

# (I-22) 一部他定式斜張橋の終局強度に与えるケーブル非弾性の影響

東京都立大学大学院 学生員 岩崎 秀隆  
 東京都立大学大学院 正 員 野上 邦栄  
 長岡技術科学大学 正 員 長井 正嗣

## 1. はじめに

斜張橋の塔と桁はケーブル張力により軸圧縮力を受ける．とりわけ支間の長大化に伴ない塔や桁に生じる軸圧縮力が増大し断面の大型化が避けられなくなる．特に，支間 1000m を超える自定式斜張橋では桁に対する静的安定性を確保するために車線数に関係なく桁幅を広くし，かつ桁高も高くすることが指摘されている<sup>1)</sup>．そのため，主桁の鋼重に着目すれば自定式斜張橋は他の吊形式橋梁に対して競争力を失なうと考えられる．それに対して，主桁に生じる軸圧縮力を低減し自定式に対して長支間化を可能とする形式として一部他定式が提案されている<sup>1)</sup>．しかしながら，一部他定式斜張橋の終局強度や挙動に対する検討は少なく<sup>2)</sup>，十分明らかになっているとは言えない．そこで本論文では，支間 1640m の一部他定式斜張橋を対象にケーブル安全率をパラメータとして弾塑性有限変位解析<sup>3)</sup>を行い，ケーブル強度が一部他定式斜張橋の終局挙動，強度に与える影響について検討を行なう．

## 2. 斜張橋モデル

対象とした斜張橋とその主桁，主塔の断面を図-1に示す．解析モデルは支間 1640m，側径間 680m の一部他定式斜張橋を立体骨組構造にモデル化した．主塔は A 型塔で桁から上の高さは 298m である．また，側径間には 100m 間隔で中間橋脚を配置した．主桁は桁幅 35m，桁高  $H = 3.0\text{m}$  の 5 セル断面，主塔断面は 1 セルの矩形断面である．板厚はリブを含む換算板厚とし，主桁はデッキ，フランジを 20mm，ウェブを 15mm，主塔は 40mm と仮定する．主桁，主塔の材質には降伏点  $450\text{N/mm}^2$  の SM570 を，ケーブルには引張強さ  $1570\text{N/mm}^2$  の ST1570 を用いた．また，応力-ひずみ関係は SM570 に完全弾塑性を，ST1570 には降伏点を  $1157\text{N/mm}^2$ ，破断伸びを 4.0% とするバイリニアを仮定した．ケーブルは引張強さに対する安全率として  $\gamma_c = 2.0, 2.2, 2.5$  の 3 ケースを選択した．なお，降伏強度に対する安全率としては約 1.5, 1.6, 1.8 となる．ケーブルの断面積は，許容応力度として引張強さを安全率で除した値を用い，活荷重によるケーブル張力を死荷重の 25% と仮定して算出した．

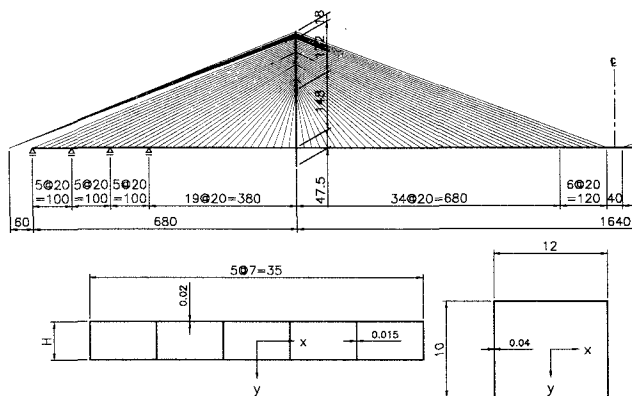


図-1 斜張橋モデルと主桁・主塔断面

表-1 断面諸元

|      | A<br>( $\text{m}^2$ )                                            | $I_x$<br>( $\text{m}^4$ ) | $I_y$<br>( $\text{m}^4$ ) | J<br>( $\text{m}^4$ ) |
|------|------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|
| 桁    | 1.670                                                            | 3.353                     | 181.504                   | 7.109                 |
| 塔    | 1.760                                                            | 30.667                    | 40.320                    | 52.364                |
| ケーブル | $\gamma_c = 2.0: 4.156 \times 10^{-3} \sim 2.320 \times 10^{-2}$ |                           |                           |                       |
|      | $\gamma_c = 2.2: 4.540 \times 10^{-3} \sim 2.609 \times 10^{-2}$ |                           |                           |                       |
|      | $\gamma_c = 2.5: 5.310 \times 10^{-3} \sim 3.070 \times 10^{-2}$ |                           |                           |                       |

荷重条件は死荷重 ( $D$ ) とケーブルプレストレス ( $PS$ ) が作用する初期状態に対して死荷重と活荷重の和 ( $D+L$ ) を漸増載荷する．従って，荷重倍率を  $\alpha$  として  $D+PS+\alpha(D+L)$  である．また，活荷重の載荷状態は，中央径間のみに載荷する ① Center，一方の側径間と中央径間に載荷する ② Side & Center，全径間に載荷する ③ Full，の 3 種類を考慮する．死荷重の値は桁が  $248.6\text{kN/m}$ ，塔が  $189.7\text{kN/m}$  であり，活荷重の値は  $43.7\text{kN/m}$  である．なお，残留応力，初期たわみ，局部座屈については考慮していない．

## 3. 解析結果

ここでは，活荷重の載荷状態として全径間載荷である ③ Full について述べる．表-2 にケーブル安全率の変化に対する桁，塔，ケーブルの初期降伏と終局状態の荷重倍率を示す．また，図-2 には，ケーブル安全率

