

(特別講演) 長大スパン吊橋建設に対する技術上の諸問題について

建設省土木研究所 正会員 村上 永一

わが国は四面海に囲まれ、本州、四国、九州、北海道の四つの大島とこれら周囲に散在する数多くの島々から成つてゐる。戦後、復興と経済の拡充に伴つて海峡を横断する湾口を横切る交通路の建設の要請はますます強くなり、現代技術の進歩はこの要請を實現しようになつた。昭和30年には大村湾口を扼する西海橋(スパン長216mの固定アーチ)が、昭和37年には洞海湾を横切る若戸大橋(スパン長367mの吊橋)が、そして目下、大草島に渡る大草架橋—このうちスパン長300mの世界最長の連続トラス橋がある—が建設中である。また一方では本州と四国とを結ぶ架橋の調査が著力に進められてゐる。さうした中、関門道路、東京湾口架橋の調査が行なはれてゐる。

これらの海峡横断架橋は海底地形と航路幅とに制約されるので長大スパン橋を架設する必要がある。すなわち、本州四国連絡道路ではスパン長1000~1500m、また関門道路ではスパン長700m、東京湾口架橋ではスパン長1500m程度の橋の建設を必要とする。長大スパン橋として現在までに利用されてゐる橋梁形式はアーチ、カンチレバー、トラス、吊橋であるが、アーチ橋ではKyll van Kull 橋の504m、カンチレバートラスではQuebec 橋の548mが最長スパンである。吊橋ではスパン長500m以上のものは18橋しかなく、その最長はVerrazano Narrows 橋の1298mである。これらの海峡横断橋の形式は吊橋がその対象と考えられる。

スパン長1500mの吊橋を架設するといふ事は明石海峡を渡るとするに等しい。その主塔の橋脚基礎は水深50m、潮流9ノットの底に、且70m以上の大きな土台を必要とする。地盤固く、ある条件下のみに設計上に種々の困難があるが、かりとなく、その施工に多くついでとある。これは長大スパン吊橋建設における技術上の課題と対策を挙げておく。

- (1) 長大スパン吊橋(上部構造)の設計施工
- (2) 長大スパン吊橋の耐川安定性
- (3) 長大スパン吊橋の上部からみた下部構造の断面設計
- (4) 深海、巨大基礎工法

1. 長大スパン吊橋(上部構造)の設計施工

わが国は367mの吊橋の経験の上に立つて、1500m級の吊橋を設計に架設しようとするのである。アメリカの1300mの吊橋を架設した後の1883年に完成した近代吊橋といふBrooklyn 橋(スパン長486m)以来80年にわたるその実績があり、ときには矢張にその偉大な経験と技術の進歩の成果でもある。わが国は矢張にその経験と技術を用ひて、一躍この記録的スパン長に、むしろ十分確信をもつてゐる。この吊橋を支える主塔をさすケーブの鋼線効率の上から、平行鋼線ケーブルの架設を必要とする。この方法が空中航線法である。アメリカでは常規となつてゐるエ

法であるが、イギリスの Forth 道路橋 (1964 年, スパン長 1006 m) で実施される。これはアメリカより一歩も前をなすものではない。イギリスはアメリカの技術指導のもとに実施している。このケーブル架設を記録的スパンの吊橋で実施し、台座や塔、支柱風による悪条件を処理しなければならない。ケーブルを構成する鋼線や主塔、補剛トラスの材料の問題、吊橋全体の基本構造、その各部の部分構造、部材の接合法など設計および材料に関する問題が多い。さらに材料を吟じ、製作の精度を向上し、これを現場で組立架設する上からいって、その費用がすばるに巨大であることに気づくであろう。例として、小規模の場合には問題がなかったが、規模が巨大であるために累積される影響を考慮しなければならない。このような問題が台座や塔の架設の可能性を左右するものであり、橋の経済性を大きく左右するものである。すなわち 1500 m 級の吊橋で補剛トラスを各部の重量 1 t を要する下ではケーブルの重量を 1 t 増加する必要があると云われ、床部の鋼材や薄板の鋪設を使用する意義は長大吊橋にのみ残る様々である。

2. 長大スパン吊橋の耐風安定性

吊橋は主塔の間に張り渡された柔軟性のあるケーブルの張力によつて支えられる構造である。鋼材の引張強さが十分に利用され、長大スパンを経済的に渡りうる橋梁形式である。吊橋のケーブルは荷重により大きく変形し、外力の作用とその影響が能力限になじむ方向に変形する。吊橋の応力解析の変位による利便に着目し、変形を考慮した応力解析を行つたのは 1888 年オーストリーのヨコフ・メランである。モイセイフはこの理論を実際に利用したのは 1909 年の架設されたマニハ・タン橋 (スパン長 448 m) である。

