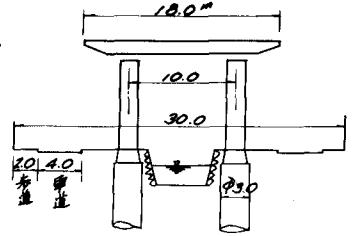


首都高速道路公団	正会員	前田邦夫
〃	〃	○ 大内組博
〃	〃	音川康三
〃	〃	新津敬治
応用地質調査事務所	〃	小松田精吉

1. はじめに

最近リバース互法とかプレキャストブロック(PCウェル)による 直徑3m前後の大口径杭の用途が認められ、施工例も2, 3報告されている。大口径杭の利便は数多くあげられるが、例えば首都高速5号Ⅱ期線では図-1に示すような河川上に高架橋を建設するため、従来のように杭とフーチングによる基礎を施工するには、河川を締切るとか、切りかわすなどするため、互費、工期とも多く要するが、大口径杭を利用すれば、互争の経済化、急速化が可能となる。このような観点から大口径杭の利用を検討するに至ったのであるが、現在では橋梁における施工例が少ないため施工性および設計法の解明を目的として中=3m, 長=27mのリバース互法による現場打ち杭2本, プレキャストブロック杭2本(1ブロック2.43m, 約16トン)を同一箇所(図-2参照)で施工し、水平載荷試験を行った。その結果を設計法を中心に報告する。



2. 試験結果

試験は地質調査では地盤構成, N値, K値等について、水平載荷試験ではリバース杭およびPC杭に各種計器をセットし、各々の荷重に対する応力, 土圧, 変位等を測定した。(図-2参照)

2-1. 地質

地質調査はリバース杭の施工地質とPC杭の施工地質で各行ったが図-3に示すようにほぼ同一であった。また、地下水はほとんど認められなかった。

図-2

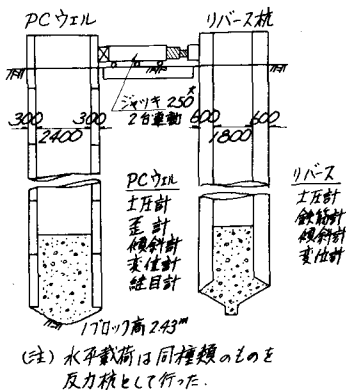


図-3 土質柱状図

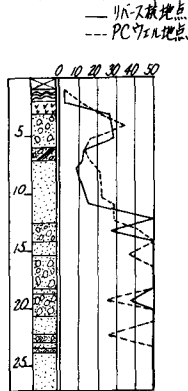
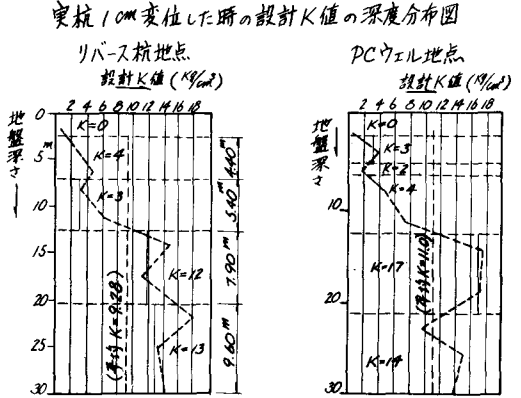


図-4



(注) 水平載荷は同種類の土の反力杭として行った。

2-2. 横方向地盤係数 (K 値)

ボーリング孔を利用しチューブ法 (LLT) で K 値を測定した。

K 値は杭径, 杭の移動量によって異なるため今井の換算式

$$K = \frac{\pi}{2} \left\{ \frac{2r_0(r_m - r_0)^2}{By^2} \right\}^{\frac{1}{4}} \cdot K_m = \frac{K_0}{\sqrt{y}} \quad \text{①}$$

