

長い杭としての杭長の判別について

—旧建設省基礎指針に関する補足的記述（その 3）—

（一社）基礎構造研究会代表理事 杉村義広

指針では“杭全長にわたってその断面形状が同一である場合を対象として”（すなわち有限長の杭として）弾性支承上の梁曲げ理論を展開しているが、設計上で主要となる長い杭としての杭頭の曲げモーメント M_0 や水平変位 y_0 について、その判別式 $[\beta L \geq 3.0]$ を添えて言及していることは（その 2）で示した通りである（以下、各量の定義はその 2 と同様）。 βL が 3.0 を下回る場合は、別途の短杭としての計算によるとの記述を示してあるだけだったので、検討法はどのようなものになるかとの質問が多く寄せられることになった。

その回答を「地震力に対する建築物の基礎の設計指針・質問と回答補遺その 1—短杭の解析法について—」としてビルディングレターの No.189 (pp.11-21, 1985.4) に掲載したが、指針でも第 2 版（昭和 59 年 9 月出版）以降にはこの回答が付録として追加掲載されている。また、（その 2）で触れた拙論「杭頭回転拘束度および杭長を考慮した杭の水平抵抗理論解」（日本建築学会構造系論文報告集、第 365 号、pp.132-143, 1986.7）でも、この点についてより詳しい考察を行っているので併せて参照して頂ければ幸いである。

有限長の杭として解析するには、当然ながら杭先端の境界条件も導入する必要性が生じるが、杭先端付近の地層との関係から類推する以外に今後課題であるとしながらも、固定、ピン、自由の 3 つの境界条件（これらについては、支持層との関係で杭頭とは違ってほぼ構造力学の基本的定義に適った条件として想定している）に対しての解が示されている。

そこでは、杭頭が固定で無限に長い杭という条件を適用すると Y.L.Chang の解と一致することなども示されているが、数値計算の結果を図示したグラフについて総合的に判断して求めたのが上記の判別式 $[\beta L \geq 3.0]$ なのである。例えば、杭先端の境界条件がピンの場合の杭頭水平変位と曲げモーメントをそれぞれ $[y_0 = (Q_0/4EI\beta^3)R_{y0}]$ 、 $[M_0 = (Q_0/2\beta)R_{M0}]$ で表した係数 R_{y0} と R_{M0} を図示すると図 1 のようになる。ここでは $Z = \beta L$ としてあるので、杭頭固定度 α_r をパラメーターとして杭長に対して係数 R_{y0} 、 R_{M0} の変化状況が見られ、 Z が 3 以上であればほとんど一定になっていることが認められるであろう。このことから上記の判別式を提案したのである。建築学会の書では 1974 年版建築基礎構造設計規準・同解説以来、長い杭の判別式としては B. B. Broms の提案 $[\beta L \geq 2.25]$ が引用されているが、無限長仮定を保証する上では筆者は指針の $[\beta L \geq 3.0]$ の方がより正当であると考えている。

図 2 は杭先端の境界条件がピンの場合の変位、曲げモーメント（ただし上記係数 R_{y0} 、 R_{M0} のサフィックスを深さ x に変えた R_{y_x} 、 R_{M_x} ）と、せん断力 $[Q_x = (Q_0/2\beta)R_{Q_x}]$ の係数 R_{Q_x} の深さ方向分布を示す。長い杭の判定境界は $Z = 3\pi/4$ (2.36) と $Z = \pi/4$ (3.14) の間にあり、これより小さい範囲すなわち短杭の場合は、 $Z = \pi/4$ (0.79) で杭頭ピン ($\alpha_r = 0$) のケースになるほど変位、曲げモーメント、せん断力とも片持梁に近い性状を示していることが認め

られるであろう。

この深さ方向の曲げモーメント分布に対しては、 α_r の変化により地中部では上がり過ぎないように杭頭では可能な限り小さくなる分布に対応する α_r 値を求めることができ（0.4と0.5の間あたりにある筈である）、それを「最適固定度」と主張する向きがある。しかし筆者はその考え方には同調出来ない。杭全長にわたって水平地盤反力係数 k_h が一定であるとの条件下での結果であって、実際の地盤では地層の変化があるのが普通であり、中間には密な砂層とか、逆に液状化の可能性のある緩い砂層が挟まれているとか、深さ方向で k_h が変化している場合の方が多いからである。地盤構成への配慮がいかにか大切であるかの教訓とすべきことを忘れてはならない。

