレキャストコンクリートで包まれている。規模は 1851(嘉永 4)年に架けられた橋に倣って復元されている。

嘉永の橋（図4⁶⁾）の概要を紹介する。橋の全長は102

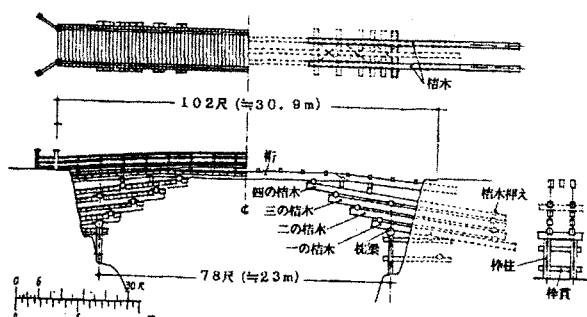


図4 猿橋（嘉永時代）

尺 (30.9m), 径間は 78 尺 (23.6m), 桔木の末口は 1 尺 8 寸 (0.55m), 桔木の長さは 39~56 尺(11.8~17.0m) で主材種は櫟である。桔木の各枕梁からの桔出し長さは 6 尺余である。

また桔木芭 4 段で 2 列、列の間隔は 6 尺 (1.8m)、各桔木や枕梁の先端には雨よけの屋根がかけられている。橋の幅は 11 尺 (3.3m) である。

4. 錦帯橋も片持梁構造を応用

日本三奇橋のひとつ錦帯橋(図57)は一見アーチ橋に見えるが構造的には刳橋の原理の応用とみることができる。この橋は岩国藩三代藩主、吉川広嘉によって1673(延宝元)年に創建された。しかし翌年春の洪水で流失、直ちにその年に再建された。

時を経て 1950 (昭和 25) 年のキジア台風による洪水で流失するまでは、架け替えや橋板の張替えはなされたものの、原型をとどめてきた。

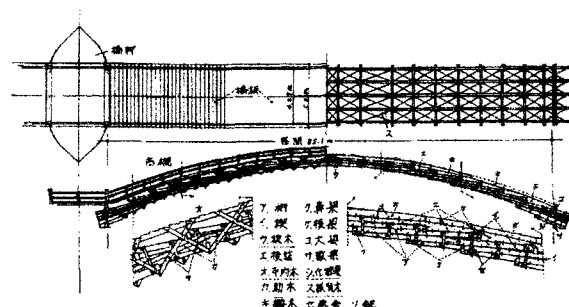


図5 錦帯橋の図面

1950 年の流失後、その原因の調査・検討の結果をふまえて 1953(昭和 28)年 5 月に再建された。これを昭和の再建といい、その後 50 年経ち、腐朽・磨耗などの老朽化が進んだため、2001(平成 13)年から 2004(平成 16)年にかけて再建工事を行った。平成の再建という。

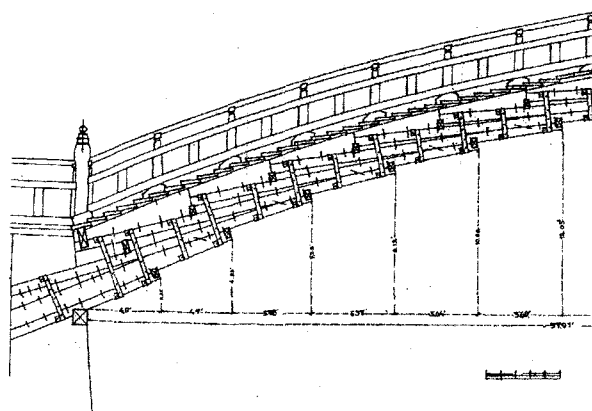


図6 錦帯橋の構造図

錦帯橋の構造図(図6⁸⁾)は橋脚から1番桁を片持ちで張り出し、これを支えに2番桁、3番桁を張り出すという江戸時代の山間部に用いられた刎橋(カンチレバー構造)を応用した迫持ち式アーチと呼ばれる構造である。

明治時代に欧米から導入された西洋式の木造アーチとは構造を異にする。西洋式アーチ橋のひとつの例は1873（明治6）年、横浜市に架けられた弁天橋⁹⁾で、設計者はCharles Shepherdである。アーチリブはかなり太く、スパンドレルには斜材が設置されていた。

5. ゲルバー梁と片持梁

カンチレバー形式を応用した構造物の最初の例は、1867 年ドイツのマイン川に架けた三径間のハスフルト鉄橋である(写真 1¹⁰⁾).

