

III-4 河口堰建設に伴う仮締切兼用堰柱の変位について

水資源開発公団

渡辺貞夫

正員○福間敏夫

〃瀬古育二

1. まえがき 河口堰の建設工事において、新設した堰柱を次の仮締切りの一部に兼用することがたいが、杭基礎とモルタル柱でかなり大きな水平移動が観測された。このような実例はいくつあると思われるが、公表の機会に接することは少ない。ここでは、我々が今切川で経験したものについて素直にその実情を紹介しこの原因を考察するとともに、その後引き続き実施した旧吉野川河口堰に対してとった簡単な対策の効果を付記して今後の参考に供したい。

2. 地質および設計概要

移動した堰柱はφ508・長さ29mの鋼管杭28本により支持されていて、最上部4mが細砂、次いで6m程が砂質シルトとともにN値10前後の沖積層であり、その下は砂質系の洪積層である。(図-1)上部砂層は、バイブロコンポーネンターによる地盤改良を行ない締切堤内での載荷試験から設計水平地盤係数2.3%_{sw}を確認している。

堰柱基礎の設計は、締切内外の水位差・地盤力及び風圧に対して杭頭剛結による組合計算を行った。これによれば、施工時(外水位+0.88m内水位-4.23m水平地盤係数0.1)の変位は杭頭で9.7mm、管理橋背部で18.9mmであった。

3. 堰柱の移動 第2回仮締切りの排水にともない堰柱の変位を観測したところ、図-2に示すとおり管理橋背部で40mm以上に達しほぼ水平に移動していた。幸いにして他に悪影響を及ぼす程の変位とならなかったが、いずれにしろ設計値に比べ約3倍の変位量であった。堤内水位は、排水開始後20日頃からウェルポイントをかけてるので内水位がどこまで低下しているか明瞭でないが、堤内の現高標高から推定して記入しており、外水位は干満により最大80cm程度の変動がある。なお、締切撤去後の復元は、背部で8mm程度であった。

4. 有限要素法による堰柱基礎の変位 杭の水平変位は本来3次元問題であるが、基礎地盤を含めた締切堤の

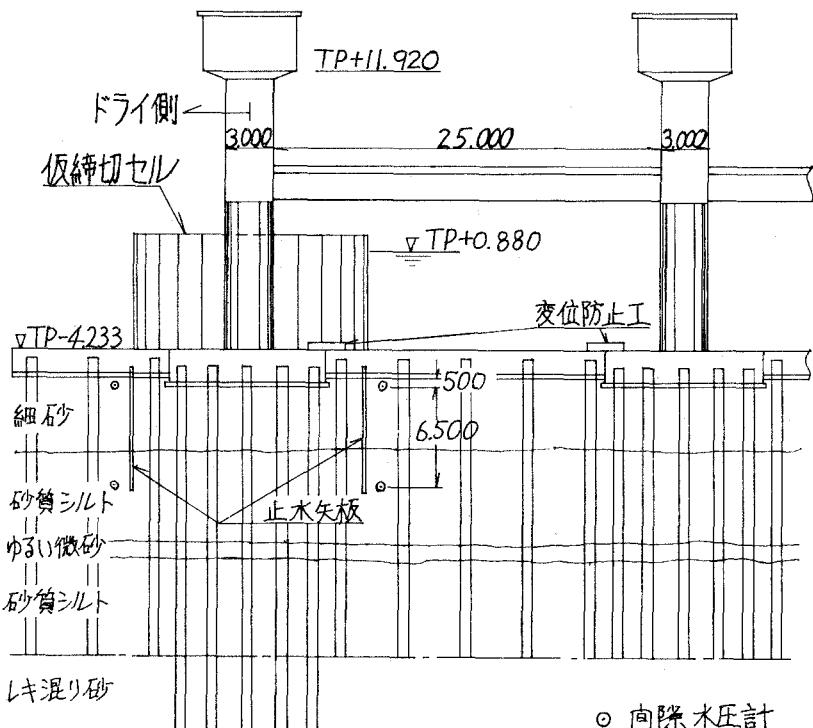


図-1 締切杭柱概要図

1部として考えるとき、これを2次元的に扱うことができる。地盤の剛性は $E = 150 \text{ kN/mm}^2$ を基準とし、水平荷重は、堰柱の設計条件に合わせて地盤内に作用する荷重は考慮していいよい。

