

## 2019 基礎指針を読むときの暫定的取り決め

(一社) 基礎構造研究会代表理事 杉村義広

### 1. はじめに

いしずえ通信も長く休んでいたが、その間に考えていたことで、とくに構造設計者に読んで頂きたいと思うような内容に思いついたので表題について書きとどめておきたい。

### 2. 暫定的取り決めの発想

改定基礎指針 2019 で  $0.1D$  (杭径の 10%) 沈下時の荷重を「杭の極限支持力」と定義しているのは学術上間違いであると筆者は繰り返し主張してきた。ただ、 $0.1D$  沈下時を基準として扱ってその時の荷重値を求めるための種々の検討については、とくに批判する理由もなく受け入れられるとも考えていたので、その点を最大限に活かすためには「 $0.1D$  沈下時を基準としているのであるから極限支持力 [それ以上には荷重が上がらない状態] ではなく基準支持力 [極限支持力に至る荷重・沈下の中途段階] として読めばよい」ということに思いついた<sup>注1 参照</sup>。 $0.1D$  沈下時を極限支持力と考えている限り実態を取り違える恐れがあるので、この中途段階であるという点を再確認して読めばよいということである [そのことによって 2019 基礎指針の大部分を有効にすることが出来る]。

「極限」は言うまでもなく「最果て」である。したがって、極限支持力は「それ以上荷重が上がらない状態」、言い換えれば「沈下が止まらない」極めて危険な状態 [変位制御の室内実験でない限り、誰も経験したことがない現象] であることを繰り返し強調しておきたい。そのため、極限支持力に到達しない範囲内での最大荷重を設計対象として採用しているのだという点を繰り返し指摘しておきたい。

### 3. 暫定的取り決めの内容

2019 基礎指針について用語に極限支持力の項目がないことを不思議に思って質問した回答として「抜けていたので追加します」とされた内容 [建築基礎構造設計指針 Q & A ・ 正誤表 (2020. 4. 18) で杭の極限支持力を載荷試験から求める場合には、杭先端径の 10% の沈下量を生じるときの支持力を指すこともある] は不採用とし、以下の点を実行する。

#### 1) 基礎指針 1988 の用語を復活する。

極限支持力：構造物を支持しうる最大の鉛直方向抵抗力。基礎形式に応じて、直接基礎の極限支持力、杭の極限支持力という。このうち、地盤の抵抗力のみを指す場合は、地盤の極限支持力[度]と呼ぶこともある。  
基準支持力：極限支持力に達するときの沈下量が大き過ぎる場合に、極限支持力に代わって基準となる支持力。杭の場合には、杭径の 10% の沈下量を生じるときの支持力

2) 杭基礎に関する記述ではすべて「極限支持力」を「基準支持力」に読み替える。

「基準支持力は沈下量制御の概念である」ことを再確認する。

#### 4. 暫定的取り決めの理由

2019 基礎指針の内容のうち、例えば場所打ちコンクリート杭の  $0.1D$  沈下時の支持力  $q_p=120\bar{N}$  が示された経緯 [あるいは図 6.2.1] については、筆者はとくに批判しているわけではない。したがって、そのまま受け入れることにしたいと考えている。“極限支持力度”と意識して読むのではなく、“そこに至る中途段階での荷重”、すなわち “荷重はまだ上がる余地はあるし、沈下も進む状態での基準”として読み替えることが主旨である。

以上によれば、 $0.1D$  沈下時は荷重-沈下関係が続いている中途段階であるから、当然ながら先端は鉛直ばねで支持されていることを思い起こす必要がある。载荷試験が行われていることも当然の事実と想定されるので、少なくとも使用限界、損傷限界、終局限界などの主要状態においてはゼロ荷重まで除荷することによってそれぞれゼロ荷重時と結ぶ割線勾配を求め、ばね [疑似的な弾性ばねではあるが] としての情報を集積しておくことも重要となる。

