

1. まえがき 本文は、道路橋示方書で実際に設計された長大吊橋の主塔、および長支間連続トラス橋を検討の対象として、これらに対して弾塑性有限変位解析を行い、この種の長大鋼橋の終局強度特性について検討するとともに、すべての長大鋼橋に対して共通して利用できる設計法の開発に供し得るバックデータを提供することを目的として研究を行ったものである。

2. 解析結果とその考察

2.1 長支間連続トラス橋 図-1には、検討の対象とした解析モデルを示す。荷重の組合わせとしては、荷重ケース1： $\alpha$ （D+L）、および荷重ケース2： $\alpha$ （D+W）とした。ここに、D：死荷重、L：活荷重、W：風荷重、 $\alpha$ ：荷重パラメータ（設計荷重に対する倍率）とする。まず、荷重ケース1の解析の結果によると、トラス部材の結合条件（ピン結合と剛結合）が降伏に至るまでの変位挙動に及ぼす影響は、ほとんど認められなかった。表-1には、荷重ケース1の解析結果を示す。この表において、 $\delta$ は変位、 $\sigma$ は応力を意味する。そして、下添字0、 $\nu$ 、Y、およびuは、それぞれ設計荷重状態、その安全率 $\nu$ 倍の荷重状態、降伏、および終局状態の値である。また、上添字①、および②は、それぞれ弾性微小変位解析、および弾性有限変位解析を意味する。上表より、降伏強度は、道路橋示方書<sup>2)</sup>が期待する安全率1.7よりも若干小さい。しかし、終局強度は、所定の安全率1.7より大きい。また、幾何学的非線形性は、極めて小さい。さらに、降伏してから終局状態に至るまでの変形性能も、比較的小さいことなどが明らかとなった。つぎに、荷重ケース2の解析結果を、表-2に示す。この表より、降伏強度も終局強度も、道路橋示方書が期待する安全率1.36より大きい。また、幾何学的非線形性は、小さい。さらに、降伏してからの変形性能も、比較的小さいことなどがわかる。同表中の橋門構モデルとは、橋門構の安全性を調べるためのものである。そこで、橋門構部材を弾塑性有限要素で、その他の部材はすべて弾性要素でモデル化した。その結果、橋門構の終局強度は2.59となった。

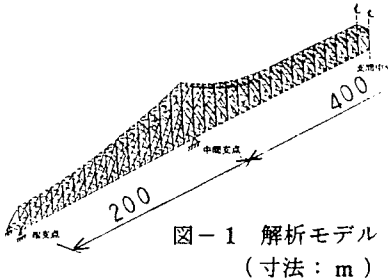


表-1 各限界状態における応力度、変位量、および荷重パラメータ（長支間連続トラス橋：死荷重＋活荷重）

| 解析法<br>項目 |  | 弾性微小変位解析                                      |                                      |                                      | 弾性有限変位解析                                      |                                               |                                          |                                      |                                 |               |               | 弾塑性有限変位解析     |                                 |            |
|-----------|--|-----------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------------------------|------------|
|           |  | $\frac{\delta_{\sigma^0}}{\delta_{\sigma^0}}$ | $\frac{\sigma_{\sigma^0}}{\sigma_Y}$ | $\frac{\sigma_{\sigma^0}}{\sigma_Y}$ | $\frac{\delta_{\sigma^0}}{\delta_{\sigma^0}}$ | $\frac{\delta_{\sigma^0}}{\delta_{\sigma^0}}$ | $\frac{\delta_{Y^0}}{\delta_{\sigma^0}}$ | $\frac{\sigma_{\sigma^0}}{\sigma_Y}$ | $\frac{\sigma_{Y^0}}{\sigma_Y}$ | $\alpha_{Y1}$ | $\alpha_{Y2}$ | $\alpha_{Y3}$ | $\frac{\delta_u}{\delta_{Y^0}}$ | $\alpha_u$ |
| ピン結合      |  | 1.700                                         | 0.601                                | 1.022                                | 1.004                                         | 1.713                                         | 1.682                                    | 0.601                                | 1.015                           | 1.674         | 1.706         | —             | 1.180                           | 1.740      |
| 剛結合       |  | 1.700                                         | 0.606                                | 1.030                                | 1.004                                         | 1.708                                         | 1.671                                    | 0.605                                | 1.022                           | 1.663         | 1.685         | —             | 1.727                           | 1.840      |

