

東京都立大学 学生員 深谷 力
 東京都立大学 正会員 山沢 哲也
 東京都立大学 学生員 岩崎 秀隆
 東京都立大学 正会員 野上 邦栄

1. 背景と目的

わが国の長大吊橋の主塔は、これまで全て鋼製が採用されてきた。一方、イギリスのハンバー橋（1981年竣工、中央経間1410m、主塔高さ156m）、デンマークのグレートベルトイースト橋（1998年竣工、中央経間1624m、主塔高さ $H=255m$ ）など世界を代表する吊橋を中心に、欧州ではコンクリート主塔が多く建設されている。ところで、わが国では吊橋を中心とした海峡横断橋のビックプロジェクトが計画されている中で、その達成のためにはコスト縮減・工期短縮が大きな命題になっており、特に、吊橋主塔においては、安全性、耐久性の立場から、その新形式、新断面形状、および新構造材料に関する開発研究を進める必要がある。したがって、今後の長大吊橋を考えた時、鋼製主塔の終局強度のみではなく、RC 製主塔の終局強度特性を明確にしておくことが重要である。しかし、これまで長大吊橋が鋼製主塔のみであったことから、長大吊橋に RC 主塔を採用した場合の塔の力学的挙動および終局強度特性に関する研究は極めて少ない。そこで、本研究では具体的に長大吊橋主塔として RC 構造に着目し、その数値解析上のモデル化、橋軸方向面内の弾塑性挙動、および終局強度について数値解析により検討する。

2. 解析モデルと解析方法

解析モデルは、1400m クラス吊橋の 5 層ラーメン構造をもつ塔高 220m の RC 主塔である。主塔構造は図-1 に示すように塔基部充実断面、塔中間部から塔頂部まで単室箱形断面である。鉄筋には SD345 (D51)、コンクリート材料には圧縮強度 $58.8N/cm^2$ の高強度コンクリートを用いる。構成する各要素の構成則は、鉄筋は完全弾塑性型、コンクリートは圧縮域が非線形曲線、引張域が軟化領域を持つ弾塑性型、ケーブルとサドルは弾性体と仮定している。また、コンクリートと鉄筋は完全付着、クリープと乾燥収縮の影響はないものと仮定している。解析方法は、汎用有限要素解析ソフト MARC[®]を用い、荷重条件は表-1 にまとめた。ケーブル架設前と完成系の主塔は図-2 に示すように各々、一端固定他端自由のフリースタANDINGモデルとケーブルを極めて長いトラス要素と仮定したモデルである。図中の V_{cmax} はケーブルの鉛直反力、 g は塔自重、 W_q は風荷重、 α は荷重倍率である。また、初期たわみは、塔全体において塔高の $1/200$ 、 $1/1000$ 、 $1/5000$ の最大変位をもつ $1/4$ 正弦波形状を導入した。

表-1 荷重条件

ケーブルの架設状態	荷重条件
架設前	$\alpha V_{cmax} + g$
	αg
	$\alpha W_q + g$
完成系	$\alpha (V_{cmax} + g)$
	$\alpha W_q + V_{cmax} + g$
	$\alpha (V_{cmax} + g) + W_q$
	$\alpha (V_{cmax} + g + W_q)$

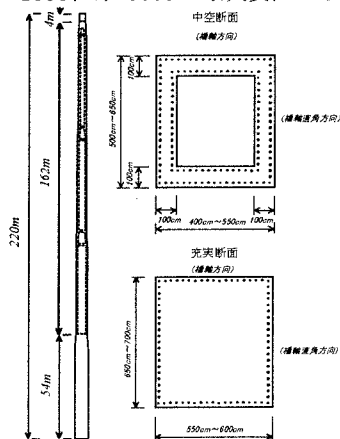


図-1 橋軸方向 RC 主塔

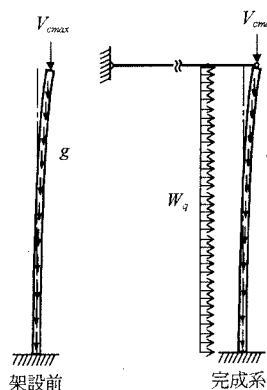


図-2 主塔のモデル化

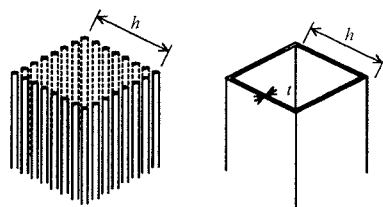


図-3 鉄筋のモデル化

3. 鉄筋のモデル化

有限要素解析に用いる数値モデルにおいて、効率的な解析を進める上で厳密なモデルと同等な精度を持つ簡易化されたモデルを提案することが重要な課題である。そこで、本研究では主塔の要素分割数と鉄筋のモデル化に対する数値解析の精度を比較する。鉄筋のモデル化として、図-3 に示すように厳密なモデルははり要素を用い、簡