载荷試験の荷重-沈下曲線からわかる通り、一般には非線形性状を示すので各段階におけるばねは沈下量の増大とともに小さくなる実態を把握しておくことが必要となる。可能ならば、以上の3つの限界状態のほかにもなるべく多くの時点でのばねを知っておくことも重要となる。

#### 5. 一体解析モデル

以上に関連して検討をしておかないといけないと考えられる問題が一つあることに気づいた。図 6.1.3 に示された上部構造-杭-地盤系一体解析モデル [同図 d] である。”推奨モデル”として示されているが、推奨モデルとしては中途半端で物足りないという印象が拭いきれないからである。

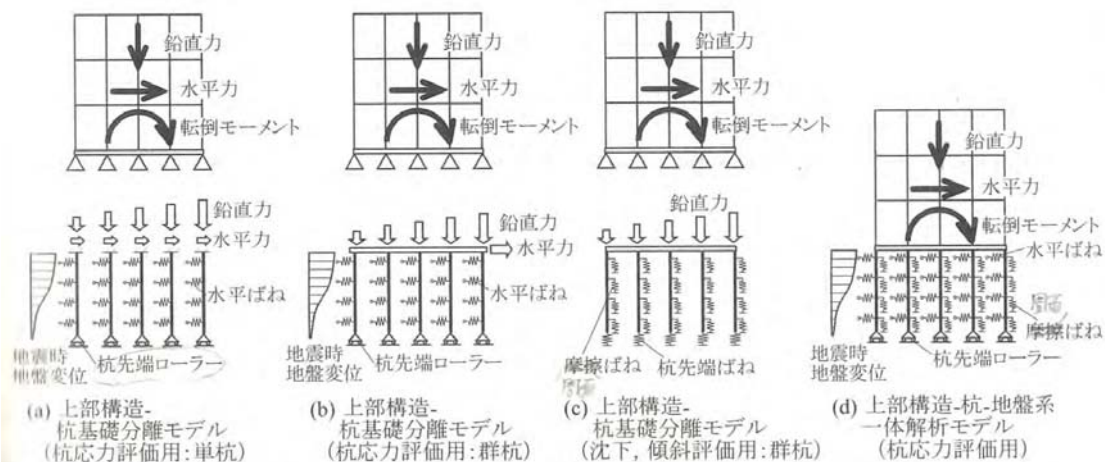


図 6.1.3 解析モデル (常時に作用する荷重-想定される最大級の荷重に対する解析モデル)

その理由の大半は杭先端の境界条件の設定にある。

以上に述べて来たように、使用限界、損傷限界だけでなく、終局限界状態である  $0.1D$  沈

下時でさえ、荷重・沈下過程の中途段階であるから杭先端は鉛直ばねで支持されているのは当然であるのに、同図 d)では水平ローラーとして示されているからである〔同図 c)では沈下、傾斜評価用として別のモデルが示されているが、それも取り込んでしまうのが“一体解析の推奨モデル”というものである〕。

その説明文にも不可解な点がある。「地震時杭応力の検討では、鉛直ばね（杭周面摩擦ばね・杭先端抵抗ばね）を用いて基礎の回転を考慮すると杭頭曲げモーメントを過小評価する可能性があることから、水平ばねのみを用い杭先端の境界条件をローラーとする〔傍点筆者〕とあるが、ここでは以下の点が問題である。

1) 前半の傍点部分はいわば独断であって、ただちに受け入れるわけにはいかない。過小評価であるかどうかはモデル化が適切であるかどうかによるものだからである。

2) 後半の傍点部分は、ローラーとする理由にはなっておらず、“なぜローラーでなければならないのか”の説明がなされていない。

今後杭先端の境界条件の設定は非常に重要な課題となることは間違いない。上記してきたように鉛直方向に関しては、終局限界状態でさえ鉛直ばね〔ただし非線形性を示すことに注意〕で支持すると考える必要があることは明白であり、その時点での支持力の情報はそれなりに積み上げられて来た現状にあるので、鉛直ばねの評価も可能な状況になって来ていると言えよう。

