

I-152 吊橋の安定度と美観について

(株) 北日本ソイル研究所 正員 中村作太郎

1. まえがき

吊橋は橋の中で最もスパンの大きな形式としてその景観美が重要視されている。古来原始民族の時代より植物のつるや竹などによつて吊橋が架けられ、山間地方の日常生活に用いられ、夢のあるロマンテツクな橋として尊重されて来た。

その後科学技術の進歩により鋼のケーブルを親綱とした吊橋が架けられるようになり、揺れを制御するため補剛桁またはトラスを取りつけた近代的吊橋が登場するようになった。近代吊橋の架設は、1700年以降であり、その解法も弾性理論からたわみ理論へと変転し、スパンは長大化する一方ケーブルや鋼材の高張力化によりその美観にも繊細味を加えるようになった。

しかし風や地震によつて災害を受けた吊橋はかなり多く、ほかの形式に比べ吊橋の不安定度の高いことは予想以上である。次に、不安定度の高い吊橋の例について述べる。

2. 吊橋の不安定性について

吊橋が風荷重により破壊したり必要以上の揺れを生じたりした各国の例について述べる。

1939年と1940年に米国において、補剛トラスの代りにプレートガーダーを補剛桁とした大径間の吊橋が二橋架けられた。その一つは O・H・Anman 氏の設計になる Bronx-Whitestone 橋 (1939) であり、もう一つは巨匠 Leon S. Moisseiff 氏の設計になる (旧) Tacoma Narrows 橋 (1940) である。この二橋とも開通直後から空気力学的不安定性を示し、Whitestone 橋では15 cm 程度の変位を示したのに対し、(旧) Tacoma 橋では少し強い風が吹くと橋床に横揺れを生じたほか、上下に1 m 以上の波動現象を示した。結局 (旧) Tacoma 橋は開通後 4 箇月の1940年11月7日に19m/sec の風速時に完全に崩落してしまつた。Whitestone 橋では開通後後間もなくある程度の補強を施したが、(旧) Tacoma 橋の事故に鑑み、1946年に在来の補剛桁の上に補剛トラスを増設したほか、塔頭から橋床に斜め索を張り現在に及んでいる。

また、Golden Gate 橋も開通後約8箇月の1938年2月9日と1941年2月11日の2回に渡り、約28m/sec の強風時に橋床に波高約60cmの波動現象を生じた。そのほか、1818年に墜落したスコットランドの Dryburgh Abbey 橋、1820年に崩壊した英国の Berwick 橋、1836年に墜落した英国の Brighton Chain Pier 橋、1840年に強風で橋床の吹き落されたフランスの Roch Bernard 橋、1854年崩落した米国の Weeling 橋等がある。

そのほか、Telford氏による1826年に開通した英国の Menai Strait 橋も、1826年、1836年に続き、1839年に風による非対称のねじり振動のため崩壊した。1869年にナイアガラ滝の下流に Samuet Keefer 氏により架けられた Niagara-Clifton 橋は、McNulty 氏により改造された後暴風のため崩落してしまつた。

我国の吊橋ではスパンの大きなものが少いため、諸外国の吊橋のように災害、事故があまりない。しかし、山間部に架けられた原始吊橋を調べて見ると、公に報道されていないものを入れるとかなりの数に登っている。

地震荷重による吊橋の被害は風荷重によるものに比べ少く、1989年の San Francisco 周辺の地震による San Francisco-Oakland Bay 橋の破壊事故は、地震災害の中では唯一のものであろう。我国における新潟地震による橋の被害は驚くべき大惨事であつたが、吊橋の架けられていなかったことがむしろ幸であつたかもしれない。

そこで、世界の主な吊橋 7橋—Humber 橋、Golden Gate 橋、Severn 橋、(新) Tacoma Narrows

橋、(旧) Tacoma Narrows 橋, San Francisco—Oakland Bay 橋 (West Bay Crossing), Bronx—Whitestone 橋 に関し、その不安定性について検討して見た。

タワーの高さ—中央スパンのグラフからは、Golden Gate 橋のタワーの高さが群を抜き、Humber 橋のスパンがタワーの低い割に群を抜いている。タワーの全鋼材重量—中央スパンのグラフからは、Golden Gate 橋のみが飛び離れて鋼重が大きくなっている。

また、補剛桁の中心間隔—中央スパンのグラフからは、(旧) Tacoma Narrows 橋のみが飛び離れて補剛桁の中心間隔が小さくなっている。Humber 橋は中位、Golden Gate 橋は上位、Severn 橋は中位、San Francisco—Oakland Bay 橋は中位、Bronx—Whitestone 橋は中位になっている。補剛桁の高さ—中央スパンのグラフからは、(旧) Tacoma Narrows 橋、Humber 橋、Severn 橋では小さく、Golden Gate 橋、Bronx—Whitestone 橋では中位で、San Francisco—Oakland Bay 橋では大きくなっている。全使用鋼材(上部構造)の重量—中央スパンのグラフでは、Humber 橋、Severn 橋、San Francisco—Oakland Bay 橋、Bronx—Whitestone 橋とも中以下で小さい。

(旧) Tacoma 橋は中央スパンに比べ、補剛桁の中心間隔、補剛桁の高さ、補剛桁の剛性とも、ほかの橋に比べ著しく小さいことが崩落の原因であり、(新) Tacoma 橋はこの欠点を改良し、それぞれの値を十分大きく設計されている。

Golden Gate 橋は、タワーの高さが他の橋に比べかなり大きい、各寸法においてバランスがとれて不安定性の心配はないと考える。ここに力学的安定美観の生じる要因があるのではなかろうか。

不安定性を改善し、安定領域に入れることが必至であり、安定性を保ちながら周囲の環境に調和した繊細なる近代的美観を創造しなければならぬ。

3. 吊橋の安定性美観論

吊橋は張力場の構造物であるから、揚風力に耐えながら力学的安定性を保持しなければならない。構造物に外力が作用していながら、移動もせずに異状の変形をも起さない状態のときに、構造物は安定であるといい、移動を起したり不当な変形を生じたりする場合には不安定であるといっている。橋の設計、架設においては、不安定な構造物を禁じており、設計時において十分安定性について検討しなければならない。

特に吊橋は橋の中でも最も変形の大きな構造体であり、設計計算においては、微小変形理論(弾性理論)によつて計算するほかの橋と違い、たわみ理論によつて計算するのが普通である。従つてかなりの変形量を許容することとなり、力学的安定度について吟味、検討しなければならない。

安定な構造体の美観は、上を渡る人間の心理的要素に支配されることが多く、老若男女を問わず推奨されてよい美観であろう。これに対し、不安定な構造体の美観は、異状感覚の好奇心に支配される破壊的美としか考えられず、橋の崩壊や大きな波動現象のともなうものであるから推奨出来るものではない。棒高とびの競技で選手がバーすれずれに成功したときの安定美に比べ、バーを落したときの不安定美を推奨出来ないのと同じである。

吊橋の崩壊事故を目撃した者が美を感じたとすれば、それは破壊美の一種であり、常人の心理からは理解出来ないものである。吊橋は長径間の橋に適し、張力を有するメイン・ケーブルの張りつめた均衡美と周囲の環境美の調和によつて、新しい美を創造することが出来る。

なお、この研究を取りまとめるに当り、下記文献に負うところきわめて多く、心から感謝の意を表するものである。

文 献

- 1) 神戸市：世界長大吊橋の設計諸元(改訂増補版)，1966. 1.
- 2) 中村作太郎：吊橋の美観論，土木学会北海道支部平成元年度論文報告集，平成2年(1990)。