

## V-314 繰り返し水平力を受ける鉄筋コンクリート斜張橋主塔の強度と靱性

（株）大林組技術研究所 正会員 大内 一

## 1. まえがき

橋軸直角方向水平力を受けるA型斜張橋主塔の終局強度と靱性、および2次モーメントの影響に関し、前報<sup>1)</sup>では単調載荷荷重下での挙動を検討した。本報では、同様に幾何非線形性と組み合わせ自重に対するクリープの影響を考慮したパラメトリック解析を実施し、繰り返し載荷の上記諸量に対する影響を検討する。

## 2. 解析パラメータと繰り返し載荷

解析パラメータを以下のように設ける。A型主塔形状  $W/H=0.4$  ( $W$ :脚幅、 $H$ :高さ)、鉄筋比:  $p_t=1.5$ , 3.0%, 重力荷重に対する軸力レベル  $\sigma_o/f_c'=0.1, 0.2$ , 細長比  $l/r=35, 104$  (1:柱スパン、 $r$ :断面2次半径)。なお  $W/h=0.4$  は前報での検討に基ずき、他のパラメータとの組み合わせ結果が定性的に同様であるため、 $l/r$  と  $p_t$  は実用上の範囲を考慮して、また  $\sigma_o/f_c'$  は靱性設計の適用範囲を考慮して、それぞれ設定した。載荷については、重力荷重（頂部鉛直集中荷重として）をクリープ変形の定常域まで載荷した後、1次水平変位モードにより決まる水平力を漸増載荷する。繰り返し載荷は変位制御とし、鉄筋の引張降伏で決まる降伏変位を基準に、最大荷重に至るまで整数倍の変位レベルで正負繰り返し載荷する。各変位レベルの繰返し数については、 $p_t=1.5\%$  (各2サイクル) のケースで次の変位レベルに移行する際、2サイクル目の  $P\sim\delta$  曲線に重なることから、 $p_t=3.0\%$  では各1サイクルとした。解析についてはRCフレーム解析用材料幾何非線形プログラム<sup>1)</sup>を用いる。

## 3. 復元力特性と諸強度

図-1、2に代表的な荷重-変位曲線を示す。ここに図-1の変位は全外力仕事量を全水平力と塔高で除した等価変位であり、囲まれる面積は塔全体の吸収エネルギーに対応する。また図-2は柱スパン中央部の変位である。両図とも荷重は全水平力を全断面積で除した平均せん断力を  $f_c'$  で、変位は塔高  $H$  で除しそれぞれ無次元表示されている。2 $\delta_y$  直後に最大荷重に達するが、ループ形状は中膨れの比較的良好な性状を示す。そのスケルトンカーブは最大荷重およびその時点で定義される最大変位を含み、単調載荷の場合とほぼ一致する。図-2では正負載荷で非対象な関係を得るが、引張と圧縮軸力作用下での柱曲げ剛性の差に起因する。破壊モード、強度、靱性の一覧を表-1に示す。単調載荷の場合と比較して示されているが、表中で  $S+H$  は短期重力荷重+単調水平載荷を、 $L+C.H$  はクリープの影響を含む長期重力荷重+繰り返し水平載荷をそれぞれ表わす。破壊モードは  $p_t=1.5\%$ 、 $\sigma_o/f_c'=0.2$  の場合、 $L+C.H$  がランク2となり、降伏ヒンジの発生数が少なくなるが、一般には同様のモードとなる。単調載荷の場合に比べ、終局強度の低下は5%以

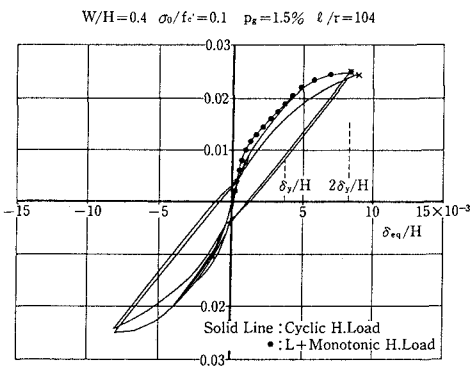


図-1 荷重-変位関係（等価変位）

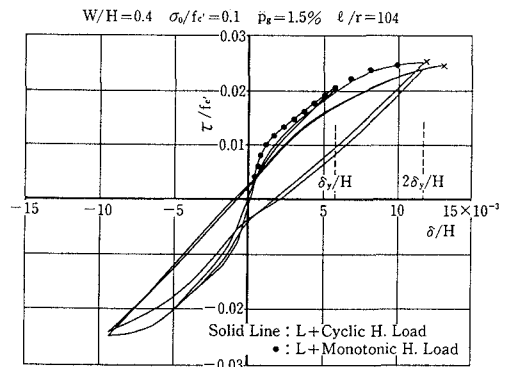


図-2 荷重-変位関係（柱スパン中央部）

下にとどまる。また塑性率も  $p_g=1.5\%$  の場合若干大きくなり、 $P_g=3\%$  の場合は少なめではあるがおおむね同様の値を与える。

図-3に基部反力から求めた内力モーメント $M_{int}$ の変化を示す。ここに $M_H$ は水平力のみによる基部での外力モーメントであり、その比 $M_{int}/M_H$ の1からのずれは結果的に形状変化にともなう重力荷重の寄与分と考えられる。除荷と載荷過程で履歴が異なるが、図-4(b)に示すように、これは形状変化にともなう付加モーメント $\Delta M_D = M_{int} - M_H$ が、除荷過程で残留変形により相対的に大きくなる為である。又負側載荷が始まる領域では図-4(c)に示す様に正側残留変形により、 $\Delta M_D$ が $M_H$ を減少させる方向にある為、結果的には1より小さくなる。しかしながら、上記の付加モーメントの値は急変領域でも高々2%程度にとどまる。

