

III-439

杭基礎下の地盤変形も考慮した上・下部構造一体設計の考え方

石川高専 正会員 ○出村禎典
金沢大学 正会員 太田秀樹
名古屋大学 正会員 松尾 稔

1. はじめに

軟弱地盤に構造物を建設する場合、基礎の沈下の発生の可能性を無視することはできない。現行では、一般に、基礎の寸法を大きくして基礎の沈下を極力押える設計がなされる。ところが、このような設計法を層厚の大きい軟弱地盤に適用すると、基礎の規模が非常に大きくなる。そこで、本研究では、以下のような基本的な考えに基づき、基礎の沈下に対する最適設計について検討を進めてきた¹⁾。

① 構造物は上部構造と下部構造から成る一体システムと見なすことができる。基礎の沈下に対しても基礎のみならず、上部も含めたシステム全体で対処すべきである。

② 力学的にも機能的にも支障が生じないならば、若干の基礎の沈下は許容する。

③ 上・下部構造の設計案は、上・下部構造間の力学的、機能的な関連のみならず、作用荷重や使用材料の力学的、統計的特性、建設費、損傷の影響度などの各種の相違も考慮したうえで、システム全体が最適となるように決定されるべきである。

本研究で用いている評価関数の基本形は以下のようである。

$$E[C_T] = C_{cu}(A_u) + C_{cl}(A_L) + \sum C_F(D_k)P(D_k; A_u, A_L) \quad (1)$$

ここに、 $E[C_T]$ は期待総費用、 A_u 、 A_L は上部および下部構造の設計案、 C_{cu} 、 C_{cl} は上部および下部構造の建設費、 D_k は一体システムにおいて考慮すべき損傷の一つのグループを示し、 $P(D_k)$ は D_k の生起確率、 $\sum C_F(D_k)P(D_k; A_u, A_L)$ は一体システム全体の期待損失費である。損傷の度合いは基礎の変位の大小によって異なるので、損傷を基礎の変位の大小によってグループ分けし、期待損失費を算定する。記号“ k ”は変位の大小のランクを表わす。上・下部構造設計案はシステム全体について算定された期待総費用 $E[C_T]$ を最小化するように決定する。

これまで、杭基礎に支持される構造物を対象に、杭および杭周辺地盤の弾塑性変形に起因する基礎の変位を組入れた一体システムを構築した¹⁾。ところが、図-1に示すように基礎下に粘性土層が存在し、その粘土層の沈下が無視できない場合がある。本報告は、基礎下の粘土層の変形も組入れた一体システム構築の可能性について検討を加えたものである。

2. 沈下計算の概略

変形解析は図-2のような構造モデルによる。上部構造は剛性が等しい梁に置換する。粘性土の変形はBiotの圧密方程式を有限要素法を用いて解くことにより求める。土の応力～ひずみの関係は関口・太田のモデルを採用する²⁾。また、杭部は次のようにモデル化する。まず杭を等しい剛性を持つ梁に置き、さらに杭に隣接した地盤を弾性体とする。隣接地盤の弾性係数を、杭頭荷重と杭頭変位の比が与えられた値に一致するように設定する。

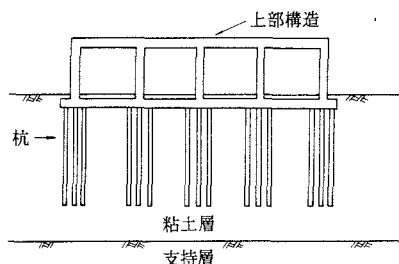


図-1 上・下部構造

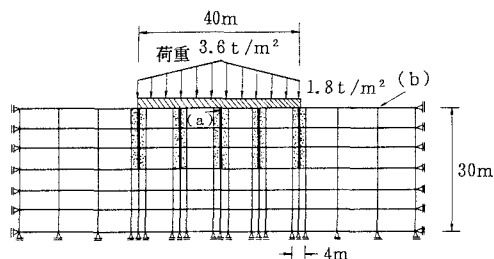


図-2 数値計算に用いた構造モデル

表-1 粘土層の土質定数（単位：t, m, day）

深さ	κ_x	κ_y	σ'_{v0}	σ'_{vi}	K_s
0～5	0.005	0.005	10.0	2.0	1.280
5～10	0.005	0.005	10.0	5.0	0.860
10～15	0.005	0.005	10.0	8.0	0.720
15～20	0.005	0.005	12.0	12.0	0.649
20～25	0.004	0.004	17.0	17.0	0.649
25～30	0.003	0.003	23.0	23.0	0.649

