

清水建設(株) 土木設計部 正員 ○脇田英治
清水建設(株) 土木設計部 正員 斎藤一郎

1. はじめに 軟弱地盤に構築された杭基礎構造物に偏荷重を作用させると、通常の設計法では予想もしなかった構造物の水平移動現象に出合うことがしばしばある。そのような場合、FEMの適用は土の変形特性を厳密に評価するものではないが、少なくとも変形挙動のおおよその目安を得ることができるという点において、従来の設計法にまさるものがあると思われる。ここでは、埋立地の橋台の変形挙動の解析を例にとり、FEMの適用性について考察する。

2. 解析方法 図-1に示す橋台の変形挙動を解析するために、次の2種類の解析法を用いた。

ケース1---橋台を含む地盤を連続体と仮定して行ったシンプルな線形弾性FEM解析である。

ケース2---土の応力-ひずみ関係の非線形性を評価するため、Duncan, Chang等による接線係数法を用い、橋台と土、杭と土との間の不連続性を評価するために、Goodman, Taylor等によるジョイント要素を用いた。これにより不連続面のせん断応力がせん断強度に近づくと、

その面でせん断すべりが発生する。せん断面のせん断応力-相対変位関係は、非線形であるとして、Duncan, Cloughにより提案された非線形な接線せん断剛性の関係式を用いた。さらに、解析の結果、地盤内に引張応力が発生することがあるが、土は引張応力にはほとんど抵抗しない性質の物質であるから、この引張応力を地盤内に分配して、現実の応力状態に近づける必要がある。この手法として、ZienkiewiczによるStress Transfer Processを用いた。また、杭の先端部にリンケージ要素(バネ要素)を設けて、杭の支持地盤への貫入の影響を考慮した。このように、ケース2は各種の手法を組み合わせ、実際の挙動に近くよう工夫をしたFEM解析である。

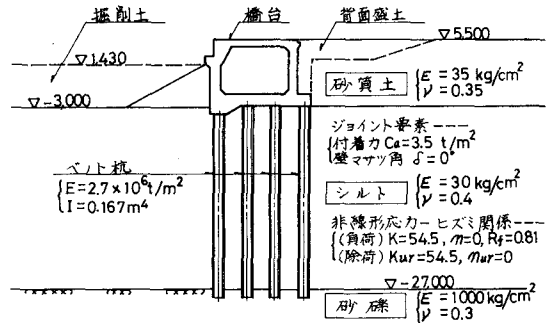
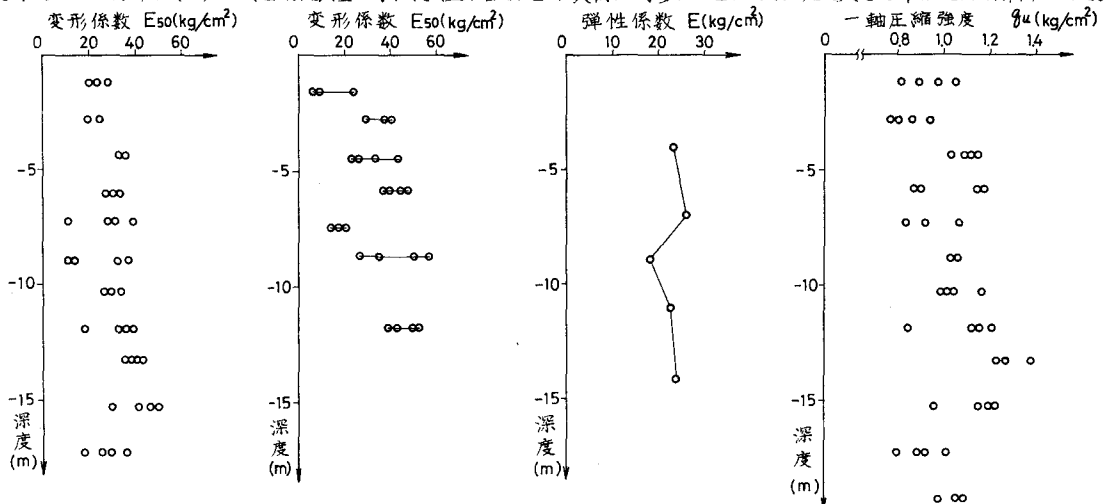


図-1 計算用断面図



(a) 一軸圧縮試験結果 (b) 三軸圧縮試験結果 (c) LLLT試験結果

(d) 一軸圧縮強度の分布

図-2 土質試験結果の深度方向分布

定数の決定 第1層、第3層は砂質土であるが、そのヤング率は N 値から、式 $E = 7N \text{ (kg/cm}^2\text{)}$ を用いて推定した。第2層のシルトのヤング率は図-2に示した一軸、三軸圧縮、 LLT などの試験結果から、 $E = 30 \text{ kg/cm}^2$ と推定される。なお、飽和粘性土の場合には、一般に E と非排水せん断強度 C_u との間に相関性が存在する。しかし、このケースでは、図-2(d)に示した $g_u (= 2 \cdot C_u)$ に対して、 $E = 210C_u$ 、 $E = 120C_u$ などの関係式は成立しないようである。その他、計算に用いた定数の値は、図-1に示した。

