

4 径間超長大吊橋複合構造主塔の橋軸方向面内の終局強度特性

JFE スチール(株)	正会員	松原 秀和
首都大学東京	正会員	野上 邦栄
(株)長大	正会員	森園 康之

1. 目的・背景

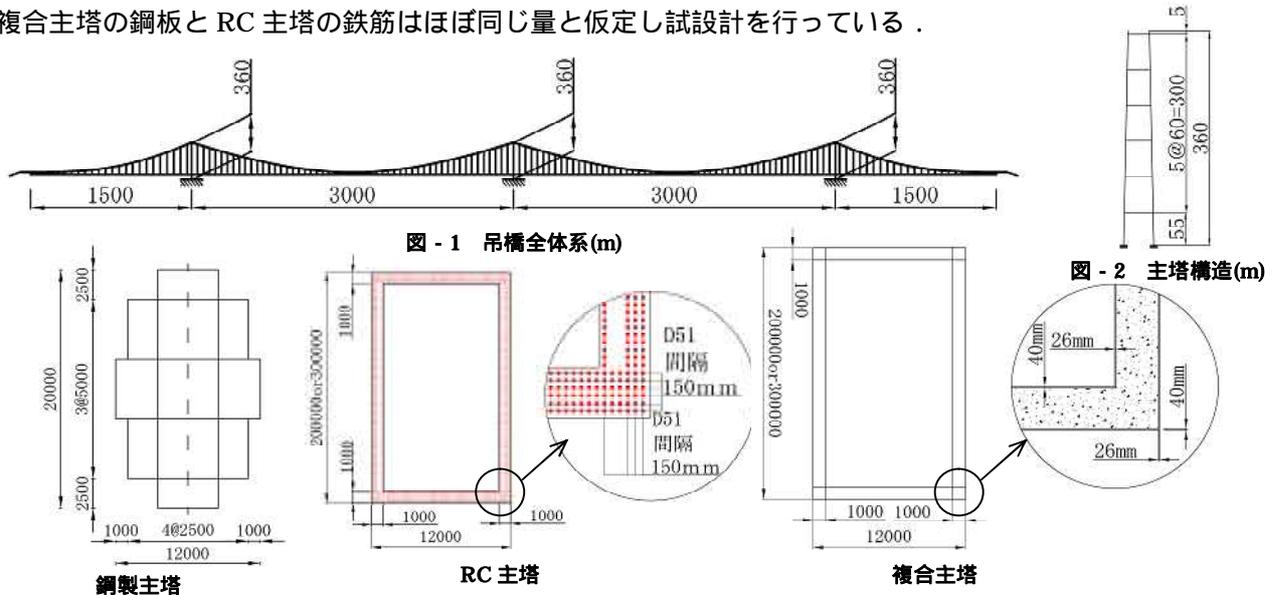
本州四国連絡橋プロジェクト終焉後、吊橋を中心とした次世代海峡横断のビックプロジェクトが検討されてきた。その結果を踏まえ、これからの吊橋には、さらなる長スパン化、経済性、施工の合理化が要求され、吊橋主塔においては、安全性、耐久性、経済性の立場から、新形式、新構造および新材料に関する開発研究を進める必要がある。長大吊橋の主塔に着目すると、わが国ではこれまで全て鋼製主塔が採用され、欧州ではコンクリート主塔(RC主塔)も建設されている。鋼の特長は、これまでの実績から設計基準が明確であり、軽量でフレキシブルであるということが挙げられるが、一方で材料費が高く、座屈変形しやすいという欠点がある。コンクリートの利点は圧縮力に強く、材料費が安いことである。しかしコンクリートは重量が大きいため地震慣性力が大きくなるというデメリットがある。このような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。安全性や経済性の面から吊橋主塔にこのような複合構造の選択が考えられる。

また、長スパン化という面から吊橋全体の構造形式として、これまでの実績から3径間2ヒンジ吊橋の重連構造形式が考えられる。しかし、この形式は中間アンカレイジが必要となり、塔基礎やアンカレイジ基礎が増大することで経済性に劣ると考えられる。そこで多径間吊橋が選択肢として注目されている。

