

## 杭頭の境界条件と固定度について -旧建設省基礎指針に関する補足的記述(その2)-

(一社)基礎構造研究会代表理事 杉村義広

(その1)に続き、今回は指針の地震力に対する杭の検討法について言及してみたい(指針では水平力 $Q$ と表現されているが、ここでは杭頭を表すサフィックス付きの $Q_0$ で表す)。

設計上で主要な検討対象となる項目として、指針では杭頭の曲げモーメント $M_0$ と水平変位 $y_0$ 、地中部の最大曲げモーメント $M_{max}$ とその発生深さ $l_m$ 、長い杭としての杭長の判別式などが示されている。このうち、例えば杭頭の曲げモーメント $M_0$ と水平変位 $y_0$ については、それぞれ $[M_0=\alpha_r Q_0/2\beta]$ 、 $[y_0=(2-\alpha_r)Q_0/4EI\beta^3]$ (ここで、 $\beta=\sqrt[3]{k_h B/4EI}$ 、 $k_h$ :水平方向地盤反力係数、 $B$ :杭径、 $EI$ :杭の曲げ剛性)で表されている。 $\alpha_r$ は指針で初めて導入された「杭頭固定度」と呼ばれる係数で、これにより回転に対して自由から拘束までのすべての境界条件の場合に対して曲げモーメントや水平変位を1つの式で表現出来るようにしたことが指針の独創性とも言える(すなわち境界条件がピンするとき $\alpha_r=0$ 、固定するとき $\alpha_r=1$ とするとされている)。

これによって、例えば杭頭曲げモーメント $M_0$ についてはピンとき $[M_0=0]$ 、固定するとき $[M_0=Q_0/2\beta]$ となり、従来は境界条件ごとに別々に求められていた解と一致することがわかる。また、杭頭の水平変位 $y_0$ についてはピンとき $[y_0=Q_0/2EI\beta^3]$ 、固定とき $[y_0=Q_0/4EI\beta^3]$ となり、ピンの場合は固定の場合に対して2倍となることなど、やはり従来境界条件ごとに別々に求められていた解と一致することがわかる。さらに曲げモーメント、水平変位とも境界条件がピンと固定の間にある固定度の場合は1次関数で結ばれることも示され、整然とした関係に整理されることになった。しかし、「杭頭固定度」、「ピン」、「固定」の用語については、なお補足的な説明をしておく必要が残されている。

「杭頭固定度」は厳密に言えば「杭頭回転拘束度」が正しく、これについては筆者も上述した独創性に該当する部分には学術的価値があると考えて論文にしたことがある(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を参照)。この論文では、弾性支承上の梁曲げ理論解を誘導する過程を詳細に記述し、得られた結果に対しての数値解析を通じて設計上参考となる事項についても触れるなど、指針の理論的背景についてくまなく言及したつもりなので是非ご覧いただきたいと考えている。

ただ、これらの用語については指針の原案作成に携わった検討小委員会で何回かにわたって議論を重ねた経緯についても言及しておく必要がある。学術面を尊重することは当然であるが、それ以上に実務面への配慮も不可欠であるなどの討議の結果、「杭頭回転拘束度」では長すぎて堅苦しい表現であり馴染みにくいとの意見が優勢になった。また、各委員に周辺の親しい構造設計者に対して「杭頭固定度」と「杭頭回転拘束度」のどちらの用語を用いるの

が適当かの感想を尋ねてみて貰ったところ、実務界ではすでに「(回転に対する) 杭頭固定度」の方がすっきりしてよいとの受け取り方が定着し始めている(括弧内は省略しても意味はわかる)とのことでもあった。このような状況であったことから、学術的には「杭頭回転拘束度」であるが、実務的な通称としては「杭頭固定度」の方が通りがよいために採用したという経緯がある。それに応じて、杭頭が回転拘束の場合を「固定」、回転自由の場合は上部構造架構体が繋がっているので「自由」とは言えないから「ピン」と呼ぶことにしたのである。

この経緯は、建築学会の討議でも反映された形跡が認められる。1974年版の建築基礎構造設計規準・同解説では表 26.1 で境界条件が「くい頭自由」「くい頭拘束」とされていたのに対して、1988年版の建築基礎構造設計指針では表 6.4.1 で「自由(ピン)」「回転拘束(固定)」となり表現に微妙な変化が認められるからである。今から思えば、指針でもこの程度の表現まで抑えて(すなわち“ピンのとき0、固定のとき1とする”と簡単に言い切ってしまう)おくべきであったか、との反省の念が生まれて来ないでもない。やや勇み足であったかとの感想が生まれて来るからである。「ピン」は回転に対しては自由であるが変位に対しては拘束、「固定」は回転、変位の両者に対して拘束という厳然とした構造力学の定義があるから、杭頭境界条件として「ピン」、「固定」が一人歩きをし出すと、“回転に対する境界条件であって変位を含めての呼び方ではない”という点が忘れられてしまい(あるいは基礎の分野でだけ通じる暗黙の了解に過ぎないと受け取られる嫌いがあり)、“固定やピンなのになぜ変位を生じるのか”との疑問が再燃しかねない。その恐れは常について回るのである。それ故に、構造設計者や、とくに構造力学を学ぼうとする学生諸君に対しては、あくまで回転に対してだけ意識した言い方であることを繰り返し説明する必要がある。構造力学の基本的定義である「固定」や「ピン」の必要十分条件のうち前半分だけを満足しているいわば通称的な用語の使い方であることを何度でも断り続けることが不可欠となる。

なお、指針では杭頭固定度は実験等によって求めることとされており、その確認が出来ていない杭頭接合法の場合は杭に対して安全側の計算となるように固定として扱うと記述されている。筆者は指針原案の作成者としての責任を感じて、当時通常に採用されていた杭頭接合法についてはいくつかの実験を行っているが、それについては別の機会に紹介することにし、ここでは“指針は固定の杭頭接合法とすることを推奨している”との誤解が意外に多くの人々に広まっているという事実が驚かされた経験について触れておきたい。当時伝えられた震害例では損傷が杭頭に集中しており、その情報に基づいてあくまで“杭は壊したくない”という点に趣旨を置いた記述であって、そのために杭頭固定の計算をしておくことが推奨されたのである。したがって、固定指向の杭頭接合法を推奨している訳ではないことを再確認しておくとともに、実際には完全固定ではなく、多少の緩みがある接合法の方が計算値よりも小さめの杭体応力度で済むとの期待感を内心では持っていたことも明かしておきたい。