

外95-49

早稲田大学大学院理工学研究科

# 博士論文概要

## 論文題目

斜張橋の支間長大化計画における  
構造特性の影響に関する研究

申請者

遠藤 武夫  
Takeo Endoh

1995年 12月

斜張橋は、塔・ケーブル・桁の3つの部材から成る橋梁形式で、支間割り、使用材料、塔形状、ケーブルの配置・定着方式、桁の形状・支持方式など、種々の組合せによって多様な構造をとり得る設計自由度の高い橋梁形式である。 Monument性の強い高い塔、拡がるケーブルとそれに支持された軽快な桁は、優れた造形美を創造し得る要素となり、さらに、その力学的合理性により経済性の面でも優れ、小規模な歩道橋から大規模な海峡横断橋に至るまで、その適用範囲は広く、特に近年長支間化の傾向が著しい。しかし、設計自由度の高い構造であるが故に、構造特性を十分に把握し、架橋条件に適した設計・施工法を決定する必要性は他の橋梁形式に比べて高く、設計諸元の設定には高度な判断が要求される。

本研究は、斜張橋の長支間化を図る上での課題を抽出し、その課題の解決策を見出すとともに、1000m級の斜張橋の実用性を追求することを目的としたものである。

研究を行うにあたっては、モデルとして本州四国連絡橋海峡部橋梁17橋のうちで、最後に建設に着手されることになった中央支間長890mの多々羅大橋を対象に、実証的に研究をすすめた。

本研究は全6章から成っており、各章の概要は次のとおりである。

第1章は序論であり、まず本研究の背景と目的について述べ、本研究が本州四国連絡橋事業の推移と密接に関係し、事業計画を取り巻く経済・社会の変動が、海峡部橋梁の橋梁計画を見直す要因を生み、本研究が必要になった経緯に触れている。次いで本研究の要旨を述べ、本研究の成果として世界最大の斜張橋となる多々羅大橋が実現され、現在建設中であることを述べた。

第2章では斜張橋の現況と長支間化を図る上での課題について概説した。まず、近代斜張橋発展の推移について触れ、最近40年間ほどの間に斜張橋の技術が急速に発展した要因は、構造解析技術、施工管理技術の進歩および高強度ケーブルの開発にあり、従来、吊橋の領域と考えられていた支間長の橋梁にも斜張橋が採用されている現況を述べた。次いで、内外の主要な斜張橋の技術的特徴を述べるとともに、使用材料、構造形式および施工法の変遷を概括し、斜張橋の長支間化を図る上での課題として、耐風性および耐震性を確保するための構造計画や耐荷力の評価などの課題を抽出した。

第3章では、長支間斜張橋の構造特性を検討し、中央支間長1000m級の斜張橋の構造形式を決定するための指針について論述している。長支間斜張橋の実用性について、500mから2000mまでの支間長の橋を対象とした7ケースの試設計をもとに、同規模の吊橋との比較を行い、両者の構造特性の変化を調べ、さらに、経済性の面からも比較検討を行った。その結果、現時点で実用化し得るのは、既往の斜張橋に比べて構造特性の急激な変化が見られない1300m程度までで、これ以上の支間長では、基礎地盤条件にもよるが、斜張橋の吊橋に対する優位性は薄

らぐものと判断できる。この検討結果を踏まえて、実用化し得る1000m級の斜張橋の構造形式について、多々羅大橋をモデルに研究を進め採用すべき構造形式に關し次のような指針を得た。

- (1) ケーブル定着形式：他定・自定の2形式を詳細に検討した結果、長支間斜張橋で問題となる桁軸力については、一部他定式が有利であるが、この形式は架設工法およびケーブルの疲労等に問題が残ることから、この程度の規模では自定式が妥当である。
- (2) 側径間形式：側径間の剛性は橋梁全体の挙動に大きく影響する。中央径間の桁の鉛直たわみ、定着ケーブルの張力変動、側径間の曲げモーメントを小さくするためには、側径間比は小さい程良いが、過小の側径間比は端支間に大きな負反力を生じさせ、何らかの負反力対策が必要となる。この場合、側径間に中間橋脚を設けることが出来れば、小さな側径間比の効果を活かしつつ負反力を小さく出来るので、有効な対策となる。
- (3) ケーブル配置形式：マルチケーブル形式で定着構造の配置が可能なファン形式とハープ形式を比較すると、ケーブルの支持効率の向上と桁軸力の軽減の面からファン形式が有利である。
- (4) 塔形式：塔高の影響を受けるケーブルおよび桁を含めた全体工費が最小となる最適塔高比は、0.19付近にある。塔の断面形状は、塔の剛性がケーブルや桁の断面にあたえる影響が小さいので、耐風安定性・耐荷力など、塔自身の問題から決めることが出来る。
- (5) 桁形式：トラス桁と箱桁の2形式が考えられるが、構造特性、経済性の面で両者間に有意差はなく、桁形式は架設工法、維持管理など他の要因から決めることが出来る。
- (6) 橋軸方向固定法：種々の固定法があるが、桁の断面力、橋軸方向の移動量を比較した結果、多点弾性支持方式が総合的に優れている。
- (7) 解析手法：斜張橋の構造解析手法で問題となるのは斜張橋の幾何学的非線形挙動の評価方法で、微小変位理論による解析、線形化有限変位解析および大変位解析を比較した結果、影響線や重ね合わせの原理が適用出来る線形化有限変位解析が、実用上妥当な解析手法である。

