

建築基礎構造設計例集の問題点

(一社) 基礎構造研究会代表理事 杉村義広

仙台で行われた建築基礎構造設計例集〔単に設計例集 2024、またはさらに短く赤本と通称しておく〕講習会は 2 月 7 日(水)であったのでだいぶ日数が経過したが、聴講の限りでは必ずしも理解しきれなかった。その理由はすべての章に言及することに拘り過ぎて話が散漫になったからで、例題を絞ってもよいからもう少し細かく丁寧に説明する方法だったらよかったのにと思いながら中味を読んでいるうちに、もっと重要な問題があることに気づいたので、その点について書き留めておきたい。

杭基礎の場合、杭材種について木杭がないのは使用例が皆無の現状であるので納得できるが〔小規模建築で使われることがあるが、それも例外に近い〕、鋼杭〔実際には鋼管杭〕の例題が 1 例のみ、それも中掘り工法であることである。市街地での杭の打込み工法が禁止された初期の頃には中掘り工法による鋼管杭の例も聞いたことがあるが、鋼管杭の特徴を発揮するに必ずしも適した工法とは言えないということもあって、羽根つきの鋼管杭を回転させることで圧入する工法が開発され、今日ではそれの方が代表的となっている状況にある。ただし、回転圧入杭と呼ばれるこの種の杭は、広義には埋込み杭に分類されているが、いわゆる埋込み杭よりも押し込み杭に近い支持力性能を持っていることで、どちらかという特殊杭として扱われている。そのためか、工法ごとに評定を受けているのが現状で、大臣認定工法あるいは単に認定工法と呼ばれるものがあるだけである。認定工法は営利業種と見なされ、研究に関わる内容に限って発表された論文以外に工法を解説する文章として建築学会の書物では扱わないという暗黙の了解が存在していることもあって、この赤本でも扱われていないということであろう。

論文として発表されたものは確かに堅苦しい内容で読むのに苦勞することが多いのは事実である。そのため、論文よりはもう少しやさしく書かれた解説文が望まれるが、そうしたものが含まれていないのは設計例集として杭基礎の全体像を表していないことに通じる。これは、実務に近い書である“設計例集”としては致命的な欠点であると言わざるを得ず、大問題であると気づいたのである。

赤本は、当然ながら建築基礎構造設計指針(通称基礎指針 2019)と基礎部材の強度と変形性能(通称茶色本 2022、茶本でもよいが語呂が悪いので茶色本と称しておく)を受けて出されたものなので、これらの書の反映したものである。したがって、この問題、すなわち限定的な杭基礎を扱うことで全体像を示していないという問題は赤本というよりも基礎指針や茶色本の持っている問題であることになる。

例えば上記の鋼管杭については羽根つきの回転貫入工法が多く採用されているのが現状であることを考えれば、そうしたものが設計例として示されていて当然であるが、実際には含まれていない。この事実は、やはり片手落ちであり、杭基礎の実態を表しているとは言えない。したがって、この赤本ではコンクリート杭、それも現場造成である場所打ちコンクリート杭と既製杭としてのコンクリート系の埋込み杭を中心に扱われている構図となっている。また、その支持形式は、杭先端を支持層まで貫入させることで支持杭と考えているふしがある。ただし、打込み杭のように完全先端支持杭形式とはならず、不完全先端支持杭形式あるいはむしろ摩擦杭に近いかも知れないという問題が残っている。場所打ちコンクリート杭や埋込み杭は掘削を伴う工法に

よっているからである。このようなボールドパイルと呼ばれる杭は打込み杭のように支持層内に土を押しつけながら [したがって砂あるいは砂礫ならば密に締め固めながら] 打ち込まれるのとは違って、掘削による応力解放やスライムの残留などの問題を伴って施工される。

打込み杭の載荷試験を行うと、荷重-沈下関係が杭径の 10%沈下量で極限支持力領域に達すると言われているのに対して、場所打ちコンクリート杭や埋込み杭の場合は、その沈下量ではまだまだ中途段階であり、杭径の数倍になってようやく極限支持力領域になることが知られているからである。1988 基礎指針では、その時点での荷重を基準支持力と呼び、極限支持力に代わって設計支持力を求める基準として用いることを提案している。それに対して 2001 基礎指針では第 2 限界荷重という概念を用い、杭の載荷試験を行う場合は杭径の 10%沈下時の荷重を当ててそれを極限支持力として扱うことに変更している [1988 基礎指針では基準支持力(杭径の 10%沈下時)を極限支持力(杭径の数倍の沈下時)とは明確に区別しているが、2001 基礎指針では両者を同一視していることに注意]。言い換えれば“1988 基礎指針では設計において沈下量を重視”しているのに対して、2001 基礎指針では伝統的な“極限支持力に対する設計を重視”の形式を継続することに拘っているのである。こうした“力の考えた方”による設計を変位が問題であるボールドパイルに対して適用するのは学術的には必ずしも正当であるとは言えず、むしろ間違いと言うべきであるが、結果的にはそれでも“設計は出来ているのが現状である”と認識しておくことが望ましい。

