

サグ比の異なる超長大多径間吊橋の弾塑性挙動と耐荷力特性

首都大学東京 学生会員 ○小沢武仁 首都大学東京 正会員 岸 祐介  
 首都大学東京 フェロー会員 野上邦榮 大日本コンサルタント(株) 正会員 平山 博  
 東京都 正会員 岩下慎吾 大日本コンサルタント(株) 非会員 石井喜代志  
 長岡技術科学大学名誉教授 正会員 長井正嗣

1. 背景と目的

我が国では、高度経済成長期に本州四国連絡橋を始めとする長大橋が建設された。その後、国内に海峡横断プロジェクトの検討が進められたが、2008年にプロジェクトが凍結され、それ以降、国内における長大橋新設の計画は少ない。しかし、2013年に福岡県は関門海峡道路の事業化へ向け、調査を再開するなど国内での長大橋事業に新たな動きも見え始めている。一方、世界では様々な長大吊橋のプロジェクトが進んでおり、国外における長大橋の需要は高くなっている。トルコでは、中央径間 1550m イズミット湾横断橋が架設中であり、チリでは全長 2635m、最大径間長 1100m のチャカオ橋の建設計画が進んでおり、長大化に伴う多径間吊形式橋梁の建設も活発である。しかし、多径間吊形式橋梁の弾塑性挙動などの研究は極めて少ない<sup>1)2)3)</sup>。また、今後の競争力向上のため、より経済的および合理的な設計が求められている。このような背景において、本研究では中央径間 3000m の超長大多径間吊橋について耐荷力解析を行い、吊橋全体系の弾塑性挙動と耐荷力特性を明らかにする。

2. 対象橋梁

対象とした吊橋は、表 1 の設計条件により試設計した図 1 の超長大 4 径間吊橋である。主桁は、図 2 の一室箱形断面である。主塔は図 3 に示すように 6 層のラーメン構造形状であり、(b)、(c) のように、側塔の断面が中央塔よりも小さく、側塔および中央塔の塔基部から塔頂部にかけて、断面が減少する変断面である。構成部材の材料特性を表 2 に示す。なお、今回はサグ比 1/8、1/10 の数値モデルを作製したが、紙面の都合上、図 1 から図 3 については 1/10 モデルのみ掲載した。

3. 解析方法

解析方法は、弾塑性有限変位理論による骨組構造解析を行う。まず、死荷重  $D(w_D=220\text{kN/m})$  が作用する初期状態 1.0D を作成する。その後、死荷重  $D$  と活荷重  $L(w_L=33.69\text{kN/m})$  を載荷した状態に対して荷重パラメータ  $\alpha$  を乗じて荷重  $\alpha(D+L)$  を漸増させる。したがって、 $\alpha$  に 1 を加えた荷重パラメータを荷重倍率として  $\beta(=\alpha+1)$  と定義した。載荷ケースは、図 4 に示すような、主塔およびハンガーに厳しい 3 ケースについて解析を行った。主桁、主塔の鋼材の応力-ひずみ

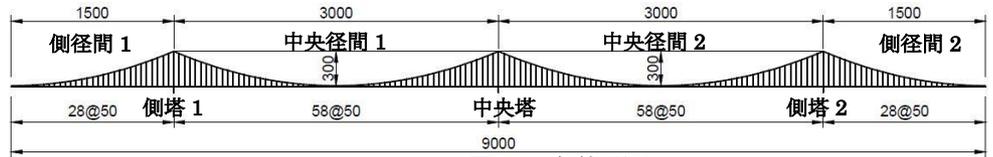


図 1 全体形状

表 1 設計条件

支間割	1:2:2:1
ケーブル支間	1500+3000×2+1500m
桁支間	1480+2980×2+1480
サグ比	1/8、1/10
桁の高度	50m
ケーブル中心間隔	35.5m
ハンガー間隔	30×50+2×60×50+30×50m
車線数	6車線
舗装厚	50mm

