

X



# 港 灣 技 研 資 料

TECHNICAL NOTE OF  
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE  
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

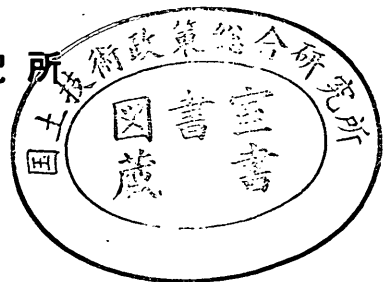
No. 105 June 1970

港研方式抗の横抵抗計算法に基づく仮想固定点

山 下 生 比 古



運輸省港湾技術研究所



# 港研方式杭の横抵抗計算法に基づく仮想固定点

## 目 次

### 要 旨

1. ま え が き	3
2. 仮想固定点の定め方	3
3. 計 算 例	7
4. あ と が き	10
参 考 文 献	10
記 号 表	11
付 録	12

**Equivalent Rigid Frame to Vertical Pile Structure on the Basis  
of the PHRI Method**

**Ikuhiko YAMASHITA\***

**Synopsis**

An application of the PHRI method, which is originally a method of estimating lateral resistance of a single vertical pile, to vertical grouping piles is described in this paper. A lateral load at the top of a pile group causes an axial force in each pile besides shearing force and bending moment. To calculate this axial force, whole pile group should be considered as a unit. A new method of determining an equivalent rigid frame on the basis of the PHRI method is proposed to treat vertical grouping piles as one unit structure.

---

\* Senior Research Engineer, Structures Division

# 港研方式杭の横抵抗計算法に基づく仮想固定点

山下 生比古\*

## 要 旨

港研方式杭の横抵抗計算法は本来単杭の計算法であるが、実際問題で大部分を占める群杭の場合であっても、群杭効果を見捨てる場合には、群杭を単杭の集まりとして計算を行なうことが出来る。しかし、群杭がたとえば直杭栈橋のように一種のラーメン構造となっているとき、構造のために生ずる問題、たとえば水平力によって各杭に生ずる軸力の計算にはどうしても構造を全体として考える必要がある。このような場合に対処するため、現行の港湾構造物設計基準に採用されている Chang の方法に基づく仮想固定法にならない、港研方式の計算法を土台として仮想固定点を定める方法を提案した。

## 1. ま え が き

杭が構造物に使われる場合、単杭として使われることは殆んどなく、群杭または組杭という形をとるのが普通である。杭の横抵抗の考え方に従うと、群杭の杭間隔が小さくて、群杭効果\*\*のために群杭の横抵抗が低減するような場合以外は、単杭の横抵抗と群杭のそれとの間に本質的な相異はないものと考えられる。したがって、単杭について横抵抗の計算法が確立されていれば、群杭の横抵抗についても、杭間隔の狭い場合を除いて、個々の杭の横抵抗の和として簡単に求めることが出来る。しかし、群杭が一種のラーメン構造をしているとき、構造のために生ずる問題、たとえば水平力によって個々の杭に生ずる軸力の計算などでは構造を全体として考える必要が出て来る。

このような問題に対処するため、栈橋の設計々算では、栈橋を各杭がそれぞれ適当な深さの所で埋込まれている下端埋込の不等脚一層ラーメンで置き換えて計算することにしている。現行の港湾構造物設計基準<sup>1)</sup>に示されている仮想固定点法がこれである。この方法は、単杭の横抵抗計算法としては Chang の方法に従い、それによって定められる杭頭荷重(杭頭反力)と杭頭に発生する曲げモーメントが等しくなるように、個々の杭に対して

下端埋込ラーメンの脚長を定めるものであって、Chang の方法に基づく仮想固定点法とでもいうべきものである。

ここでこれから述べようとするのは、群杭を構成している個々の杭の横抵抗計算法として Chang の方法の代りに港研方式杭の横抵抗計算法<sup>2)~7)</sup>(以下、これを PHRI 法と略称する)を用い、同じような考え方で仮想固定点を定める方法である。したがって、原理的には Chang の方法に基づく仮想固定法と同じであるが、土台となっている PHRI 法が地盤反力の非線型性を考慮に入れていることを反映して、ここで与えている仮想固定点は荷重の大きさに依存する形のものとなっている。また、手法的にも、PHRI 法が相似法則を利用して計算を行なう特殊な方法であるため、仮想固定点も同様の手法で求めることになる。実際の計算は対数計算を必要とするやや煩雑なものとなるが、著者らの提案した新しい図式計算法<sup>8)</sup>を用いれば単純な計算だけで必要な量を簡単に求めることが出来る。

## 2. 仮想固定点の定め方

長さ  $H$  で曲げ剛性が  $EI$  の両端埋込梁の両埋込端が相対的に  $y$  なる変位をしたときの  $y$  と部材端反力  $F$  との関係、および  $F$  と部材端曲げモーメント  $M$  との関係は良く

\* 構造部 構造解析主任研究官

\*\* 群杭の杭間隔が狭いとき、隣り合っている杭が相互に影響し合って、群杭の横抵抗と個々の杭の横抵抗の和とが等しいという考え方が成り立たなくなる現象を群杭効果と呼んでいる。杭間隔には載荷方向のものと、それに直角な方向の間隔と二つある。一般に後者については、影響が小さいとして考慮されていない。前者については、各種の指針などから杭間隔が杭巾(または杭径)の 3~5 倍以上あれば、群杭効果を考えなくても良いとされている。

