

## 終局限界状態と安全限界状態の違いについて再考する

(一社) 基礎構造研究会代表理事 杉村義広

いしずえ通信第 62 号では、新たに出版された「基礎部材の強度と変形性能 (2022)」〔以下「強度と変形性能」と略記する〕について、基礎指針〔正式には 2019 年版建築基礎構造設計指針〕の「終局限界状態」と同義であるが上部構造の言い方に倣って「安全限界状態」を用いるとしている点についてもう少し深く考える必要があると書いた。今回は気になっていることが一つあり、それについて書き留めておきたい。

基礎指針では杭基礎の場合の終局限界状態は沈下が杭径の 10% ( $0.1D$ ) に達したときとしており、その時の荷重を極限支持力と定義している〔これについては、杭径の 10%沈下時は荷重-沈下関係の中途段階であり、したがって極限支持力とするのは間違いで、その代わりに「基準支持力」とでも呼ぶのが相応しいということとは繰り返し主張して来た事実である〕。極限支持力は文字通り最終段階を意味するので、「強度と変形性能」では、その中途段階を安全限界状態と理解する〔実際には誤解している〕ことになり、部材も安全限界状態となっていることが対応する。

これは学術的には誤謬を犯しているわけで、基礎指針が“中途段階を最終的な極限支持力である”と無理な定義をしたことに起因している。ここでは、いしずえ通信第 54 号で触れたことのある BCP 委員会の実験(BCP Committee: Field Tests on Piles in Sand, Soils and Foundations, Vol.11, No.2, 1971.6, pp.29~50) の図 6.2.1 を例にして具体的に考察してみることにしたい。

実験に用いられた杭は計測用として特別に製作された閉塞鋼管杭で〔外径 20cm、肉厚 3cm、長さ 4m のものを先端部に用い、極限支持力を特定することを目的としているので、当然ながら断面は通常の杭より格段に大きい〕、支持層が深い場合には 1.25m の継ぎ杭を必要なだけ継ぎ足すように計画されている。杭の施工法と長さを変えた合計 8 回の試験に適用するために、1 回の载荷試験を終えた段階で引抜きぬいて次の载荷試験にも用いることにしている。図 6.2.1 は東京砂礫層のある GL-11m まで打ち込んだ場合と埋め込んだ場合の荷重-沈下曲線を取り出して比較

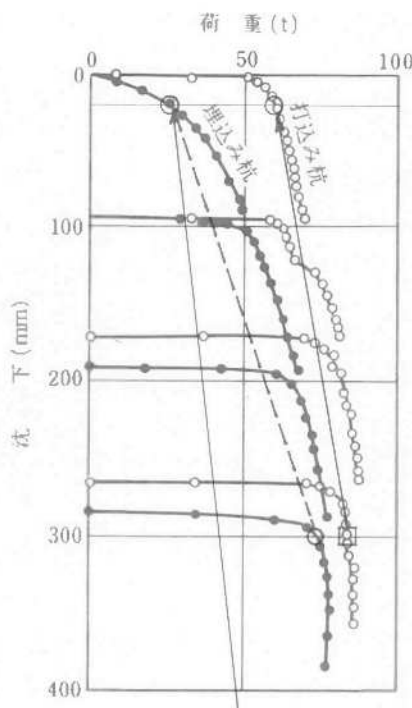


図 6.2.1 打ち込み杭と埋込み杭の先端荷重-沈下関係の相違<sup>6.2.1)</sup>

したものである [図では沈下量が比較的小さい40cm (2D) までの範囲のみを示している]。この図を再考し、特徴を抜き出してみると以下の点が挙げられる。

1) この実験では繰り返し載荷することで極限支持力を厳密に見出す試みがなされており、最終的に打込み杭では 1.5D [30cm]、埋込み杭では 4.5D [90cm] の沈下が生じた時と結論されている。赤の□印で表示してみると、打込み杭は図中に記入出来ているが [数値は 85t 程度]、埋込み杭は図の下方にはみ出している。繰り返し載荷の各最大荷重あたりを探してみると、仮に 1.5D [30cm] あたりでも 4.5D [90cm] の沈下時と変わらない値となっていることが見られるので、同図では赤の○印で示すことにした [この時の数値は 75t 程度とみられる]。

2) 注目すべきは、打込み杭、埋込み杭の荷重-沈下曲線が沈下 10cm [0.5D] 程度までの小さい領域では明らかに異なっているのに、沈下 20cm [1D] 程度以上の領域では同じような荷重の値を示していることである。この同じような値とは最大値を示しているものとも考えられることから極限支持力と判断され、“極限支持力とは施工法の違いによる差もなくなり、支持層の支持性能が現れたもの”と解釈出来る。この点は埋込み杭の先端にも支持杭を思わせるようなコアが現れている写真 [Photo6.3] からも推察される。

