

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

神奈川県庁 正会員 大久保亜衣
 首都大学東京大学院 正会員 野上邦栄
 (株)長大 正会員 森園康之

1. 目的

本州四国連絡橋プロジェクトの完了後、次世代海峡横断プロジェクトの検討が進められてきたが、今後ともその実現へ向けた地道な技術開発が必要である。このようなプロジェクトの実現には、明石海峡大橋を上回る規模の吊橋の上部構造を、耐風安定性を確保しながら自重を軽減し、いかに経済的に建設するかが最大の課題である。現在、支間 3000mの吊橋を対象として、ケーブルや補剛桁に新素材を用いた場合、床版の一部にグレーチングを用いた場合¹⁾、多径間を有する場合など、新材料や新構造形式を用いた長大橋の研究開発が行われている。しかし、多径間吊橋の構造全体系の弾塑性挙動および終局強度に着目して検討した研究は見当たらない。

そこで、本研究では中央径間長 3000mを有する 4 径間超長大吊橋を対象にして²⁾、特に、主桁に 1 箱桁断面および 2 箱桁+グレーチング断面を適用した場合、さらに主ケーブルに 1770MPaと 2000MPaの高強度ケーブルを適用した場合の構造全体系の弾塑性挙動および終局強度特性を解析的に検討し、それらの有効性を明らかにする。

2. 解析モデルおよび解析条件

対象とする基本モデルは、図-1に示す中央径間長 3000m(スパン比 1:2:2:1, サグ比 1/10)の 4 径間補剛吊橋である。中央塔および両側塔は、共に塔高 350mの 6 層ラーメン形式であり、塔柱は多室箱型を有する変断面である。ケーブル中心間隔を 35.5m, ハンガーケーブルの定着間隔を 50mとする。この条件のもと、主塔および主桁断面は本州四国連絡橋設計基準³⁾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した。図-1にその断面緒元を示す。

解析方法は、弾塑性有限変位理論による骨組構造解析を用い、各構成要素の構成則は、主塔と補剛桁は完全弾塑性型、主ケーブルとハンガーはバイリニア型を仮定する。荷重条件は、図-2に示す常時荷重の(死荷重D+活荷重L)および図-3に示す風荷重である。初期不整は、塔に対してのみ初期たわみと残留応力を考慮する。前者については、塔頂部橋軸方向に塔高の 1/2000の変位を荷重条件に対して最も厳しくなるような方向に導入する。後者については、溶接型断面の理想的線形分布を仮定し、 $\sigma_z/\sigma_y=0.4$ の圧縮残留応力度とする。主ケーブルには、従来のケーブル 1770MPaに新たに、より高強度なケーブル 2000MPaを用いる。また、補剛桁は図-1に示すように 1 箱桁断面と 2 箱桁+グレーチング断面の 2 ケースの桁断面形を設定する。以上の条件の基、表-2に示すtype1~3に対して弾塑性有限変位解析を行う。

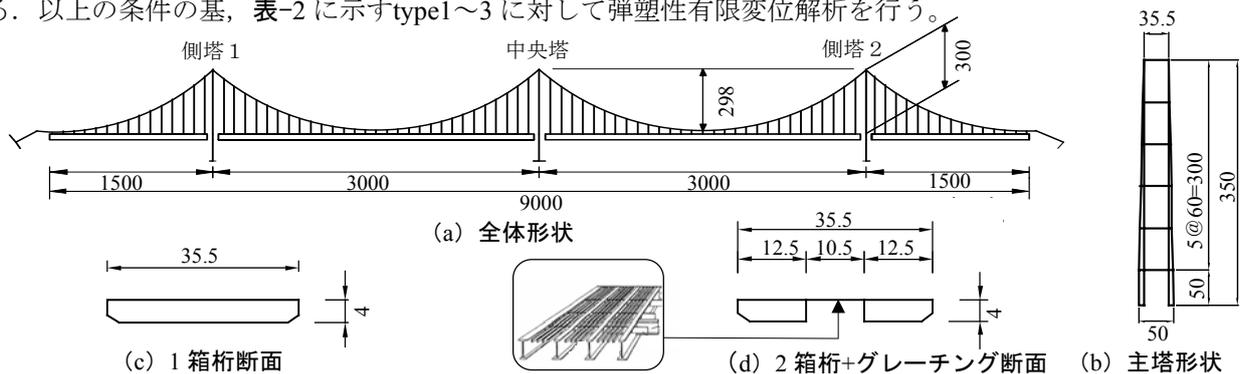


図-1 吊橋の全体モデル (m)