易なモデルは鉄筋配置方向のみの材料特性を与えた直交異方性をもつ板要素を用いものである。解析に用いるモデルは図-4 に示すように等断面をもつ RC 構造である。図中の F_v は鉛直荷重である。異なる鉄筋モデルのもとで得られた耐荷力をまとめたのが表-2 である。表中の N_y は降伏軸力である。終局状態における曲げモーメント分布をまとめたのが図-5 である。図中の M_p は塑性モーメントである。表-2 および図-5 から、鉄筋の簡易モデルは終局強度において、厳密モデルに対してと同等な解を得ている。従って、図-1 の実際の解析モデルには簡易な鉄筋モデルを用いることとした。

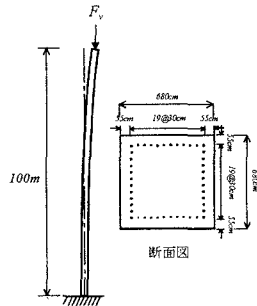


図-4 解析に用いた RC 構造

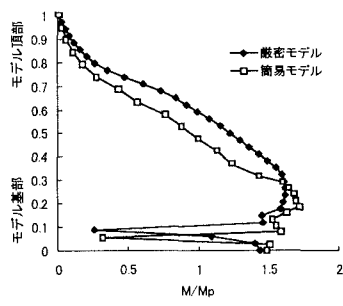


図-5 終局状態における曲げモーメント分布

表-2 耐荷力

	厳密モデル	簡易モデル
F_v/N_y	2.31	2.21

4. 解析結果及び考察

塔高の $1/200$ の初期たわみをもつ完成系 RC 主塔に組み合わせ荷重 $\alpha (V_{cmax}+g)$ が作用するケースについての解析した結果、荷重の増分に伴う塔柱の軸力と曲げモーメント分布の変化を示したのが図-3 と図-4 である。図中の N_y は降伏軸力、 M_p は塑性モーメントである。荷重の増分に関係なく、曲げモーメントは軸力と比べ極めて小さく、塔基部から 2 分の 1 付近を境に曲げモーメント分布が正負を異なることから、このような条件下の RC 主塔は軸力が支配的であり、塔基部から 2 分の 1 付近を境に塔柱の変形状が変化していることが分かった。また、終局状態に伴い、塔基部から 4 分の 1 付近を中心に軸力の著しい増加が見られていることから、その部分が終局強度を支配していることがわかった。また、ケーブルを介して作用する塔頂部の水平反力と水平変位の関係を表したのが図-5 である。ケーブルを介した塔頂の水平反力が正の領域もある鋼製主塔²⁾に対して、このような条件下の RC 主塔は始めから負の領域をとることが分かった。

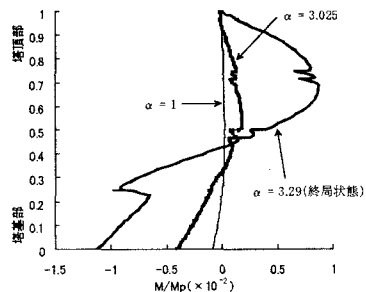


図-6 曲げモーメント分布

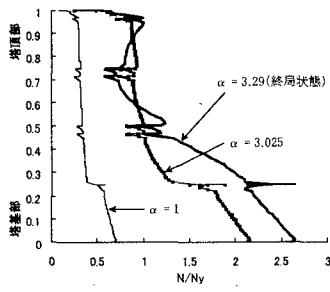


図-7 軸力分布

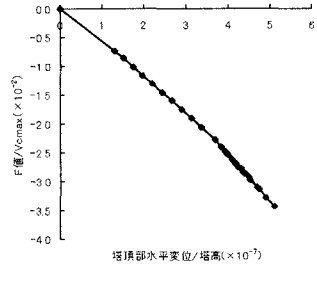


図-8 塔頂部水平反力と水平変位の関係

まとめ

耐荷力解析により得られた成果をまとめると次のようになる。

- 1) MARC を用いた FEM 解析において、要素分割数と数値解析の精度とを比較し、解析モデルの適切な要素分割を明らかにすることができた。さらに、鉄筋のモデル化では、直交異方性をもつ板要素を用いた場合は、弾塑性有限変位解析のもとで、はり要素を用いた場合と比較して、終局強度が同等なものであることを明らかにすることができた。
- 2) 完成系の橋軸方向主塔は、塔基部から 4 分の 3 、および 4 分の 1 の位置にある水平材取り付け位置付近が終局強度を支配していることがわかった。さらに、コンクリートで発生した亀裂は終局強度に影響を与えるのではなく、鉄筋は終局状態近くで降伏し始めることがわかった。

参考文献

- 1) 藤野陽三・長井正嗣：吊形式橋梁の現状と将来，鋼構造論文集，No.1, Vol.3, pp.17-35, 1994
- 2) 野上邦榮・成田信之：吊形式橋梁の塔の座屈設計に関する一考察，土木学会論文集，No.446/I-19, pp.225～234, 1992.4
- 3) MARC C 編 program input, 1998.6