ここに B: 杭径, y: 移動量, K_m : LLT による測定値,
 K_0 : 基準 K 値,

を用いて $B = 3m$, $y = 1m$ について整理すると図-4 のようになり深さ 10m 付近までの平均 K 値は 3 程度であった。

2-3. 水平荷重と変位

水平荷重は約 400 トンまで順次載荷し, 杭頭部の変位を測定したがその結果は図-5 に示すように PC 杭は変位が大きくなった。これは PC 杭の先端に 9mm のフリクションカットをつけたことによる地盤の回復が完全でなかったため (施工後約 1 ヶ月で試験) と思われる。

2-4. 傾斜角, 土圧

傾斜角については 深さ 0, 1, 1.9m 地盤について測定した結果図-6 のように 1.1m 以下はほとんど傾斜しなかった。土圧については PC 杭では深さ方向に 5m 間隔に左右対象に合計 10ヶ所, 底面に 2ヶ所セットした。その結果は図-12 のようになった。底面の 2ヶ所については ねわみ性杭のため反応がなかった。リバス杭については 4ヶ所セットしたが コンクリート打設の際, 計巻の前面にコンクリートがまわらなく測定不可能であった。

3. 考察

3-1. 横方向地盤係数 (K 値)

LLT によって求めた基準 K 値, K_0 の深さ約 10m 区間 (約 $\frac{\pi}{3}\beta$ 区間) の平均 K 値は

リバス杭で $K_0 = 3.904 \text{ kg/cm}^2$

PC 杭で $K_0 = 2.081 \text{ kg/cm}^2$ (地盤のゆるみを考慮して修正したもの)

であり $K = K_0/\sqrt{y}$ なる式で K 値と変位 (y) の関係を求めると図-7 の実線のような関係になった。一方水平載荷試験の結果の荷重 (H) と y の関係を用い 杭設計指針 (道路協会) の杭頭自由で地上に突出している場合の式 $y = H \left\{ (1 + \beta h)^3 + \frac{1}{2} \right\} / 3EI\beta^3$ ②

より K 値と y の関係を求めると図-7 のようになった。またこれらの結果を K 値と H, H と y の関係におきかえると図-8, 図-9 のようになった。この結果, K 値はいずれの場合も変位にして 0.5m 程度まで, 荷重にして 250 トンまでくらは計算値と実測値が良く一致した。

図-5 杭頭荷重-変位

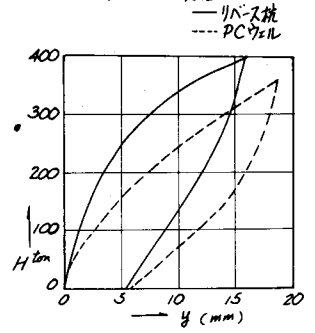


図-6 傾斜角

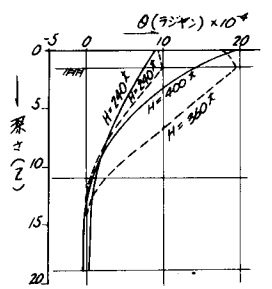


図-7 杭頭変位と地盤の K 値の変化

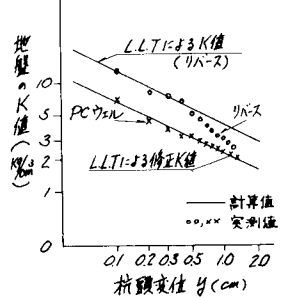
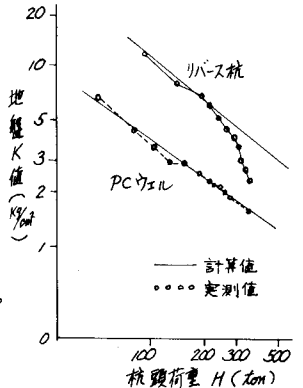