また、赤本では杭頭はパイルキャップとして設計されている例題ばかりであることも目立つ。すなわち、場所打ちコンクリート杭の場合はおしなべて 1 柱 1 杭形式であり、埋込み杭の場合も 1 柱 1 杭形式か、1 柱複数の杭の場合でもパイルキャップ方式で柱下に杭を集中させる例題となっている。これは茶色本が杭頭接合部はパイルキャップとして扱っていることが原因で、“杭頭の接合はパイルキャップとしなければならない”と主張しているかのような印象を与えている。

杭基礎とは別に特殊な例としてパイルド・ラフト基礎と異種基礎が 1 例ずつ示されているが、これだけでは種々多様というには不足で、全体的には色取り取りの例題を並べたように説明されているが、実際には杭種も支持形式も限られた範囲内での例題集であるとの印象は拭えない。筆者がそのような感想を持つに至ったのは“摩擦杭が含まれていないではないか”との思いが生まれたのが理由である。摩擦杭基礎は古くからあった形式の一つで、杭頭接合もパイルキャップではなく、基礎梁を応用してとか、基礎スラブをベタ基礎にして多数の杭を満遍なく配置する方式、したがって直接基礎に類似した支持形式を採用する例はかなり多かつた筈である。

この国の建築物は低層から中層が多いという現状、さらにある程度の高層建物までを含めて、筆者は既製コンクリート杭を摩擦杭として使用するのが好ましいと考えている [このことについてはいしずえ通信 22 号に書いたことを覚えている]。高支持力杭として開発されているものはあってもよいが、それ以上にとくに地震時を考えた場合には、杭体の脆性破壊という被害を避ける意味でも 1 本ずつの杭には大きな支持力を負担させない摩擦杭基礎が望ましいと考えているのである。既製コンクリート杭には古くから節杭が含まれており [むしろ節杭から始まっていると言っても過言ではなく]、それこそ摩擦杭としては最適ではないかという訳である。

摩擦杭の場合は沈下に対する設計が不可避となるが、圧密沈下する粘性土層にある場合は設計規準・同解説 [正確には建築基礎構造設計規準・同解説 1974] まで遡ってその 25 条に解説されている文章が参考になる。概略を述べれば以下の通りである。摩擦杭の周面摩擦力は均等であると仮定できることが多いので、杭全長にわたって粘性土層であればその合力は杭頭でゼロ、杭先端で最大となる三角形分布で表現できる。その重心は杭先端か

ら1/3上がった位置になるので、そこが直接基礎の底面と仮定して以深の層の圧密沈下量を算定すればよいとするものである。この考え方は手計算の時代の知恵が導いたものであるが、コンピューター時代となった今日から見ても当を得たものと筆者は考えている。

以上のほか、講習会では質問票があったので、筆者がいつも思っていたことを二つ提出することにした。

一つは「場所打ち鉄筋コンクリート杭」という奇妙な用語が使われていることである。これは茶色本に起因する。建築の場合には地震時の上部構造慣性力の影響が大きくなるので、それに対応する必要がある。場所打ちコンクリート杭の場合でも、最近では杭頭部に鋼管を巻く事例が出て来ており、それを「場所打ち鋼管コンクリート杭」と呼んでいるのである。それと対応させるために「鋼管」の部分「鉄筋」に変えて「場所打ち鉄筋コンクリート杭」と呼ぶことになったと推定できる。ただし、これには以下のような問題がある。

建築学会には「建築学用語辞典(1993)」という先行図書があり〔筆者の手元には第2版(1999)がある〕、そこでは「場所打ちコンクリート杭」が学術用語とされ、「あらかじめ地盤中に削孔した孔内に、鉄筋かごを挿入したのち、コンクリートを打設することにより、現場において造成する杭」と記述されている〔削孔、「鉄筋かご」、「現場造成」のキーワードに注目していただきたい〕。茶色本の書き手はこの書を知らないのかとの疑いを持たされるし、「鉄筋」とか「鋼管」とかを付加して新しい用語を作り出して別の杭種であるかのように扱っているのが気に掛かる。また、独善的な見方ではないかとも思われる。どちらも場所打ちコンクリート杭に変わりないし、すでに学術用語として世の中に根付いているので、わざわざ「鉄筋」とか「鋼管」とかを付け足す意図には賛成できない。

断面の性質として圧縮に強いC(コンクリート)と引張りに強いS(鋼)の組み合わせが理想的であるのは誰もが認めるところである。しかし、「場所打ち鋼管コンクリート杭の構造」として示された茶色本の解説図4.1には問題がある。この図を見たときに筆者は「アッ」と驚くとともに、少なくとも二つのミスを犯していると思ったのである。一つは、現場造成された杭のコンクリートの部分はザラザラである筈なのに工場生産品のごとくスベスベに描いてよいのかという点である。二つ目は、鋼管を巻く部分〔図では杭径の4倍程度の長さで示されている〕が杭頭だけという点である。確かに建築においては地震時上部構造の慣性力の影響が大きいので杭頭付近の応力が大きくなることは当然であるが、本来的には杭応力は中間層の存在など地盤構成との関係で考えられるべきである。それが忘れられているのではないかと気になったのである。