4. 2次モーメント

2次モーメントの増大が最も顕著な基部に注目し、最大荷重時モーメントの弾性モーメントに対する比を図-5に示す。繰返し載荷の場合(L+C.H)は重力荷重に対するクリープ変形有無の単調載荷(L+H,S+H)とほぼ同様の結果となっており、繰返し載荷、クリープ変形とも影響の少ないことを表わす。又これらはACI式に比較し、軸力変動の大きな低細長比域では大きくなるが、それ以外では小さな値を与える。

5. 結語

前報<sup>1)</sup>で推奨される靱性設計対象域 $\sigma_o/f_c' \leq 0.2$ ,  $\ell/r \leq 100$ を対象に、繰返し水平力載荷の解析を実施した。その結果、繰返し荷重の強度、靱性、2次モーメントに対する影響は殆んどないことが分かった。本研究では最大荷重以後の軟化域までは対象としなかった。コンクリートの拘束効果の影響を含め、軟化域までの検討が今後必要であろう。

1) 大内：水平力を受ける鉄筋コンクリート斜張橋主塔の終局強度と靱性、土木学会第44回年次講演会、1989年10月

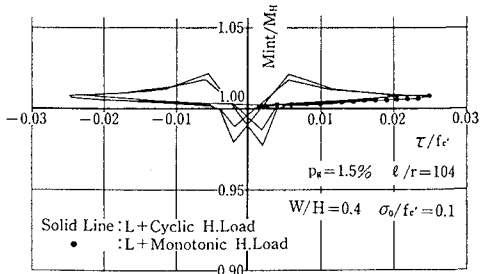


図-3 転倒モーメント-荷重関係

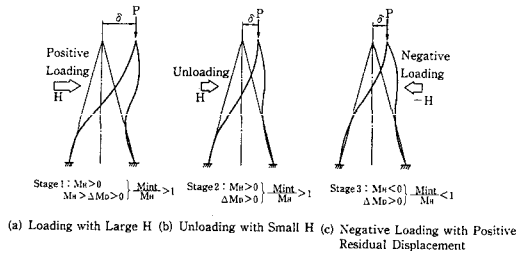


図-4 付加モーメントの寄与

表-1 強度と靱性

| Rebar Ratio<br>$P_g$ | Config. Factor<br>$W/H$ | Axial Stress for G.L.<br>$\sigma_o/f_c'$ | Slenderness Ratio |          | Failure Mode Rank |       | Ultimate Strength     |                                | Ductility Factor |                            |
|----------------------|-------------------------|------------------------------------------|-------------------|----------|-------------------|-------|-----------------------|--------------------------------|------------------|----------------------------|
|                      |                         |                                          | $\ell/h$          | $\ell/r$ | *1)<br>S+H        | L+C.H | $\frac{\tau_u}{f_c'}$ | *2)<br>$\frac{\tau_u}{\tau_0}$ | $\mu$            | *3)<br>$\frac{\mu}{\mu_0}$ |
| 1.5%                 | 0.4                     | 0.1                                      | 10                | 35       | 1                 | 1     | 0.0626                | 0.962                          | 4.222            | 1.017                      |
|                      |                         |                                          | 30                | 104      | 1                 | 1     | 0.0246                | 0.972                          | 2.343            | 1.126                      |
|                      |                         | 0.2                                      | 10                | 35       | 1                 | 2     | 0.0817                | 0.980                          | 2.096            | 1.103                      |
|                      |                         |                                          | 30                | 104      | 1                 | 2     | 0.0276                | 0.965                          | 1.532            | 1.054                      |
| 3.0%                 | 0.4                     | 0.1                                      | 10                | 35       | 1                 | 1     | 0.0959                | 0.951                          | 2.452            | 0.991                      |
|                      |                         |                                          | 30                | 104      | 1                 | 1     | 0.0421                | 0.977                          | 2.197            | 0.992                      |
|                      |                         | 0.2                                      | 10                | 35       | 2                 | 2     | 0.1068                | 0.970                          | 1.721            | 1.091                      |
|                      |                         |                                          | 30                | 104      | 2                 | 2     | 0.0401                | 0.952                          | 1.270            | 0.972                      |

\*1) Reference data: Failure mode rank under monotonic lateral load  
\*2) Ratio of ultimate strength under L+C. H Load to that under S+H Load  
\*3) Ratio of ductility factor under L+C. H Load to that under S+H Load

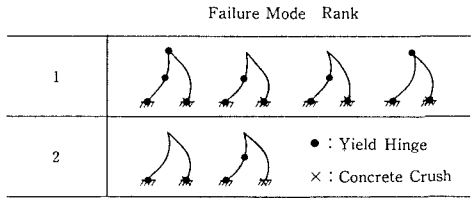


図-5 2次モーメント-細長比関係