図-8 杭頭荷重と地盤の K 値



3-2. 杭応力

杭に生ずる応力をリバース杭では鉄筋の応力度で、PC杭ではコンクリートの応力度で測定した。そのうちの2桌(160トンと360トン)を図-10, 11に示した。計算値はリバース杭については全断面有効とした場合と引張側のコンクリートを無視した場合について($n=10$ および15)計算した。PC杭については全断面有効の場合について計算した。計算にあたってK値は図-8より箇々の荷重に対するK値を各々求めて杭設計指針にある次式により計算した。

$$M = H/b \cdot e^{-\beta x} \{ \beta h \cos \beta x + (1 + \beta h) \sin \beta x \} \dots \textcircled{3}$$

(PC杭では実測値も計算値も圧縮応力度、引張応力度ともほぼ同一であったので圧縮のみ図示した) その結果、リバース杭では 実測値と計算値が $H=280$ トンまでは全断面有効の場合で $n=10$ に良く一致した。 $H=320$ トンでは最大応力の生ずる2桌で実測値は計算値の全断面有効の場合と、引張を無視した場合のほぼ中間にあり順次後者 n に近づいて $H=400$ トンでは後者と同一になった。この結果よりコンクリートはほぼ $20 \sim 40 \text{ kg/cm}^2$ の引張応力でヒビ割れが生じたといえよう。(使用した水中コンクリートの $\sigma_{28} = 400 \text{ kg/cm}^2$) PC杭については有効アレステレス量は約 5 kg/cm^2 であるが載荷時の応力を0として整理したところ計算値と実測値は $H=360$ トンまでは(全断面有効の計算値)全く一致した。(使用したコンクリートの $\sigma_{28} = 500 \text{ kg/cm}^2$)

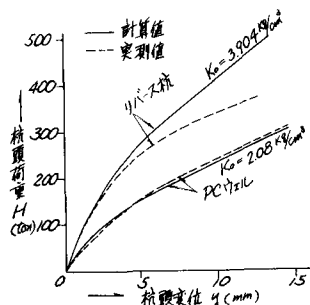


図-9 杭頭荷重と杭頭変位

図-10 リバース杭の応力度

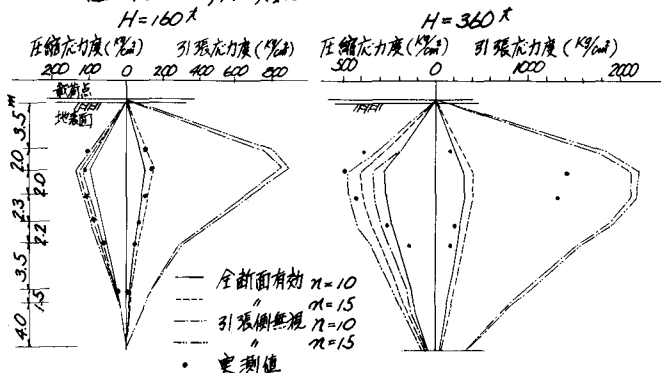
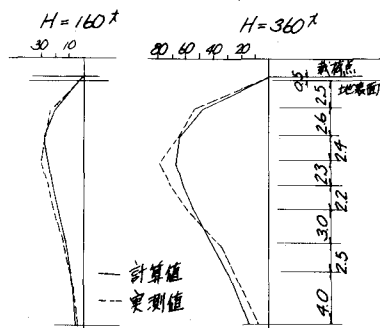


図-11 PCウエル 圧縮応力度 (kg/cm²)