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径間吊橋を対象に、その主塔に複合構造、鋼製およびRC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り明らかにし、終局強度の立場から比較検討するにより複合構造主塔の有効性を明らかにする。

2. 基本条件

対象とした吊橋は、図-1のような4径間2ヒンジ吊橋である。中央径間長3000mおよび側径間長1500m、サグ比は1/10とした。主塔の形状は、図-2のように6層ラーメン形式とし、塔高は360mである。図-3に示すように鋼製は多セル箱型、RCおよび複合主塔は中空断面とした。またRC主塔と複合主塔の断面は同じ外形寸法とし、複合主塔の鋼板とRC主塔の鉄筋はほぼ同じ量と仮定し試設計を行っている。



3. 解析方法

耐荷力解析には汎用有限要素解析ソフトMSC、MARC2005 r2を用いた。構成する各要素の構成則は図-4、図-5に示す。鉄筋および鋼材は図-4に示すように完全弾塑性型とし、材質は鉄筋がSD345(D51)、鋼材は鋼製主塔

キーワード 4 径間吊橋 主塔 複合構造

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 公立学校法人 首都大学東京 TEL 042-677-1111

に SM570、複合主塔に SM490Y を用いている。コンクリートは図 - 5 に示すように圧縮域が非線形曲線、引張域がひずみ軟化領域を持ち、圧縮強度は $\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$ である。ケーブルとサドルは弾性体と仮定した。またコンクリートと鉄筋とは完全付着とし、クリープおよび乾燥収縮の影響はないものと仮定した。主塔の境界条件は塔基部を固定、塔頂部は橋軸直角方向を自由、橋軸方向をヒンジ固定とする。また、ケーブルは極めて長い剛棒と仮定した。荷重条件は、表 - 1 に示すようにケーブル架設前の 2 ケースとケーブル架設後の 3 ケースとした。ここで V_{cmax} 、 g 、 W はそれぞれケーブル最大鉛直力自重、風荷重であり、 V_{cmax} 、 W はそれぞれ 7.78kN、3.48kN/m² である。なお、風荷重は左塔柱の左側面のみ作用するものとする。さらに初期たわみを考慮し、塔頂部の最大値()として塔高の 1/1000、1/5000 を有する 1/4 正弦波を導入した。

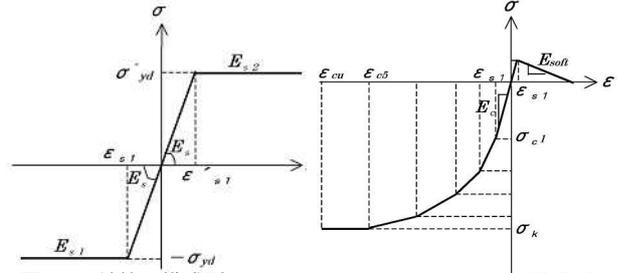


図 - 4 鉄筋の構成則

図 - 5 コンクリートの構成則

表 - 1 荷重条件

ケーブルの状態	荷重条件
架設前	g
	g + W
架設後	(V _{cmax} + g)
	V _{cmax} + g + W
	(V _{cmax} + g) + W

4. 解析結果

図 - 6 は各主塔の荷重条件 (V_{cmax}+g+W)の着目断面(塔基部から 247.5m の位置)における橋軸方向水平変位と荷重倍率の関係を表している。図 - 7 は各主塔の終局時における塑性進展モード図である。RC および複合主塔は塔全体が非弾性領域に達している。(濃灰色部)

