

# 長大吊橋複合主塔の橋軸方向面内の終局強度特性

首都大学東京大学院      学生会員    〇関   裕太  
首都大学東京大学院    フェロー会員   野上   邦榮

## 1. 目的

わが国では、本州四国連絡橋プロジェクト終焉後、吊橋を中心として、大規模海峡横断橋プロジェクトが検討されてきた。また海外では、トルコのイズミット大橋や第3ボスポラス海峡大橋建設など長大橋プロジェクトがいまだに存在している。今後も新規の長大橋建設が進められ、その実現へ向けた地道な技術開発が必要であり、さらなる長スパン化、経済性、施工の合理性が要求される。

特に吊橋主塔は、安全性、耐久性、経済性の立場から、新形式、新構造および新材料に関する研究を進める必要がある。わが国の明石海峡大橋や瀬戸大橋などの長大橋や、米国のほとんどの長大橋は鋼製主塔である。一方、欧州のグレートベルトイースト橋やハンバー橋のような世界を代表する吊橋ではコンクリート主塔が採用されている。これまで日本で鋼製主塔のみが用いられたのは、地震が多発し、地盤が比較的弱いいため軽量の主塔が望ましかったこと、米国の架橋技術の伝統を継承したことによっている。

鋼とコンクリートの双方の特長を生かした構造に複合構造がある。この複合構造を吊橋や斜張橋の主塔に用いられた実績はないが、構造的にも経済的にも実現可能であるという報告がある<sup>1), 2)</sup>。したがって、吊橋主塔にこのような複合主塔の選択が考えられる。このような背景から、本研究では3径間吊橋を対象に、その主塔に複合構造を採用した際の橋軸方向面内における弾塑性挙動及び終局強度特性を数値解析によって明らかにし、複合主塔の有効性について検討する。

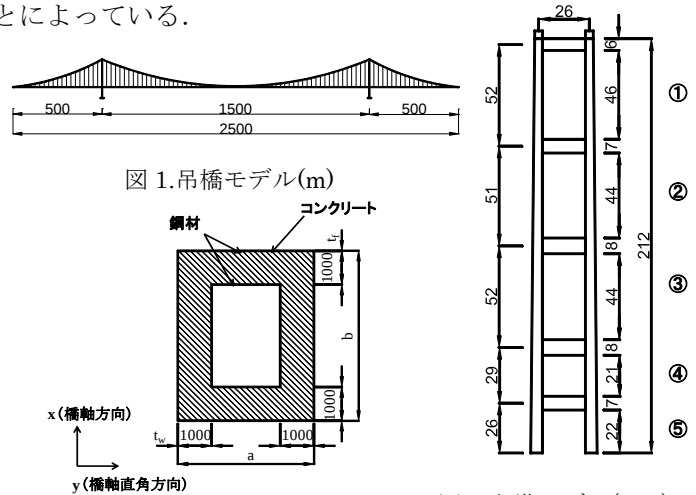


図 1.吊橋モデル(m)

図 2.主塔モデル(mm)

図 3.主塔断面(m)

## 2. 対象吊橋

対象とする橋梁は、本州四国連絡橋設計基準に基づいて、応力度照査ならびに座屈安定照査を満足するように試設計された、中央径間 1500m、径間比 1:3:1、サグ比 1/10 の、図 1 のような 3 径間 2 ヒンジ吊橋<sup>3)</sup>である。補剛桁は一室箱型断面のものをを用いる。主塔構造は、図 2 のようなサドル部を含む塔高 216m の 5 層ラーメン形式である。複合主塔の断面は、図 3 のような鋼製型枠の中にコンクリートを充填したサンドウィッチ構造の合成箱型断面である。壁厚は 1m と均一であるが、塔頂部に向かって変数  $a$ 、 $b$  の寸法が減少していく中空変断面である。表 1 に主塔の断面諸元を示す。また、試設計の段階のため、同クラスの吊橋を参考に主ケーブルとハンガーケーブルには ST1570、補剛桁には SM490Y を導入した。

