

超長大吊橋における鋼製および複合主塔の橋軸方向面内の耐荷力特性

首都大学東京 フェロー会員 ○野上 邦栄
 首都大学東京 学生会員 佐久間圭吾
 ((株)) 長大 正会員 池田 虎彦
 長岡技術科学大学 正会員 長井 正嗣

1. はじめに

本州四国連絡橋プロジェクト終焉後、わが国では吊橋を中心とした、さらに規模の大きい海峡横断橋のプロジェクトが検討されてきた。今後、その実現へ向けて更なる長スパン化、経済性、施工の合理化などが要求される。長スパン化と経済性の立場からは吊橋全体の新しい構造形式が検討されている^{1),2)}。長スパン化において、これまでは3径間2ヒンジの重連構造形式が取り上げられてきた。しかしこの場合、基礎設置場所の水深が深くなることで、塔やアンカレイジなどの基礎の増大や施工性の問題により大きなコストがかかる。そこで新たに巨大な中間アンカレイジを不要とする多径間吊橋が注目されている。

また、吊橋主塔については、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開発研究がある³⁾。わが国の長大吊橋では、これまでの実績から設計基準が明確であり、軽量でフレキシブルである鋼製主塔が採用されてきた。しかし、吊橋主塔の新構造形式の選択肢として鋼とコンクリートの双方の特長を活かした複合構造が考えられており、その代表的なコンクリート充填角柱鋼管(CFT)はコンクリートを充填することで鋼管の座屈を遅らせ強度が向上し、コンクリートの型枠が不要なため、施工の合理化にも繋がるとの報告がある。

このような背景から、本研究では代表的多径間吊橋として4径間超長大吊橋を対象に、その主塔に鋼製および複合構造を採用した際の橋軸方向面内の弾塑性挙動及び終局強度特性を数値解析により明らかにし、終局強度の立場から比較検討する。

2. 対象とした吊橋

対象橋梁は、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3000m、径間比1:2:2:1、サグ比1/10の、図1のような4径間2ヒンジ吊橋である。補剛桁は一室箱型断面である。主塔構造は図2のようなサドル部を含む塔高369mの6層ラーメン形式である。鋼製主塔は、図3のような多室箱型断面を有しており、基部から頂部に向かって、変数 a の寸法および板厚が減少していく変断面である。なお、解析では、鋼材の縦リブに関しては板厚に換算している。また、複合主塔は、図4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。

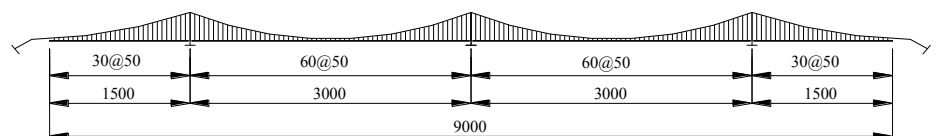


図1.吊橋モデル

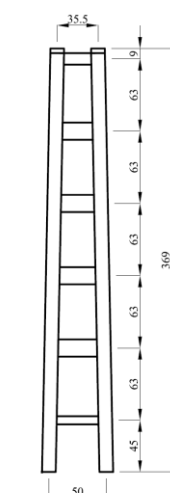


図2.主塔モデル

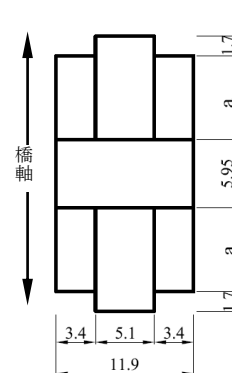


図3.鋼製断面

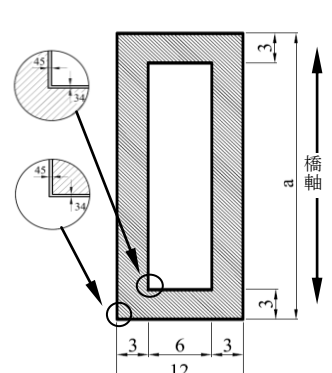


図4.複合断面

壁厚は3mと均一であるが、塔頂部に向かって変数 a の寸法が減少していく中空変断面である。

3. 主塔の橋軸方向面内の解析モデル

キーワード 4径間、超長大橋、吊橋、主塔、終局強度、FEM解析

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京

吊橋主塔の頂部には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 の関係に依存するため、これらの相関性を再現できる図 5 のような主塔ばねモデルを構築した。ケーブルばね常数 k および鉛直反力 V と水平変位 δ_0 の非線形関係は、吊橋全体系解析から算出した。その結果、ばね常数は $k=1250\text{tf/m}$ 、鋼製主塔と複合主塔の $V-\delta_0$ 関係式は、後述の図 6 に記した。

