

Ⅲ－B26

捨石地盤の横方向地盤反力係数

港湾技術研究所

菊池 喜昭 小椋 卓実

第三港湾建設局 神戸調査設計事務所 石丸 守 近藤 武司

1. はじめに 軸直角方向力を受ける杭の設計では、杭と地盤の関係を弾性床上の梁に見たてて解析することがよく行われる。この場合、横方向地盤反力係数を設定することが必要となる。横方向地盤反力係数は砂質土及び粘性土地盤では標準貫入試験によって得られる N 値や孔内水平载荷試験から求められる地盤の弾性係数などから推定されることが多いが、港湾ではこれまで主に N 値を用いて推定するケースが多かった。ところで、横桟橋などでは、杭の自由長を短くする目的で地表面付近に捨石が施工されることが多く、近年の岸壁大型化による大水深化に伴い捨石層が厚くなる傾向にある。このような状況下では、捨石層の評価によって杭の断面に大幅な違いが出てくることが考えられる。ところが、これまでは捨石層の評価については十分な資料がなかったのが実態である。そこで、今回、〇港において、捨石地盤において単杭の現地载荷試験を実施し、捨石地盤の横方向地盤反力係数の推定を試みたので報告する。

2. 試験概要 図-1に試験杭及び反力杭の配置、図-2に試験杭と地盤条件の関係を示す。この地点は、本来、CDL-1.10m から CDL-13.5m まで軟弱な沖積粘土層があり、さらに CDL-15.4m までは洪積粘土層が存在したが、今回の施工にあたり、CDL-15.4m まで床掘りをし、鋼管杭を打設した後 CDL-12.3m まで捨石(10~200kgf/個)を捨て込んで施工したところである。試験杭は $\phi 1,200\text{mm}$ 、 $t=12\text{mm}$ 、 $L=27.5\text{m}$ であり、鋼管杭の先端高+3.5m、捨石地盤高 CDL-12.3m、捨石地盤層厚 3.1m、鋼管根入長 11.7m である。载荷高さは CDL+3.25m である。载荷は地盤工学会の試験法¹⁾に準じて、3 サイクル、最大荷重 11.3tf で実施した。

3. 試験結果と考察 ここでは、横方向地盤反力係数を推定するために、地盤反力のモデルとしてチャンの式($p=k_h y$)と、港研方式($p=k_s xy^{0.5}$ or $k_c y^{0.5}$)、弾塑性法²⁾の三つを用いて検討した。

(1)荷重～変位置からの推定 試験

によって得られた荷重～杭頭変位置の関係とモデルによる横方向地盤反力係数の関係を図に示す。図-3はチャンの式によるものである。この場合には、荷重により地盤反力係数 k_h が変化し、荷重レベルの低いときで $k_h=3.5\text{kgf/cm}^3$ くらいであるが、杭が降伏する程度になると $k_h=0.4\text{kgf/cm}^3$ となる。図-4 は港研方式によるものである。港研方式を用いた場合には、荷重が変化しても地

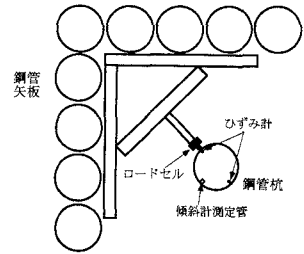


図-1 試験杭及び反力杭の配置

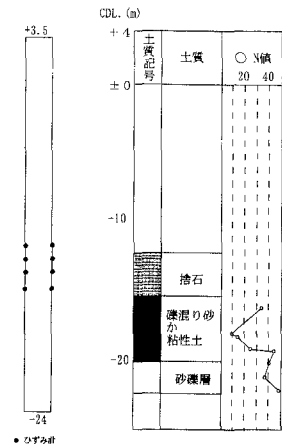


図-2 試験杭と地盤条件の関係

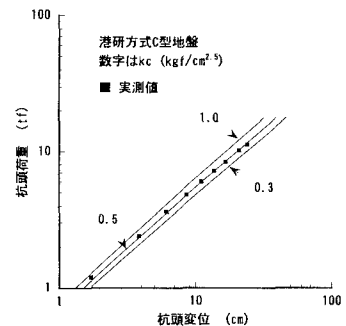
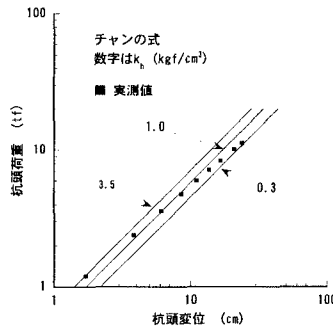


図-3 荷重～杭頭変位置(チャンの方法) 図-4 荷重～杭頭変位置(港研方式)

キーワード：杭の水平载荷試験、捨石層、横方向地盤反力係数、港湾

連絡先：運輸省港湾技術研究所 〒239-0826 横須賀市長瀬 3-1-1 Tel 0468-44-5024

盤反力係数は変化せず、 $k_c = 0.5\text{kgf/cm}^{2.5}$ と推定できる。一方、荷重と捨石地盤表面変位量の関係からは、チャンの式を用いた場合の変位(地表面変位の最大値は約 3.3cm)が大きいときで