知られているようにそれぞれ次の如く書ける。

$$F = \frac{12EI}{H^3} y \quad (1)$$

$$F = \frac{2}{H} M \quad (2)$$

土中に根入れを有する頭部埋込杭は土による末端での拘束条件が明確でないことや、非線型な土の反力を受けることなどのため、杭頭荷重  $F$  と杭頭変位  $y_{top}$  との関係、あるいは  $F$  と杭頭曲げモーメント  $M_{max-t}$  との関係などは(1)、(2)式の如く線型の関係を示すものとはならない。この点を本論文の土台となっている PHRI 法についてみてみよう。例を  $F-y_{top}$  の関係にとると、荷重が小さい場合には(1)式は比較的良好な近似を与えるが、荷重が大きくなって、杭の挙動に対する地盤の影響が大きくなると共に(1)式とのずれは増大する。荷重が無限に大きくなった場合には

$$F \propto y^{\frac{2m+5}{2m+8}} \quad (3)$$

となることが知られている<sup>9)</sup>。

$F$  と  $M_{max-t}$  との関係についても同様の事情が存在し、この場合(3)式に相当する式は

$$F \propto M_{max-t}^{\frac{2m+7}{2m+8}} \quad (4)$$

となる<sup>9)</sup>。

かように、実際の地盤に根入れを持っている杭では、一般に(1)、(2)式のような関係を示さないことは明らかであるが、これらの式で梁の長さ  $H$  が荷重  $F$  に応じて変わるものとしてしまえば、形式的に(1)、(2)式の如き表示が可能である。

今、 $H$  は  $F$  に応じて変わるものとし、杭の地上部長を  $h$  とするとき、

$$\eta = H/h \quad (5)$$

によって  $\eta$  を定義し、これを仮想固定点係数と呼ぶことにする。そうすると、この仮想固定点係数  $\eta$  を用いることにより、(5)式より直ちに置き換えるラーメンの脚長  $H$  が

$$H = \eta h \quad (6)$$

と定められることになる。そこで、この  $\eta$  を求める訳であるが、まず(5)式を用いて(1)、(2)両式を次のように書き直す。

$$\eta_{BY} = \sqrt[3]{\frac{12EI}{h^3} \cdot \frac{y_{top}}{F}} \quad (7)$$

$$\eta_{BM} = \frac{2}{h} \cdot \frac{M_{max-t}}{F} \quad (8)$$

ここに、 $\eta_{BY}$  は頭部埋込杭の  $F-y_{top}$  の関係より定められる仮想固定点係数を表わし、 $\eta_{BM}$  は同じ場合の  $F-M_{max-t}$  の関係より得られる仮想固定点係数を意味す

る。このように、二つの場合の仮想固定点係数を区別するのは、PHRI 法を土台とすれば、一般にこれら二つの仮想固定点係数が異なるものと考えられるからである。このことは、我々が当面している問題は相当に複雑であるため、(1)、(2)式の如き表示をするためには単に  $H$  が荷重の大きさに依存すると考えるだけでは不充分であるという事情によっている。

PHRI 法では頭部埋込の条件の基準杭について杭頭荷重と杭頭変位の関係 ( $F-y_{top}$ )、および杭頭荷重と杭頭曲げモーメントの関係 ( $F-M_{max-t}$ ) などが与えられているから<sup>4),7)</sup>、これを用いて(7)、(8)の両式より、それぞれの場合の仮想固定点係数を求めることが出来る。実際に計算を実行した結果を 図-1、2 に示す。図-1 は S 型地盤の場合、図-2 は C 型地盤の場合である。図-2 で  $\eta_{BM}$  の曲線の途中に段があるのは C 型地盤の頭部埋込杭の基準曲線の作成に当たって二つの方法が併用されたためであると考えられる。この間の事情は文献<sup>7)</sup>に詳しいので、ここではイ) C 型地盤の頭部自由杭の基準曲線が S 型地盤の基準曲線よりも精度が悪いとは考えられないこと、ロ) 荷重の小さい部分の頭部埋込杭の基準曲線作成法は方法としては厳密なものであること、の二つの理由により、この図の荷重の小さい部分を滑めらかに延長した曲線が全領域を覆い、丁度、図-1 に示されている S 型地盤の場合とはほぼ似たような形になるものと考えて良さそうであることを指適するにとどめる。

さて、実際の計算を行なってみて、予想通り S 型・C 型のいずれの地盤の場合も二つの仮想固定点係数  $\eta_{BY}$  と  $\eta_{BM}$  とが一致しないことが分った。しかしながら、この不一致は実際上さほど問題ではない。仮想固定点係数  $\eta$  として  $\eta_{BY}$  を採用し、置き換える両端埋込梁の長さ  $H$  を(6)式によって定め、この梁について曲げモーメントを求めたとき、杭頭曲げモーメントに当る末端の曲げモーメントは常に大き目の値として得られ、最も誤差の大きい場合で S 型地盤ならば 15% 程度の過大評価であり、C 型地盤では段のついた曲線をそのまま認めても 35% 程度の過大評価にとどまる。さらに、棧橋などでは基準杭に比較して地上部長が非常に長く、このため基準曲線上で荷重の小さい部分を使うことが殆んどである。ところが、問題となっている曲げモーメントの過大評価の量は、図-1、2 から分る通り、荷重の減少と共に減少し、例えば  $\log F < 0$  の部分をとると過大評価の量は 5% 以下となってしまった。したがって、 $\eta_{BY}$  を  $\eta$  としても棧橋などでは杭頭の曲げモーメントもほぼ正確なものが得られることが分かる。その上、杭頭曲げモーメントを PHRI 法で直接計算してもあまり手間はかからない。

