

塔高を中央径間長の 1/5 及び 1/10 とした鋼斜張橋の弾塑性挙動と終局強度特性

三井住友建設（株） 正会員 気仙 祐輔
 首都大学東京 正会員 山沢 哲也
 （株）長大 正会員 森園 康之

首都大学東京 正会員 野上 邦栄
 （株）日邦技研 正会員 岩崎 秀隆
 長岡技術科学大学 正会員 長井 正嗣

1. 背景・目的

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（経済的高さ）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。そこで本研究では、都市型の長大吊形式橋梁の開発を目的に、一つの代替案として最適塔高の約半分とした、すなわち吊橋と同程度の塔高を有する鋼製斜張橋（1/10 モデル）を提案する。試設計結果¹⁾に基づき弾塑性有限変位解析を実行し、弾塑性挙動および終局強度特性を明らかにすると共に、同一中央径間長で中央径間長の 1/5 の塔高を持つ斜張橋（1/5 モデル）との比較により、低塔化したことが終局強度特性へ与える影響を明らかにする。

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 及び中央径間長 600m、側径間長 275m の鋼斜張橋である。主塔は各々図-2 に示すラーメン形式とし、桁上塔高は中央径間長の 1/5 及び 1/10 とし、桁下空間は両橋梁とも同一の 20m と仮定する。1/10 モデルでは、400m 斜張橋で桁端から 60m、600m 斜張橋で桁端から 120m の位置に中間橋脚を設置した。主塔断面には両橋梁共通に、図-3 に示す一室箱型断面とし、その板厚は補剛材を換算した等価フランジ厚 20 mm、腹板厚 15 mm 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²⁾による試設計結果が表-1 である。塔高を低くすることにより、1/5 モデルに比べて塔位置付近の主桁で材質を上げる必要がある。一方、主塔は材質を下げるのが可能となった。また、ケーブルについては 1/5 モデルでは ST1570 鋼材を、1/10 モデルで ST1770 鋼材を用いる必要がある。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) を漸増載荷させていき、 $\gamma = +1$ と設定する。活荷重載荷条件は図-4 に示すように、支間中央載荷、側径間 & 支間中央載荷、全径間載荷の 3 パターンとし、弾塑性挙動と終局強度に与える影響を検討する。

