

## 0.1Dの誤謬はここまで広く、深く浸透してしまっていたのか

(一社)基礎構造研究会代表理事 杉村義広

今回は表題に示したような気分させられた二つの経験について触れてみたい。

一つは、今年1月に建築学会基礎構造運営委員会宛に出した改定基礎指針2019に対する質問書に関するものである。その回答が『「建築基礎構造設計指針」Q&A・正誤表』として公開された。『「建築基礎構造設計指針」(第3版,2019年11月刊行)質問と回答(整理番号1-01から1-43まで:2020年4月8日更新)』と題された中味のうち整理番号1-02が筆者の質問に該当するものである。そこでは質問と回答が以下のように示されている。

『質問:杭の支持力問題で重要な役割を果たす「杭の極限鉛直支持力」が「用語」から外されているのはなぜですか?本文(6.1)式や表6.2には、その言葉が唐突に現れている印象が拭いきれず、また、解説文ではこの言葉について混同あるいは混乱が見られる箇所があり、学術書である指針としては疑義を感じざるを得ないので、早急に対処するようご検討ください。

回答:「杭の極限鉛直支持力」の用語が抜けておりましたので、以下の説明を正誤表にて追加します。極限[鉛直]支持力:構造物を支持す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[鉛直]支持力、杭の極限[鉛直]支持力などという。杭の極限[鉛直]支持力を載荷試験より求める場合には、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。』

実は、質問にまとめられているのは提出した質問書のまえがきの部分のみが採用されて書かれているのである。破棄された部分には、“掘削を伴う場所打ちコンクリート杭や埋込み杭の場合には0.1D沈下時の荷重を極限支持力と呼ぶのは学術的定義に反して間違いであること”[なぜなら、さらに大きな沈下量になるまで押し込むと本来の極限支持力に到達するから、同じ荷重沈下曲線で二つの極限支持力が存在してしまう矛盾につながるからである]、また、0.1D沈下時に対応するものに対しては極限支持力とは別のものであることを明記するために、例えば“「基準沈下量」を設定し、その時の荷重を「基準支持力」とする”といった沈下量を前面に押し出した定義に変えて行くべきであるとの提案が含まれていたのである[提出した質問書では、指針が限界設計法の考え方を取っているのでそれを尊重して“限界沈下量”、“限界支持力”という言葉を使っていたが、基本に立ち戻って考えた方がよいと思い、ここでは“基準沈下量”、“基準支持力”の言い方に替えて表現した]。それが無視された形で、“用語が抜けていた”との理由だけで[筆者は意図的に外されたのではないかとさえ思っていたのである]正誤表に追加するということである。その回答も、前半はこれまでの定義と変わらないので違和感はないが、“載荷試験より求める場合には、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”の部分は定義ではなく、それ以上の荷重が出来ないか、沈下量が大きすぎて設計上の対象として意味が薄くなってしまったために講じた手段に過ぎない。そもそも0.1Dまでという沈下を決めて、その中で話に限定しているので極限支持力とは無縁の話であることは明らかである。

この後半の文章を追加することは学術的な定義を改竄することにも通じており、基礎構造運営委員会の委員の方々はその責任を負うことになるのを肝に銘じて頂きたいとも思う。基礎構

造運営委員会と言え、この国の建築基礎構造の中心となる人々の集まりであり、この0.1Dの誤謬がここまで広く、かつ深く感染してしまったのかと今更ながら落胆させられる思いである。この過ちを正すために“沈下量制御への道”〔沈下を前面に押し出す考え方を筆者はこう呼ぶことにしている〕へ変えて行く闘いを続けて行かねばならぬとの決意を新たにしている。

二つ目は、埋込み杭でも0.1D問題は意外に早くから生じていたことに改めて気づかされたという点である。親しく友人関係にあるパイルメーカーのOB技術者と久しぶりに話し合う〔と言ってもメールでの話であるが〕機会があった。その中で、次の様な話題が出た。

建築センターの基礎評定委員会で杭の新工法の評定申請をしたことがあり、以前から行っていたように荷重-沈下曲線が沈下量軸に平行になった荷重をもって極限荷重とし、極限支持力を求めて申請したということである。その時の沈下量は0.1Dを超えるものもあったという点、それとともにその話は昭和62（1987）年頃のことであったという二点が重要である。

第一の点については、“沈下量軸に平行になる”とは“荷重が上がらずに沈下だけが進む”状態を意味しているの、0.1Dを超えてしまい、非常に危険な状況になっていたと類推することが出来る。通常の載荷試験ではそこまで行わないのが普通であるから、その実験は、かなりの危険を感じながらも慎重に進め、研究的な意味でも目的を完璧に達成するように意図した良心的な載荷試験であったと思われる。ところが、委員会で説明をした際に委員長から「沈下量が0.1Dをもって極限荷重とする」と言われ、データを作り直させられ、再申請を余儀なくされたということである。既存の解釈を不適格とするなら、それなりの根拠を示して貰いたいと思ったとの感想まで聞くことになった。