このようにみてくると、仮想固定点係数 $\eta$ として $\eta_{BY}$ を採用しても、その $\eta$ から定められる等価な両端埋込梁は元の杭の杭頭における荷重—変位の関係や、荷重—曲げモーメントの関係などの力学的特性を比較的うまく表わすものであると言える。そこで、仮想固定点係数 $\eta$ として $\eta_{BY}$ を正式に採用することにする。杭頭変位と荷重に対する $\eta$ の基準曲線の数表を表-1, 2に、また、基準杭の諸元を表-3に示す。仮想固定点係数 $\eta$ が正式に定められたが、これを使って地盤中に根入れを有する杭を

両端埋込梁で置き換えようとしていることの一つは、群杭の場合に個々の杭をそのように置き換え、全体を不等脚の下端埋込みのラーメン形式のものとして水平荷重によって各杭に生ずる軸力の計算をすることである。杭頭部を結ぶ床版の曲げ剛性が杭のそれにくらべて大きく、節点角が無視出来る場合の軸力の計算式を付録に示した。これらの式は不等脚等径間の下端埋込みラーメンを解き、床版の曲げ剛性を無限大に近づけて求めたものであり、各杭の軸方向の変形量は考慮されていない。

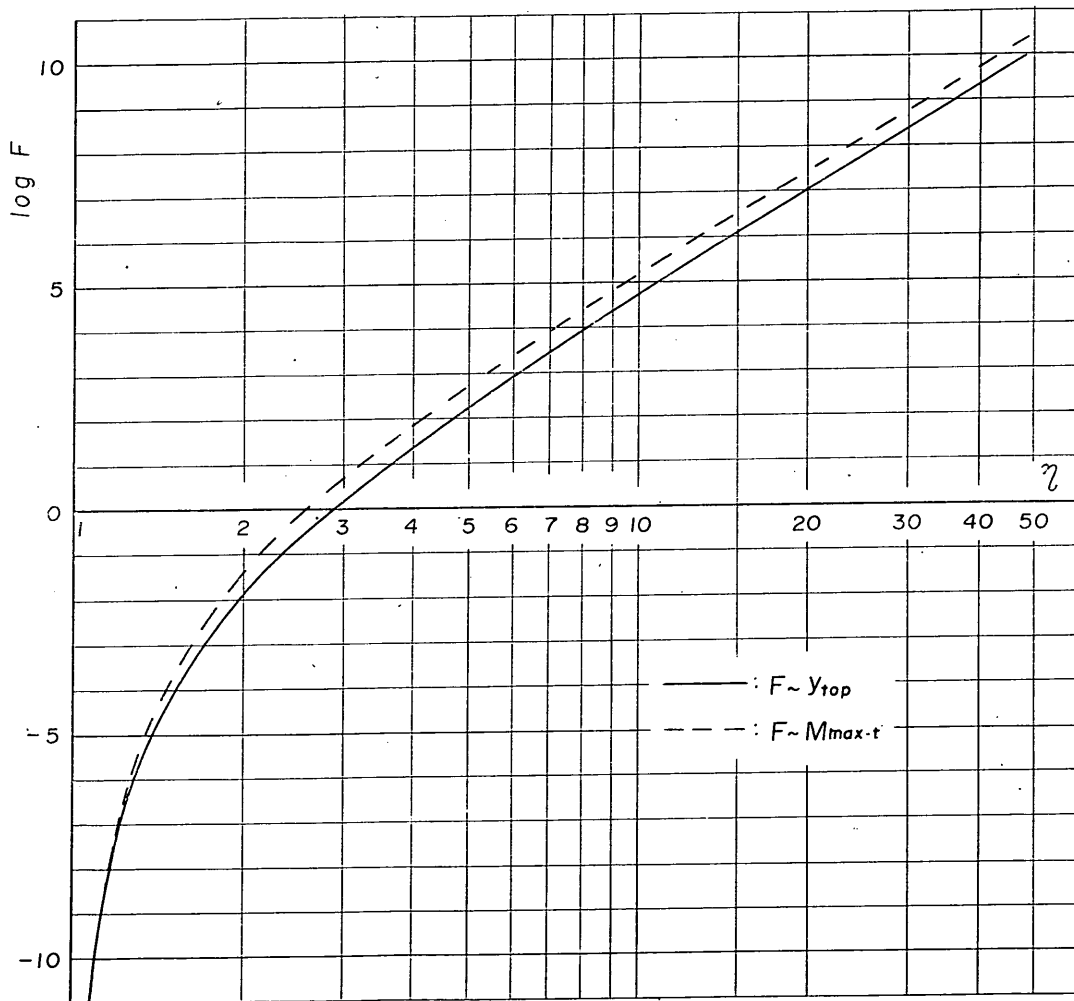


図-1  $\eta_{BY}$  と  $\eta_{BM}$  の比較 (S型地盤,  $\log F-\eta$ )