3. 計算結果と考察

計算に用いた構造モデルは図-2のようである。杭は径 60cm の鋼管杭を想定し、断面 2 次モーメント $I_p = 0.86 \times 10^{-3} \text{ m}^4$ とする。上部構造の断面 2 次モーメント I_u は 10^{-1} m^4 から 10^{-5} m^4 の間を変化させる。地盤定数は表-1 に示すように深さ方向に変化する。なお、他の定数は一定で、 $D = 0.076$, $\Lambda = 0.549$, $M = 0.961$, $\nu = 0.394$, $e_0 = 0.840$ とする。深度 10m までの地盤は過圧密状態にあり、それ以深は正規圧密状態にある。深くなるほど地盤強度は増加している。荷重は図-2 に示すように中央部の値が大きく、荷重の時間的経過は図-3 に示すように短期間に最大値に達する。

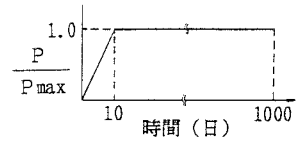


図-3 荷重の載荷経過

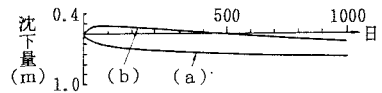


図-4 沈下量の時間的变化

($I_u = 10^{-5} \text{ m}^4$, 杭長=20m)

次に計算結果を示す。図-4 は沈下の時間的变化を示す。なお、図中の記号 a, b は地盤の位置で、図-2 の記号に対応している。荷重が最大値に達するまでは非排水せん断変形による沈下が大きく表われる。荷重強度が一定になると圧密沈下が生じ、増加勾配は減少する。図-5 は上部構造の剛性による最終時の変形状態の違いを示している。上部構造の剛性が増加すると不同沈下はもちろん、全沈下量も減少する。上部の剛性が高い場合周辺地盤との食違いは大きくなっている。次に図-6 に杭長による最終時の変形状態の違いを示す。杭長が増加すると全沈下量はもちろん、不同沈下量も減少する。図-5, 6 の結果より、全沈下量、不同沈下量ともに杭長のみならず、上部の剛性も関係していることが分かる。図-7 に同じ不同沈下量 s_d を生じせしめる杭長と上部剛性の組合せを示す。組合せは数多く存在する。

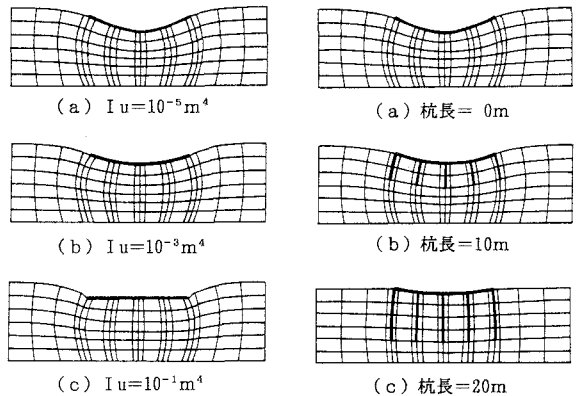


図-5 上部構造の剛性による変形状態の違い (杭長=0m)

図-6 杭長による変形状態の違い ($I_u = 10^{-3} \text{ m}^4$)

また、この関係は、上・下部構造設計案である杭長と上部の剛性の力学的関連を表わしている。

以上の結果より、次のような考察ができる。① 力学的関連のみに注目しても上・下部構造一体設計が考えられる。例えば、不同沈下量を制約条件として建設費の合計が最小になるように杭長と上部の剛性を決定する。② 損傷としては、不同沈下の他に、全沈下量、構造物と地盤の食違い、地盤の破壊などの損傷が考えられる。どの損傷が重要かは構造物の使用目的、地盤の条件などによって異なる。③ 地盤定数の不確実性を考慮し式(1)の評価関数を求めれば、その評価関数には各損傷の影響や上・下部構造間の力学的関連が定量的に組込まれる得るものと考えられる。

4. むすび

本数値計算結果は極めて簡略化されたモデルに対する結果であるが、基礎下に粘土層が存在する場合にも上・下部構造一体化設計の適用は可能であり、有用であると判断できる。

なお、数値計算結果の整理においては石川高専福嶋研一君に多大なる援助を戴きました。感謝申し上げます。

参考文献 1) 松尾稔, 出村禮典, 菅井径世: 杭基礎上橋梁の上・下部構造一体システムによる最適化に関する研究, 土木学会論文集, 第412号, III-12, pp. 79-88, 1989年12月。

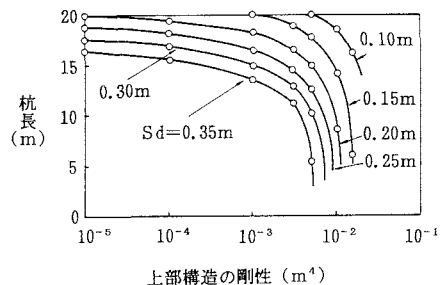


図-7 不同沈下量と杭長および上部剛性との関係