$k_h = 0.3\text{kgf/cm}^3$ と

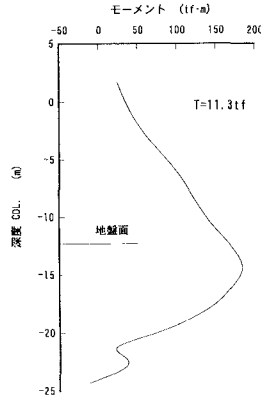
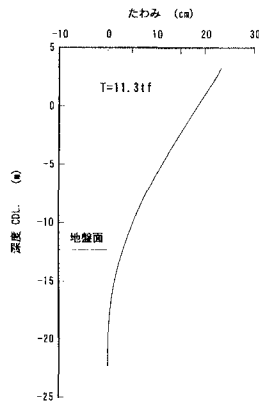


図-5 たわみ及び曲げモーメント(計測結果, T=11.3tf)

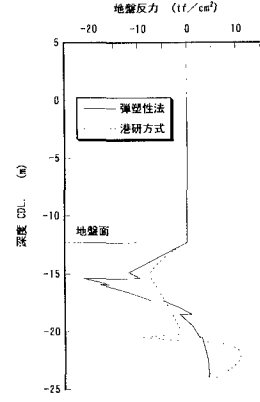


図-6 地盤反力分布の比較

なり、港研方式では $k_c = 0.4\text{kgf/cm}^{2.5}$ となった。なお、これらの検討で用いた杭の変位量は傾斜計で測定したたわみ角を積分して求めたものである。

(2)変位及び曲げモーメント分布からの推定 試験によって得られた杭の曲げモーメント分布について実測値と各モデルの計算結果を比較して、捨石地盤の横方向地盤反力係数を推定した。解析モデルでは、杭を有限長の梁とし、地盤を多層系(捨石層と原地盤の2層)の弾塑性性床としたモデルと捨石層をS型地盤、原地盤(洪積層)をC型地盤とした多層系の港研方式による解析モデルとした。

図-5に試験の結果得られたたわみ分布と曲げモーメント分布を示す。これらは傾斜計のデータを微積分することによって求めたものである。二つのモデルで用いるべき地盤反力係数を推定するときには、計算結果と試験結果のこれらの形状が一致するようにした。弾塑性モデルの場合には、塑性化したときの反力は $\gamma'x \tan(45^\circ + \phi/2)$ (捨石層の場合は $=0.0021x \text{ kgf/cm}^2$, $\phi=40^\circ$)とし、捨石層は $k_h=0.83\text{kgf/cm}^3$ 、下層の原地盤を $k_h=2.08\text{kgf/cm}^3$ とすると曲線の一致がよかった。ただし、このモデルでは、図-5に示した荷重レベルでは、捨石層のほぼ全体が塑性化している。港研方式のモデルとしたときは、捨石層を $k_s=0.0025\text{kgf/cm}^{3.5}$ 、原地盤のCDL-15.4~20.5mを $k_c=0.7\text{kgf/cm}^{2.5}$ 、CDL-20.5m以深を $k_c=9.0\text{kgf/cm}^{2.5}$ とすると曲線の一致がよかった。次に、両モデルで地盤反力の発生仕方がどのように異なっていたかを見てみる。図-6に図-5に示した荷重条件での地盤反力分布を示す。両モデルにおいて深度CDL-15m付近までは非常によく似た地盤反力分布となっている。杭の横抵抗では、比較的浅い部分の杭の挙動が支配的となるので、ここで検討したようなパラメータの推定でも浅い部分ほど精度よく求められていることを考えるといずれのモデルにおいても浅い部分の地盤反力は適切に推定できていると考えてよい。

以上の結果から、この地盤全体としての横方向地盤反力係数は、チャンの方法では $k_h=0.3\sim 0.4\text{kgf/cm}^3$ 、港研方式では $k_c=0.4\sim 0.5\text{kgf/cm}^{2.5}$ と推定できるが、地盤が多層系であることを考慮して捨石層に着目して検討すると、捨石層は、弾塑性解析法の場合で $k_h=0.83\text{kgf/cm}^3$ となり(ただし、表層付近から塑性化が進む)、またS型地盤と仮定すると $k_s=0.0025\text{kgf/cm}^{3.5}$ とすれば良い推定ができることが分かった。実際には、多層系地盤とした二つのモデルがたわみ、曲げモーメントとも試験値とよく一致していることを考慮に入れると、多層系地盤とした二つの仮定のようなモデルで求めた捨石層の横方向地盤反力係数が採用値として適しているものと考えられる。いずれにしても、一般には捨石地盤をN値10~20として地盤反力係数を推定しがちであるが、今回の試験結果では捨石層の横方向地盤反力係数はそのような想定によるものよりかなり小さな値を示した。別途、他の港で実施された捨石の横抵抗実験²⁾でも小さな地盤反力係数しか得られていないことを考えると捨石層の横方向地盤反力係数の値はかなり小さいことを念頭に置いておく必要がある。

(参考文献) 1)地盤工学会(1983): 杭の水平載荷試験方法・同解説、2)高橋、老岐(1991): 杭の横抵抗における捨石層の評価、港研報告第30巻第2号