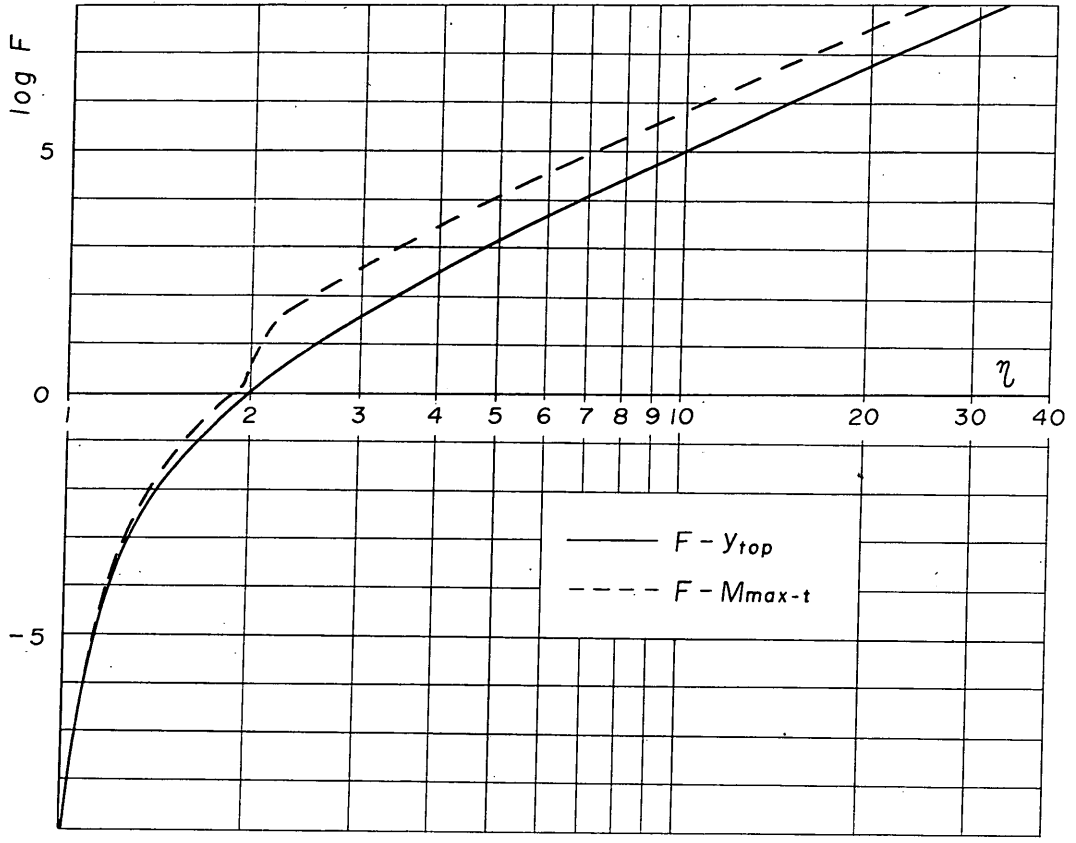


図-2  $\eta_{BY}$  との比較 (C型地盤,  $\log F - \eta$ ) .

表-1 仮想固定点係数の基準曲線  
(S型地盤)

杭頭変位	荷重	仮想固定点係数
log $y_{top}$	log F	$\eta$
-15.0	-10.130	1.097
-14.0	-9.166	1.128
-13.0	-8.210	1.167
-12.0	-7.264	1.216
-11.0	-6.328	1.277
-10.0	-5.407	1.357
-9.0	-4.503	1.461
-8.0	-3.620	1.599
-7.0	-2.761	1.781
-6.0	-1.927	2.023
-5.0	-1.117	2.341
-4.0	-0.325	2.746
-3.0	0.452	3.258
-2.0	1.218	3.900
-1.0	1.973	4.707
0.0	2.720	5.715
1.0	3.460	6.978
2.0	4.193	8.565
3.0	4.923	10.540
4.0	5.648	13.010
5.0	6.370	16.110
6.0	7.089	19.980
7.0	7.806	24.830
8.0	8.520	30.920
9.0	9.232	38.580
10.0	9.942	48.200

表-2 仮想固定点係数の基準曲線  
(C型地盤)

杭頭変位	荷重	仮想固定点係数	杭頭変位	荷重	仮想固定点係数
log $y_{top}$	log F	$\eta$	log $y_{top}$	log F	$\eta$
6.0	8.053	33.70	-4.8	0.727	2.342
5.6	7.792	30.28	-5.2	0.413	2.192
5.2	7.531	27.22	-5.6	0.105	2.043
4.8	7.270	24.47	-6.0	-0.195	1.892
4.4	7.009	21.99	-6.4	-0.506	1.767
4.0	6.748	19.77	-6.8	-0.825	1.661
3.6	6.487	17.77	-7.2	-1.151	1.569
3.2	6.226	15.97	-7.6	-1.483	1.489
2.8	5.964	14.36	-8.0	-1.822	1.421
2.4	5.703	12.91	-8.4	-2.167	1.362
2.0	5.442	11.60	-8.8	-2.517	1.311
1.6	5.179	10.45	-9.2	-2.873	1.267
1.2	4.916	9.402	-9.6	-3.234	1.230
0.8	4.653	8.465	-10.0	-3.599	1.197
0.4	4.388	7.631	-10.4	-3.968	1.169
0.0	4.118	6.906	-10.8	-4.342	1.146
-0.4	3.848	6.250	-11.2	-4.718	1.125
-0.8	3.578	5.657	-11.6	-5.098	1.108
-1.2	3.308	5.119	-12.0	-5.480	1.093
-1.6	3.038	4.634	-12.4	-5.864	1.080
-2.0	2.767	4.197	-12.8	-6.250	1.068
-2.4	2.496	3.801	-13.2	-6.635	1.056
-2.8	2.214	3.487	-13.6	-7.020	1.044
-3.2	1.931	3.174	-14.0	-7.406	1.033
-3.6	1.649	2.899	-14.4	-7.791	1.021
-4.0	1.353	2.677	-14.8	-8.177	1.010
-4.4	1.040	2.504	-15.2	-8.562	1.000

