

1. はじめに

近年、わが国の港に多数の鋼直杭棧橋が建設されている。鋼直杭棧橋は鋼杭（主に鋼管杭）を鉛直に打込み、その頭部を鉄筋コンクリート床版で結合したものである。平面的に見ると、海岸線から海中に突出する形状のものと、海岸線に平行なものがあり、厳密には後者を横棧橋と呼ぶ。わが国では横棧橋が多い。その1例として、横浜港山下埠頭第7パースの断面を図-1に示す。鋼杭棧橋は建設が容易で工期も短く、主材料である鋼管杭も多種の規格のものが用意されているので、その経済性が高いことから、多数建設されて来たり、これからも多数建設されるであろう。

図-1から明らかなように、この構造は水平方向に撓み性が大きく、ほとんどの自重と上載荷重が床版の位置に集中している。したがって、この形式の構造物の耐震性は震度法よりは、動的解析の手法により評価されるべきである。このため、各種の実験解析により、杭の横抵抗および構造物の振動特性を明らかにし、それにもとづいて構造物を履歴復元力特性をもつ1質点系でモデル化し、その地震応答計算を行なつて、棧橋の地震応答変位を推定する方法を示した。また、棧橋が安定を保ち得る最大変位（極限変位）を求め、地震応答変位と比較することにより、その耐震性を評価することを試みた。¹⁾

しかし、前報の段階では地震応答計算に用い得る地震記録の数も限られていた。その後、港湾地域強震観測により、多くの強震記録を得たので²⁾、それらを用いて地震応答計算を追加しその信頼性の向上をはかつた。また、実際の設計へ応用する事例も経験したので、これらを総合し報告する。

2. 復元力特性

鋼杭棧橋に作用する水平力と床版の変位の間には履歴特性の存在することが実験的に知られている。履歴特性を数式的に表示するには、Jennings³⁾により提案された次式がある。

$$\left. \begin{aligned} \text{骨格} \quad \frac{Y}{Y_c} &= \frac{F}{F_y} + \alpha \left(\frac{F}{F_y} \right)^r \\ \text{履歴ループ} \quad \frac{Y - Y_0}{2 Y_c} &= \frac{F - F_0}{2 F_y} + \alpha \left(\frac{F - F_0}{2 F_y} \right)^r \end{aligned} \right\} (1)$$

ここに、 F ：復元力、 F_y ：降伏荷重、 Y ：変位、 Y_c ：完全弾塑性系の降伏変位（ $Y_y / (1 + \alpha)$ ）、 α ：正の常数、 r ：3より大きい奇数、 F_0 ：折返し点の荷重、 Y_0 ：折返し点の変位、である。この関係を図-2に示す。

実物大模型棧橋の実験結果、および杭の横抵抗の実験と解析から、一般的な鋼杭棧橋では、 F_y および Y_y として杭に初めて降伏応力の生ずるときの水平荷重と変位をとり、 $\alpha = 0.3$ 、 $r = 3$ としたときに、式(1)が鋼杭棧橋の復元力特性を最も良く表示することが明らかになつた。図-3に、清水

港で行なつた実物大模型による実測復元力特性と式(1)で表示した履歴曲線を示す。両者は良く一致している。

3. 地震応答

鋼杭棧橋を、式(1)に示す復元力特性を持つ1自由度1質点系と考え、地震応答を計算した。入力地震波としては、港湾地域強震観測で得られた記録のうちから、最大加速度100 gal以上のもの9成分を選んで用いた。これらの記録は5個の地震について6地点で得られたものである。この6地点は、著者らが地盤種別ごとに平均応答スペクトルを作製した際に⁴⁾、いづれもグループBに分類されたものである。グループBの観測点の地盤はいづれも、中程度に締つた砂質、シルト質、または粘土質の地盤で、鋼杭棧橋の多くはこのような地盤に建設される。計算は構造物の剛性と地震波の加速度レベルを種々に変化させて行なつた。

4. 最大応答変位

計算された最大応答変位(Y_r)と Y_y との比(μ_r)と $F_y / (Y_y \cdot M)$ との関係を a_y / a_0 をパラメータとしてプロットすると、その関係は複雑な形の線となり、かつ地震波によりある程度異なつたものとなつた。ここに、 $M : W/g$ 、 W : 床版の自重および上載荷重、 g : 重力の加速度、 $a_y = F_y / W$ 、 $a_0 = Z_{max} / g$ 、 Z_{max} : 地震波の最大加速度である。地震により多少分散している関係を平均し、かつ平滑化してまとめたものが図-4である。この図から、構造物の断面や材料の強度についての諸元と地震の最大加速が定まれば、最大応答変位を推定することができる。この場合、求めた最大応答変位は特定の地震波に対するものではなく、先に説明した数個の大きな地震に対する結果の平均的なものである。図-4には、入力波として正弦波を用いた場合の結果も記入してある。正弦波の周期は構造物が共振する周期とした。

また、図-4には実在の鋼杭棧橋について、 a_0 を設計震度とした結果を記入してある。

5. 極限変位

鋼杭棧橋の極限変位は、杭の横抵抗の研究と鋼杭の曲げに対する抵抗の研究とを総合し、すべての鋼杭の頭部と地中部に塑性ヒンジが生じた時の変位として求めることにした。

6. 耐震性

図-4に示すように、実在の棧橋に設計震度に重力の加速度を乗じた値と同じ最大加速度の地震が作用したとき、推定される最大応答変位と降伏変位の比は相当に分散している。これらの棧橋のほとんどは、震度法にもとづいた同一の設計手法で設計されたものである。したがつて、震度法によればほぼ同一の耐震性が期待されるものである。しかし、動的解析にもとづけば、相互にかなりの差があることがわかる。