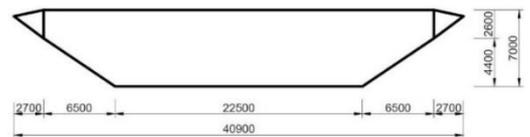


図 2 桁断面

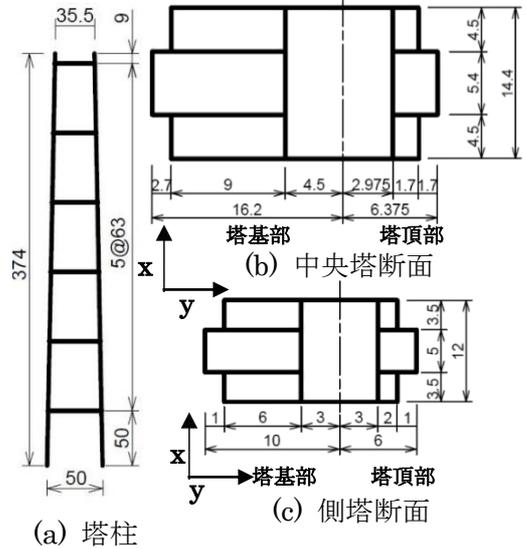


図 3 塔柱形状および断面

キーワード 長大橋 多径間 吊橋 弾塑性解析 耐荷力

連絡先 〒192-0377 東京都八王子南大沢 1-1 首都大学東京 TEL 042-677-1111

関係は、図 5(a)の完全弾塑性体とし、主ケーブル、ハンガーは、それぞれの硬化係数を  $E_2/E_1=0.061$ ,  $E_2/E_1=0.062$  とした図 5(b)のバイリニア型を用いた。塔柱断面には、引張残留応力  $\sigma_{rt}=\sigma_y$  を、圧縮残留応力  $\sigma_{rc}=0.4\sigma_y$  の残留応力を溶接箱形断面の理想的線形分布として導入した。また、主ケーブルの安全率は、明石海峡大橋で採用された 2.2 より低減させた、1.8 を使用する。

4. 解析結果

各サグ比における、LC1 載荷時の側径間 1 の補剛桁中央の鉛直変位と荷重の関係を図 6 に示す。サグ比 1/8 の場合では、荷重倍率 2.0、サグ比 1/10 の場合では、荷重倍率 2.2 を超えたところから、荷重増加に対する変位量が大きくなっている。これは主ケーブルに降伏が発生したためである。また、サグ比 1/10 の場合における終局時の荷重倍率は、サグ比 1/8 の結果よりも大きい値となった。どちらの解析結果にもピーク値は表れていないが、図 7 の側塔の組み合わせ最大応力分布より、側塔が塔全体にわたり塑性進展して終局を迎えている。応力分布の最大値を比較すると、サグ比 1/10 の結果の方が大きい。これは、図 8 の LC1 載荷時の各サグ比における、側塔 1 の曲げモーメント図が示すように、サグ比 1/10 の場合の側塔 1 に発生する曲げモーメントの最大値が大きいためである。サグ比が小さくなると、塔頂部が扁平となり、ケーブル張力の横方向の分力が増大する。そのため、側塔 1 の曲げモーメントが増大し、応力も増大したと考えられる。図 9 は、LC3 載荷時の中央塔の応力分布を示している。LC3 は、中央塔に対して、最も厳しい荷重条件であるが、サグ比 1/10 では、塔全体が塑性に至っておらず、断面剛性が高いことが分かる。そのため、サグ比 1/10 の主塔断面については、断面積を小さくすることで、より経済的な設計が可能であると考えられる。