表-3 基準杭の諸元

	S型地盤	C型地盤
h (cm)	15	50
EI (kg·cm <sup>2</sup> )	27.54 × 10 <sup>6</sup>	4.5024 × 10 <sup>10</sup>
Bk <sub>s</sub> (kg/cm <sup>2.5</sup> ), Bk <sub>c</sub> (kg/cm <sup>1.5</sup> )	0.5	40.0

### 3. 計算例

図-3 に示す三径間、直杭四本の横棧橋について、現行の港湾構造物設計基準に従って行なった計算と、こ

で説明した方法による計算とを比較してみる。表-4、5 に杭の諸元と地盤の性質がまとめて示されている。地震時上載荷重・床版重量などの合計は約 270ton で、設計震度を 0.2 とするが全水平力は 54ton となる。計算の結果を表-6~12 に示した。これらの表で、杭の番号は海側から順に 1, 2, …… とつけたものである。次の設計基準法と書いてある欄が現行の港湾構造物設計基準に従った計算の結果であり、港研方式というのが PHRI 法のことである。PHRI 法の計算は、斜面と杭軸との交点の高さで地盤が水平と考えた場合 (“水平” の欄)、陸側に載荷した場合 (“陸側” の欄)、海側に載荷した場合 (“海側” の欄) の三つの場合について行なっている。た



だし設計基準で想定しているのは、PHRI 法の方では、海側の場合に相当すると思われるので、比較は主としてこの二つの間で行なうことにする。以下、表-6~12につき、順次説明して行こう。

まず、表-6 であるが、これは自由長の計算結果である。設計基準法では仮想海底面以上をとり、水平と陸側の場合には斜面と杭軸との交点の高さより上を、海側では久保の提案している  $dh^{10}$  を加えたものが示されている。結果を見ると、設計基準に従ったものは港研方式に比べて長く出ている。特に、陸側の杭はどこの傾向は著しい。これは主として、設計基準の仮想海底面のとり方によるものである。表-7 はラーメンに置き換える場合の脚長の計算結果である。この場合も自由長と同じような傾向を示している。自由長、あるいは等価ラーメンの脚長が長くなれば、杭頭モーメントは一般に大きくなる。過大評価の量が過大なものでなければ、静的には多少安全側であるという程度ですむが、動的な考慮を払うと必ずしも安全側と言えないところに問題がある。この点については後でもう一度触れる。

表-8 には、横抵抗に必要な根入長を示す。設計基準で計算したものと、PHRI 法の海側のものとを比較すると前者はかなり短か目の値を与えている。両者の差をとって海側に対する比を計算したものがこの表の右端の欄に書いてあるが、これを見ると設計基準法では約20%の過少評価となっている。このように比較の大きな差が現われた主たる原因は、港研方式では海側に載荷すると見かけ上地盤の横抵抗常数が減少するという事実<sup>10)</sup>に基づいて計算をしているのに対し、設計基準ではそのような考慮が払われていないからである。

表-9 は各杭に分配される水平力を計算した結果である。通常、断面の余裕が最も小さい杭4でみると、設計基準に従って求められた水平力は約10%の過小評価となっている。一方、表-7 でみたように等価ラーメンの脚長の方が長く出ているため、この例では、次の表-10に示す杭頭の曲げモーメントになると妥当な値となっている。表-9, 10などで、杭2の過大評価量がかなり大きいようであるが、実際には杭4を除くと応力的には過大な断面が使われていることが多いからあまり問題ではない。

表-11 は水平力によって各杭に生ずる軸力を計算したものである。設計基準による計算には、ラーメンの脚部の軸方向変位も考慮されているのに反し、港研方式の方の計算は付録に示す式によっているから、鉛直部材の軸方向変位は無視されている。したがって、両者を直接比較することはあまり意味がない。しかし、結果は両者で

大巾に異なっている。いずれが正しいのかは実験的にしか定め得ないことではあるが、軸方向の変位があることは事実である。一方、水平力や曲げモーメントなどをみても、杭3と杭4が大きな部分を占めており、軸力の分配でもそのような形になるものとすれば、設計基準法の結果はいささか奇異である。これは恐らく、設計基準で水平力と曲げモーメントの計算には通常のラーメンの解法を適用し、軸力の計算にだけ軸方向変位を取り入れているためと思われる。その点では、港研方式の方が問題を統一的に扱っていると言える。いずれにしても、この問題については、さらに研究が進められる必要があるものと思う。

