

塔高を中央径間長の 1/10 とした鋼製斜張橋の弾塑性挙動と終局強度

東京都立大学大学院 学生会員 秋本 泰治
東京都立大学大学院 正会員 野上 邦栄
東京都立大学大学院 正会員 山沢 哲也
(株)長大 正会員 森園 康之
長岡技術科学大学 正会員 長井 正嗣

1. 背景・目的

わが国では 1999 年に、斜張橋としては世界最長の多々羅大橋が完成しているが、海外に目を向けると、中国ではスパン 1000m を超える斜張橋が数橋計画されており、そのうちの 1 橋はまもなく詳細設計が終了する状況にある¹⁾。わが国における鋼製斜張橋の建設はかつてに比べて多くの例を見なくなったものの、世界的には斜張橋の建設は依然活発な状況にある。

ところで、都市内での長大斜張橋の建設を考えた場合、空港近接、地盤状態が悪いなどの制約条件が想定され、塔高をこれまでの最適高さに出来ない可能性がある。このような制約条件下において、その建設を実現可能にするためには、これまでの最適塔高である中央径間長の 1/5 より低い塔高を実現する必要がある。そこで、一つの代替案として最適塔高の約半分とした、すなわち吊橋の塔高と同程度の低塔を有する鋼製斜張橋が考えられる。本研究では、都市型の長大吊形式橋梁の開発を試みた試設計結果²⁾に基づき弾塑性有限変位解析を実行し、低塔を有する斜張橋の弾塑性挙動および終局強度特性を把握する。

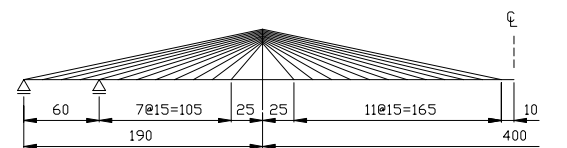
2. 解析モデル

対象とした橋梁は、図-1 に示す中央径間長 400m 側径間長 190m および中央径間長 600m 側径間長 275m の鋼製斜張橋である。主塔は各々図-2 に示す 2 層ラーメン形式とし、桁上塔高は中央径間長の 1/10、桁下空間を 20m と仮定する。ケーブル・ハンガーには ST1770 鋼材を用いる。主桁断面は共通に図-3 に示す一室箱型断面とし、その寸法は補剛桁を換算した等価フランジ厚 20mm、腹板厚 15mm とする。塔柱断面は共通に一室箱型断面とする。

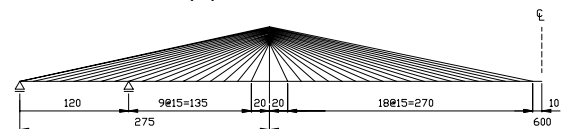
以上の基本条件の下、現行設計法³⁾により主塔(B_t , H_t , t)および主桁(H)の断面寸法および鋼材を変化させて試設計を行った結果が表-1 である。400m モデルでは塔位置付近の主桁および塔基部、600m モデルでは塔位置付近の主桁で鋼種を上げている。本研究ではこれらの諸元を用いて解析モデルを作成する。

荷重・荷重条件は、死荷重(D)とケーブルプレストレス(PS)の働く初期状態に対し常時荷重($D+L$)を増分させていく $\alpha(D+L)$ とし、 $\beta = \alpha + 1$ と設定する。活荷重の荷重位置は図-4 に示す。

を考慮し、終局強度に与える影響を検討する。また、試設計過程で中間橋脚設置の有無について検討していることから、終局強度の面からも検討した。設置位置は、400m モデルでは桁端から 60m、600m モデルでは case1 で桁端から 45m、case2 で桁端から 120m とした。試設計結果では、400m では設置、600m では case2 の条件であり(図-1)、そのときの主桁最大たわみは各々中央径間長の 1/371, 1/335 となっている。