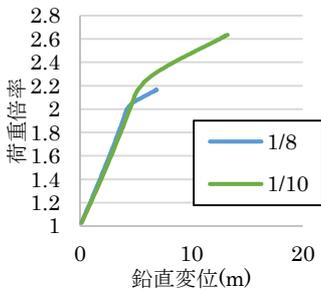


図 6 LC1 側径間 1 補剛桁中央 荷重-変位曲線

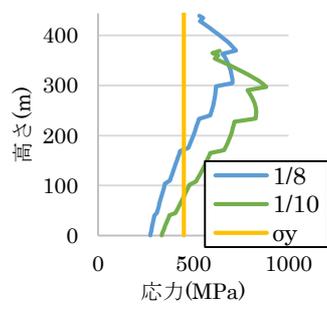


図 7 LC1 側塔 1 応力分布

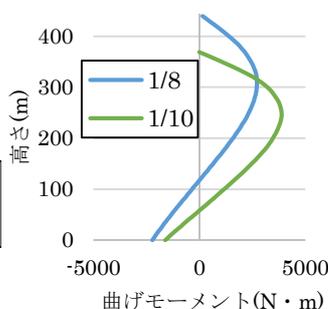


図 8 LC1 側塔 1 曲げモーメント図

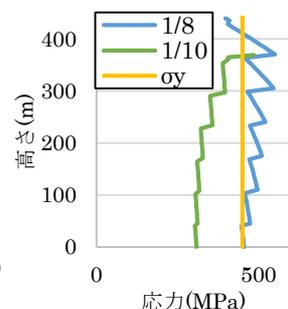


図 9 LC3 中央塔 応力分布

5. 結論

本研究では超長大 4 径間吊橋を対象とした耐荷力解析を行った。その結果は、以下のようにまとめる。

- (1) サグ比が減少すると、側塔に対して曲げモーメントがより支配的になる。
- (2) それぞれのサグ比における全ての載荷ケースで、荷重倍率が 2.2~2.7 付近で終局を迎えており、耐荷力の面から考えて、長大橋として建設が十分に可能である。
- (3) 明石海峡大橋のケーブル安全率は 2.2 が採用されているのに対し、今回は 1.8 を使用しており、荷重倍率 2.2~2.7 で終局を迎えたことから、従来のケーブル安全率よりも、低減が可能である。

参考文献: 1)石井沢磨:サグ比の異なる 5 径間超長大吊橋の弾塑性挙動と耐荷力に関する研究,修士論文,2014.3  
 2)井尾伸太郎:5 径間長大吊橋の弾性挙動と終局強度特性に関する研究,修士論文,2011.3  
 3)藤岡健祐:中央径間長 3000m を有する 4 径間超長大吊橋の耐荷力特性に関する研究,2015.3

表 2 材料特性

使用箇所	主桁	主塔	主ケーブル	ハンガー
鋼種	SM490Y	SM570	ST1770	ST1570
許容応力度 $\sigma_a$ (MPa)	210	255	983.3	628
基準降伏点 $\sigma_y$ (MPa)	355	450	1380	1160
引張強度 $\sigma_u$ (MPa)	490	570	1770	1570
降伏ひずみ $\epsilon_y$	0.0011	0.0022	0.00708	0.00595
最大塑性	-	-	0.04	0.04
ヤング率 $E_1$	$2.0 \times 10^5$	$2.0 \times 10^5$	$1.95 \times 10^5$	$1.95 \times 10^5$
ひずみ硬化係数 $E_2$	0	0	$1.19 \times 10^4$	$1.21 \times 10^4$
安全率	1.7	1.7	1.8	2.5

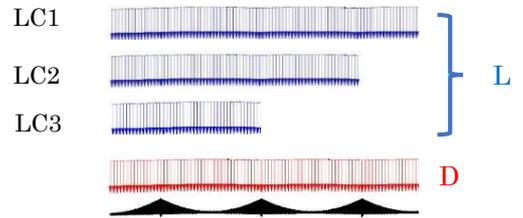


図 4 載荷ケース

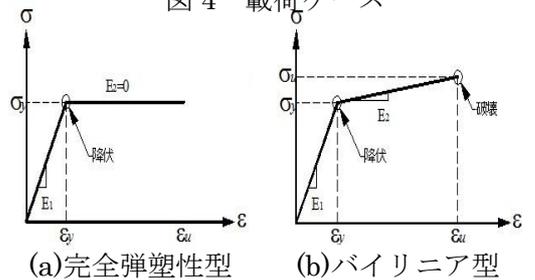


図 5 材料構成則のモデル