最後に、表-12 には杭頭変位と固有周期の計算結果を示した。まず、杭頭変位であるが、設計基準の方は約15%の過大評価となっている。栈橋の設計では、上載する荷役機械などにもよるが、一般に変位量についての規制を受けることは少ないから、変位量そのものの計算精度はあまり要求されないと考えて良いであろう。しかし、直杭栈橋もそうであるが、直杭を主体とする構造物は可撓性に富むものが多く、従来からその耐震設計を震度法で行なうことに疑問が持たれていたが、最近、修正震度法と呼ばれる新しい設計震度決定法が脚光を浴びてきている。この方法では構造物の固有周期が決定的な役割りを果たすことになる。杭頭の変位量は固有周期を定めるファクターの一つであるから、この面から計算の精度が要求されることになるものと考えられる。この点をもう少しはっきりさせるために、同じ表に示した固有周期の計算結果をみてみよう。直杭栈橋などでは振動模型として、一自由度の系が適当なものであるとされている<sup>11)</sup>から、そのように振動模型を定めて固有周期の計算を行なった。港研方式の場合の海・陸平均という欄は、陸側と海側それぞれの杭頭変位量の平均をとり、その値を杭頭変位量とする場合の固有周期である。横栈橋のように、非対称な復元力特性を有する系の厳密な固有周期は与えられていないので、ここでは目安として海・陸平均のものを計算した。表から分るように、設計基準法によったものの方が固有周期が長くなっている。応答スペクトルの実際の計算結果<sup>12)</sup>をみると、固有周期が1.5秒付近では周期が長い程設計震度が小さくなり、短い程設計震度が大きくなる。したがって、仮に修正震度法で設計を行なうものとする、設計基準に従って計算を行なったものの方が危険側にあるということになる。静的には変位の大きく出る計算法であるから、このことは静的な考え方での安全側とか危険側とかの判断の基準と動的な場合のそれとが全く別なもので、この例のように正反

PHRI法導入にあつた問題点

1. 仮想地表面の考へ方 ... 現設計基準をT2に換付した。 <sup>M<sub>0</sub>15</sup> (10% 減衰係数)  
(自由表層、2c)

2. 仮想固定点 ... NO105 港研式71の横揺れ計算に基つた仮想固定点

$$\left( F = \frac{12EI}{H^3} y, F = \frac{2}{H} M \text{ (2cの考へ方) } \right)$$

。基準曲線の精度が悪いので山下さんが新しい算式を考へて検討が必要

3. 現設計基準の矛盾

{ 岸力は軸方向沈下、はり曲げを考へる }  
{ 水圧力、曲げ以外 " を考へる (2c) }

山下さんは軸力の計算には軸方向変位を考へる

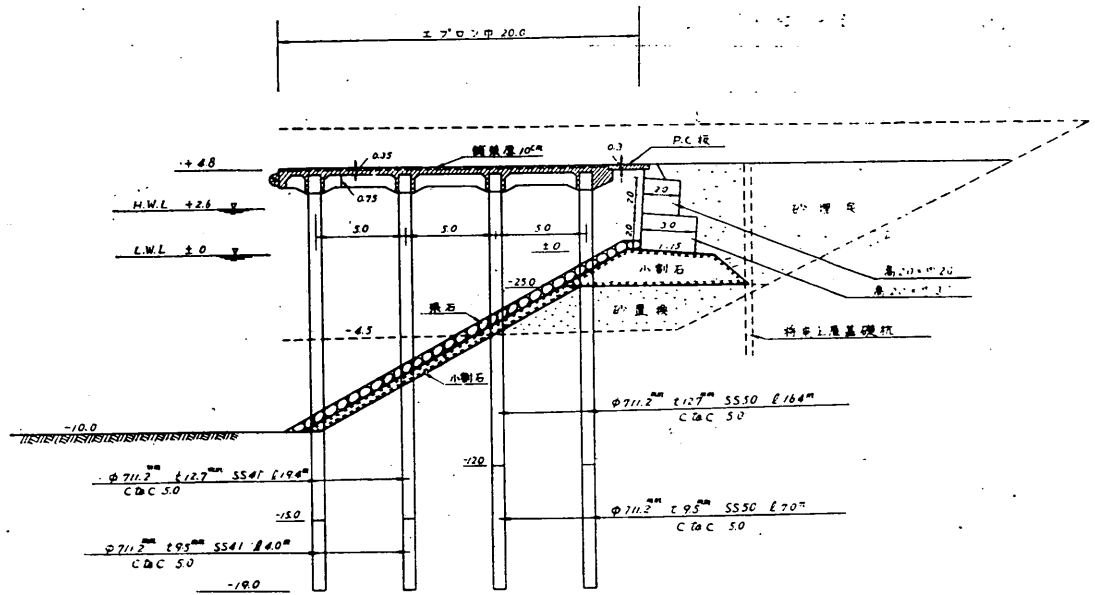


図-3 計算の対象とする横棧橋

表-4 杭の諸元 (計算例)

杭番号	地上部長 (m)	外 径 (cm)	肉 厚 (cm)	EI (kg·cm <sup>2</sup> )
1	14.0	71.12	1.27	3.57 × 10 <sup>11</sup>
2	11.2			
3	8.4			
4	5.6			

註1: 杭番号は海側の杭から順に1, 2, ……とつけてある。

註2: 地上部長は法面と杭軸との交点より上の部分の長さである。

表-5 地盤条件 (計算例)

法 面 勾 配	地盤のタイプ	N値	k <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2.5</sup> )	K (kg/cm <sup>3</sup> )	Bk <sub>c</sub> (kg/cm <sup>1.5</sup> )	BK (kg/cm <sup>2</sup> )
1:1.8 (29°)	C型	約3	1.0	0.45	71.12	32.00

表-6 自由長の比較

杭	設計基準法	港 研 方 式		
		水 平	陸 側	海 側
1	14.0	14.0	14.0	14.0
2	12.6	11.2	11.2	12.5
3	11.2	8.4	8.4	9.8
4	9.8	5.6	5.6	7.3

