

超長大 5 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 フェロー会員 野上邦栄  
 首都大学東京 学生会員 岩下慎吾  
 首都大学東京 正会員 岸 祐介  
 大日本コンサルタント(株) 正会員 平山 博  
 大日本コンサルタント(株) 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 5 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 5 径間吊橋である。主桁は、図 2 の一室箱型断面である。主塔は図 3 のように 6 層のラーメン構造形状であり、(b),(c) のような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、サグ比 1/8、1/10、1/12 の 3 モデルを試設計したが、紙面の都合上、1/10 モデルについてのみ掲載する。

表 1 設計条件

支間割	1:2:2:2:1
ケーブル支間	1500+3000×3+1500m
桁支間	1480+2980×3+1480
サグ比	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+3×60×50+30×50m
車線数	6車線
舗装厚	50mm

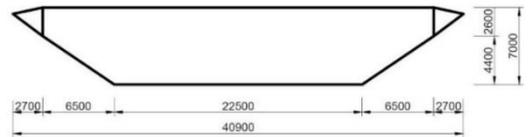


図 2 桁断面

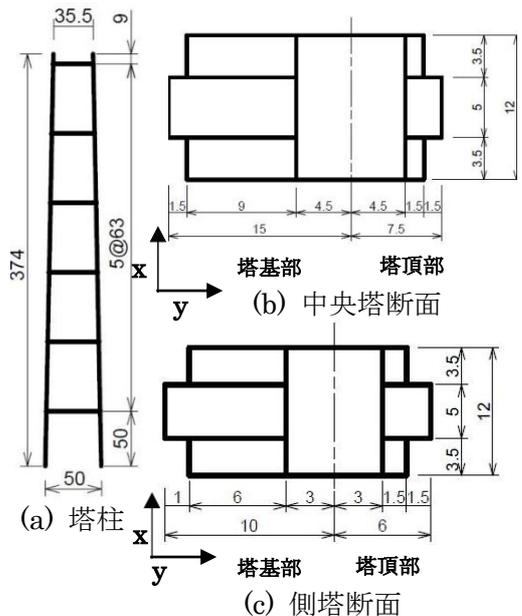


図 3 塔柱形状および断面



図 1 全体形状

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  $D(w_D=220kN/m)$  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  $L(w_L=33.69kN/m)$  を載荷した状態に対して荷重パラメキークワード 長大橋 多径間 吊橋 弾塑性 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

一タ  $\alpha$  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、各部材に対して最も厳しくなるような 9 ケースを対象とした。ここでは、特に図 4 の主塔、およびハンガーに厳しい 3 ケースについて示す。主桁および主塔の鋼材の応力-ひずみ関係は、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。また、塔柱断面には、引張残留応力  $\sigma_{rt} = \sigma_y$  を、圧縮残留応力  $\sigma_{rc} = 0.4 \sigma_y$  の残留応力を溶接型断面の理想的線形分布として導入した。

4. 解析結果

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。荷重倍率 2.0 を超えたところから、どの荷重条件でも荷重増加に対する変位量が大きくなっている。これは主ケーブルの降伏が発生したためである。LC2 においては荷重倍率 2.6 付近で荷重変位曲線がピークを迎え、ハンガーの破断により終局に至った。一方、LC1 と LC3 の曲線の場合、ピークは見られないが、図 7 の側塔の応力分布より、側塔が塔全体にわたり塑性進展して終局を迎えている。なお、LC1 と LC3 は重なっている。図 8 は、中央塔 2 の塔頂部の水平変位と荷重の関係を示している。LC2 のみ、荷重倍率 2.1 付近までは負方向へ変位し、その後、主ケーブルの塑性の発生とともに、荷重倍率 2.3 付近まで、正方向へ変位した。図 9 は、LC2 における、中央塔 2 塔頂部付近の主ケーブルの荷重倍率と、応力の関係である。中央径間 2 の主ケーブルは、中央径間 3 の主ケーブルより、荷重倍率の増加に対して、応力の増分が大きい。したがって、中央径間 2 の主ケーブルの塑性進展が早く、中央径間 3 の主ケーブルの引張力が中央径間 2 の主ケーブルよりも大きくなったため、正方向へ変位した。

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
最大塑性ひずみ $\epsilon_u$	-	-	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	$1.19 \times 10^4$	$1.21 \times 10^4$

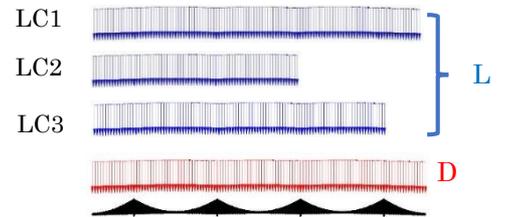
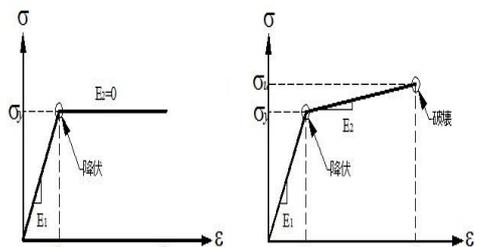


図 4 載荷ケース



(a) 完全弾塑性型 (b) バイリニア型

図 5 弾塑性モデル

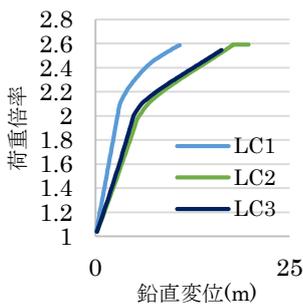


図 6 荷重～変位曲線(側径間 1 の補剛桁中央)

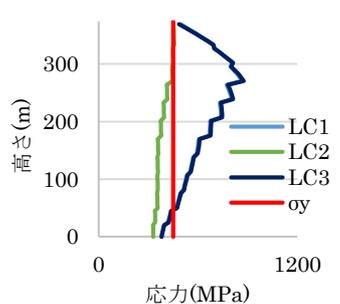


図 7 側塔 2 の応力分布

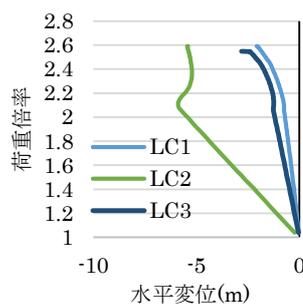


図 8 荷重～変位曲線(中央塔 2 の塔頂部)

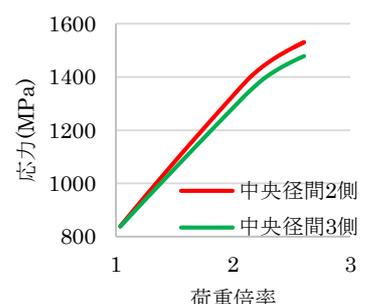


図 9 塔頂部ケーブル応力と荷重の関係(LC2, 中央塔 2)

5. 結論

対象とした超長大 5 径間吊橋の耐荷力解析結果、次のような点が明らかになった。(1) サグ比の異なる超長大吊橋の各載荷ケースにおける弾塑性挙動を明らかにした。(2) 1/10 モデルの荷重倍率は 2.5～2.7 付近で終局を迎えており、耐荷力の面から対象とした吊橋は十分な安全性を確保できている。(3) 明石海峡大橋のケーブル安全率 2.2 に対して、今回 1.8 を採用しており、ケーブル安全率の低減化の可能性を示すことができた。

参考文献：1) 石井：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：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：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, 修士論文, 2015.3