なお、杭先端境界条件が固定である場合には大きな曲げモーメントが生じること、地震時には杭先端地盤も揺れていることを考え合わせれば、将来的には杭先端固定度も導入する必要がある時代が来るであろうかとの考えも頭に入れておくべきかも知れない。

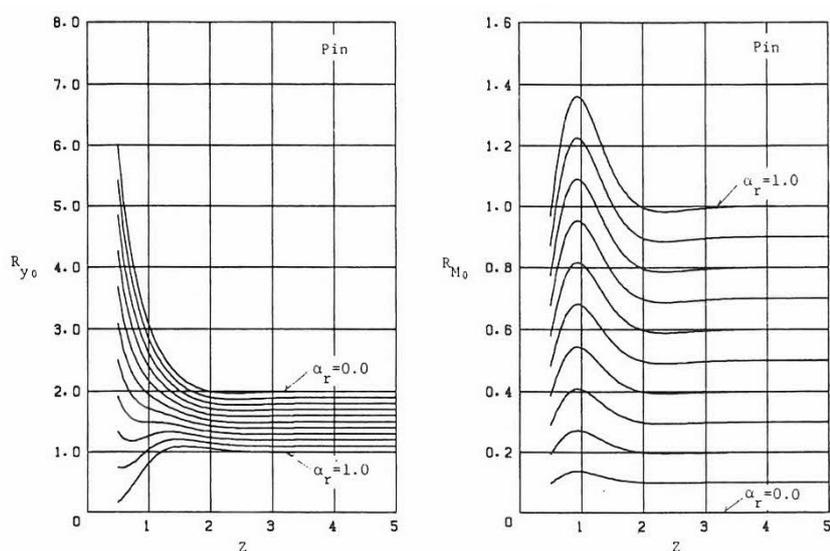


図1 杭先端ピンの場合の係数 R_{y0} と R_{M0}

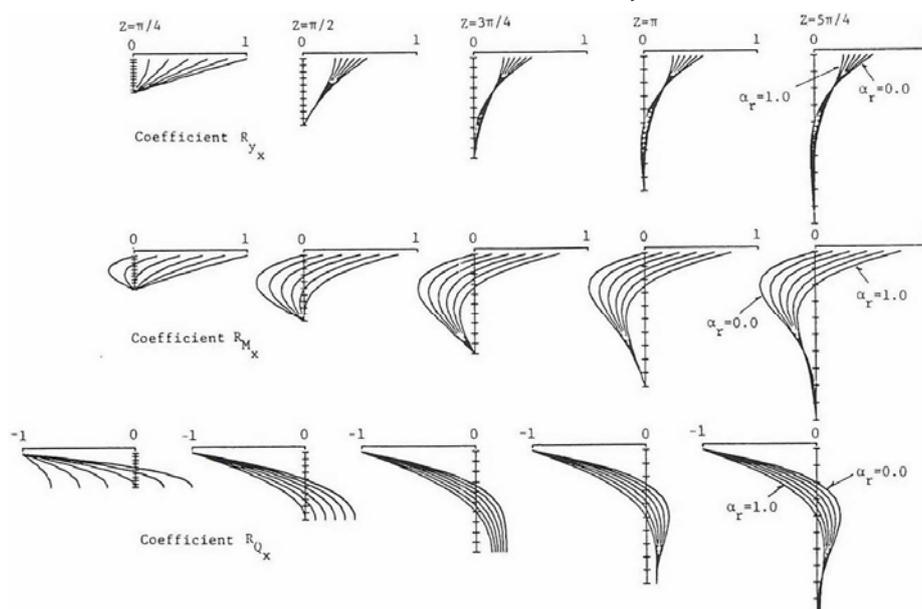


図2 杭先端ピンの場合の係数 R_{yx} 、 R_{Mx} 、 R_{Qx}