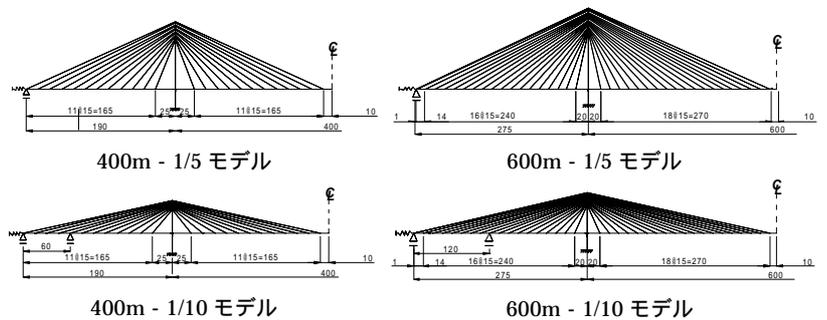


図-1 斜張橋側面形状

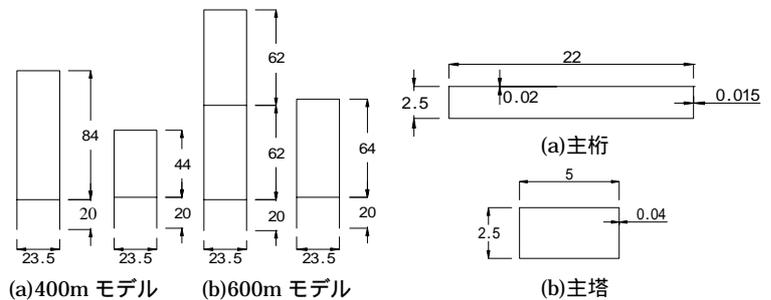


図-2 斜張橋主塔形状

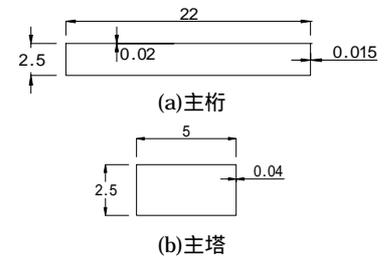


図-3 共通断面図

表-1 試設計結果

| | 中央径間長 (L) | 400 | | 600 | |
|-----------|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | 1/5 | 1/10 | 1/5 | 1/10 |
| 塔高比 (H/L) | | 無 | 有 | 無 | 有 |
| 中間橋脚 | | | | | |
| 桁 | 断面寸法 (B x H) | 22.0 x 2.5 | 同左 | 同左 | 同左 |
| | 板厚 (t _f , t _w) | 20, 15 | 同左 | 同左 | 同左 |
| | 材質 | SM400 | SM400 SM490Y | SM400 SM490Y | SM490Y SM570 |
| | 断面積 (A) | 0.874 | 同左 | 同左 | 同左 |
| | 曲げ剛性 (I) | 1.267 | 同左 | 同左 | 同左 |
| 塔 | 断面寸法 (B _t x H _t) | 2.5 x 5.0 | 同左 | 同左 | 同左 |
| | 板厚 (t _f , t _w) | 40, 40 | 同左 | 同左 | 同左 |
| | 材質 | SM400 SM490Y | SM400 | SM490Y SM570 | SM490Y |
| | 断面積 (A _t) | 0.594 | 同左 | 同左 | 同左 |
| | 曲げ剛性 (I _t) | 2.024 | 同左 | 同左 | 同左 |
| ケーブル | 断面積 (A _c) | 0.0047 ~ 0.0109 | 0.0049 ~ 0.0162 | 0.0047 ~ 0.0109 | 0.0058 ~ 0.0192 |
| | 外形 (d) | 110 ~ 195 | 同左 | 110 ~ 195 | 同左 |
| | 概算鋼重 | | | | |
| 桁 | t | 7,490 | 7,490 | 11,044 | 11,044 |
| 塔 | t | 3,327 | 2,283 | 4,677 | 2,805 |
| ケーブル関係 | t | 715 | 969 | 1,548 | 2,364 |
| 合計 | t | 11,532 | 10,742 | 17,269 | 16,214 |



図-4 活荷重載荷条件

3. 弾塑性挙動と終局強度特性

400m 及び 600m のモデルに対して弾塑性有限変位解析を実行した。図-5 に、桁端部水平変位に着目した荷重変位曲線を示す。いずれのケースも緩やかに変位-荷重倍率が増加し限界強度に達した後、急激に非線形性が増し、終局に至る傾向が見られた。400m に関しては、すべての活荷重条件において 1/5 モデルより 1/10 モデルの終局荷重倍率が 8% 前後小さい。一方、600m に関しては、活荷重条件 以外は、1/5 モデルより 1/10 モデルの終局荷重倍率が 10% 程度大きい。

中央径間長 400m, 600m に対して、それぞれ 1/5 モデルと 1/10 モデルの塑性進展状況の比較を図-6 に示す。ほとんどのケースで主桁がまず降伏し、主塔、ケーブルの順で降伏した後、終局を迎える。なお、荷重倍率約 1.0 で主桁に初期降伏が発生しているのは、引張残留応力の影響によるものである。600m の 1/5 モデルで活荷重条件 及び の場合、図-5(b)の○、曲線からも明らかのように、その他のケースとは異なり、ケーブルに降伏は発生せず、塔の塑性化が進展して荷重倍率 1.9 程度で終局を迎える。しかし、中央径間長 400m では約 2.2~2.4、中央径間長 600m では約 1.9~2.2 程度の荷重倍率を有しており、塔高の違い及び活荷重条件の違い、また中央径間長の違いが終局強度に与える影響は小さい。

