

## 長大吊橋 RC 主塔の橋軸方向面内における弾塑性挙動と耐荷力

首都大学東京 ○学生会員 古澤 智章

首都大学東京 正会員 野上 邦栄

首都大学東京 正会員 山沢 哲也

JFE エンジニアリング 正会員 津村 直宣

JFE エンジニアリング 正会員 高尾 道明

### 1. 研究背景および目的

近年わが国では長大吊橋による海峡横断プロジェクトが計画されているが、それを達成するためには工費の低減、工期の短縮が命題となっており、新形式、新断面形状、新材料の研究開発が必要である。コンクリート材料に着目すると、現在その強度の向上は著しく、厳しい設計条件もクリアし、工費・工期の面でもメリットがあるとの報告<sup>1)</sup>がある。そこで、本研究では、具体的に長大吊橋の主塔として RC 構造<sup>1)</sup>に着目し、主塔単独モデルの橋軸方向面内の弾塑性挙動、および耐荷力について数値解析により検討する。

### 2. 解析モデル

解析モデルは、中央径間長 1500m の 3 径間吊橋における図-1 のような 4 層ラーメン形式 RC 主塔であり、塔高 200m を有する。主塔構造は、図-1 に示すように塔基部充実断面、塔中間部から塔頂部まで中空断面であり、壁厚は 1m と均一である。かぶりは 20cm、鉄筋間隔は 25cm とする。鉄筋には SD345 (D51)、コンクリートの圧縮強度は  $\sigma_{ck} = 58.8 \text{ N/mm}^2$  を用いる。

### 3. RC 主塔のモデル化と解析条件

主塔は、図-2 のようにケーブル架設前（フリースタANDING状態）とケーブル架設後（完成状態）を対象とし、一端固定多端自由のフリースタANDING状態とケーブルを極めて長いトラス要素と仮定した完成状態としてモデル化している。図中の  $V_{cmax}$  はケーブルの鉛直反力、 $w_g$  は塔自重、 $W$  は風荷重である。構成する各要素の構成則は、図-3 のようにコンクリートは軟化領域を持つ弾塑性型、鉄筋は完全弾塑性型、ケーブルとサドルは弾性体と仮定した。コンクリートにはソリット要素、鉄筋についてはその配置方向のみの材料特性を与えた直交異方性をもつシェル要素としてモデル化した。初期たわみは、塔全体に塔高  $h$  の  $1/200$ ,  $1/1000$ ,  $1/5000$  の最大変位  $\delta_0$  を持つ  $1/4$  正弦波を用いている。以上のモデル化のもと、表-1 のような荷重の組み合わせについて弾塑性有限変位解析を行った。表中の  $\alpha$  は荷重倍率である。