表-1 断面緒元

構成要素	材質	A (m ²)	I _x (m ⁴)	I _y (m ⁴)	J (m ⁴)	t (mm)
両側塔 中央塔	SM490y	3.936	48.79	59.55	63.60	40
	SM570	~	~	~	~	~
上部水平材		8.296	105.87	264.74	182.20	68
中間水平座	SM490	1.96	35.62	8.08	19.06	40.60
下部水平材		2.20	58.73	9.56	24.74	40.60
箱桁	SM490y	2.00	51.50	5.87	16.40	40.60
grating型桁	SM490y	1.46	5.324	175.483	18.95	18.20
	SM490y	1.18	3.976	174.793	10.49	2.16.20
主ケーブル	ST1770	Ac=0.887m ² /cable		ST2000	Ac=0.696m ² /cable	
ハンガー	ST1570	Ac=0.01055m ² /cable				

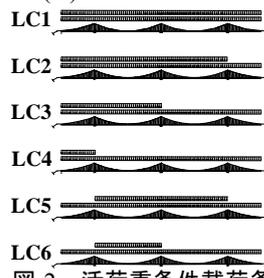


図-2 活荷重条件



表-2 解析条件

	主桁	ケーブル
type 1	T	1770MPa
type 2	G	1770MPa
type 3	G	2000MPa

G: グレーチング断面
 T: 箱桁断面

キーワード: 4 径間長大吊橋, 弾塑性有限変位解析

連絡先: 〒231-8588 横浜市中区日本大通 1 TEL: 045-210-1111

3. 解析結果

図-4 (a) (b) は、それぞれ type 1, type 2 における、活荷重条件と各構成要素の初期降伏時および終局時の荷重倍率 β をまとめたものである。活荷重条件 LC2 における終局時の荷重倍率が最も低く、type 1 では荷重倍率 $\beta=2.11$, type 2 では $\beta=2.21$ となった。補剛桁にグレーチングを用いた type 2 は、type 1 と比べて桁が軽量化されているため終局時の荷重倍率 β が 4~5% 増加する。また、type 1 では主ケーブルが降伏を生じる前に終局を迎えるのに対して、type 2 は全ての活荷重条件下において主ケーブルが降伏するとともに、主塔の塑性域が拡大して終局を迎える。このとき、両 type の主桁に降伏は発生していない。また、ハンガーには活荷重載荷条件の違いによる影響は生じていない。

次に、type 2 において、主塔にのみ初期不整を考慮した場合の各構成要素の初期降伏時と終局時の荷重倍率 β をまとめたのが図-5 である。主塔に残留応力と初期たわみを導入することによって、両側塔の初期降伏が早まる。主塔への初期不整の導入による吊橋の終局強度は、初期不整を考慮しない場合と比べて、最大で箱桁断面モデルにおいて 3.6%、グレーチング断面において 2.6% 低下する。

同様に、主ケーブルに高強度ケーブルを適用した場合の初期降伏時と終局時の荷重倍率 β をまとめたのが図-6 である。従来のケーブルを採用したときと比べて、終局強度が 2~3% 増加する。最も厳しい活荷重条件 LC2 において荷重倍率 $\beta=2.20$ となる。図-7 は、type 3 の活荷重条件 LC2 における主塔の終局時の応力分布である。両側塔において塑性域の進展が著しく、桁上高 4/5 の位置に最大応力が発生している。中央塔においては、桁上高 4/5 から塔頂部までと桁上高 3/5 の水平部材取付け位置に塑性域の進展がみられる。

最後に、図-8 は type 3 において、各々の常時荷重に風荷重を載荷した時の各構成要素の初期降伏時と終局時の荷重倍率 β をまとめたものである。図-6 の中央塔の初期降伏に比して、かなり小さな荷重段階で初期降伏が発生する。しかし、終局時の荷重倍率は $\beta=2.2$ 程確保していることから吊橋の終局強度へ与える影響は小さい。

4. 結論

今回対象とした 4 径間超長大吊橋において、グレーチング桁断面を有する補剛桁の適用および高強度ケーブルの主ケーブルへの適用は、橋梁全体系の終局強度を向上させる効果があり、十分に安全性を確保できることを明らかにした。