これにより長大スパン吊橋の設計がより容易になり、より経済的になり、スパン記録は急速に伸びて 1936 年にはスパン長 1280 m の Golden Gate 橋が完成した。

このことからこの理論が極度に利用されると補剛桁のいない吊橋にまで発展するもので、George Washington 橋 (1931 年 スパン 1067 m) はその一例である。1940 年完成した当時世界を3度つ長大吊橋であったタコマ橋 (スパン長 853 m) はモイセイフの設計により繊細と思われる美しい橋であったが、開通後わずか4ヶ月で、風速 19 m/sec の風によつて崩壊したものである。この吊橋の耐風安定性の問題が、1889 年タイマのクリフト吊橋の事故以来現代吊橋は存在したまゝの過信をくつがえして、前記の如く打ちえられ、多数の研究がなされ、多くの研究が行なわれ、その現在に至るまで、117 年有効な耐風設計理論の確立をみよつておらず、風洞模形実験による空気力学的諸作用を検討、断面形状の修正を繰り返して設計を進めていかなければならぬ現状がある。

一方わが国は台風が主要な地域にある。常に台風は 60~80 m/sec の風速が予想され、これはマキナック橋の 35 m/sec でバ・橋の 45 m/sec に比較すると 20~100% 程度に相当する。風の吊橋に及ぼす影響はスパン長の二乗に比例して増大するといわれ、スパン長の長大なことは、設計風速の大きい環境条件にあることのため耐風安定性の問題は容易な問題である。

3. 長大スパン吊橋の上部ならぬ下部構造の耐震設計

わが国の特長な環境条件と地震の影響を考慮しなければならぬ点がある。諸外國の長大橋に於いては一般に地震に対する考慮はほとんどなされてゐない。なされたとしても水平震度0.1以下でチエック程度のものである。わが国に於いては水平震度0.2~0.3を考慮するものが普通である。この設計条件はたしかに厳格に、殊に下部構造は自重が重なるのにその影響を設計するのを正確に巨大な下部構造ではその可能性を十分に検討する必要がある。

長径間橋梁や細長い塔のように固有振動周期の長い構造物では従来の震動法による静的設計は適当でなく動的解析が必要となる。地震時に生ずる吊橋の動的応答を求めよには二つの方法がある。第一は解析計算によるものであり、第二の方法は模形実験によるものである。解析計算には吊橋の振動をそのモードに分解し、地震動に対する各モードの応答を求め、それを合成して全体としての動的応答として地震荷重を求める方法と吊橋と適当な力学モデルに置換し、個々の地震動波形に対する応答を計算し地震荷重を求める方法とがある。前者は各モード間の互相作用を無視してゐるため、後者は数値計算の過程における積分誤差の累積のため、正確を期したくない。一方模形実験に於いては地震動波形の再生が困難であり、各部にわたって実際に相似な模形を製作することもむづかしい。

したがって現状では解析計算と模形実験の両者を併用して地震時に生ずる動的応答を求めることが望ましい。このため土木研究所に於いては全長30mの模形の主塔、アンカラー、タビ、任意波形の地震動を加振する振動台と設備し実験を開始してゐる。

下部構造に対する地震動の影響は更に複雑である。基礎を含めた下部構造は力学的に相似な模形をつくり、定量的な実験を行うのは多く困難を伴ふものである。その地震時の動的応答を求めよには下部構造と適当な力学モデルに置換し、基礎の振動を測り、若しくは地震動波形を与えてこれに対する応答を計算し地震荷重を求める方法とがある。この場合、基礎が振動を測り、若しくは物理特性や基礎上に於ける土の物理特性などによって変換して表すという方法とがある。殊に巨大な基礎を測ることは、変換する地層の特性を正しく評価し、実物とよく相似する力学モデルをいかににつくることが大きな問題となる。

上述は上部構造、下部構造とに分けての解析であるが、基礎を含む全構造を一つの力学モデルに置換し、基岩に地震動波形を与えて、これに対する応答を求め、各部の地震荷重を測るような試みとがある。ターカス橋では基岩を周知と考へ、その土の基礎が振動する、主塔を一つの力学モデルに置換し、基岩にエルセントルの地震の1/2の振幅を与えてゐるが、これはエルセントルの地震波形が沖積層の上層に最大振幅と記録されることより、基岩にその1/2程度であらうと想定したためである。わが国の地震動の測定はほとんど沖積層に於けるもので、基礎が振動するところを基岩がどう程度地震が作用してゐるか、また基岩上の周知の土砂が振動するかどうか大きな問題となる。さらに基礎の一部が隆起し、基礎構造が部分的な運動をするところとがその挙動の解析が大きな課題となる。

4 深海 巨大基礎工法 (以下略)