水平方向についてもばねで表現することは考えられる。支持層に深く根入れされた支持杭であれば先端は固定に近いと考えて大きなばねを仮定し、軟弱層に留められた摩擦杭であれば先端は自由に近いと考えてばねの大きさをゼロに近く仮定するなどの工夫が想定されるからである。ただ、鉛直方向と比べれば水平方向に関してはそれほど精密な精度は要求されないの、ばねではなく固定度を仮定することも有効であると考えられる〔自由なら 0、固定なら 1 とし、その中間値採用など〕。

回転に関しては、水平動と同様にばねを想定することも考えられるが、現実的には“固定度〔0~1の範囲内による回転拘束度〕”の仮定の導入が有効であるかも知れない。軟弱層内に止められる摩擦杭ならば先端は自由、すなわちピン〔回転拘束度 0〕として考えるのが妥当であると思われるし、支持杭でも支持層への根入れがよほど深くなければ固定〔回転拘束度 1〕は考えられず、拘束のされ方の度合いを仮定するか、むしろ多くの場合はピンと仮定する方が適切であることが多いだろうと予測できるからである<sup>注2 参照</sup>。

## 6. おわりに

以上には、2019 基礎指針の学術的な間違いを正し、有効利用する観点から読む上での暫定的取り決めとして“文章中の極限支持力をすべて基準支持力に読み替える”ことを提案した。これについて筆者は、さらに杭径が 1m までは 0.1D（杭径の 10%）、それ以上の杭については 10cm の沈下量の時の荷重を基準支持力とするべきであるとの考えを持っていることにも触れておきたい。0.1D の沈下量は打込み杭では極限支持力とされてきたし、また、杭径が

1m以下の時代であって、場所打ちコンクリート杭なども打込み杭にならって0.1D沈下時を基準と考えようとしていた歴史的な流れとの整合性を確保するとともに、最近では場所打ちコンクリート杭などを始め、2mや3mを超える大口径杭の時代が変わってきたため、逆に0.1Dの沈下量は大きすぎて意味があるのかが問われるようになっていることを合わせて考える必要が出始めているからである。ただ、この点は今後の検討課題とすることにしたい。

また、関連して地震時の動的解析法として推奨された一体解析モデルについて、批判的な立場からのコメントを述べてみた。“推奨モデル”であるならば杭先端の境界条件を導入し、一体解析するのが今後の進展の面からも望まれるからである。鉛直方向の境界条件と比べて水平と回転に関しては情報がさらに不足しているために仮定が含まれることが多くなるが、そうではあっても、鉛直ばねともども改良を重ねていけば、現状の図6.1.3d)よりは進展性のあるモデル化が出来ることになるのではないかと思われる。推奨モデルであるならば、こうしたところまで踏み込んでみたい[今後は構造設計者が行う不利な場所の1本の杭を取り出して行う伝統的な検討法と、より詳細な推奨モデルの検討の二極化が互いに補足し合いながら進展することになる]。

注1) 2001基礎指針で何の説明も断りもなく場所打ちコンクリート杭の0.1D(杭径の10%)沈下時を「極限支持力」と定義したことがこの誤りの発端であり、2019基礎指針でもそれを踏襲した構図となっている。2001基礎指針は、極限支持力に対して耐力係数をかけて各限界状態の荷重を決めるという形式に拘り過ぎた結果である。改定時のQ&Aなどでは「便宜上」そうしたなどの言い訳を聞いた記憶もあるが、学術上その言い分は“中途段階のもの(基準支持力)を最果て(極限支持力)であると押しつける”ところに無理があることは明白であるから、この点を改める必要がある。

注2) 軟弱層内に止められる摩擦杭のような場合は「先端自由」という場合のモデル上の先端は文字通りの杭先端となるが、支持杭の場合には支持層への根入れとの関係で真の杭先端ではなく、支持層上端位置で「先端固定」とか「先端ピン」として扱うことが現実的であると考えられる。