解析の結果、堰柱床版を戸当り床版と連結することにより変位量は50%程度に減少することがわかった。このとき継手には1m当たり約3tの引張りを生ずることになるが、施工時のみの対策でよく現実的の方法と思われる。

FEMによる解析は、このほか偏載荷重による変形や杭の実験にもとづく粘弾性解析も実施中である。しかし、解析のみでは実測変位が時間経過とともに増大するような現象や、縦切内外の水位差による地盤内の浸透圧の影響などに対する解説ができないので、杭の室内実験もうびに次期締切りによる実測を計画した。

5. 杭の室内模型実験 堰柱変位に直接影響する基礎杭の性状のうち経時性あるいは土性に対する相違などを知るために、杭頭自由杭を使って室内模型実験を行った。実験装置は、 $80\text{cm} \times 70\text{cm} \times 50\text{cm}$ （深さ）の実験槽内に巾10mm厚さ3mm長さ50cmのステンレス杭を根入りが30cmとなるように吊り下げ、3~4cm毎にまき出し突固めながら深さ40cmの地盤をつくった。水平荷重は、小粒径の鉛玉を1段階200~300gづつ1.5kgまでかけ、ひき続き最大荷重載荷状態で放置した。杭の挙動は、3cm間隔で杭表面に貼りつけた歪ゲージおよび杭頭部の変位量測定から諸量を算出した。

図-3は杭頭変位を表わしているが、砂および砂質シルトとともに30~40%程度の経時的変位が見られた。この結果から、一般的に用いられるChang式の α 値を逆算しプロットしたのが図-4である。これによれば、模型地盤のクリープにより α 値が14~20%から7~9%（杭中の影響を考慮すれば実際は1/2~3倍）へと、それぞれ約50%も低下していることがわかった。さらに、このような経時挙動をタワミならびに α 値についてそれぞれ最大荷重載荷時の値と比較したのが図-5である。クリープ係数は $(At^2/\alpha + B)$ で表わされますが、砂では比較的短期間に変形の大半を完了するのにに対し、砂質シルトでは1週間以上も変形を続けることが確認された。

しかし、このような経時挙動を論ずるとき注意しなければならないのは、変形が安定したかどうかの判定基準である。建築鋼構造基盤設計規準では0.0125mm/5分間を基準としているが、従来実施された載荷試験の数々くの例によれば

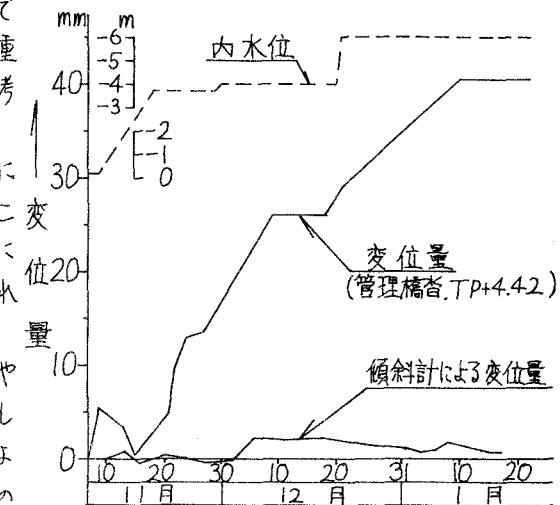


図-2 堰柱変位図(塗軸方向)