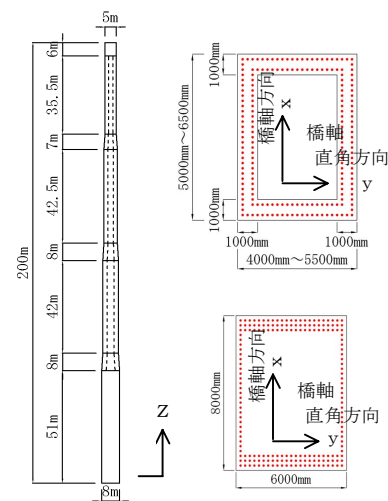


図-1 主塔構造及び断面形状

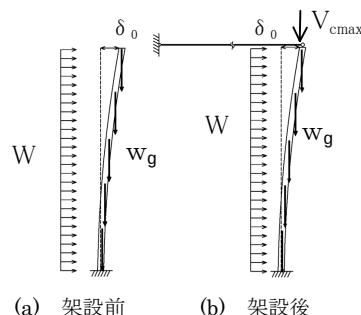


図-2 主塔のモデル化

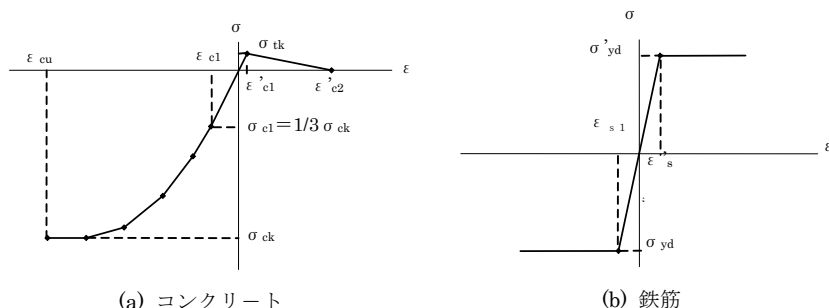


図-3 構成則

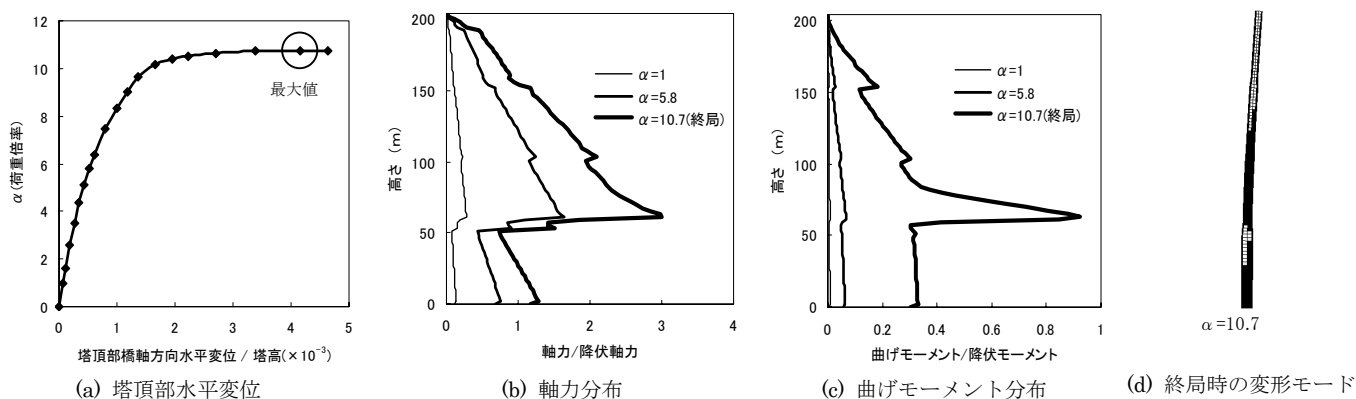
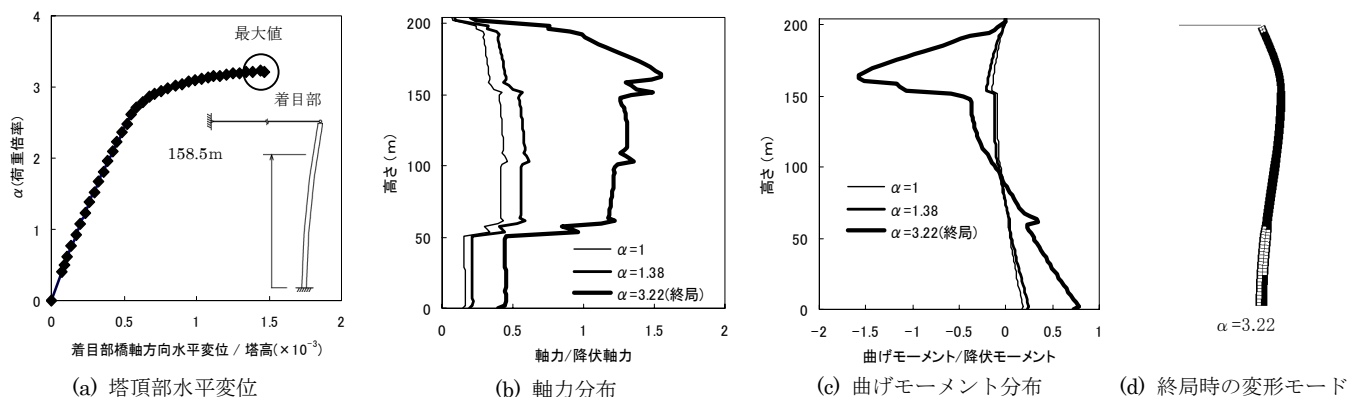
### 4. 弾塑性挙動と耐荷力

まず、荷重条件  $\alpha w_g$ , 初期たわみ  $\delta_0 = 1/1000$ , フリースタANDINGモデルの解析結果を示したのが、図-4 である。(a)は塔頂部の水平変位と荷重倍率の関係を、(b), (c)は荷重を増加させた場合の主塔に作用する軸力と曲げモーメント分布の変化を示したものである。終局状態では軸力、曲げモーメント共に塔基部から  $1/4$  付近（充実断面

| 表-1 荷重条件   |                                   |
|------------|-----------------------------------|
| ケーブルの架設状態  | 荷重条件                              |
| 架設前        | $\alpha w_g$                      |
|            | $\alpha W + w_g$                  |
| 完成系        | $\alpha (V_{cmax} + w_g)$         |
|            | $\alpha (V_{cmax} + w_g) + W$     |
|            | $\alpha (V_{cmax} + w_g + W)$     |
|            | $\alpha W + V_{cmax} + w_g$       |
| $W$        | $3.48 \text{ kN/m}^2$             |
| $V_{cmax}$ | $1.31 \times 10^5 \text{ kN}$     |
| $w_g$      | $23.64 \sim 24.25 \text{ kN/m}^3$ |