以上第3章での研究により1000m級の長支間斜張橋の実現の可能性が示され、その構造形式についての指針が得られたが、既往の支間長を一挙に倍増することになるため、その安全性については十分な照査が必要である。

第4章では、第3章において照査、検討が必要とされた事項について、さらに詳細な解析と大型模型等による実験を実施し、その結果に考察を加えた。

- (1) 全橋の耐荷力：弾性域内についての微小変形理論による弾性骨組解析と耐荷力についての有限変位理論による弾塑性骨組解析および縮尺1/50の全橋模型を用いて載荷試験と破壊にいたるまでの耐荷力試験を実施した結果、数値計算

値と実験結果が比較的良く一致し、弾塑性骨組解析により全体耐荷力および座屈発生位置を十分に把握出来ることが確認出来た。

(2) 耐風性：[桁]縮尺1/40の2次元部分模型、縮尺1/70の3次元全橋模型による大型風洞実験により耐風安定性を確認するとともに、縮尺1/200の地形模型実験を行い、地形の影響を受けた気流による橋体の挙動についても検討を加え安全性を確認した。

[ケーブル]長大ケーブルで問題となるレインバイブレーションについて、空力的対策を中心に風洞実験を行い、抗力係数が円形断面と同程度で制振効果のあるデインプルタイプのケーブルを提案した。

[架設中]バランスング架設中の安全性について風洞実験を実施し、架設時設計風速では、制振対策を採らなくとも応力的に問題となる振動が発生しないことを確認した。

(3) 耐震性：長支間自定式斜張橋は、橋軸方向地震により同方向へ大きな慣性力が働くため、橋軸方向の固定方法は橋の耐震性と直接結びつく。弾性固定法は、完全固定法に比べて橋軸方向の固有周期が長周期化され入力を小さくすることが出来るため、長支間斜張橋では特に有利な固定方法と考えられる。ここでは、「塔部2点弾性固定法」を採用した長支間斜張橋について長周期地震、位相差地震、短周期地震および巨大地震を対象に、時刻歴応答解析等を用いて耐震性を検討した。その結果、変位、断面力は常時または暴風時の値を下まわり、地震力が部材断面を決定することはなく、塔部2点弾性固定の自定式斜張橋は良好な耐震性を有することを確認した。

(4) 疲労：ケーブルやケーブル定着部には活荷重、温度変化、振動により、張力変動や曲げ変形が繰り返し生ずるため、既往のデータが少ないケーブルの曲げ疲労試験および複雑な溶接集成構造となるケーブル定着部の疲労試験を行い、疲労特性を把握するとともに構造上の改善策を検討した。また斜張橋の主桁は、橋軸方向だけではなく橋軸直角方向にも比較的大きな曲げを受けるため、扁平な鋼床版箱桁を採用した場合、ダイヤフラムには桁の腹板としての応力が作用する。このことに注目した疲労試験を実施し、疲労特性を確認した。

(5) 施工誤差と精度管理：斜張橋は高次の不静定構造物であるが、塔・桁の形状・応力状態を、ケーブル張力の調整によって改善出来る特徴を有するので、施工誤差を少なくし設計時に設定した値を確保するためには、施工時の精度管理が重要となる。そこで、生口橋の実態を踏まえて、誤差要因の分析を行い、その影響の程度を把握し、長支間斜張橋の精度管理について考察を加えた。

第5章では、第3章および第4章の研究成果をもとに、1000m級の斜張橋の構造形式として本研究でモデルとした多々羅大橋の実施設計を示した。

最後に第6章では、本研究の結びとして、1000m級の斜張橋実現の成果を踏まえて、斜張橋の将来性と長支間化への展望を述べた。