

# 杭式栈橋の地震被害に関する一考察

鳥取大学工学部 正会員 上田 茂  
 鳥取大学大学院 学生会員 松浦 稔昌  
 鳥取大学大学院 学生会員 ○伊藤 甲

## 1 はじめに

本研究では、阪神・淡路大震災で被災した神戸港T地区の鋼杭式栈橋の変形について、港研方式<sup>1)</sup>に基づいて杭の横抵抗を、また観測地震動を用いて応答変位を計算し、被災栈橋の変状と比較検討する。鋼杭式栈橋の耐震性については鋼直杭栈橋の耐震性に関する評価手法<sup>2)</sup>に準じて行った。

## 2 対象構造物および地震による被害

T地区栈橋は、全長325.5m、直杭3列からなる横棧橋形式の栈橋で、前面水深-6.0mおよび-5.5mである。図1はその一般構造図である。既設重力式護岸からコンクリート渡版を介し接続されている。被災調査の結果、コンクリート上部工では梁部のクラックが見られ、法線は前面に移動している。杭には潜水調査により、傾斜、座屈が確認された。海側杭にその傾向が著しい。

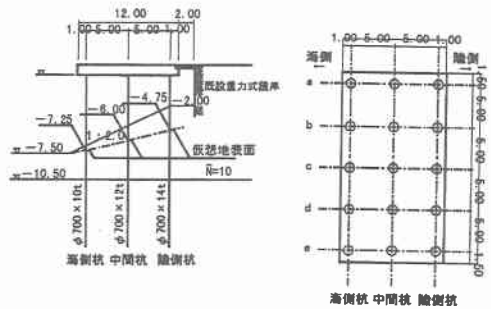


図1: 栈橋構造図

## 3 杭の水平力-変位曲線

図2はT地区での標準貫入試験の結果得られた地表面近くのN値の分布である。この図より、標高-12.45mから-14.90mの間(図2の(A)から(B))でN値が10程度で一定と考えてここではC型地盤とした。杭頭部は固定とした。なお-14.90mよりやや深い地中(図2の(B)から(C))ではN値の漸増傾向も見られるのでS型地盤としての取り扱いも必要である。

港研方式に従って、杭の横抵抗を計算し、水平力-変位曲線<sup>3)</sup>を求め図3に示した。ここでは図1の栈橋断面に配置された3本の杭頭部が同一変位をするものとして、まず最初に陸側杭の杭頭部の応力が降伏応力度に達したとき(図3の(b)の位置)に、各杭が分担する力を計算し合計して水平力を求める。以下順次2,3...本目の杭の応力が降伏応力度に達するときの水平力と変位の関係を求めて表示している。

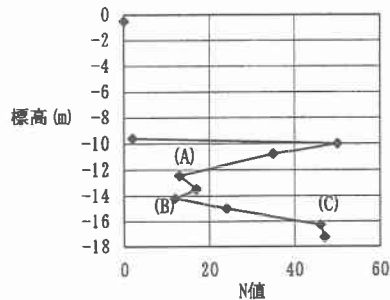


図2: 土質柱状図

## 4 静的外力を受ける杭式栈橋の挙動

上部工に作用する水平力と水平変位の関係は、図4に示すような履歴復元力特性<sup>2)</sup>で表すことができる。

$$\text{骨格} \quad \frac{Y}{Y_c} = \frac{F}{F_y} + \alpha \left( \frac{F}{F_y} \right)^\gamma \quad (1)$$

$$\text{履歴経路} \quad \frac{Y \pm Y_0}{2Y_c} = \frac{F \pm F_0}{2F_y} + \alpha \left( \frac{F \pm F_0}{2F_y} \right)^\gamma \quad (2)$$

ここに、F: 荷重または復元力、F<sub>y</sub>: 降伏荷重 (Y<sub>y</sub>に対応する荷重)、Y: 変位、Y<sub>y</sub>: 降伏変位 (杭材に初めて降伏応力が生じたときの変位)、Y<sub>c</sub>(= Y<sub>y</sub>/(1+α)): 完全弾性系の降伏変位、α: 正の定数、γ: 3より大きい奇数、なお式(2)の+符号は増荷重時、-符号は減荷重時を表す。本研究では、検討の結果 α=0.3、γ=3 とする。

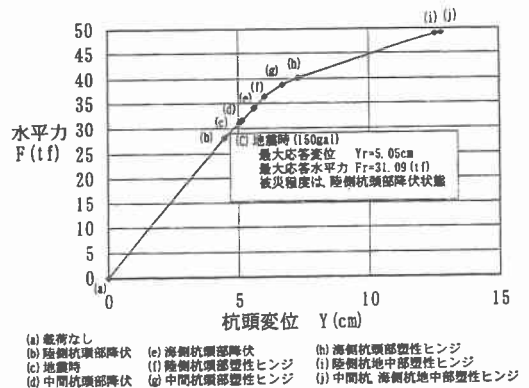


図3: 水平力-変位曲線

## 5 杭式棧橋の地震応答

直杭棧橋を非線形型復元力特性を有する一質点系と考え、運動方程式を次式で表す。

$$M\ddot{Y} + F(Y) = F_i(t) \quad (3)$$

ここに、 $M$ ：床版及び上載物の質量、 $Y$ ：床版の水平変位、 $F(Y)$ ：復元力、 $t$ ：時間、 $F_i(t)$ ：床版に作用する地震力  
 杭式棧橋の地震応答に対する運動方程式は式(1)において  $F(Y)$  を線形な系に与え、 $F_i(t)$  を地震力による慣性力に置き換えて得られる。