(a) 400m モデル

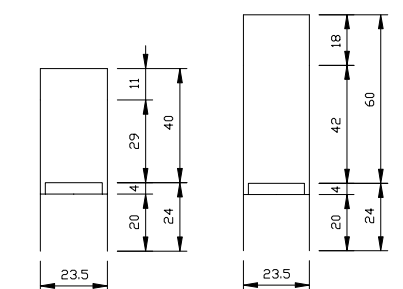


(b) 600m モデル

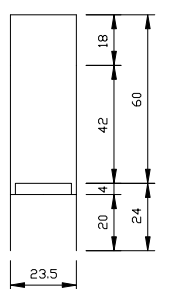
図-1 斜張橋側面形状

表-1 試設計結果

	単位	斜張橋(中間橋脚あり)	
		400m	600m
桁	断面寸法($B \times H$)	m	20.0×2.5
	板厚(t_f, t_w)	mm	20, 15
	材質	SM400, SM490Y	SM490Y, SM570
	断面積(A_g)	m ²	0.874
主塔	断面積(A_t)	m ²	0.594
	曲げ剛性(I_t)	m ⁴	2.024
ケーブル	断面積(A_c)	m ²	0.0049~0.0162
	外径(d)	mm	105~180
	概算重量	t	7,490
	合計	t	10,618

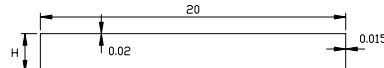


(a) 400m モデル

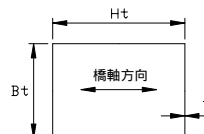


(b) 600m モデル

図-2 斜張橋主塔形状



(a) 主桁



(b) 主塔

図-3 共通断面図

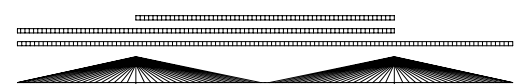


図-4 活荷重荷重条件

Keywords: 斜張橋, 終局強度, 弾塑性有限変位解析, 塔高, 都市型橋梁, 新形式

Address: 192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL.(0426)77-1111 ext4562 FAX.(0426)77-2772

4.弾塑性挙動と終局強度特性

400m および 600m 斜張橋に対して弾塑性有限変位解析を実行した。図-5 に、600m モデルの桁端部水平変位に着目した荷重-変位曲線を示す。図中の記号は、形で活荷重載荷条件(図-4)を区別し、○が、△が、◇がを表す。また、図中に示す記号の色で中間橋脚の設置箇所を区別する。中間橋脚なし、および設置 case1 の活荷重で変位の伸びが見られるが、他のケースではいずれも主桁の初期降伏時まで緩やかに変位・荷重倍率が増加した後、急激に非線形性が増し、終局を迎えている。

図-6 に、中間橋脚条件を 400m モデルでは設置、600m モデルでは case2 とし、活荷重条件をとした場合の終局時変位増分モードおよび終局時主桁断面力分布を示す。モード図では太線が塑性領域を表す。断面力分布図の縦軸は、各々降伏軸力および降伏モーメントで無次元化した値を示し、モーメントおよび断面力の和は、主桁下フランジの分布を示す。まず、両モデルの変位増分モードに着目すると、モード形状は類似しているが、600m モデルでは塔位置付近の主桁の塑性開始直後に終局を迎えるのに対し、400m モデルでは主塔、ケーブル部材にも塑性領域が発生している。400m モデルの支間中央付近に発生した大きなたわみにより、中央径間の主桁上フランジが塑性化し、中央径間を吊るケーブルにも広く塑性領域が広がる。次に断面力分布図に着目すると、400m モデルでは、塔位置付近の鋼種を上げた領域で軸力がうまく低減されている一方で、支間中央付近で大きなモーメントが発生するため、塔位置と中央径間の両方で塑性領域が発生する。それに対し、600m モデルでは、塔位置主桁に大きな軸力が発生している。塔付近では鋼種を上げているものの、鋼種変更点の脇から塑性領域が発生・進展し、そのまま終局状態に至る。また、400m モデルと比較した場合、軸力の大きさに対するモーメントの大きさの割合は小さい。

最後に、表-2 に両モデルの初期降伏時荷重倍率 β_y および終局時荷重倍率 β_u を示す。表中の灰色部分は、終局状態を迎えた後に塑性化が進展した箇所である。終局時荷重倍率として、400m モデルでは 2.1~2.2、600m モデルでは 1.9~2.0 を有している。400m モデルでは、中間橋脚設置により、活荷重載荷条件が終局時荷重倍率に与える影響は小さくなる。中間橋脚なし、活荷重以外のケースにおいて、主塔、主桁、ケーブルの順に塑性領域が発生し、終局状態に至る傾向が見られた。一方、600m モデルでは、活荷重の場合を除き、主桁にのみ塑性領域が発生する。ケーブル塑性が発生するのは終局状態を迎えた後である。また、600m モデル中間橋脚なしの場合を除く両モデルの各ケースで、主桁初期降伏後の比較的早い時期に終局状態を迎える傾向が見られた。