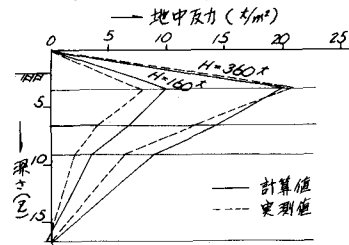
3-3. 土圧とK値

PC杭における土圧は各荷重毎に測定したが $H=160$ トンと 360 トンにおける実測値を図-12に示す。計算値における土圧は $P=Ky$ で求められるがK値は杭頭荷重におけるK値を図-8より求めたものを採用すれば (y は杭設計指針による)

$$P = Ky = (2\beta H/b) e^{-\beta x} \cos \beta x \phi_m \dots \textcircled{4}$$

となる。ここに 杭頭自由の突出し杭では $\phi_m = 1 + (1 - \tan \beta x) \beta h$ となるが βh は非常に微小いため無視し、 $\phi_m = 1$ として深さ方向に各々 P を求めると 図-12における実線のようなになった。計算値と実測値はほぼ一致することから 地中における杭の水平変位量も計算値と同一といえることがいえよう。

図-12 PCウエル側面土圧(反力)分布図



4. まとめ

大口至杭の水平載荷試験より得られたデータをもとに多少の検討を加えて設計に従来の計算式を用いて良いか否かを実測値と計算値の対比を中心に検討してみたが、これらの結果より次のことがいえよう。

① たわみ性杭か剛性杭かの判定は従来の方で行って良い。

これまでたわみ性杭か否かの判別は杭設計指針では $l > \pi \beta$ で、ケーソン設計指針では $\beta l \leq 2$ (剛性とする) で行って来たが今回の大口至杭では計算上たわみ性杭となり、実験の結果からも杭応力、土圧、傾斜角のいずれからもちたわみ性杭であることが判定できる。

② K値はチューブ法で求めた値を杭至、杭の移動量により修正して用いると良い。修正方法は式④によって良い。

実験の結果はリバー杭では5mm程度まで、PC杭では10mm程度まで良く一致しているので杭頭の許容変位量を定め、それに相当するK値を図-7により求めれば良い。許容変位量の定めていない場合には K_0 を求めて図-13より杭頭荷重に相当する変位を求めK値を定めれば良い。しかし、設計時にチューブ法などによる基準K値 K_0 が求められていない場合もある。

このためこれまでの提案されているK値とN値の関係を検討してみると図-14のようになった。少ないデータからではあるが今回の実験値と中島らの行ったデータを基にK値とN値の関係は $K_0 = 1.2/D^{1/2} \cdot N^{1.09}$ …… ⑤ となった。今後さらに検討を加える予定であるが、砂か砂礫に対しては概略の値を求めるには役立つと思う。

③ 杭の変位、断面力等の算出にはたわみ性杭の場合には杭設計指針によって良い。

以上 わずか1回の実験の結果から結論めいたものを述べたみたが、この他設計上の問題として鉛直支持力とか、杭とフーチング、あるいは杭と橋脚の接合方法などが残されているので今後、鉛直載荷試験、および換型試験等で解明する予定である。

なお、PC杭とリバー杭の相違点についてはPC杭のフリクションカットによる地盤のゆるみも長期的にみれば問題とならず、特に取上げるとすれば図-5にみられるようにPC杭は大きな変位を起しても残留ひずみの少ないことからねばりのある構造といえよう。また、今回は実験であるのでポレストレス量を多くし、フルプレストレスとしたが今後はPRCでも検討する予定である。

施工性については簡単にのべると、リバー杭は作業面積を多く要し、現場を汚すこと、砂層や砂礫層では壁面の凹凸が大きいこと(20m前後)こと、PC杭では1ブロックの重量が大きいため運搬に制約を受けること、プレストレス、グラウト、接着材等の管理に慎重を要すること、ブロックの接合面の製作が困難(断面欠損の原因となり易い)なこと等が問題点としてあげられる。

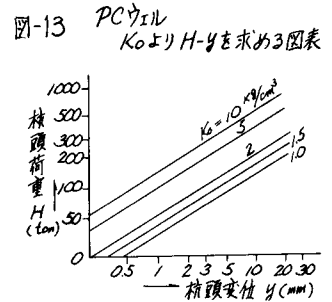


図-14 N値とK値との関係