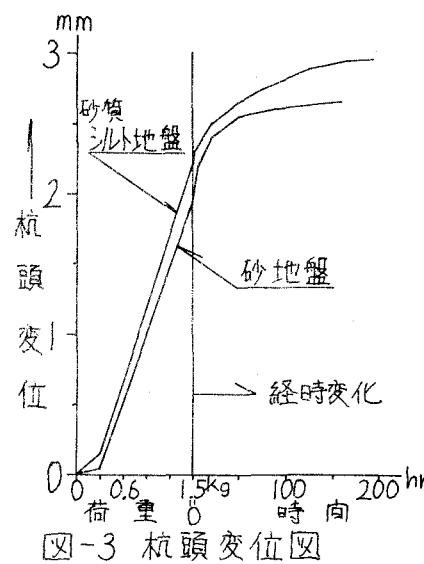


図-3 杭頭変位図

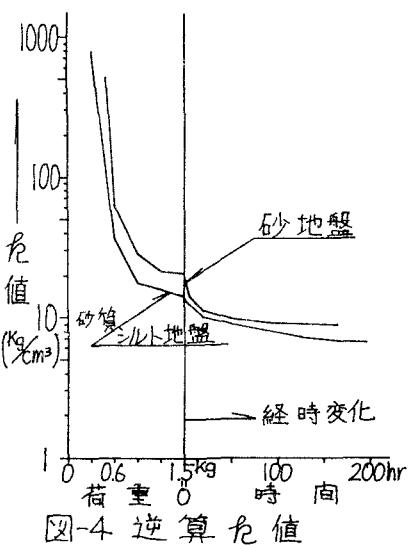


図-4 逆算 α 値

$0.01\text{mm}/15\text{分} \sim 0.05\text{mm}/10\text{分}$ とかなりのやがり、この河口堰においても $0.05\text{mm}/10\text{分}$ を基準とし一段階の荷重を 15 分間持続していた。今回の実験では載荷後 10 分間で次の荷重段階に上げたが、途中 5 分間の変位は $0.01 \sim 0.03\text{mm}$ であって現場とほぼ同程度と考えられた。なお、実験の最大地盤反力は $0.5\text{kN}/\text{cm}^2$ であるが、原型杭では $1 \sim 2\text{kN}/\text{cm}^2$ 程度であるためかなり長期にわたる変位の進行があり得ると考えられる。仮りに、対象とする外力が作用した後 $0.01\text{mm}/10\text{分間}$ の変形が進行している状態が模型地盤同様 200~300 時間に完全に落着くとした場合、 $6 \sim 9\text{mm}$ のタワミの増加が見られることとなるので、

常に水平力を受ける杭基礎においてはこのような経時変位が意外に大きいことを知っておく必要がある。

なお、タワミの進行とともに杭の曲げモーメントならびに地盤反力の変動については、若干曲げモーメントが深部へ移っていく傾向が見られる程度であってその最大値がとくに増大するほどではない。また、地盤反力はほとんど変化が見られず、応力一定のもとでヒズミが増大する粘弾性的性状を示すことがわかった。

このほか、杭の横抵抗が地表部 3~4m の土質条件に直接左右されるにもかかわらず、現場の事情から高水敷や或いは縫切内にあってもウェルポイント等で水位を下げて載荷することが多いので、とくに影響が大きいと思われる砂質土を用いて振動台で均一地盤を作り、干陸ならびに湛水状態下での挙動をみたのが図-6 である。湛水は地表上 5mm まで干陸時は地表面下 10cm の位置であるが、砂質土に関する限り水の存在による顕著な差が見られ、変位量で約 1.9 倍の値は逆に \downarrow 程度に減少している。Terzaghi は水中の砂質土の横方向地盤常数を区別して定めていたが、浮力による土の単位重量の減少が粘着力の小さい砂質土においてとくに横抵抗の低下をまねくことは、杭前面の受働土圧 $p_e = Y \cdot Z \cdot \tan^2(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}) + 2 \cdot C \cdot \tan(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2})$ からも推定されるので、このような堰においてはプレソオメーターなどの結果の \downarrow でなく、これが反映できる式 (砂の場合 $Z = 2K_p$)⁽⁴⁾ などによって設計の基本となる地盤常数を十分検討しておか必要がある。なお、この他の要因として杭頭固定度の影響が考えられますが、変位量に対してはほとんど差がないことが報告されている⁽⁵⁾。

