

# 論文の内容の要旨

## 論文題名 近代吊橋における二律背反相克の歴史 ——経済性と剛性——

How Bridge Engineers have struggled with the  
"Economic Efficiency vs. Stiffness Antinomy" in the  
Development of the Modern Suspension Bridges

氏 名 川田 忠樹

人類社会に古く文明以前の時代から存在した原始的な吊橋を母体として、近代吊橋は19世紀の初頭、新大陸アメリカにおいて誕生をみた。その後200年ばかりの間にこの近代吊橋が、いかにして巨大な明石海峡大橋や、グレートベルトイースト橋を竣工せしめるまでに発展することができたか。

この間に人類が行ってきた果敢な技術的挑戦と、その過程で遭遇しなければならなかった幾多の失敗。こうした先人達の試行錯誤の跡をたどることによって、私達は多くのことを学ぶことができ、またそこから将来進むべき方向についての、貴重な示唆が得られることになる。本研究の目的とするところである。

原始的吊橋を母体として誕生したものだけに、近代吊橋はその出発の当初から

- 1) 優れた経済性
- 2) 剛性不足(揺れやすさ)

という二つの特性を、遺伝子的に内在させていた。

1) の経済性ゆえに、近代吊橋は登場と同時に速かなる普及をみせたのであるが、2) の特性である、剛性不足のゆえに事故が相次ぎ、その展開は必ずしも順調ではなく、発展はしばしば中断を余儀なくされた。そこで必要な剛性を与えようとする、今度は経済性が損われるという矛盾に直面するのである。まことに、近代吊橋長径間化への過ぐる200年の道程は、経済性と剛性という互いに相い反する理念の間を揺れ動く、二律背反相克の歴史であった。そしてこの両者がうまく折り合いをつけたところに、幾多の近代吊橋の傑作が建造されてきた。

だが残念ながら、この近代吊橋の二律背反相克の歴史に対して、20世紀末までに人類の叡知ではついに結末をつけることができなかつた。問題は21世紀へと先送りされざるをえなかつたのである。このような視点に立つものとして、本論文の構成は以下のようになっている。

### 第1章 近代吊橋の登場

ここでは最初にいわゆる原始的吊橋について述べる。不思議なことにこの段階での吊橋は、西欧世界には全く存在していなかつた。西欧世界が吊橋を知るのは時代的にかなり遅く、ルネッサンスも後期に入ってからのものである。そこからやがて近代吊橋の誕生をみるに至るが、その最

初のものが1801年、新大陸アメリカにおいてジェームス・フィンレイが特許工法として世に出した、ジェイコブズクリーク橋（スパン21m）であった。

主ケーブルには動植物系の繊維を排して鉄の鎖（リンクチェーン）を採用し、その主ケーブルから吊材を介することによって橋床が分離されるなど、それまでの原始的吊橋とはっきりと一線が画されるものとなっていた。

## 第2章 ヨーロッパでの試行錯誤

1801年にアメリカで孤々の声をあげた近代吊橋は、1810年代にはイギリスに、1820年代にはフランスにと伝えられて、更なる展開を遂げた。先ずイギリスではリンクチェーンケーブルの弱点を克服するものとして、パーチェーン（帯鉄）ケーブルが発明され、その結果近代吊橋への信頼性が高まり、スパン的には200m前後まで伸びた。

フランスは当初イギリスから近代吊橋の技術を学ぶが、独自にワイヤー（鉄線）ケーブルを発明し、特色ある吊橋を架けた。スパン的にも200m代の後半にまで伸ばしている。なおこの時代のフランスでは、まだ無補剛吊橋の取扱いに終始したが、一応吊橋解析理論の萌芽が見られる。

## 第3章 剛性付与に成功した北米の技術者

イギリス、フランスでの展開を経た近代吊橋は、1840年代ともなると再度アメリカ合衆国に帰ってきた。この時はフランス風の主ケーブルにはワイヤーが採用されていたが、こと剛性の問題についてはほとんど進歩の跡は無く、それだけにこの時代の吊橋はいずれの国においても、よく揺れて、よく壊れた。