設計者はハインリッヒ・ゲルバー(1832-1912)(写真 2¹¹⁾)である。この技師の名に因んで日本では、ゲルバー梁とよんでいる。連続トラスにヒンジをいれて静定構造物にするアイディアとその妥当性に関する議論は、ゲルバーが 1866 年に特許を取得する以前の 1860 年ころからあった。その契機をつくったのがクラペイロンの 3 連モーメントによる連続桁の実用的な解法であった¹²⁾。

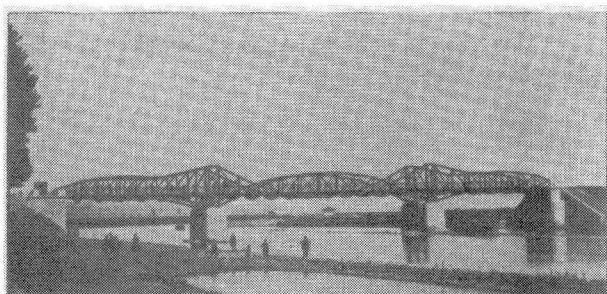


写真1 ハスフルトのゲルバー橋

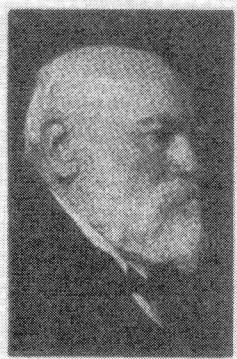


写真2 H.ゲルバー 桁 A を架け、両側の桁とヒンジで結合する。この桁のことをゲルバー桁と呼んでいる。この工法にはふたつの利点がある。ひとつは静定構造で簡単であること。もうひとつは、桁の架設が容易であることである。

ゲルバー梁はドイツ語の専門書では Gerber-Träger (ゲルバー桁), Gerber-Balken (ゲルバー梁) と表現されている。

ゲルバー橋(図7)の桁は両端の支点から中央に向かって架けられる。まだふたつの桁はつながっていない。中央に

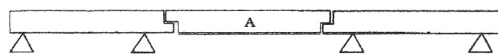


図7 ゲルバー橋の原理図

しかし、ゲルバーの英語の専門語 (technical term) は cantilever である。この呼称についてフォース橋の設計者の一人であるベンジャミン・ベーカーは次のように述べている。"When I was a student a girder bridge which had a top member in tension and the bottom member in compression over the piers was called a continuous girder bridge. The Forth Bridge is of that type, and I used to call it a continuous girder bridge; but Americans persisted in calling all the bridges they were building on the same plan 'cantilever bridge.'" ¹³⁾ (筆者訳 私が学生のころ、桁橋で橋脚のところでは上部が引張、下部が圧縮の状態になっている場合、連続桁と呼ばれていた。フォース橋はその形式なので、私は連続桁とよんでいた。しかし、そのころ同じ構造の橋を造っていたアメリカ人たちはカンチレバー橋という名に固執していたのである)。

連続梁としての利点を持ちながら、支点の不等沈下による影響を受けないように考えられたのがゲルバー橋であるのだが、ベーカーには不満だったのだろう。ひとつ

のエピソードである。

6. カンチレバー形式とフォース橋

テイ橋崩落事故後の教訓を活かし、ファウラーとベーカーは論議の末、カンチレバー式二重ワーレン型トラス橋に決定した。フォース入江の両岸と中央の岩礁に、高さ 105m の 3 基の大鋼塔を築く。この高塔を橋の方向に並んだ三人の人間にたとえると、おのおの人間が両腕を差し出すのである。腕の長さは 207m。両端は、両岸の陸地上に設けた橋脚の上におくことが可能でも、両岸と島の間は約 500m 余る。海上の部分は、お互いの腕が届かない。その間、約 100m の空間が残る。その空間にゲルバー構造を用い、両突桁の間に支間 107m のトラスを吊り架けるのである。