6. 対策工と実測 その後ひき続いで実施した仮縫切では、先の解析にもとづき図-7 のような H 型鋼で床版間と結び、縫切撤去時に水中切断して取り除いた。このような対策を講じた堰柱の変位は、今切川と同地盤ではないが図-8 のとおり最大 10mm におさまっている。しかし、これは計画していた杭応力の測定値が十分の精度で得られない結果となり、また、期待していた継手 H 鋼のゲージも流水によって乱され、地盤内の観測は結果的に縫切内外の間隙水压 (位置は図-1 参照) を得たに留った。

しかし、ここで得られた間隙水压の分布は、前述の杭の横抵抗と異って直接堰柱に作用する荷重条件に関連し

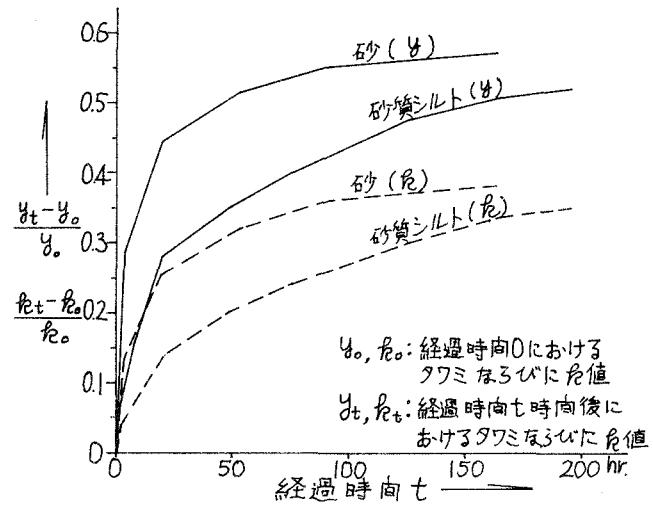


図-5 タワミ, y_0 値の経時挙動

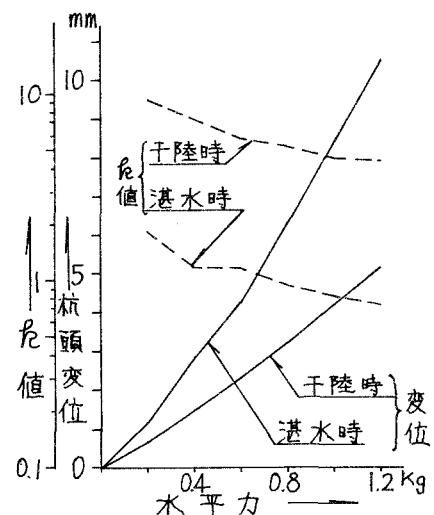


図-6 砂地盤における水の影響

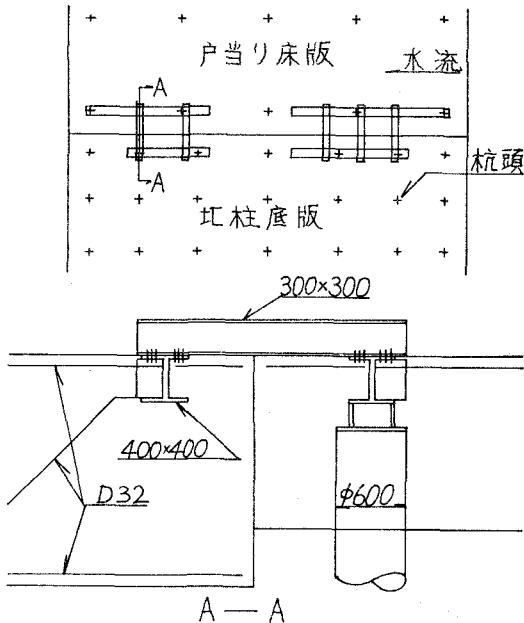


図-7 変位防止工

ており、水平移動の大きな要因の一つであることを示している。堤内排水途中における間隙水圧は約 日間のタイムラグで変動しているが、最終的には定常状態下では締切内外で図-9のとおり大きな差を生じていることが確認された。今切堀ではこのような外力を直接受けないよう止水矢板と埋柱床版から外して、埋柱基礎部に作用する浸透圧ならびにこれによる埋柱の変位などについては、現在F.E.M.によって解析中である。結果が次第に追加して報告できることと思う。