建築センターは、事実上、世の中から行政の窓口となっていると見られている現状であり、その評定委員会の委員長は関連分野の専門家である大学教授に依頼するのが慣例である。その観点からすれば、本来の極限支持力を確定しようとしているのに、委員長がそれを無視して「0.1D沈下時の荷重を極限支持力とせよ」と強制したことになり、真実を探究すべき専門家が権力を使って本末転倒の指示を出した構図となっている。

筆者は、2001年版基礎指針で“地盤工学会基準（JSF1811-1993）杭の押込み試験方法の第2限界荷重に相当する鉛直支持力を極限支持力として扱う”と記述されて以来、0.1D問題が始まったと思っていたが、以上の話を聞いてみると、その兆しはすでに古くから出始めていたと考える必要があると気づいた。そこで歴史的な流れを振り返ってみる必要性を感じ、建築学会の規準・指針とともに関連する主要な論文を表-1に挙げてみた。それぞれの内容は、別に参考として「杭の極限支持力についての歴史的流れを考える」で考察したので、詳しくはその資料を参照していただくこととし、ここではごく簡単に上記した事柄を中心に振り返ってみたいと思う。

表-1 建築学会の規準、指針と極限支持力に関する主要な論文の歴史的流れ

1960年版基礎規準	Meyerhofの支持力式が示される。
BCP 委員会の実験	BCP 委員会：砂層に支持されたいの支持力に関する実験的研究、1969.7、論文としては BCP Committee: Field Tests on Piles in Sand, Soils and Foundations, Vol.11, No.2, 1971.6, pp.29~50
1974年版基礎規準	Meyerhofの支持力式が修正され、場所打ちコンクリート杭などの式も示される。
岸田、高野の論文	岸田英明、高野邦昭：砂地盤中の埋込み杭先端部の接地圧分布（その1. 加圧砂地盤タンクの製作及び

	接地圧分布形の実験結果)、建築学会論文報告集、第260号、1977.10、岸田英明、高野昭信：砂地盤中の埋込み杭先端部の接地圧分布（その2. 接地圧分布と埋込み杭の先端支持力の関係）、建築学会論文報告集、第261号、1977.11、高野昭信（博士論文）：砂地盤に設置されたNONDISPLACEMENT PILEの先端支持力、1981.3
友人の経験談 1987	建築センター基礎評定委員会へ評定審査申請した話
1988年版基礎指針	0.1D沈下時の荷重を基準支持力と定義し、施工法ごとに支持力式を示している。
山肩らの論文	山肩邦男、伊藤享志、山田毅、田中健：場所打ちコンクリート杭の極限先端荷重および先端荷重～先端沈下量特性に関する統計的研究、日本建築学会構造系論文報告集、No.423、pp.137～146、1991.5
筆者らの実験 1996	杉村義広：大口径場所打ち杭の鉛直支持力と問題点、建築技術、No.557、pp.168-171、1996.6 杉村義広、板橋薫、田村昌仁、鳥居信吾、萩原康嘉、藤岡豊一：低コストを目的とした大口径場所打ち杭の鉛直載荷試験-同一敷地における杭径2.5m、1.5mの2本の載荷試験、基礎工、Vo.25、No.12、pp.129-135、1997.1 杉村義広、田村昌仁、寺川鏡、持田悟、長岡弘明、山崎雅弘、藤岡豊一：大口径場所打ちコンクリート杭の先端載荷試験とシミュレーション解析、日本建築学会構造系論文集、第560号、pp.115-123、2002.10
持田らの論文	持田悟、萩原康嘉、森脇登美夫、長尾昌：場所打ちコンクリート杭の支持力性能（その1）先端荷重-先端沈下特性、建築学会大会、pp.725～726、2000.9
2001年版基礎指針	0.1D沈下時の荷重を含めて極限支持力として扱うことに変更した。

i) 静力学公式と呼ばれる本格的な杭の支持力式が1960年版基礎規準で示されたのが最初であり、Meyerhofの式がそれに当たる。1974年版基礎規準ではその係数が少し変えられているが、これらは打込み杭を対象としたものである。場所打ちコンクリート杭の支持力式は1974年版基礎規準で初めて示されることになったが、基本的には打込み杭にならった形で、支持力係数が小さめに設定されている。

ii) その間の1967年に行われたBCP委員会の載荷試験は、同じ敷地で打込み杭と埋込み杭を比較したもので、埋込み杭が極限支持力に達する沈下量は打込み杭の2～3倍を要しているという重要な結論を得ている。密な砂礫層での打込み杭の極限支持力は1.5Dで生じているとの結論も示されているが、それは沈下軸に平行になる点を厳密に追った結果であり、荷重-沈下曲線をよく見直して見ると、それ以前に形状が極端に変化する点があつて、それが0.1Dあたりに対応しているので、現実的には従来の極限支持力判定事例と矛盾しているわけではないことも確認出来る。