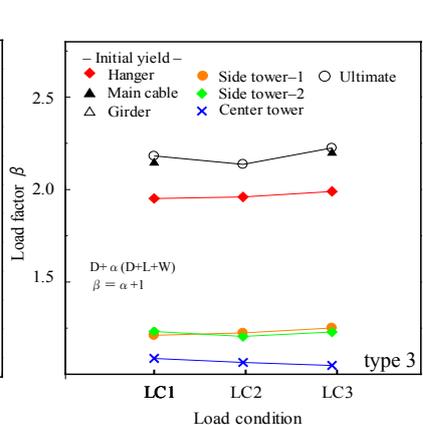
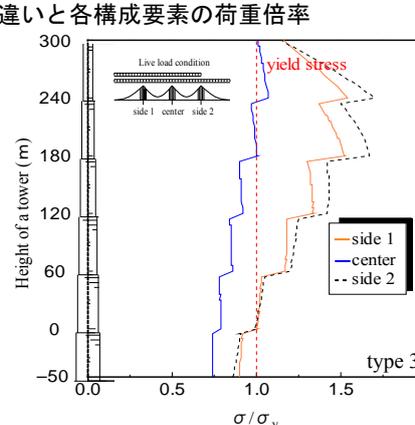
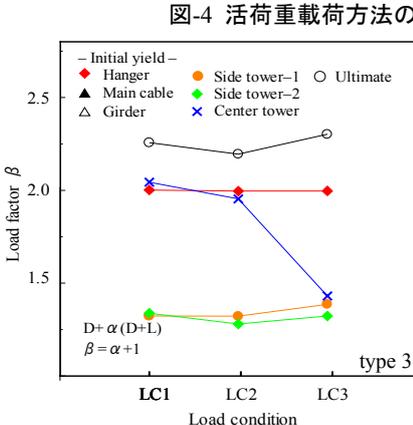
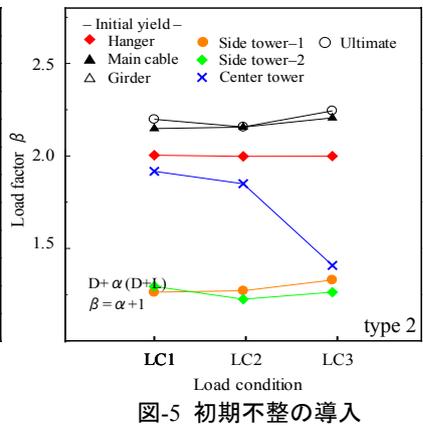
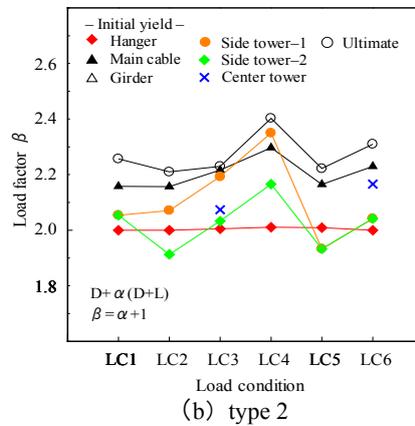
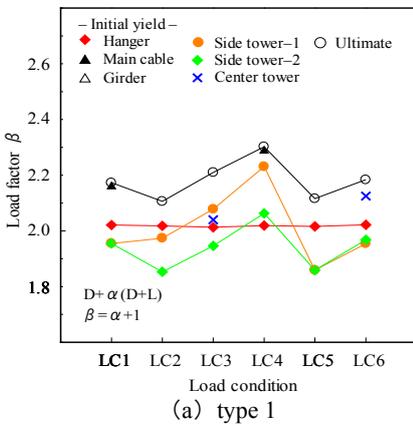


図-4 活荷重載荷方法の違いと各構成要素の荷重倍率

図-5 初期不整の導入

図-6 高強度ケーブルの適用

図-7 主塔応力分布

図-8 風荷重載荷

参考文献 1) 藤原稔：超長大橋の新しい構造形式調査の概要：海峡横断，vol.17,2001・7
 2) 野上邦栄・染谷厚徳・山沢哲也：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・3
 3) 本州四国連絡橋公団：上部構造設計基準・同解説，1989