7. おわりに 埋柱の埋軸方向への移動は、床版間の止水性やゲートとのとりあいに直接関連するので、事前にこの種の変位を予想しておかなければならぬ。とくに、仮締切堤に兼用される埋柱の設計にあたっては

1. 杭の横抵抗に対する経時性や水の影響などは無視できないので十分留意して設計値を定めること。
2. 地中の基礎杭群にも、内外水位差による浸透圧が水平荷重として作用することを考慮すること。
3. ただし、現場での確実な施工のために、上記の条件で設計することより一時的に床版間を連結しておく方が現実的で有効な方法と思われる。

軟弱地盤上で偏載荷重を受ける構造物の側方移動についても、根入部分の水平土圧に注意すべきことが報告されているが⁽⁵⁾、埋柱変位の主要な原因と思われる上記のことは、一般的な構造物においても十分留意すべきことと思われる。

(参考文献)

1. 山内恒雄他 水平力を受けたフイ基礎の有限要素法解析 土と基礎 Vol. 23 No. 1
2. 土質工学会 鋼ゲイ研究委員会報告 鋼ゲイ
3. 藤田圭一 くい打ち技術ハート 日刊工業新聞社
4. 沢口正俊 くいの横抵抗における地盤常数に関する研究 港湾技術研究所報告 Vol. 17 No. 2
5. 駒田敬一他 軟弱地盤上の橋台の側方移動について 第2回関東支部年次研究発表会講演概要 土木学会

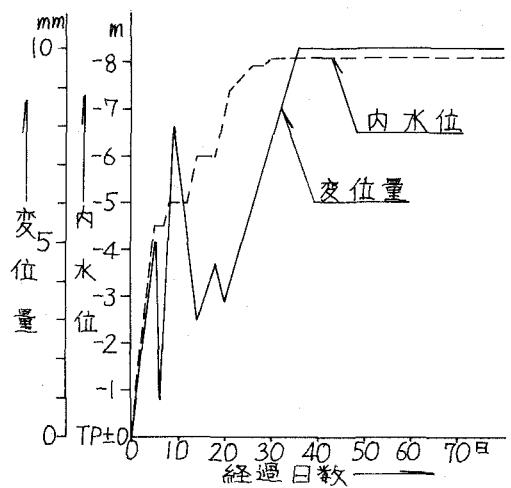


図-8 内水位と変位量の実測値

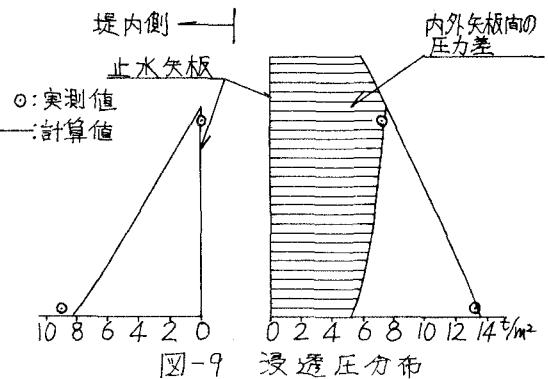


図-9

浸透圧分布

○: 実測値
—: 計算値

内外矢板間の
圧力差

止水矢板

堤内側

堤外側

○: 実測値
—: 計算値

○