

## アンカー部の挙動が鋼製橋脚の地震時終局挙動に与える影響

岐阜工業高等専門学校 正会員 宮下 敏  
トピー工業 正会員 藤原 英之

名古屋工業大学 正会員 後藤 芳顕  
住友金属工業 正会員 上條 崇

【はじめに】鋼製橋脚は、その設計でのモデル化において、一般に橋脚躯体の下端部が基礎に剛結されたものと仮定される。しかしながら、鋼製橋脚の地震時終局挙動は橋脚躯体のみならずアンカー部の終局挙動にも大きく支配される。事実、兵庫県南部地震でも橋脚躯体とアンカー部の損傷関係にはある一定の傾向があることが観察されている。したがって、橋脚のより合理的な耐震設計法を行うためには橋脚躯体のみならず、アンカー部の挙動特性を考慮する必要がある。アンカー部を考慮して橋脚の耐震設計を行うためには、アンカー部の挙動特性を反映した力学モデルが必要となる。このため著者らは、繰り返し載荷実験<sup>1),2)</sup>にもとづき、繰り返し荷重下のモデルとして、解析的に求めたスケルトンカーブと繰り返し載荷実験による履歴ループとを組み合わせたマクロ的な復元力モデル「半実験モデル」を提示した<sup>3)</sup>。本研究ではこれらの成果をもとに、鋼製橋脚アンカー部と橋脚躯体の連成挙動を考慮した動的応答解析を行い、兵庫県南部地震で観察された鋼製橋脚躯体とアンカー部の損傷傾向を理論的に説明し得るか考察する。

【兵庫県南部地震でのアンカー部の被害】対象とするのは阪神高速神戸線の鋼製橋脚 P-352 である。これは、写真-1 および図-1 (a), (c) に示すように、片側の梁が長い非対称な T 型の矩形鋼製橋脚で、アンカー部は鉄筋コンクリート方式となっている。アンカー部の被害としては、写真-2 に示すように、南側ならびに北側の列のアンカーボルトの塑性変形による伸びである。これにより、橋脚は南側（海側）に傾斜している。橋脚の南北両縁のアンカーボルト列の伸びは設計荷重を大きく上回る南北方向の両振りの地震荷重が作用したことによると考えられる。橋脚躯体については、アンカーボルトが伸びたことにより地震入力が増加したためか、被害は受けていない。この橋脚と対照的なのは P-352 の隣りにあり、図-1 (b) に示される形状をもつ橋脚 P-353 である。この橋脚は P-352 とほぼ同じプロポーションを持っているが、張り出し部の長さが若干短く、脚のフランジ・ウェブ板厚もやや薄くなっている。アンカー部の形状・寸法は P-352 と同一である。P-353 では P-352 に比べウェブ厚が薄いためか、南側のウェブパネル全体が中詰めコンクリートの上で局部座屈している（写真-3）。この局部座屈により地震入力エネルギーが吸収され、P-353 のアンカー部は明瞭な被害は受けていない。また、橋脚の傾きも小さい。

【アンカー部の挙動を考慮した動的応答解析】つぎに、対照的な損傷形態を示す上述の 2 つの鋼製橋脚に対し、アンカー部の挙動を「半実験モデル」により考慮した弾塑性動的応答解析を行い、解析結果を実際の損傷傾向と比較する。動的応答解析では幾何学ならびに材料非線形性を考慮した平面骨組の厳密な接線剛性方程式<sup>4)</sup>にコンシステントな慣性項と減衰項を考慮した増分型の運