こうした初期の近代吊橋の欠点をよく理解し、その特性を認識し、必要な剛性を与えることに成功したのが、ドイツから帰化したアメリカの技術者ジョン・ロープリングであった。彼は世界で初めて吊橋の上を鉄道が走り得ることを実証してみせた（ナイアガラ鉄道吊橋、スパン250m）。現在もニューヨークに架かるブルックリン橋（スパン486m）も彼の設計であり、その遺子ワシントン・ロープリングが架けたものである。

## 第4章 撓み理論の登場とその展開

ブルックリン橋あたりまで、近代吊橋の理論としては甚だ不備なものであった。部材断面の決定にあたって、ロープリングは模型実験により求めたと伝えられているほどである。それでも20世紀に入るとモイセイフらの手によって、合理的な吊橋解析理論としての「撓み理論」が確立されるにいたり、その結果アメリカでは、近代吊橋長径間化への動きが活発になった。

フィンレイが最初の近代吊橋を世に出してから、100年をかけても500mを超えなかったスパンが、その後の30年間で簡単に1,000mを超えたのである。

## 第5章 伏兵——風のダイナミズム

20世紀に入って、一見順調に推移したかに見えた近代吊橋長径間化への歩みには、実は思い掛けぬ伏兵が待ち伏せていた。1940年の11月、当時世界第3位のスパン853mのタコマナローズ橋が、使用開始いらい僅か4ヶ月にして風で揺れに揺れて、吹き千切られるようにして崩壊するに

至った。

原因は明らかに経済性の追求にかまけて、構造的な剛性不足におちいったことにあった。事故が不可抗力であったか否かをめぐってアンマンとスタインマンの間に確執が生じ、以後北米の橋梁界を二分する二大潮流となった。両者の思想的な差異はマッキノー橋とヴェラザノナロウズ橋という、その後に二人の架けた当時としてはそれぞれに世界最大の吊橋において端的に示されている。

## 第6章 アメリカを離れての新展開

久しくアメリカ合衆国の独り舞台であった長径間吊橋も、1960年代に入るとようやく終りを告げ、1,000mクラスの吊橋がヨーロッパでも架けられるようになった。

こうした動きの中でヨーロッパの技術者達は、吊橋の耐風安定対策としてはアメリカ流のトラスにかえて、流線形箱桁で補剛するという別の方法があることに気が付き、しかもその方が遙かに経済的となることを見出した。かくしていわゆる翼形断面（エアfoil）革命が起こり、1966年竣工のセバーン橋以降、世界の近代吊橋の方向は大きく変わる事となった。

ただセバーン橋では、あまりにも経済性を追求しすぎたがゆえに、剛性の点で大きな問題のあることが次第に明らかとなり、以後吊橋の剛性に及ぼす質量の意義が再認識されるに至っている。

## 第7章 20世紀の最後を飾った吊橋

近代吊橋が誕生をみてからの200年間の、その技術的な総決算とでもいうべき2つの巨大な吊橋、明石海峡大橋（スパン1,991m）とグレートベルトイースト橋（スパン1,624m）が、20世紀末の1998年にほとんど2ヶ月ばかりの差で相い次いで竣工をみた。

この巨大な2つの吊橋は、アメリカ流の技術のオーソドックスな継承者と、それに対するヨーロッパ流の革新的挑戦者という、際立った対比をみせてすこぶる興味深いものであるが、それにもまして両者共に近代吊橋の宿命とされてきた経済性と剛性の問題を、それぞれに克服した見事な成果であった。近代吊橋は過去に存在した問題のほとんどを解決し尽して、技術的にはほぼ完成の域に達した工法と見做されるまでになったのである。

ところがそれから僅か2年後の2000年に、竣工直後のロンドンの歩道吊橋が揺れて大問題となった。キリスト降誕2000年を祝ってミレニアムブリッジと名づけられ、エリザベス女王も御臨席になって竣工が祝われた象徴的な橋が、供用開始後僅か3日にして全面交通停止となった。やはりこの場合も、問題の原因は剛性の不足であった。

## 終章 経済性と剛性——二律背反相克の歴史は終らず

最後の終章では、このような通史的研究の意義を明らかにするとともに、経済性と剛性という二律背反の相克がいまだに近代吊橋の根幹問題として残されていることを指摘した。