「鉄筋」とか「鋼管」とかを付加して新しい別の種類の杭であるかのように表現したことは、後の杭頭接合部に関する章でも問題を生じている。9章は「場所打ち鉄筋コンクリート杭のパイルキャップ」と場所打ちコンクリート杭に限定されているので、「場所打ち鋼管コンクリート杭」には使えないという構成上の誤りを犯しているからである。

結論的には、「鉄筋」を付加する必要はなく、「鋼管」の方は「場所打ちコンクリート杭」はそのままにして「鋼管巻き場所打ちコンクリート杭」とすることでよい。場所打ちコンクリート杭の定義〔すなわち学術用語の説明〕は変えることなく、その中に鋼管を巻くケースもあることを表現できるからである〔このことについてはいしげえ通信64号でも少し触れたので合わせて参照いただきたい〕。

二つ目は、杭先端条件が水平ローラーとされている図が頻繁に出て来ることへの質問である。これについてはいしげえ通信28号と29号に詳しく書いたことがあるので、それらを参照していただくことにし、ここでは建築学会大会で杭先端境界条件について議論した記憶〔その1〕、杭施工性と先端境界条件の関係〔その2〕、これら二つについて支持杭を想定した場合について書き留めておく。

その1については、支持層内に十分打ち込んだ鋼管杭の地震観測の論文があり、杭先端部の曲げひずみが杭頭と変わらないくらい大きくなった結果を紹介し、支持杭の先端境界条件は固定に近いと筆者は主張したことがある。それに対して相手方は、後にメールで「杭先端をローラーとしても支持層の地盤反力を考慮に入れて計算すれば、支持層上端部での曲げモーメントが大きくなることは説明できる」との返答を解析結果の杭応力分布図とともに送ってくれた。結局、筆者の杭先端境界条件はこの解析結果と同じようなものを想像して支持層上面で設定していたことを証明してくれる結果となった〔応答変位法を適用する場合の杭先端境界条件とはこのようなものではないか?〕。ただ、相手方の解析でも杭先端〔この場合には真の杭先端底面なので支持層の中へ杭径の4倍程度埋め込まれた位置となる〕境界条件の設定は必要で、それをたまたまローラーとして仮定しているだけであり、例えばフリーでもかまわないことになるのではないか、“なぜローラーでなければならないのか”の説明がないのは疑問であるとの感想は依然として残ったままである。

この経緯はどこかに書いた微かな記憶があったので調べてみるといしずえ通信 43 号であった。それを参照していただければ幸いである。ここでは、「基礎指針で推奨されているから」との安易な考えからであろう、何の批判もなしにただ追従するように杭先端水平ローラーとする境界条件の図が赤本に出て来るとは頂けないと指摘しておきたい。今後、こうした不可解な図が慣習的に引き続いて出現し、根付いてしまうのではないかと危惧している。

その2については、いつも使っている場所打ちコンクリート杭の載荷試験に関する論文の図-17 を再掲したい〔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、115-123、2002.10〕。この図で注目したいのは杭先端より下の地盤の動き方である。先端面直下では鉛直下方に大きく変位しているが、これを筆者は杭がパンチング

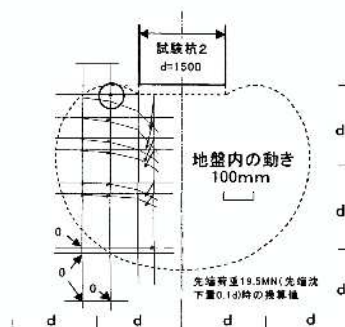


図-17 試験杭2の杭先端付近での地盤の動き

シア状態で沈下していると表現している。先端面から下方に杭径の1.0倍位置あたりから水平方向の変位も出だし、1.5倍位置あたりで鉛直変位が小さくなることで45°方向に近い変位となり、3.0倍あたりで鉛直、水平方向ともほぼゼロになっている。この杭底面直下のパンチングシア状態における鉛直、水平方向の拘束の度合いを推定すると、荷重の方向が鉛直であるので鉛直変位が大きいのは当然であるが、水平変位が小さいことは水平の拘束の度合いが鉛直方向よりも大きいことを暗示していると言えるのではないか。すなわち、掘削された孔内にコンクリートを打設して作られたという施工面から考えても場所打ちコンクリート杭の先端境界条件として鉛直方向はまだ沈下する自由度が残っているが、水平方向は鉛直と比べて格段に拘束度は大きいことが想像できる。したがって、境界条件として水平ローラーと仮定するのは適切ではないことは明らかである。

【追記】

以上は実務に最も近い赤本であるから、若い技術者や学生を意識して指摘しておかないと基礎とくに杭基礎のあるべき姿から遠く離れたところへ導くことになってしまうかも知れないと危惧している。そのためいくつかの点を記述したものである。若い人々に筆者の真意が届くことを願いたい。