

超長大5径間吊橋における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 野上邦栄 大日本コンサルタント(株) 正会員 平山 博
 首都大学東京 学生会員 岩下慎吾 大日本コンサルタント(株) 石井喜代志

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、国内に多数の長大橋を架設する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。トルコでは全長 2682m、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。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ため、これらに対する研究が必要になっている。このような背景において、本研究では中央径間 3000m の 5 径間超長大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された図 1 の 5 径間超長大吊橋である。主桁は、図 2 の一室箱型断面である。主塔は図 3 のように塔高 374m、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。

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

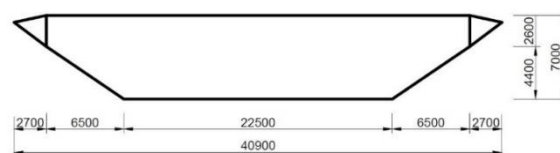


図 2 桁断面

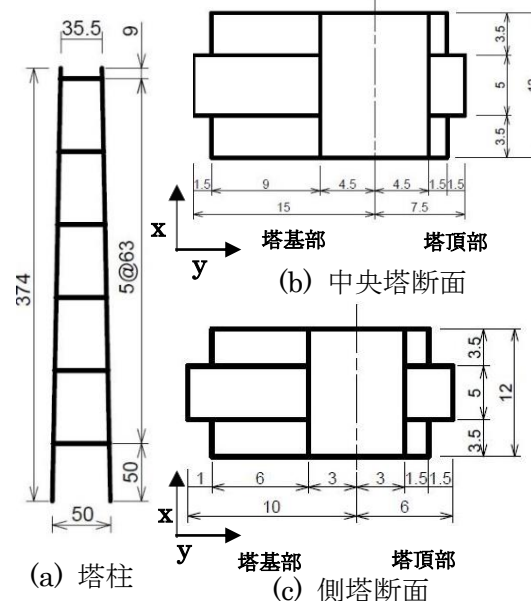


図 3 塔柱形状および断面

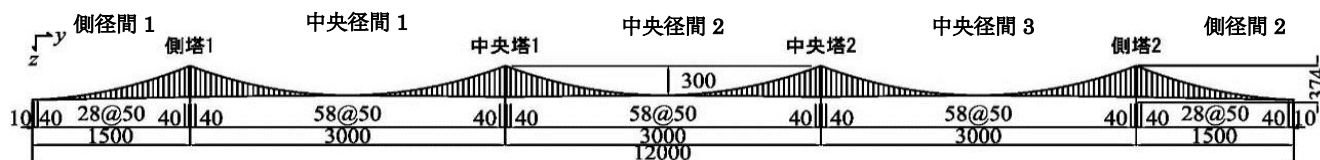


図 1 全体形状

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 $D(w_D=220\text{kN/m})$ 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 α を乗じて荷重 $\alpha(D+L)$ を漸増させる。したがって、 α に 1 を加えた荷重パラメータを荷重倍率としてキーワード 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

$\beta (= \alpha + 1)$ 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。なお、LC1 と LC9 の曲線は重なっている。

LC7 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 LC9 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。図 8 は、中央塔 1 の塔頂部の水平変位と荷重の関係を示している。LC7 のみ他の 2 つの条件と異なった傾向を示し、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正方向へ変位している。これは、全ての主塔塔頂部で主ケーブルの塑性が発生し、中央径間 1 の主ケーブルと中央径間 2 の主ケーブルでは、中央径間 1 の主ケーブルの塑性進展が早かったため、中央径間 2 の主ケーブルの引張力が中央径間 1 の主ケーブルよりも大きくなり、正方向へ変位したためである。

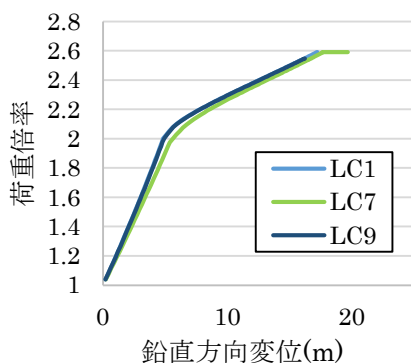


図 6 側径間 1 も補剛桁中央の荷重変位曲線

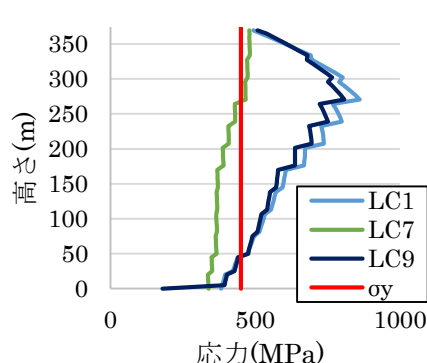


図 7 側塔 1 の応力分布

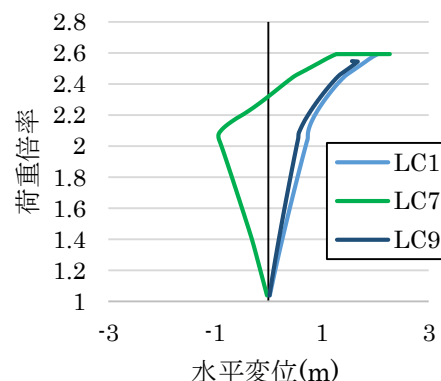


図 8 中央塔 1 の荷重変位曲線

5. 結論

対象とした 5 径間超長大吊橋の耐荷力解析結果は、以下のようにまとめることができる。

- (1) 全ての載荷ケースにおいて、荷重倍率が 2.6 付近で終局を迎えており、長大橋として十分な安全性が確保できている。
- (2) LC1 および LC9 の載荷ケースでは側塔の塑性化が全体系の耐荷力に大きく影響していることが明らかになった。

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

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 σ_a (MPa)	210	255	983.3	628
基準降伏点 σ_y (MPa)	355	450	1380	1160
引張強度 σ_u (MPa)	490	570	1770	1570
降伏ひずみ ϵ_y	0.0011	0.0022	0.00708	0.00595
最大塑性ひずみ ϵ_u	-	-	0.04	0.04
ヤング率 E_1	2.0×10^5	2.0×10^5	1.95×10^5	1.95×10^5
ひずみ硬化係数 E_2	0	0	1.19×10^4	1.21×10^4

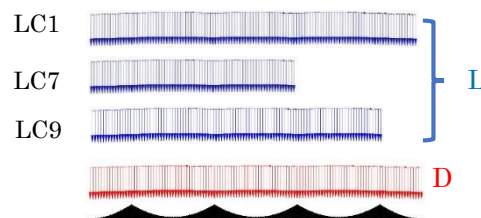
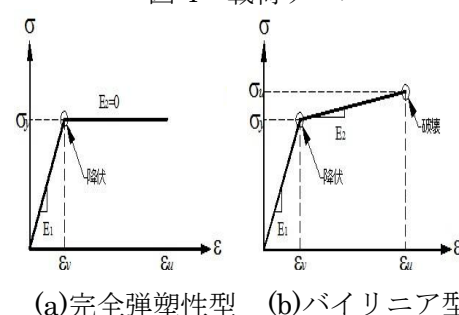


図 4 載荷ケース



(a) 完全弾塑性型 (b) バイリニア型

図 5 弾塑性モデル