表 1. 主塔断面諸元

| 塔柱位置       | 断面寸法                     | 断面積                                     |                          |
|------------|--------------------------|-----------------------------------------|--------------------------|
|            | ウェブ板厚×フランジ板厚×橋軸直角×橋軸(mm) | $A_g$ (mm <sup>2</sup> )                | $A_c$ (mm <sup>2</sup> ) |
| 塔頂部        | 9×9×4000×5000            | 252000                                  | 13748000                 |
| ①          | 9×9×4274×5274            | 271728                                  | 14824272                 |
| ②          | 9×9×4760×5760            | 306720                                  | 16733280                 |
| ③          | 12×12×5245×6245          | 455520                                  | 18524480                 |
| ④          | 12×12×5625×6625          | 492000                                  | 20008000                 |
| ⑤          | 16×16×5880×6880          | 688640                                  | 20831360                 |
| 塔基部        | 16×16×6000×7000          | 704000                                  | 21296000                 |
| 鋼材: SM490Y |                          | コンクリート: $\sigma_{ck}=58.8\text{N/mm}^2$ |                          |

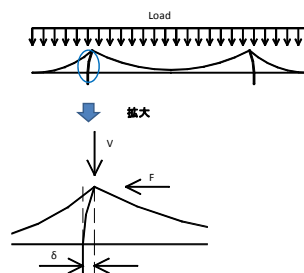


図 4.吊橋全体挙動

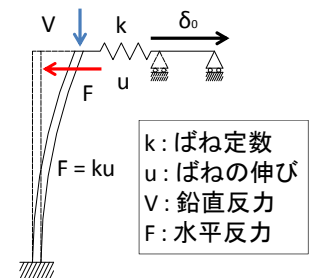


図 5.主塔ばねモデル

キーワード：吊橋，主塔，複合構造

連絡先：〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 Tel.042-677-1111

### 3. 解析手法

本研究では、主塔単独での橋軸方向の耐荷力を明らかにすることを目的とするため、実際の挙動を再現するような主塔モデルを構築する必要がある。吊橋主塔の頂部には図4のようにケーブルを介して大きな鉛直反力 $V$ と変位が発生するとともに、ケーブルの拘束力により水平反力 $F$ が作用する。主塔の終局強度特性はこれらの変位、鉛直反力 $V$ 、水平反力 $F$ の關係に依存するため、これらの相關性を再現できる主塔単独モデルは図5のような主塔ばねモデルである<sup>4)</sup>。ばねモデルの耐荷力解析は図7の解析手順で行う。主塔の剛性を無視した吊橋全体系解析によりケーブルばね定数 $k$ を決定し、鉛直反力 $V$ と水平変位 $\delta_0$ の非線形關係は、図6のような常時荷重(死荷重 $D$ +活荷重 $L$ )の作用により算出した。その結果、ばね定数は $k=52400\text{kN/m}$ 、 $V$ - $\delta_0$ 關係式は、後述の図9に記した。

図5の主塔単独モデルの耐荷力解析には有限要素解析ソフトMARCを用いた。材料構成則は、図8に示すように、鋼材はバイリニア型、コンクリートは圧縮域が非線形曲線、引張域がひずみ軟化領域を持つ5節点近似曲線である。これはコンクリート標準示方書<sup>5)</sup>に規定されている応力-ひずみ曲線を近似したものである。

### 4. 終局強度特性

図9は、複合主塔の強制変位 $\delta_0$ 、鉛直反力 $V$ 、水平反力 $F$ の關係を表したものである。鉛直反力が増加し、ケーブルの拘束により塔頂部に水平変位が生じると、はじめに水平反力は正の値を示し、その値は増加していく。しかし、ある変位にまで至ると、塔頂部にかかる鉛直反力 $V$ により曲げモーメントが増加し、水平反力 $F$ は減少していく。さらに塑性やひずみ軟化が起きると主塔の剛性は失われ、弾性解析の経路をはずれ急激に $F$ の値が低下する。