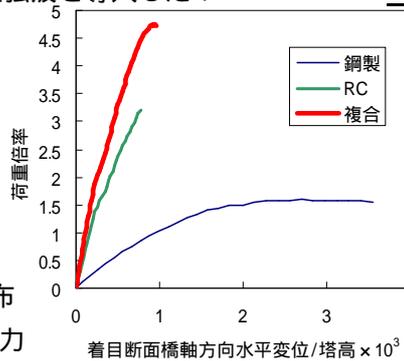


図 - 6 荷重変位曲線

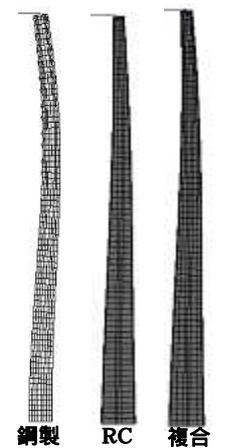


図 - 7 塑性進展モード

図 - 8 および図 - 9 は各主塔の終局時における軸力分布および曲げモーメント分布図である。横軸は各々降伏軸力に対する比、降伏曲げモーメントに対する比である。図から RC および複合主塔は軸力が支配的であり、鋼製主塔は塔基部から 3/4 付近で軸力および

曲げモーメントが最大となり、RC および複合主塔では塔基部付近が、鋼製主塔では

塔基部から 3/4 付近が終局強度を支配していることがわかった。表 - 2 は各主塔におけるすべての初期たわみ、荷重重条件に対する終局時の荷重倍率をまとめたものである。最も厳しい荷重条件

(V_{cmax} + g + W) では複合主塔が最も高い荷重倍率 4.74 倍となることがわかった。またすべての荷重条件に対し複合主塔が最も大きい終局時荷重倍率となった。

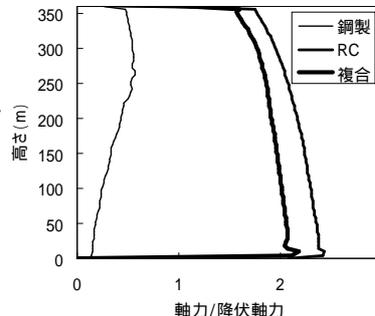


図 - 8 軸力分布図

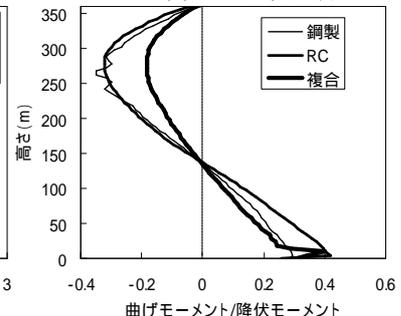


図 - 9 曲げモーメント分布図

表 - 2 各主塔の終局時荷重倍率

系	荷重条件	初期たわみ	終局時荷重倍率		
			鋼製	RC	複合
架設前	g	1/1000	8.10	8.00	9.98
		1/5000	8.35	8.09	10.90
	g + W	0	4.27	2.28	7.80
架設後	(V _{cmax} + g)	1/1000	1.98	3.17	5.76
		1/5000	1.99	3.17	5.78
	V _{cmax} + g + W	0	5.54	7.13	24.3
	(V _{cmax} + g) + W	0	1.72	2.76	5.46
	(V _{cmax} + g + W)	0	1.59	3.21	4.74

表 - 3 各主塔の概算重量

	鋼製主塔	RC主塔	複合主塔
	中央主塔	中央主塔	中央主塔
鋼材量 [MN]	321.57	209.5	212.8
コンクリート量 [m ³]	0	39699.6	39655.2
主塔重量 [MN]	321.57	1122.6	1125.0

5. 結論

表 - 3 は各主塔の概算重量をまとめたものである。基本条件より複合主塔と RC 鋼製主塔は同じ外形寸法および同等の鋼材料を用いているため、ほぼ同じ重量となったが、過去の研究および本研究から断面を小さくできる可能性がある。また本研究より静的な荷重条件に対して複合主塔は最も大きい終局時荷重倍率となり、ケーブル架設前の最も厳しい

g + W では終局時荷重倍率が 7.80 となり、荷重条件最も厳しい荷重条件 (V_{cmax} + g + W)でも終局時荷重倍率が 4.74 倍となった。このことから複合主塔は 4 径間超長大吊橋の有望な形式である。

参考文献

- 古澤智章・野上邦栄:長大吊橋の橋軸方向面内における弾塑性挙動と耐荷力, 全国大会, 2007
- 大久保亜衣・野上邦栄:4 径間超長大吊橋の弾塑性挙動および終局強度特性に関する研究, 修士論文, 2008.3