単位: m

表-7 置換えるラーメンの脚長の比較

杭	設計基準法	港 研 方 式		
		水 平	陸 側	海 側
1	18.6	17.4	16.5	17.8
2	17.2	14.8	13.9	17.5
3	15.8	12.3	11.3	15.2
4	14.4	10.1	8.9	13.2

単位: m

表-8 横抵抗に必要な根入長の比較

杭	設 計 基準法	港 研 方 式			海側に 対する 比(%)
		水 平	陸 側	海 側	
1	13.8	11.6	8.4	12.5	10.4
2	15.2	12.3	9.0	18.6	-18.3
3	16.6	13.5	9.8	20.3	-18.2
4	18.0	15.3	11.1	22.2	-18.9

単位: m

表-9 各杭の杭頭に分配される水平力の比較 (ΣH<sub>i</sub>=54ton)

杭	設 計 基準法	港 研 方 式			海側に 対する 比(%)
		水 平	陸 側	海 側	
1	8.9	5.2	4.6	9.0	-1.1
2	11.3	8.1	7.7	9.4	20.2
3	14.6	14.4	13.7	14.3	2.1
4	19.2	26.3	28.0	21.3	-9.9

単位: ton

表-10 杭頭曲げモーメントの比較

杭	設計 基準法	港 研 方 式			海側に 対する 比(%)
		水 平	陸 側	海 側	
1	82.8	46.0	38.0	80.0	3.5
2	97.2	72.0	54.0	84.0	15.7
3	115.3	92.0	78.5	108.0	6.8
4	138.2	127.0	122.0	136.0	1.6

単位：ton-m

表-11 各杭に生ずる軸力の比較

杭	設計基準法	港 研 方 式		
		水 平	陸 側	海 側
1	-26.3	-16.4	13.7	-26.5
2	-3.5	8.1	-7.2	16.1
3	-9.4	-32.4	31.8	-34.7
4	39.2	40.7	-38.3	45.1

単位：ton

註：符号は正のとき押し力、負のとき引抜き力である。

表-12 杭頭部変位量および固有周期の比較

	設 計 基準法	港 研 方 式				比 (%)
		水 平	陸 側	海 側	海・陸 平 均	
杭頭変位 (cm)	13.4	6.4	4.75	11.7	—	14.5
固有周期 (sec)	1.67	1.14	0.98	1.54	1.29	29.5

註：比の欄は、変位では海側に対して、周期では海・陸平均に対してそれぞれ計算されている。

対になる場合もあることを示していると言える\*。

#### 4. あとがき

PHRI 法は、これをたとえば Chang の方法と比較したとき、実際の現象に対する近似の度合いが格段に良いことや、地表面が傾斜している場合にも合理的な計算が行なえることなど大きな利点を持っている。それにもかかわらず、PHRI 法が実際の設計の場で使われることの少ない理由はさまざまあるものと思われるが、一つの理由として、PHRI 法は応用がききにくいということが挙

げられよう。たとえば、Chang の方法だと解が解析的な形で与えられているから、数式をいじくりまわすことによって特殊な目的に適った扱い方も可能となる。また、解を求める過程も実用数学の例題としては比較的簡単で、かつ明解であるから、数式をいじくりまわしたりすることに対して不安がない。一方、PHRI 法では解が基準曲線という数表形式で与えられている上に、解の定められる過程も必ずしも明解とは言えないこと、さらには計算の手法も相似法則を利用するやや目新しいものであることなど、応用する場合に困難さを感じる要素が多いようである。

しかし、PHRI 法を良く理解してみると、それなりに完全さを備えた一つのまとまった方法であって、地盤の非線型性を考慮しているために派生する複雑さを別にすれば、上で述べた応用の困難さというのは見掛けだけのものであることが分る。その一つの例が本論文で説明した仮想固定点であって、この例からも分るように原理的には Chang の方法と全く異ならない扱い方が出来る。

この論文は、PHRI 法をより一層使い易いものにするために行なっている作業の一環であり、実際の設計の場で利用していただければ幸いである。

#### 参 考 文 献

- 1) “港湾構造物設計基準”  
日本港湾協会
- 2) 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)”  
運輸技術研究所報告, 第11巻6号, 1961, 7
- 3) 久保浩一  
“杭の横抵抗に関する実験的研究(その2)”  
運輸技術研究所報告, 第11巻12号, 1962, 2
- 4) 久保浩一  
“杭の横抵抗に関する実験的研究(その3)”  
運輸技術研究所報告, 第12巻2号, 1962, 3
- 5) 久保浩一  
“杭の横抵抗の新しい計算法”  
港湾技術研究所報告, 第2巻第3号, 1964, 3
- 6) “Hパイルの水平抵抗に関する研究”  
港湾技術研究所・八幡製鉄KK, 1963, 3
- 7) 山下生比古・荒田昌彦

\* 文献11)によれば、通常、設計の対象となるような大きな地震に対して、既設の直杭浅橋の大部分では、杭の応力が弾性域を越えることが示されている。したがって、固有周期の考え方にしてもここで考えているほど簡単にはいかないし、線型の系に対して作られた応答スペクトルをそのまま使うという訳にもいなくなる。しかし、変位の計算精度が(杭の弾性域以上も含めて)要求されるという事情は変らないし、静的な安全率と動的な安全率とがむしろ逆の傾向を持つという事態もそのまま残る。

“C型地盤における頭部埋込杭の基準曲線”