Keyword: 長大吊橋、RC 主塔、終局強度、弾塑性有限変位解析

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

図-4 フリースタANDINGモデルの弾塑性挙動と断面力 ( $\alpha w_g$ )図-5 完成系モデルの弾塑性挙動と断面力 ( $\alpha(V_{cmax}+w_g+W)$ )

と中空断面の境界面である第1水平材取り付け位置)で最大値を示し、その位置から塑性化が進み終局に至っている。(d)は橋軸方向面内の変形モードを表したもので、図中の黒い部分が弾性限界  $\sigma_{cl} (=1/3 \sigma_{ck})$  を超えた部分を示している。なお、変形倍率は10倍である。終局時には塔基部から60mの位置より上部で変位が生じている。

図-5は、荷重条件  $\alpha(V_{cmax}+w_g+W)$ 、初期たわみ  $\delta_0=0$ 、完成系モデルの解析結果である。(a)は塔基部から158.5mの位置の水平変位と荷重倍率の関係を表わしたものである。(b)、(c)より終局状態では軸力、曲げモーメント共に塔基部から3/4付近(第3水平材取り付け位置)で最大値を示している。また、その位置でのコンクリートのひび割れが進展し、鉄筋が降伏することで終局に至っている。(d)の橋軸方向面内の変形モードより、終局時には塔基部から3/4付近で大きな変形が生じ、広い範囲で塑性進展が見られる。

次に、全解析ケースの終局強度をまとめたものが表-2である。荷重条件  $\alpha w_g$  では、初期たわみが小さくなるにつれ、断面力が純圧縮の状態に近づくので、終局強度倍率が大きくなる。また、荷重条件  $\alpha W+w_g$  では、極端に終局強度倍率が小さくなっている。これは、ケーブル架設前の状態であるので、塔頂部がケーブルにより拘束されていないために塔基部の曲げモーメントが大きくなりそこからの塑性化が進んだためである。荷重条件  $\alpha(V_{cmax}+w_g)$  においては、荷重条件  $\alpha w_g$  と同様で初期たわみが小さくなるにつれて終局強度が増大する傾向にある。荷重条件  $\alpha(V_{cmax}+w_g)+W$ 、 $\alpha(V_{cmax}+w_g+W)$ 、 $\alpha W+V_{cmax}+w_g$  では、いずれも風荷重が考慮されているがフリースタANDING状態の荷重条件  $\alpha W+w_g$  よりも終局強度が大きくなっている。これは、ケーブルが架設されることで塔頂部が拘束され、塔基部や第1水平材取り付け位置での曲げモーメントが軽減されたためである。

## 5. まとめ

- 1) フリースタANDING状態の荷重条件  $\alpha w_g$  では、塔基部から1/4付近が終局強度を支配している。
- 2) 完成状態の荷重条件  $\alpha(V_{cmax}+w_g)$ 、 $\alpha(V_{cmax}+w_g)+W$ 、 $\alpha(V_{cmax}+w_g+W)$ で塔基部から3/4付近が終局強度を支配し、そこでのコンクリートのひび割れが進展することで終局に至る。
- 3) 風荷重のみ荷重倍率を増大させた荷重条件  $\alpha W+w_g$ 、 $\alpha W+V_{cmax}+w_g$  は、塔基部から塑性化が進み終局に至る。
- 4) 完成状態においては塔頂部がケーブルにより拘束されることで、終局時の荷重倍率は約3～6倍となる。

## 参考文献

- 1) 神弘夫・津村直宣・高尾道明：長大橋における複合構造主塔の試設計、土木学会第54回年次学術講演会、I-A134、1999

|     | 荷重条件                     | 初期たわみ  | 荷重倍率 |
|-----|--------------------------|--------|------|
| 架設前 | $\alpha w_g$             | 1/200  | 9.1  |
|     |                          | 1/1000 | 10.7 |
|     |                          | 1/5000 | 11.3 |
|     | $\alpha W+w_g$           | 0      | 1.41 |
| 完成系 | $\alpha(V_{cmax}+w_g)$   | 1/200  | 3.79 |
|     |                          | 1/1000 | 3.92 |
|     |                          | 1/5000 | 4.06 |
|     | $\alpha(V_{cmax}+w_g)+W$ | 0      | 3.59 |
|     | $\alpha(V_{cmax}+w_g+W)$ | 0      | 3.22 |
|     | $\alpha W+V_{cmax}+w_g$  | 0      | 5.92 |