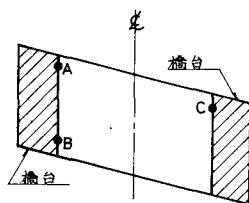


図-3 測定位置

基礎杭のモデル化 橋台の基礎杭は杭径 $1.5m$ のベント杭であり、橋軸方向に $3.75m$ 間隔で4列、橋軸直角方向に、 $3.0m$ 間隔で10列配置されている。計算では、基礎杭をはり要素で表わし、二次元平面にズミ状態に、一次元のはり部材を含んだ問題として解析した。

荷重条件 橋台水平変位の直接の原因となったものを橋台前面地盤の掘削と橋台背面の埋戻しであると仮定して、掘削部分に掘削等価節点外力を作用させ、埋戻し部分に土の自重、橋台にはその自重を物体力として与えた。

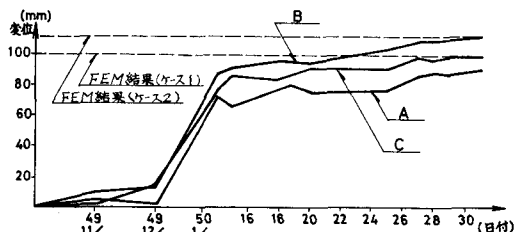


図-4 橋台水平移動量実測結果

3. 橋台移動の実測 図-3に示した橋台の各位置において、光波距離計により、施工当初から完了までの間の橋台の水平移動量が測定された。測定結果は図-4に示したが、これによると最終的な橋台移動量は $90 \sim 110mm$ の範囲にある。

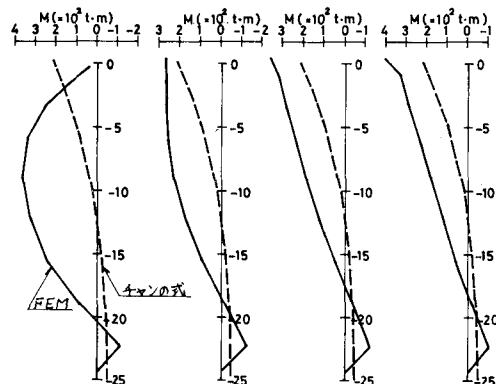


図-5 杭の曲げモーメント分布図

4. 解析結果 橋台の水平移動量は、ケース1で $101mm$ 、ケース2で $117mm$ であった。これに対して、実測値は、 $90 \sim 110mm$ であるから、解析結果と実測値はよく合っている。さらに、比較のため、チャンの式による場合を検討したが、それによると水平移動量の推定値は $39mm$ と小さい。

図-5はFEMとチャンの式を曲げモーメント分布について比較したものである。ここでは、橋台背面に作用する土圧分布から杭頭に作用する水平力を計算し、チャンの式を用いて求めた曲げモーメント分布を点線で示した。実線はFEM解析結果(ケース2)であるが、両者は傾向にかなりの差がある。(なお、チャンの式による場合の横方向地盤反力係数の値は $k = 0.03135 \text{ kg/cm}^3$ である。)

図-6はケース2の解析の結果得られた地盤の変形状態を表わしている。これによると、橋台背面、および杭と地盤との間の不連続面で、せん断すべりの生じている様子がわかる。

図-7はケース1とケース2の違いを、水平変位分布について比較したものである。解析結果を検討した結果、両者の差は、主にジョイント要素の有無に原因するものであった。

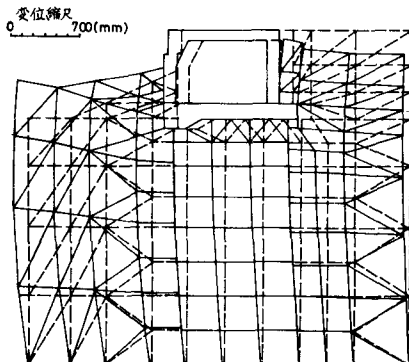


図-6 変形図(ケース2)

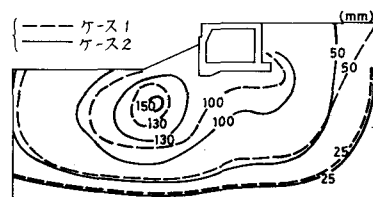


図-7 水平変位分布図