港湾技術研究所資料, No. 65, 1969, 3

- 8) 山下生比古・稲富隆昌  
 “港研方式杭の横抵抗計算法に基づく新しい図式計算法” 港湾技術研究所資料, No. 104, 1970, 6
- 9) 山下生比古  
 “横力を受ける杭の相似法則に関する考察”  
 港湾技術研究所資料, No. 65, 1969, 3
- 10) 鈴木敦巳・久保浩一・田中芳夫  
 “斜面における鉛直単杭の横抵抗”  
 港湾技術研究所報告, 第5巻第2号, 1966, 1
- 11) 山本隆一・林聡・土田肇・山下生比古・小蔵絃一郎  
 “鋼直杭栈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
- 12) たとえば, 下記文献の65, 111, 127, 151, 171頁等を見よ。  
 土田肇・倉田栄一・須藤克子  
 “港湾地域強震観測年報(1967)”  
 港湾技術研究所資料, No. 64, 1969, 3

記号表

- EI: 杭の曲げ剛性 (kg・cm<sup>2</sup>)  
 F: 杭頭の水平荷重 (kg, または ton)  
 H: 等価ラーメンの脚長 (cm, または m)  
 h: 杭の地上部長 (cm, または m)  
 $\Delta h$ : 地表面が傾斜しているとき, 谷側へ載荷する場合の地上部長の増加分 (cm, または m)  
 M: 曲げモーメント (kg・cm)  
 $M_{max-t}$ : 頭部埋込杭の杭頭に発生する曲げモーメント (kg・cm)  
 m: PHRI 法に出て来る無次元の定数。S型地盤なら  $m=1$ , C型地盤なら  $m=0$  である。  
 y: 水平方向変位, または撓み (cm)  
 $y_{top}$ : 杭頭変位 (cm)  
 $\eta$ : 仮想固定点係数,  $\eta=\eta_{BY}$  である。  
 $\eta_{BY}$ : 頭部埋込杭の杭頭における荷重と変位の関係より定められる仮想固定点係数。  
 $\eta_{BM}$ : 頭部埋込杭の杭頭における荷重と曲げモーメントの関係より定められる仮想固定点係数。  
 (1970.3.31 受付)

付録 軸力計算式

一径間のとき

$$V_1 = -V_2 = -\frac{F}{2J} \Sigma N_i \quad (A \cdot 1)$$

二径間のとき

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= \frac{F}{8J} (-5N_1 - 2N_2 + N_3) \\ V_2 &= \frac{F}{4J} (N_1 - N_3) \\ V_3 &= \frac{F}{8J} (-N_1 + 2N_2 + 5N_3) \end{aligned} \right\} (A \cdot 2)$$

三径間のとき

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= \frac{F}{30J} (-19N_1 - 7N_2 + 2N_3 - N_4) \\ V_2 &= \frac{F}{10J} (8N_1 - N_2 - 4N_3 + 2N_4) \\ V_3 &= \frac{F}{10J} (-2N_1 + 4N_2 + N_3 - 8N_4) \\ V_4 &= \frac{F}{30J} (N_1 - 2N_2 + 7N_3 + 19N_4) \end{aligned} \right\} (A \cdot 3)$$

四径間のとき

$$\begin{aligned} V_1 &= \frac{F}{112J} (-71N_1 - 26N_2 + 7N_3 - 2N_4 + N_5) \\ V_2 &= \frac{3F}{56J} (15N_1 - 2N_2 - 7N_3 + 2N_4 - N_5) \\ V_3 &= \frac{3F}{14J} (-N_1 + 2N_2 - 2N_4 + N_5) \\ V_4 &= \frac{3F}{56J} (N_1 - 2N_2 + 7N_3 + 2N_4 - 15N_5) \\ V_5 &= \frac{F}{112J} (-N_1 + 2N_2 - 7N_3 + 26N_4 + 71N_5) \end{aligned}$$

ここに、F：ラーメン形式の構造に作用する全ス  
で、杭1から杭2の方向（図-A・1  
ときを正とする。

$V_i$ ：杭  $i$  に働く軸力。正のとき押込力、  
とき引抜力である。

$l$ ：径間長

$J$ ： $\Sigma [EI_i/h_i^3]$ 、 $\Sigma$  は全部の杭について  
計を意味する。

$N_i$ ： $(EI_i)/h_i^2$

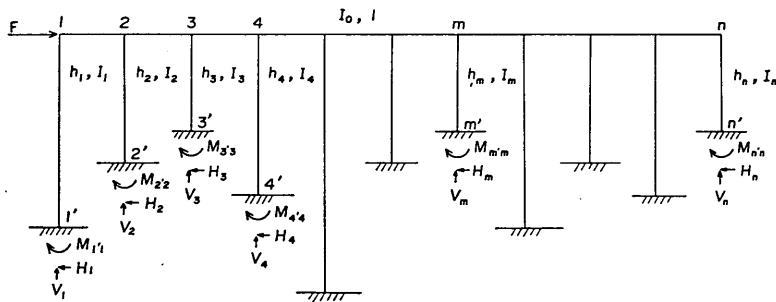


図-A.1 不等脚等径間一層ラーメン

港 湾 技 研 資 料      No. 105

1970・6

編集兼発行人      運輸省港湾技術研究所

発 行 所      運輸省港湾技術研究所  
                 横須賀市長瀬3丁目1番1号

印 刷 所      大洋印刷産業株式会社  
                 東京都千代田区丸ノ内2-20