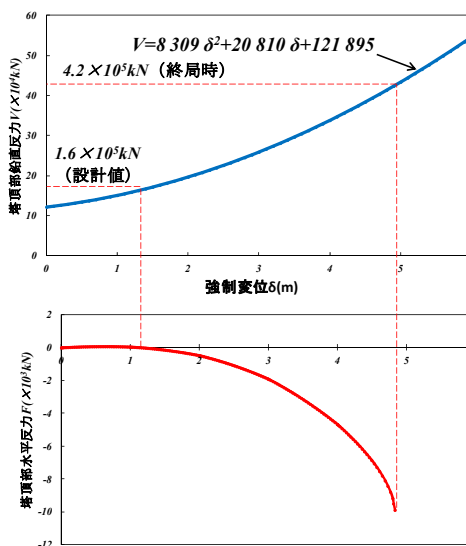


図9.主塔の $F$ - $V$ - $\delta$ 關係

$F=0$ を経過し、負の値を示すと、正のときとは逆に、ケーブルが塔頂変位の増加を防ぐ働きをすることになる。今回の試設計において、設計鉛直反力は鋼製主塔と同様に $F=0$ 付近になるように設計されている。やがて $F$ の解は $F=\infty$ に近づき終局に至る。終局時の鉛直反力は、 $V=4.2 \times 10^5\text{kN}$ となり試設計の $V=1.6 \times 10^5\text{kN}$ の約2.6倍である。

### 5. 結論

長大吊橋の複合主塔の橋軸方向面内の弾塑性挙動を明らかにし、複合主塔への主塔ばねモデルの適用性が確認できた。また、終局強度に着目した場合、試設計のそれと比べると2.6倍となり、十分な安全性がある。一般に主塔は $F=0$ 付近になるよう断面設計されているが、安全率が高いことから、 $F<0$ の領域で設計できる可能性がある。

### 参考文献

- 1)中村：鋼・コンクリート合成主塔の長大橋への適用，構造工学論文集 Vol.46A，2000，2)中村，加藤：鋼・コンクリート合成主塔の斜張橋への適用，構造工学論文集 Vol.48A，2002，3)神，津村，高尾：長大吊橋における複合構造主塔の試設計 土木学会全国大会 2000，4)本州四国連絡橋公団：吊橋主塔設計要領・同解説，1988，5)コンクリート標準示方書「平成8年改訂」，土木学会

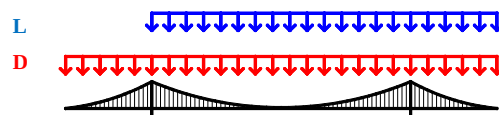


図6.全体系解析

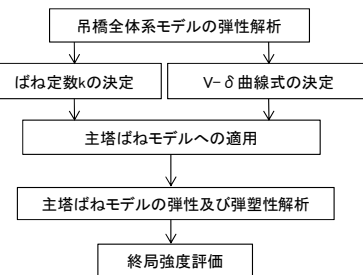


図7.解析フロー

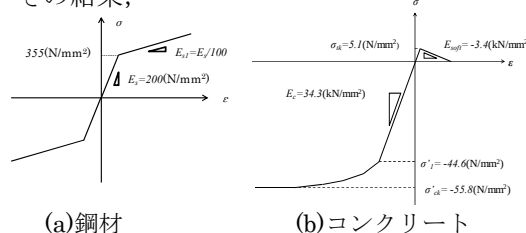


図8.構成則

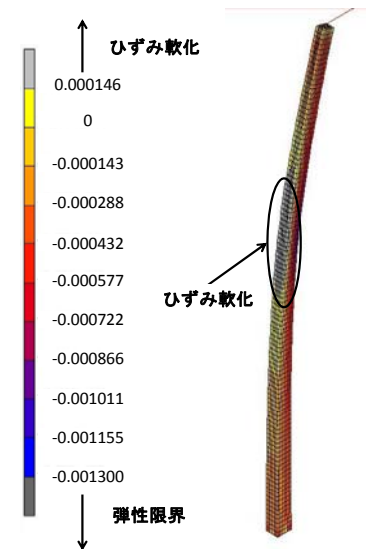


図10.終局時ひずみ状態