表-2 各限界状態における応力度、変位量、および荷重パラメータ（長支間連続トラス橋：死荷重＋風荷重）

| 解析法<br>項目 | 弾性微小変位解析                                      |                                      |                                      | 弾性有限変位解析                                      |                                               |                                               |                                      |                                      |               |               |               |                                 | 弾塑性有限変位解析  |  |
|-----------|-----------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------------------------|------------|--|
|           | $\frac{\delta_{\sigma^0}}{\delta_{\sigma^0}}$ | $\frac{\sigma_{\sigma^0}}{\sigma_Y}$ | $\frac{\sigma_{\sigma^0}}{\sigma_Y}$ | $\frac{\delta_{\sigma^0}}{\delta_{\sigma^0}}$ | $\frac{\delta_{\sigma^0}}{\delta_{\sigma^0}}$ | $\frac{\delta_{\sigma^0}}{\delta_{\sigma^0}}$ | $\frac{\sigma_{\sigma^0}}{\sigma_Y}$ | $\frac{\sigma_{\sigma^0}}{\sigma_Y}$ | $\alpha_{Y1}$ | $\alpha_{Y2}$ | $\alpha_{Y3}$ | $\frac{\delta_u}{\delta_{Y^2}}$ | $\alpha_u$ |  |
|           |                                               |                                      |                                      |                                               |                                               |                                               |                                      |                                      |               |               |               |                                 |            |  |
| 全体系着目モデル  | 1.360                                         | 0.789                                | 0.976                                | 1.010                                         | 1.374                                         | 1.399                                         | 0.722                                | 0.982                                | 1.385         | 1.129         | —             | 1.346                           | 1.590      |  |
| 橋門構着目モデル  | 1.360                                         | 0.432                                | 0.588                                | 1.304                                         | 1.773                                         | 2.799                                         | 0.458                                | 0.634                                | 2.068         | —             | —             | 2.378                           | 2.590      |  |

## 2.2 モノ・コード自定式吊橋 図-2には、検討対象とした

解析モデルを示す。ここでは、死荷重と活荷重との組合わせた

ものを対象とした。解析結果を、表-3に示す。この表より、

降伏強度は、道路橋示方書<sup>2)</sup>が期待する引張部材に対する安全

率1.71より大きい。また、終局強度も、引張部材の破断に対

する安全率2.38より大きい。幾何学的非線形性は、初期たわ

みの有無に関係なく小さい。また、変形性能も、比較的小さいことなどが明らかとなった。

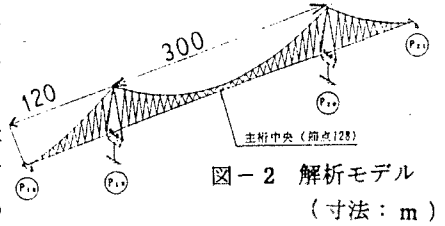


表-3 各限界状態における応力度、変位量、および荷重パラメータ

(モノ・コード自定式吊橋：死荷重+活荷重)

| 主塔面外の<br>初期たわみ<br>(橋軸方向) | 解析法 | 弾性微小変位解析                    |                             |                             | 弾性有限変位解析                    |                             |                             |                             |                             |               |               | 弾塑性有限変位解析     |                             |            |
|--------------------------|-----|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|-----------------------------|------------|
|                          | 項目  | $\frac{\delta_x}{\delta_y}$ | $\frac{\sigma_x}{\sigma_y}$ | $\frac{\sigma_z}{\sigma_y}$ | $\frac{\delta_x}{\delta_y}$ | $\frac{\delta_z}{\delta_y}$ | $\frac{\delta_y}{\delta_y}$ | $\frac{\sigma_x}{\sigma_y}$ | $\frac{\sigma_z}{\sigma_y}$ | $\alpha_{y1}$ | $\alpha_{y2}$ | $\alpha_{y3}$ | $\frac{\delta_u}{\delta_v}$ | $\alpha_u$ |
|                          |     | $\frac{\delta_x}{\delta_y}$ | $\frac{\sigma_x}{\sigma_y}$ | $\frac{\sigma_z}{\sigma_y}$ | $\frac{\delta_x}{\delta_y}$ | $\frac{\delta_z}{\delta_y}$ | $\frac{\delta_y}{\delta_y}$ | $\frac{\sigma_x}{\sigma_y}$ | $\frac{\sigma_z}{\sigma_y}$ |               |               |               |                             |            |
| 初期たわみ無視                  |     | 1.700                       | 0.351                       | 0.657                       | 1.015                       | 1.742                       | 2.690                       | 0.351                       | 0.650                       | 2.564         | 1.992         | 15.5          | 1.242                       | 3.06       |
| 初期たわみ導入                  |     | —                           | —                           | —                           | 1.036                       | 1.763                       | 2.699                       | 0.352                       | 0.652                       | 2.555         | 1.986         | —             | 1.240                       | 3.06       |