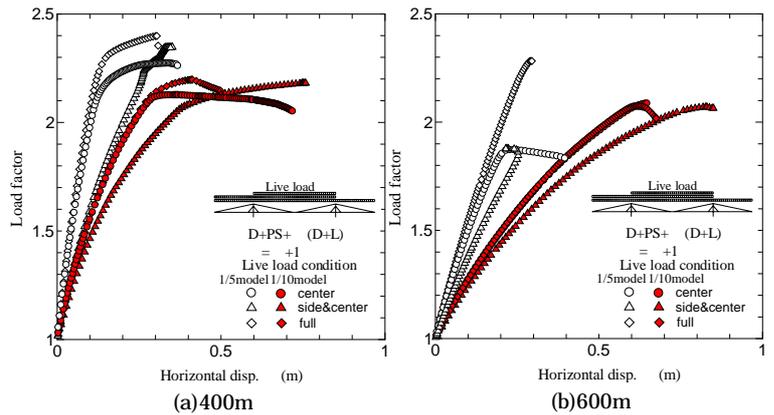


図-5 桁端部水平変位荷重変位曲線

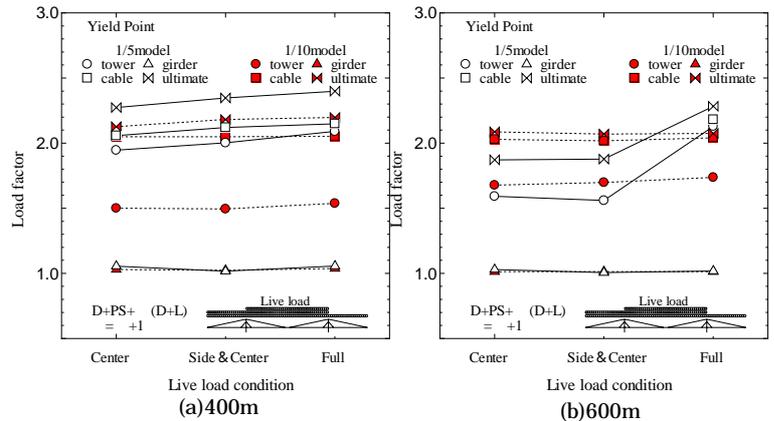


図-6 塔高の違いによる塑性進展状況の比較

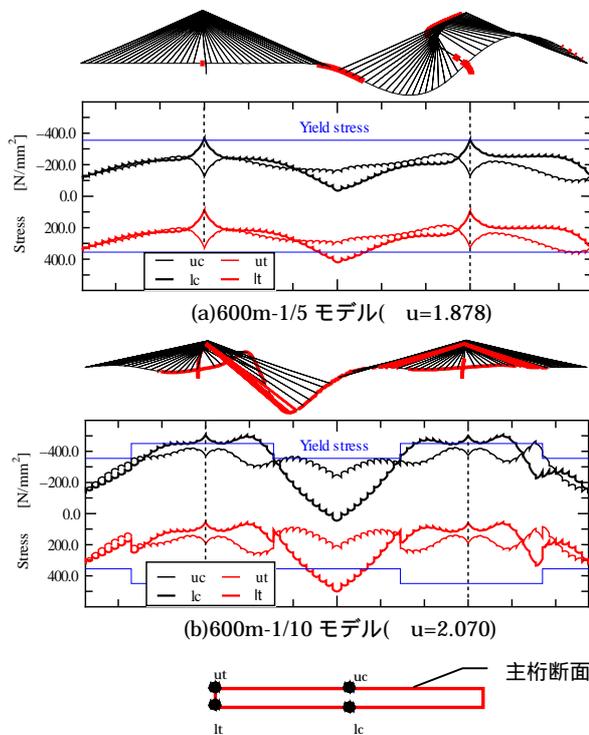


図-7 終局時変位増分モード及び主桁応力図(活荷重条件)

中央径間長 600m で活荷重条件 のときに着目し、終局時変位増分モードと終局時主桁応力分布図を図-7 に示す。モード図では太線が塑性領域を表している。また、各応力分布曲線では、図中の主桁断面における 4 点の応力分布を示している。

応力分布図を見ると、両モデルにおいて支間中央で軸力が小さくなるので曲げモーメントと引張残留応力の影響で引張側である下フランジの降伏が見られる。モード図からは 1/5 モデルにおいて、塔の塑性領域が進展し、終局状態に至っているのが分かる。一方 1/10 モデルでは、桁の鋼種変更点付近のケーブルで塑性領域が発生し、荷重の増加にともない進展し、終局状態に至っている。

4. 結論

今回提案した中央径間長の 1/10 の塔高を有する斜張橋は、中間橋脚の設置及び主桁に高強度材を使用することが前提条件とはなるものの、400m 及び 600m 斜張橋ともに $u=2.1$ 前後の荷重倍率を有しており、1/5 モデルの $u=1.9 \sim 2.3$ の範囲内の終局荷重倍率を確保していることから、1/10 モデルの実現の可能性が期待できる。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 本州四国連絡橋公団: 鋼上部構造設計基準・同解説, 1992