

論文の内容の要旨

論文題目 Single Beam Analogy for Analyzing Nonlinear Soil-Pile Group Interaction
(群杭基礎と地盤の非線形相互作用解析のための等価梁モデル)

氏名 尹 元彪

地震時が起こると、地盤の動きは基礎構造物を介して上部構造物に伝達され、一方で上部構造物の動きは、基礎を通して地盤に伝わりその動きを変化させる。このような地盤と構造物の動的相互作用は、構造物－地盤の境界面を通してのエネルギーの収支に関連する現象と捉えることができる。構造物に入ってくるエネルギーと、地中に逸散していくエネルギーの差が、構造物の運動や破壊に密接に関連するのである。1995年1月17日の兵庫県南部地震は、杭基礎に支えられた構造物に大きな損傷をもたらし、改めて地盤－杭基礎－構造物の相互作用の重要性を示すものになった。

杭基礎と地盤の相互作用を検討する上で、様々な手法を用いることができる。それらの中で、エネルギー伝達境界を有する有限要素法は、汎用的かつ直接的な手法である。しかし、この手法は、他の多くの有限要素法解析と同様に、対象とする領域を多くの分割して記述することが前提になり、それぞれの構成関係が精度の面でバランスよく記述されなければならない。解析対象が、構造物のみならず大きな広がりをもつ地盤にまで広げる場合には、特に注意が必要になろう。しかし、細心の注意を払って精度の向上を目指しても、それがかけた労力と経費に見合わない場合も皆無でなく、精緻な数値解析法が利用できる現在でも、簡便な手法が重要な見通しを得る上で活用されることが多いのである。もちろんその簡便法には明確で合理的な理論の裏づけが必要であることは言うまでもない。

小長井は、杭頭剛結の群杭基礎の剛性を評価する簡便な記述方法を開発した。この手法では、上部構造を支える群杭をまとめて一本の等価な直立梁に置き換えている。こ

の等価梁モデルは、ベルヌーイ・オイラー梁、あるいはチモシェンコ梁のいずれとも異なり、その剛性マトリックスには二つの曲げ剛性パラメータが含まれている。一つは、群杭の水平方向へのたわみを支配するパラメータで、単独の杭の曲げ剛性に群杭本数を乗じた値として定義される。一方もう一つの剛性は、群杭の回転を支配するパラメータであり、群杭とこれに取り囲まれる土も含めて一体の複合梁と見立てた時の曲げ剛性に相当する。

本論文では、まず杭本数や杭間隔、杭の配置を変えた様々な群杭基礎について、この等価梁モデルが適用しえるか検証したうえで、このモデルを群杭基礎と地盤の非線形相互作用の記述に拡張している。

等価梁モデルの適用性を検証するためには、まず群杭基礎と地盤の相互作用の厳密解を示す必要がある。ここでは、成層地盤の半解析の得られる薄層要素法（田治見・下村）で群杭周囲の地盤をモデル化し、個別の杭間の相互作用を考慮できるプログラム‘TLEM1.1’を用いてその厳密解を得た。そして杭本数と間隔変えた様々なケースについてパラメトリックスタディを行ない、等価梁モデルの適用範囲を杭径で無次元化した杭間隔をもって記述した。この限界を超えると、もはや群杭効果は強く現れず、この場合は、等価梁を用いるのではなく、単杭頭部の剛性評価を行ってから、これを杭本数倍にすればよいことも示した。

群杭基礎側面地盤の終局耐力を把握することは、L2 レベルの強震動を想定した場合の設計で必須である。杭周辺の地盤応力および変形のパターンは杭間隔によって大きく異なる。杭間隔が大きい場合では、塑性領域の発達が各々の杭のごく近傍に限られ、その結果、群杭基礎側面地盤の応力および変形の重なりは限られたものになる。したがって、このときの地盤の終局耐力は、単杭の場合のそれを杭本数倍することによって評価できる。しかしながら、杭配置が密な群杭基礎においては、杭周辺地盤の塑性領域が重なりながら発達し、より強い群杭効果が現れる。そこでこのような状態への等価梁モデルの拡張を図り、群杭基礎側面地盤の終局耐力を評価することにした。

ここで、杭の有効長（Active Pile Length）をもって土の受動破壊域を評価する方法を導入した。群杭はたわみやすい構造であるから、群杭基礎頭部に水平力を加えれば、地表面から限られた深さ L_0 までが大きくたわみ、それより深い部分の変形は無視しえ

る。この深さをもって有効長 L_a とする。この概念は単杭では存在したが、群杭については明確にこれを記述するモデルは存在しなかった。しかし等価梁を記述する剛性パラメータを用いることで、群杭の L_a を記述することが可能になった。

この L_a を用いた場合の、側方地盤の受動破壊域の評価は以下の考えに基づいて行われた。すなわちこの受動領域の重量は(1)破壊域の深さ、(2)破壊域の到達距離、(3)破壊域の奥行きを掛け合わせた量に比例するとする。(1)、(2)はそれぞれ L_a 、 $K_p L_a$ に比例するであろうし、また(3)は等価梁の断面の代表寸法 R_0 に比例すると考えられるので、側面地盤の比重を γ として、 $K_p \gamma L_a^2 R_0$ が受動域の重量に比例するパラメータになる。ここに K_p はランキンの受動土圧係数である。

この考えに基づき、実大規模のものを含む複数の群杭基礎モデルの載荷実験結果を整理し、群杭頭部で評価される側方地盤の反力の寄与分を求めたところ、これらが $K_p \gamma L_a^2 R_0$ にほぼ比例していることが実証された。この結果は限られた数のパラメータを用いて、群杭基礎と地盤の相互作用を統一的に記述できる可能性を示すものである。