キーワード：一部他定式斜張橋，終局強度，弾塑性有限変位解析

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

と荷重倍率の関係を示した。ケーブル安全率  $\gamma_c = 2.0$  では、ケーブル(△記号)が最初に降伏し、直ちに終局状態(■記号)となることがわかる。すなわち、桁や塔は降伏せずに終局状態はケーブルの初期降伏にのみ支配されている。一方、 $\gamma_c = 2.2$  では、桁(○記号)で降伏を生じると、直にケーブルが降伏し終局状態となる。 $\gamma_c = 2.5$  では、斜張橋を構成する主要な構成要素である桁、塔、ケーブルの全てに降伏を生じており、桁と塔の降伏時の荷重倍率に対してケーブル降伏時の荷重倍率が大きな値となっている。また、全てのケーブル安全率に共通してケーブルの初期降伏と終局状態の荷重倍率が非常に近い値となっている。これらのことから、一部他定式斜張橋の終局強度はケーブル非弾性の影響を強く受けていることがわかる。 $\gamma_c = 2.5$  では桁、塔、ケーブル全てに降伏を生じ、橋全体の終局強度に対して桁、塔、ケーブル全ての構成要素が寄与しているのに対して、 $\gamma_c = 2.0, 2.2$  では終局強度がケーブルの強度に直接的に支配されている。

図-3に主桁の鉛直変位に対する荷重-変位曲線を示す。図中、黒塗り記号はケーブルの初期降伏後の挙動を示している。変位は荷重の増加に従ってほぼ直線的に増加していき、ケーブルの初期降伏後は変位が急激に増加し終局に至ることがわかる。

図-4に終局状態での変位増分モードを示す。図中、太線はその部材が降伏したことを示す。 $\gamma_c = 2.0, 2.2$  では塔付近の桁そして塔全体が直線状であるのに対して  $\gamma_c = 2.5$  では桁が塔位置で折れ、塔は中央径間側に湾曲している。つまり、塔位置の桁と塔基部での塑性進展が顕著で塑性ヒンジに近い状態となっていることがわかる。

#### 4. まとめ

以上の結果から、一部他定式斜張橋の終局強度に対してはケーブル降伏の影響が大きく、その評価はケーブル非弾性の影響を適切に考慮することが重要である。また、ケーブルの安全率を低く設定した場合、終局強度がケーブルの強度に直接的に支配され、橋全体の終局強度の点からは望ましくない。本検討では、 $\gamma_c = 2.5$  で桁、塔、ケーブル全てに降伏を生じ、橋全体の終局強度に対して桁、塔、ケーブル全ての構成要素が寄与する結果となった。

#### 参考文献

- 1) 長井正嗣, 水上義彦, 森園康之, 藤野陽三: 自定, 一部他定式を用いた斜張橋の長大化の可能性に関する一考察, 鋼構造年次論文報告集, Vol.2, pp.635-642, 1994.
- 2) 謝旭, 山口宏樹, 長井正嗣: 自定, 一部他定式長大斜張橋の弾塑性終局挙動に関する考察, 鋼構造年次論文報告集, Vol.4, pp.325-332, 1996.
- 3) 謝旭, 長井正嗣, 山口宏樹: 長大斜張橋の終局強度解析と挙動に関する一考察, 土木学会論文集, No.598/I-44, pp.171-181, 1998.

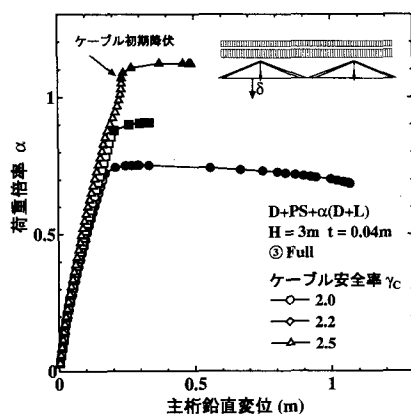


図-3 主桁鉛直変位の荷重変位曲線

| ケーブル安全率 | 初期降伏 |      |      | 終局状態 |
|---------|------|------|------|------|
|         | 桁    | 塔    | ケーブル |      |
| 2.0     | -    | -    | 0.72 | 0.75 |
| 2.2     | 0.85 | -    | 0.88 | 0.91 |
| 2.5     | 0.85 | 0.92 | 1.07 | 1.12 |

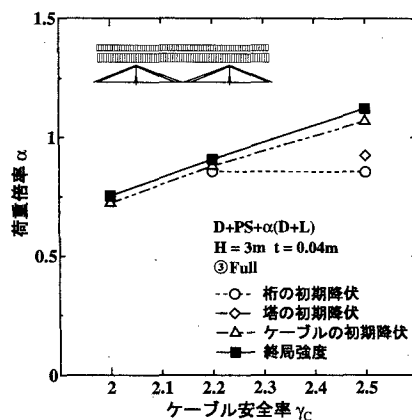


図-2 ケーブル安全率と荷重倍率

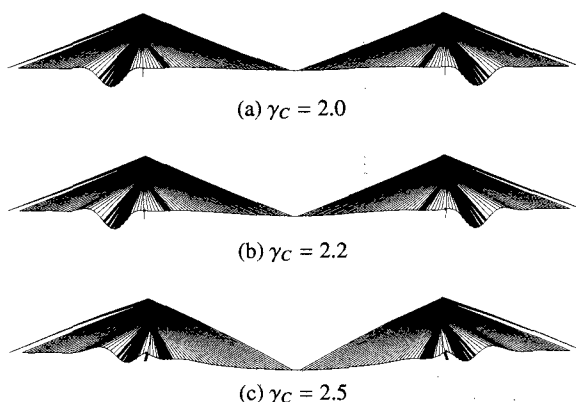


図-4 終局状態の変位増分モード