4. 結論

今回提案した中央径間長の 1/10 の塔高を有する 400m および 600m 斜張橋は、中間橋脚を適切な位置に設置することにより、終局時荷重倍率で各々 2.2、1.9 程度を確保できること、また、設計荷重時の最大たわみが 400m および 600m モデルで各々 1/371、1/335 であることから、現行設計法において十分実現の可能性があると言える。

参考文献

- 1)藤野：香港ストーンカッターズ橋の設計協議に参加して、橋梁と基礎 Vol.36, No.5, pp.37-39, 2002
- 2)森園,長井,野上,藤野：塔高を中央径間長の 1/10 とした鋼斜張橋の試設計と自定式吊橋との比較、構造工学論文集 Vol.50A, 2004.
- 3)本州四国連絡橋公団：鋼上部構造設計基準・同解説, 1992

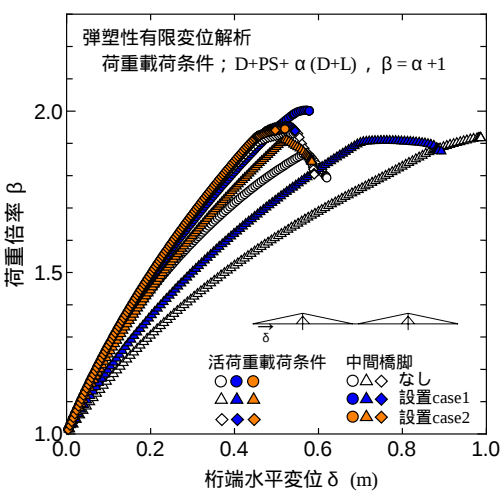


図-5 600m モデルの桁端荷重-変位曲線

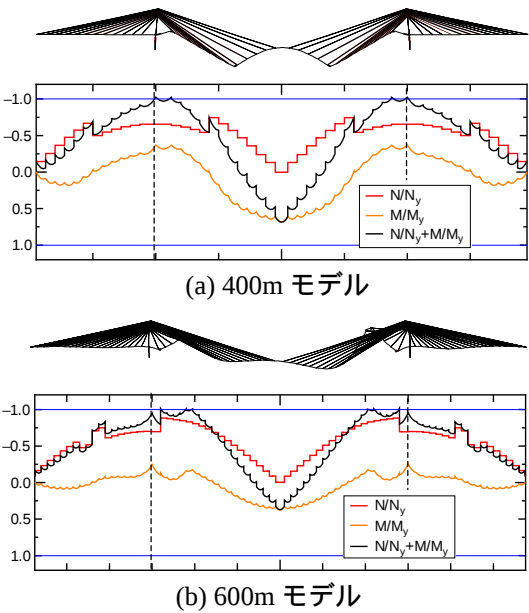


図-6 終局時変位増分モードおよび主桁断面力分布（活荷重）

表-2 荷重倍率 β_y , β_u

400m斜張橋					
中間橋脚	活荷重	主桁降伏	主塔降伏	ケーブル降伏	終局時
なし		2.16038	1.99818	2.0362	2.16984
		2.12913	2.00804	2.03162	2.16152
		2.1265	2.13603	2.06205	2.19708
設置		2.17737	1.8703	2.05705	2.19792
		2.12682	1.86101	2.05237	2.19170
		2.12811	1.90135	2.05487	2.19460
600m斜張橋					
中間橋脚	活荷重	主桁降伏	主塔降伏	ケーブル降伏	終局時
なし		1.75091	1.85019	1.84942	1.86606
		1.73432	-	-	1.91735
		1.72425	-	-	1.93031
設置 case1		1.92718	1.90071	1.99977	2.00165
		1.89173	-	1.88599	1.90841
		1.89182	-	1.95116	1.95343
設置 case2		1.91063	-	1.94349	1.94349
		1.88934	-	-	1.91123
		1.88916	-	-	1.94062