iii) 1970年代の終わりから1980年代に発表された岸田・高野の論文では、後に2001年版基礎指針でも採用された荷重-沈下量関係の正規化式 $(S_p/D_p)/0.1 = \alpha \left\{ (R_p/A_p)/(R_p/A_p)_u + (1 - \alpha) \left\{ (R_p/A_p)/(R_p/A_p)_u \right\}^n \right\}$  [記号は2001年版基礎指針によるので後述] が注目される。とくに高野の学位論文には詳しく書かれており、荷重-沈下曲線で極端に変化する点を両対数グラフで求めて第1極限支持力と定義し [0.2Dの沈下時とされ、上記して来た0.1Dとは少し違う点に注意]、それを標的として式を求めたことが示されている。その過程に関しては、とくに問題はないものの筆者には“第1極限支持力”とする命名法が気に掛かるのである。確かに両対数グラフで折れ点となることは地盤が塑性化していることを示しているとはいえ、“極限”の言葉を当てるのは行き過ぎの感を否定できないからである。極限支持力は一つの荷重-沈下曲線では一つしかない筈であるから、“第2極限支持力”と定義されたものがそれに該当し、“第1極限支持力”は別の適切な用語が当てられるべきであるというのが筆者の感想である。

iv) 上記した友人の経験談は1987年のことであるが、騒音規制法（1968）以後、市街地で

の打込み杭は禁止されてしまったので、既製杭は埋込み工法に頼らざるをえない状況であったことを暗示している。パイルメーカーごとに開発競争がなされ、建築センターの評定を取るのが埋込み杭の常道であったので、建築学会の書物には記述されることはほとんどなく、その理由から忘れがちであるが、埋込み杭の  $0.1D$  問題は相当古い時期から始まっていたのだとの認識を新たにしている。

v) 1988 年版基礎指針の特徴は、場所打ちコンクリート杭〔掘削を伴うという意味で埋込み杭も同類という意識はあったが〕の  $0.1D$  沈下時の荷重は打込み杭のような極限支持力とは言えないことを明記したことで、“基準支持力”という用語があてられたことである。筆者はこの指針作成時に基礎構造運営委員会の幹事を務めていたので、その経緯は熟知していたこともあり、掘削を伴う杭の支持力問題に関して一つのエポックを画したとも考えている。

vi) 山肩らの論文、持田らの論文は場所打ちコンクリート杭の正規化グラフを検討したことに特徴があるといえる。これらの論文でも  $0.1D$  沈下時の荷重を極限支持力としていることが気にかかるが、個人としての主張であるという点である程度は認めることができる。しかし、学会の書物である 2001 年版基礎指針で明確に極限支持力と明記されると状況は変わる。この指針では、一般式  $(S_p/D_p)/0.1 = \alpha \left\{ (R_p/A_p)/(R_p/A_p)_u + (1 - \alpha) \left\{ (R_p/A_p)/(R_p/A_p)_u \right\}^n \right\}$  の係数  $\alpha=3$ 、 $n=2$  とされた式が示され、 $(R_p/A_p)_u$  が極限支持力度と明記されているのである。学会の書物であれば前書の内容を書き換える時には、それなりの理由を明記するのが普通であると思われるが、何の断りもなく、用語からも外されていることは腑に落ちない。この指針は限界設計法で統一したい意図に急でありすぎたために“ $0.1D$  沈下時の荷重を極限支持力とする学術的間違い”を犯したものである。

vi) 改訂基礎指針 2019 は、基本的に 2001 年版基礎指針を踏襲しているもので、上記と状況は変わらない。

復習を兼ねて考えて見ると、 $0.1D$  沈下時が極限支持力の領域としてよいのは打込み杭の場合だけであって、掘削を伴う場所打ちコンクリート杭や埋込み杭では、杭径あるいはその数倍の沈下量まで押し込まないと極限支持力には達しないことを再確認しておく必要がある。 $0.1D$  沈下時は荷重-沈下関係がまだまだ進行中の途中段階であることを銘記しておかないといけないということである。そして、極限支持力の領域では杭先端にコアが出来て支持力機構が形成されることになるが、 $0.1D$  沈下時はそこに至る途中段階であるので杭先端がばねとして作用していると考えの方が適切となる。そのため、支持力機構というよりは沈下機構を考える方が相応しい。筆者はこれを“沈下量制御への道”と名付け、“ $0.1D$  の誤謬”とセットにして何度でも繰り返し主張して行きたいと考えている。

(注) 埋込み杭の最近の状況では、杭先端を拡大掘削して見かけ上杭径を大きくし、支持力を増大させる「高支持力杭」と呼ばれる形式に変化していることに触れておく必要がある。その支持力を評価する場合、開発者〔あるいは研究者も含めて〕が拡大した径を対象としているのに対して、行政側は杭体の径までしか認めないというギャップが生じている。そのために先端支持力  $\alpha \bar{N}_p$  の係数  $\alpha$  が異常に大きな数値になってしまうという別の問題が起きており、 $0.1D$  の誤謬のほかにも支持力機構と杭体の関係も加わるようになって、問題はさらに複雑化している現状にある。