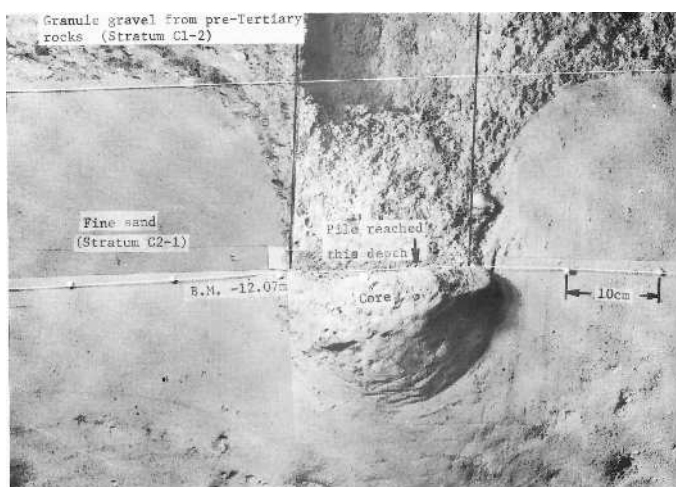


Photo. 6-3 Vertical cut near pile tip for Test 5C

3) 以上とは別に、“杭径の 10% (0.1D) 沈下時が極限支持力”の通説があることと、上記 1.5D や 4.5D とはかけ離れすぎているのではないかという問題がある。そのために、同図では沈下 2cm [0.1D] に対応する位置を赤の○印で示し、□印から○印への荷重の変化 [赤線の矢印で示す] を調べてみる。打込み杭の場合には○印 61t 程度、□印 85t 程度と値にやや差はあるものの、沈下 0.1D 以後の荷重は現実的にはほぼ同じ領域での変化と見ることが出来そうである。したがって、この領域を極限支持力領域と呼ぶことにする [0.1D 沈下時の荷重は極限支持力領域への入り口であり、現実的には極限支持力そのものとして扱っても支障はないと考えられる]。

一方、埋込み杭の場合は、仮の極限支持力と見立てた○印 [沈下 1.5D 時] の荷重と比較して沈下 0.1D 時の荷重 [変化の様子は赤の点線で示す] は同じ領域のものとは考えられず、明らかに異なる中途段階の領域にある。したがって、埋込み杭の 0.1D 沈下時は極限支持力とは言えず、別の“基準支持力”として扱う必要があることがわかる。

4) 以上から、“杭径の 10% (0.1D) 沈下時が極限支持力”の通説は打込み杭の場合には現実的に受け入れられる考え方であるが、埋込み杭のように掘削を伴う杭の場合にはあてはまらない。とくに杭径がますます拡大している場所打ちコンクリート杭の場合は、この傾向が強くなるのが予想される。

以上見てきた中で、筆者には場所打ちコンクリート杭の場合の 0.1D 沈下時が極限支持力

とされる点が最大の懸念事項となっている〔既製コンクリート杭も最近では高支持力杭と呼ばれる埋込み杭が出現しているので、この範疇に入れて考えておく必要がある〕。実際に構造設計者に次のように伝えられてしまう心配があることに理由がある。図 6.2.1 の埋込み杭の荷重-沈下曲線を再考してみると、 $1.5D$  沈下時の○印〔すなわち仮の極限支持力とした点〕あたりが杭体の安全限界状態とみるのがこれまでの普通感覚である〔したがって、沈下  $0.1D$  時の○印あたりの荷重は、それに至る途中の損傷限界状態あるいは使用限界状態に相当する段階にあると見られることになる〕。しかし、「強度と変形性能」に書かれているように“終局限界状態と安全限界状態は同じ意味である”を真に受けると、“終局限界〔基礎指針の終局限界状態は実際には荷重-沈下関係の中途段階の領域ではばねの状況で挙動している〕⇨安全限界〔部材としては最終的な状態を意味している〕が対応していることになって、中途段階の状態であるに拘わらず杭体は安全限界として設計されてしまう恐れがある。その結果、”従来の杭基礎よりも弱いものが設計されてしまうことにならないか？“との懸念である。

このような矛盾が出て来るのは沈下を杭径の比率で考える従来の感覚で見ていることが原因であり、最近のように太径の杭が多くなっている状況では“絶対沈下量”を対象とした本来の“荷重-沈下”関係に戻って考察することの必要性が示唆されていると思われる。これは新しい問題であるとも言える。今回はこの点だけ指摘しておくに留めたい。