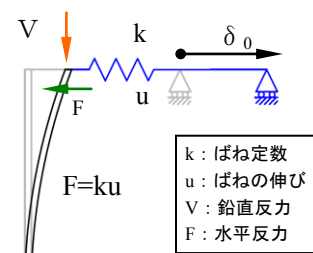


図 5. 主塔ばねモデル

解析には、有限要素解析ソフト MARC を用いた。鋼材の構成則は、 $E/100$ のひずみ硬化係数を有するバイリニア型で、鋼製主塔に SM570、複合主塔に SM490Y を使用した。またコンクリートの構成則は圧縮域が非線形曲線、引張域がひずみ軟化領域を持つ弾塑性型であり、コンクリート標準示方書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。圧縮強度は、 70N/mm^2 である。

4. 吊橋主塔の耐荷力特性

図 6 および図 7 は、各々鋼製および複合主塔の強制変位 δ_0 、鉛直反力 V 、水平反力 F の関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。 $F=0$ 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。やがて F の解は発散に近づき終局に至る。終局時の鉛直反力は、それぞれ図中の値を示した。複合主塔の終局時鉛直反力は鋼製主塔のその約 7 倍である。

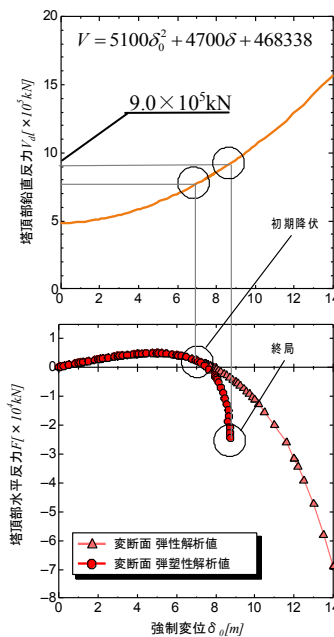
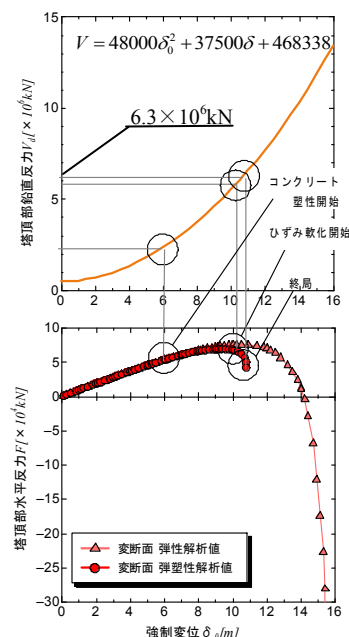
図 6. 鋼製主塔の $F-V-\delta_0$ 関係図 7. 複合主塔の $F-V-\delta_0$ 関係

図 8 は、複合主塔のモーメント分布であり、横軸は作用モーメントと各断面の降伏モーメントの無次元量である。強制変位の増大にしたがい最大モーメント位置は塔基部から上昇していき、終局時には塔基部から塔高 h の $2/3$ 付近に発生した。また、図 9 は複合主塔断面内の着目部分①②におけるひずみ分布である。終局時において、着目部分①の圧縮域では塔基部から $2h/3$ 付近で塑性進展が目立ち、着目部分②の引張域では塔基部から $h/2$ 付近を中心にひずみ軟化が発生している。

5. 結論

超長大吊橋の鋼製主塔および複合主塔の橋軸方向面内の弾塑性挙動を明らかにした。また、終局強度に着目した場合、複合主塔の終局時鉛直反力は鋼製主塔のそれに比して高倍率を示した。

参考文献: 1)野上・染谷・山沢: 4 径間超長大橋の弾塑性挙動と合理的な主塔剛性比, 構造

工学論文集 Vol.52A, 2006, 2)野上・大久保・森園: 4 径間超長大橋の弾塑性挙動と終局強度特性に関する考察, 構造工学論文集 Vol.56A, 2010, 3)伊藤・野上・田中: ラーメン形式吊橋主塔の耐荷力解析, 構造工学論文集 Vol.34A, 1988

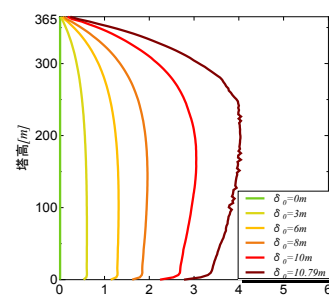
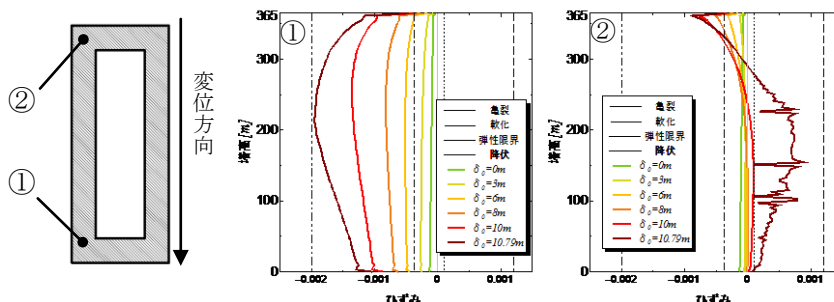
図 8. 複合主塔の M 分布

図 9. 複合主塔断面の着目部分における塔高方向ひずみ分布