1887 年、フォース橋建設工事中、関係者を前に橋の人間モデル(写真3) ¹⁴⁾ を王立科学研究所で行った。それは構造をわかりやすく説明し、理解を得るためだったと思われる。中央に載っているのが渡邊嘉一 ¹⁵⁾ である。この橋の建設に日本人が監督技師として活躍していたのである。嘉一が中央に載った理由は、Hugh Douglas の著書 "Crossing the Forth" ¹⁶⁾ に次のように書かれている。

The "stress" brought to bear on Baker's human model was Kaichi Watanabe, a Japanese student of Messrs. Fowler and Baker, whose presence reminded everybody of the debt the designers owed to the Far East. (筆者訳: ベーカーが考案した人間模型に「鍾」として乗せられたのは、ファウラーとベーカーの弟子渡邊嘉一であった。嘉一がそこに座っているのは、設計者が極東の恩義 (筆者註: ルーツが東洋であるということ) を万人に思い出させるためだった。)

つまり、カンチレバー (ゲルバー) 橋のルーツが東洋にあり、東洋の恩義を誰もが思い出すようにという、設計者の粋なはからいによるものであった。

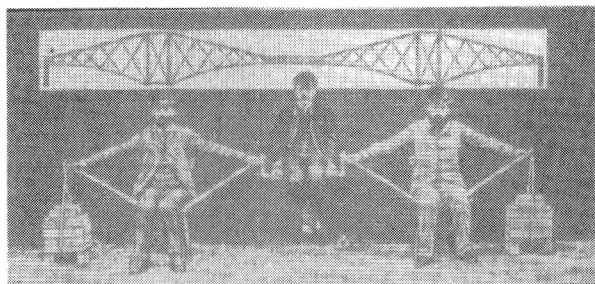


写真3 フォース橋の human demonstration

7. まとめ

数多くの文献を探索したわけではないが、カンチレバー橋のルーツは、東洋であることは間違いない。しかし文献にはインド、チベット、中国の国名はあるが日本はない。日本のことを紹介する必要はないだろうか。日本で発達した片持梁の呼び名などを整理する必要がある。

また、なぜ西洋で生まれる必然性はなかったのか、深く究明するのが今後の課題でもある。

参考文献

- 1)福田武雄,「構造力学と橋 その生い立ち」,季刊誌「カラム」NO.62 新日鐵、p.11,1976.
- 2)HeinzKurth,*Bridges,World'sWorkLTD,London*,p.3,1975.
- 3)福田武雄,「構造力学と橋 その生い立ち」,季刊誌「カラム」NO.62 新日鐵、p.11,1976.
- 4)福田武雄,「構造力学と橋 その生い立ち」,季刊誌「カラム」NO.62 新日鐵、p.11,1976.
- 5)山本宏,「橋の歴史」,森北出版、p.59, 1991.
- 6)堀越喜与志,猿橋と錦帯橋について,私家蔵版 p.3, 1990.
- 7)堀越喜与志,錦帯橋の模型製作(Ⅰ),「技術教室」NO.620 2004.3, 農山漁村文化協会、p.52.
- 8)平澤郷勇,岩國錦帯橋に就て,建築雑誌 1927 年 10 月号,建築学会、p.75.
- 9)工学会,明治工業史土木篇、p.45,1929.
- 10)Georg C. Mehrtens, *A Hundred Years of German Bridge Building*,Berlin Julius Springer,p.22,1900.
- 11) ベルト・ハインリッヒ編著 宮本裕・小林英信訳,橋の文化史,鹿島出版会、p.268, 1991.
- 12)成瀬輝男,成瀬輝男著作集,(有)成瀬橋梁研究所、p.420, 2004.
- 13)Anthony Murray, *The Forth Railway Bridge* , Mainstream,Edinburgh,p.35,1983.
- 14)Neil Upton, *An Illustrated History of Civil Engineering*, William Heinemann Ltd., London,p.110,1975.
- 15)井関九郎編著,「大日本博士録第5巻工学博士之部」,発展社出版部、pp.32-34,1993.
- 16)Hugh Douglas,*Crossing the Forth*,Robert Hale Ltd., London,p.110 ,1964.