## 2.3 長大吊橋主塔 図-3には、検討対象とした解析モデルを示す。荷重の組

合わせは、荷重ケース1： $\alpha(D+L)+T_{30}+SD+E+SB$ 、および荷重ケース2： $\alpha$

$(D+L+SD+E)+T_{30}+SB$ とした。ここに、SD：アンカレッジ、および主塔基礎の

移動の影響、E：主塔、およびケーブルの製作・架設誤差の影響（初期たわみ）、

$T_{30}$ ：温度変化の影響、およびSB：架設時のセットバックによる影響とする。

解析結果を表-4に示す。この表より、降伏強度、および終局強度ともに、道路

橋示方書<sup>2)</sup>が期待する安全率1.7より小さい。そして、幾何学的非線形性は、応

力で15%程度、変位で25～29%程度認められた。変形性能は、比較的小さいこ

となどがわかる。終局強度に対する安全率が若干小さかった原因については、今

後、十分に検討する必要がある。

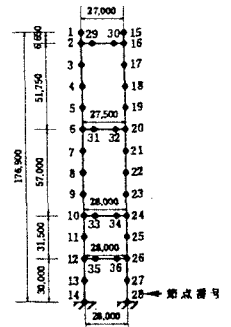


表-4 各限界状態における応力度、変位量、および荷重パラメータ（長大吊橋主塔：死荷重+活荷重）

| 項目     | 弾性微小変形解析                    |                             |                             | 弾性有限変位解析                    |                             |                             |                             |                             |               |               |               |                             | 弾塑性有限変位解析  |            |            |
|--------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|-----------------------------|------------|------------|------------|
|        | $\frac{\delta_x}{\delta_y}$ | $\frac{\sigma_x}{\sigma_y}$ | $\frac{\sigma_z}{\sigma_y}$ | $\frac{\delta_x}{\delta_y}$ | $\frac{\delta_z}{\delta_y}$ | $\frac{\delta_y}{\delta_y}$ | $\frac{\sigma_x}{\sigma_y}$ | $\frac{\sigma_z}{\sigma_y}$ | $\alpha_{y1}$ | $\alpha_{y2}$ | $\alpha_{y3}$ | 残留応力考慮                      |            |            | 無視         |
|        | $\frac{\delta_x}{\delta_y}$ | $\frac{\sigma_x}{\sigma_y}$ | $\frac{\sigma_z}{\sigma_y}$ | $\frac{\delta_x}{\delta_y}$ | $\frac{\delta_z}{\delta_y}$ | $\frac{\delta_y}{\delta_y}$ | $\frac{\sigma_x}{\sigma_y}$ | $\frac{\sigma_z}{\sigma_y}$ |               |               |               | $\frac{\delta_u}{\delta_v}$ | $\alpha_u$ | $\alpha_u$ | $\alpha_u$ |
| 荷重ケース1 | 2.137                       | 0.509                       | 0.911                       | 0.934                       | 0.759                       | 1.595                       | 0.523                       | 1.027                       | 1.663         | 1.346         | 4.40          | 1.334                       | 1.60       | 1.77       |            |
| 荷重ケース2 | 2.581                       | 0.512                       | 0.947                       | 0.988                       | 1.960                       | 1.842                       | 0.506                       | 1.089                       | 1.595         | 1.295         | 4.40          | 1.456                       | 1.57       | 1.71       |            |

3. まとめ この研究で得られた結論をまとめると、以下のとおりである。(1)降伏強度は、対象とした長

支間連続トラス橋、および長大吊橋主塔で、道路橋示方書で期待する安全率より若干小さかった。しかし、

モノ・コード自定式吊橋では、大きくなった。(2)終局強度は、長支間連続トラス橋、およびモノ・コード

自定式吊橋では、所定の安全率よりも大きくなった。しかし、長大吊橋主塔では、所定の安全率より小さく

なった。(3)幾何学的非線形性は、長支間連続トラス橋、および長大吊橋主塔で、ほとんど認められなかった。

長大吊橋主塔において、応力で15%程度、変位で25～29%程度の非線形性が認められた。

参考文献 1) 関西道路研究会・道路橋調査委員会：長大鋼橋の耐荷力解析とコンピュータによる視覚化に

関する研究、1993.10 2) 日本道路橋研究会：道路橋示方書・同解説、Ⅰ・共通編、Ⅱ・鋼橋編、1994.2