$$M\ddot{Y} + C\dot{Y} + KY = M\ddot{Z} \quad (4)$$

ここに、 $M$ ：質量；棧橋の1断面当たりの床版重量と上載荷重  $W=168\text{tf}$  から  $M=W/g$  として求め、 $M=0.171\text{tf}$   $s^2/cm$ 、 $C$ ：粘性減衰係数；図4の履歴曲線より減衰定数  $h = (1/4\pi)(\Delta W/W)$  として求め  $h=0.03$ 、次に  $C = 2h\sqrt{MK}$  から  $C=0.062$ 、 $K$ ：バネ定数；図4の(1)で示す点の降伏時の荷重変位曲線の傾き  $F_y/Y_y$  から求め、 $K=6.27\text{tf/cm}$ 、 $Z$ ：神戸港工事事務所取得された地震動(図5参照)、 $T$ ：固有周期；固有円振動数  $\omega = \sqrt{K/M}$  として求め、 $\omega=6.06\text{rad/s}$ 、次に  $T = 2\pi/\omega$  から  $T=1.039\text{s}$ 。

次に、運輸省第三港湾建設局神戸港工事事務所取得された加速度記録を入力として、ニューマークのβ法<sup>4)</sup>により、時刻歴解析を行って棧橋の相対変位を求めた。ただし、加速度レベルは、150gal、300gal、524.77galとして求め、それらによる棧橋の変形と比較した。図6は加速度が150galのときの相対応答変位である。

## 6 考察

被災状況と計算結果を比較すると、被災状況では海側杭はほとんどすべて傾斜・座屈しており、中央付近では中間杭まで座屈が見られる。一方計算結果では、まず陸側から降伏および塑性ヒンジが発生している。このように被災状況と計算結果とは破壊過程が異なっている。また、最近になって棧橋は、絶対変位で1m以上も変位していることが分かってきた。これらの被災状況は、ここで行った計算では説明できない。したがって、例えば①杭頭部の全てに塑性ヒンジが発生し上部工全体が大きく変形をした、または②杭の根入れ部分の地盤全体が大きく流動した、などのモデルを考える必要がある。

これまでの測量・潜水調査は概略的に行われてきたが、杭については地中部の変状が不明である。今後復旧作業に伴い被災した杭が引き抜かれると考えられるが、その際杭の座屈状況の詳細・杭の残存肉厚・床版の損傷などを調査されることと思う。これらのデータに基づいて詳細な検討を行う予定である。

### 参考文献

1. 篠原登美雄、久保浩一：杭の横抵抗に関する実験的研究(その1-3) 運輸技術研究所報告 vol.11 No.12、vol.12 No.2、1961-1962
2. 山本隆一 他：鋼直杭棧橋の耐震性に関する研究、港湾技術研究所報告第9巻第1号、1970.3
3. 土田 肇 他：港湾・海岸施設耐震性調査手法について、港湾技研資料 No.336、1980.6
4. 渡辺 昇、宮本 裕：時刻歴地震応答解析法、技報堂出版、1985

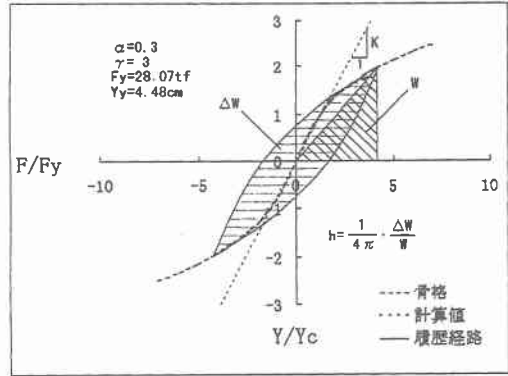


図4：履歴曲線

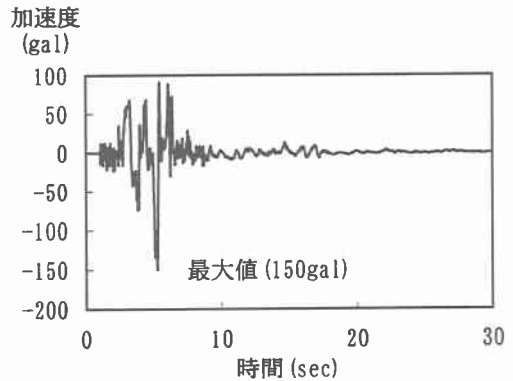


図5：神戸港工事事務所における地震加速度波形

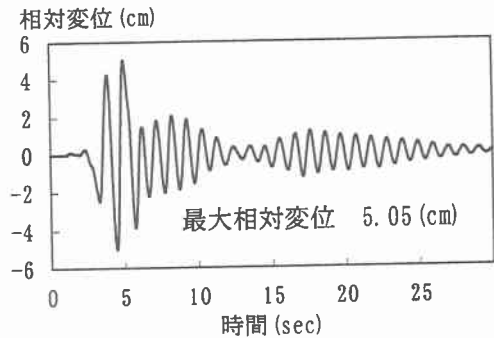


図6：ニューマークのβ法による相対変位応答