棧橋の耐震性を、先に説明した極限変位と最大応答変位の比で評価することが考えられる。しかし、この比の許容量を定めることが難かしく、この点に関しては更に研究が必要である。しかしながら、

震度法で設計された棧橋の耐震性をここに示した方法で検討し、耐震性を低下させることなくより経済的なものに修正することが行なわれている。また、最近建設使用されているコンテナ用棧橋のように、大きなクレーンを上載する場合には、棧橋とクレーンの固有振動数が一致して異常に大きな応答を示す危険性のないことを確かめたりしている。

引用文献

- 1) 山本, 林, 土田, 山下, 小蔵: 鋼直杭棧橋の耐震性に関する研究, 港研報告, Vol. 9, No. 1, 1970年3月
- 2) たとえば, 土田, 倉田, 須藤: 1968年十勝沖地震とその余震の港湾地域における強震記録, 港湾技研資料, No. 80, 1969年6月
- 3) Paul C. Jennings: Periodic Response of a General Yielding Structure, Proc. of ASCE., Vol. 90, No. EM2, April 1964, pp. 131-165.
- 4) 林, 土田, 倉田: Acceleration Response Spectra on Various Site Conditions, 第3回日本地震工学会シンポジウム講演集, 1970年11月

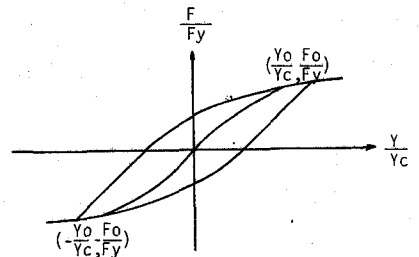
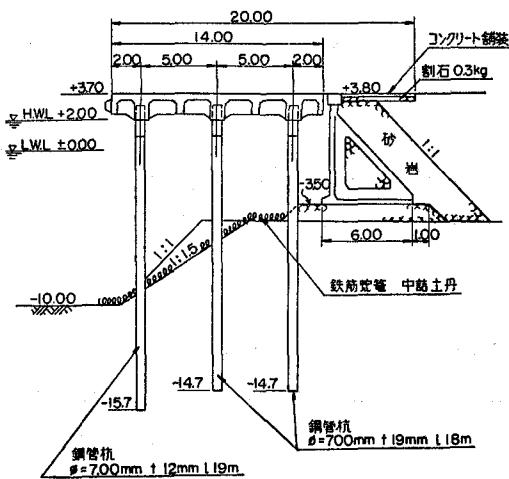


図. 1 鋼杭棧橋の1例(山下埠頭第7バース)

図. 2 Jenningsによる履歴曲線

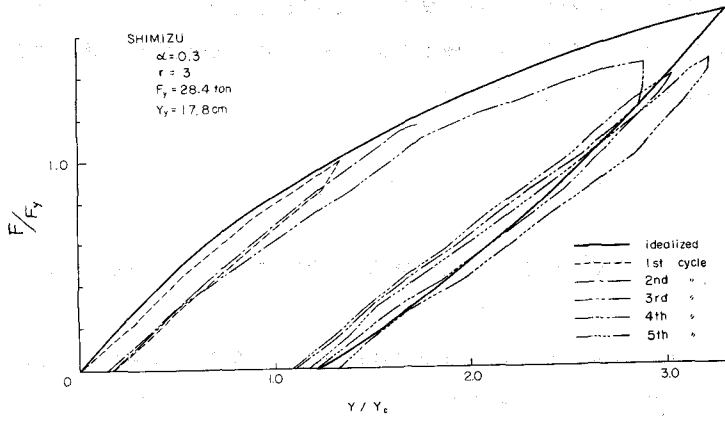


図 . 3 数式化された履歴ループと実験結果の比較

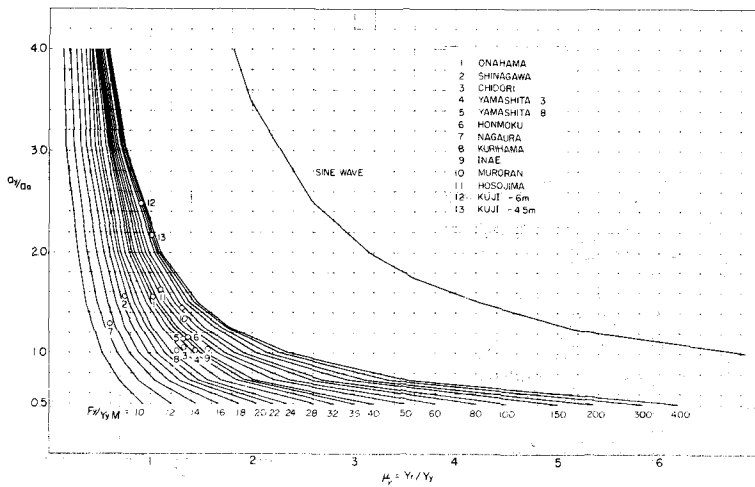


図 . 4 一般化された M_r と実在橋橋における値