写真-1 P352 の損傷状況

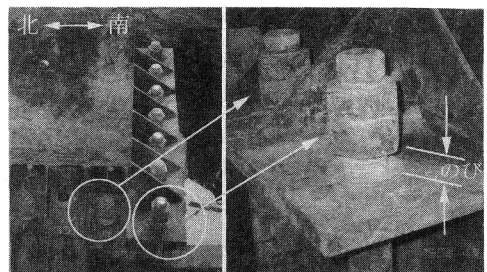


写真-2 P-352 アンカー部の塑性変形



写真-3 P-353 のウェブパネルの局部座屈

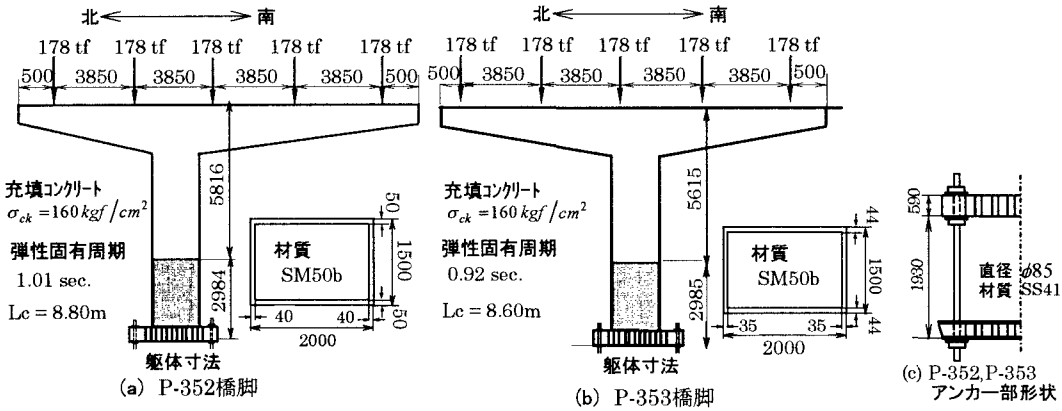
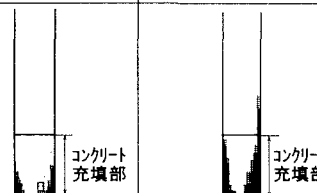


図-1 被害を受けた橋脚躯体およびアンカー部の構造諸元

動方程式を用いる。また、構造物の減衰定数として弾性の各固有モードに対して、 $h = 2.0\%$ を設定し、これをそのまま非弾性領域においても用いる。鋼製橋脚躯体の材料構成則としては移動硬化則に基づいて bi-linear モデル（2次勾配として初期剛性の10分の1を採用）を用い、残留応力、初期たわみ、局部座屈の影響は無視する。入力地震波としては神戸海洋気象台で観測されたN-SおよびU-D成分を用いる。解析結果として橋脚の終局挙動を評価するための物理量すなわち橋脚天端の水平変位の最大応答値、残留変位、また橋脚およびアンカー部に生じた最大応答ひずみについて表-1にまとめる。表-1には橋脚躯体の塑性化状況も図示している。橋脚躯体の損傷度として最大応答ひずみに着目すると、P-353の躯体に生じた最大ひずみはP-352の1.8倍の大きさになっている。また、塑性化状態の図からP-353では柱基部から中央部にかけて広範囲に塑性化しているのに対し、P-352では躯体下部が塑性化しているにとどまっている。このように橋脚躯体に関してはP-353に大きな損傷が発生している。一方、アンカー部の損傷としてアンカーボルトに生じた最大ひずみに着目すると、P-352に生じた最大

表-1 動的応答解析結果

|               |                          | P-352                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | P-353                                 |
|---------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| 橋脚<br>躯体      | 最大応答変位*                  | 30.1cm (0.035Lc)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 27.4cm (0.032Lc)                      |
|               | 残留変位*                    | 12.4cm (0.014Lc)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 6.67cm (0.008Lc)                      |
|               | 最大応答ひずみ<br>(鋼材)          | 0.0032 (2.2 $\epsilon_y$ )(圧縮)<br>柱基部                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 0.0059 (4.1 $\epsilon_y$ )(圧縮)<br>柱基部 |
|               | 最大応答ひずみ<br>(コンクリート)      | 0.0022 柱基部                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 0.0048 柱基部                            |
|               | 塑性化状況                    |  <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div> <math>1.0 \leq \frac{\epsilon_{mp}}{\epsilon_y} &lt; 1.2</math><br/> <math>1.2 \leq \frac{\epsilon_{mp}}{\epsilon_y} &lt; 2.0</math><br/> <math>2.0 \leq \frac{\epsilon_{mp}}{\epsilon_y}</math> </div> <div> <math>\epsilon_y</math>: 降伏ひずみ<br/> <math>\epsilon_{mp}</math>: 橋脚躯体の<br/>                     応答ひずみ                 </div> </div> |                                       |
| アン<br>カー<br>部 | 最大発生ひずみ<br>(アンカーボルト)     | 0.0079 (7.9 $\epsilon_y$ )(引張)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 0.0011 (1.1 $\epsilon_y$ )(引張)        |
|               | 最大発生ひずみ<br>(フーチングコンクリート) | 0.0050                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0.0008                                |

\* 橋脚天端の水平成分

ひずみはP-353に対し7.2倍と非常に大きくなっている。また、フーチングコンクリートに生じた最大ひずみもP-353に対して約6倍の大きさになっており、アンカー部に関してはP-352が大きな損傷を受けている。また、橋脚天端の残留変位の水平成分はアンカー部の損傷が大きいP-352がP-353に比べ2倍程度大きい。解析により得られた上述の橋脚躯体、アンカー部の損傷、残留変形は実際の損傷特性と良く一致しており、本解析により実際の被害傾向がほぼ定性的に説明できることを示唆している。

【参考文献】1)後藤ら：構造工学論文集 Vol.41A, 1995.2)後藤ら：構造工学論文集 Vol.42A, 1996 3)後藤ら：繰り返し荷重を受ける鋼製橋脚アンカー部の挙動とモデル化、土木学会論文集投稿中.4)Goto et al.; Eng. Struct., Vol. 17 No.8, 1995