

負の摩擦力について

(一社) 基礎構造研究会代表理事 杉村義広

改定基礎指針 2019 の勉強会で 6 章杭基礎のうち「6.4 節 負の摩擦力」を読んでいたら気になる記述に出会ったので、そのことについて触れてみたい。

内容的には 1974 基礎規準に初めて 30 条「くいに作用する負の摩擦力」として示されて以来、1988、2001 基礎指針、そして今回の改定基礎指針 2019 にもほとんど同じものが継承されて来ている。すなわち、以下の 2 つの設計式を基本とする検討である。

$$P + P_{FN} \leq \phi_R (R_p + R_F) \quad (6.4.1)$$

$$P + P_{FN} \leq f_c A \quad (6.4.2)$$

ここで、 P 、 P_{FN} は杭頭荷重と負の摩擦力、 ϕ_R は耐力係数 (=1/1.2、当然ながら当初は安全率の概念に当たるものとして 1.2 の数値で示されていたが、それが改定指針で採用している耐力係数の概念に修正されている)、 R_p 、 R_F は杭先端の基準支持力 [改定基礎指針 2019 では「極限支持力」と表記されているが、前号で暫定的取り決めとして記したように基準支持力と読み替えている] と正の摩擦力、 f_c 、 A は杭体の短期圧縮許容応力度と杭の断面積である。これらの設計式は妥当と考えていたので違和感を持つということにはなかったのであるが、続く次の文章には「アッ」と驚かされたのである。

「…このような検討式が採用されているのは、① P_{FN} が大きくなって杭の先端荷重が増大し杭が沈下すると、 R_F が増大して P_{FN} が減少することから、急激な不安定状態には陥りにくいこと、② 負の摩擦力を考慮しないで設計した既存の構造物でも機能を維持している事例が多いことなどに配慮したためである。」

上記の設計式の根拠とされる図 6.4.2 を論文として発表したのは筆者本人であるが、論文

を書いた時には①や②を意識したり、配慮することはなかったのでは何故このような内容、しかも断定文として書かれたのだろうかと驚いたのである。

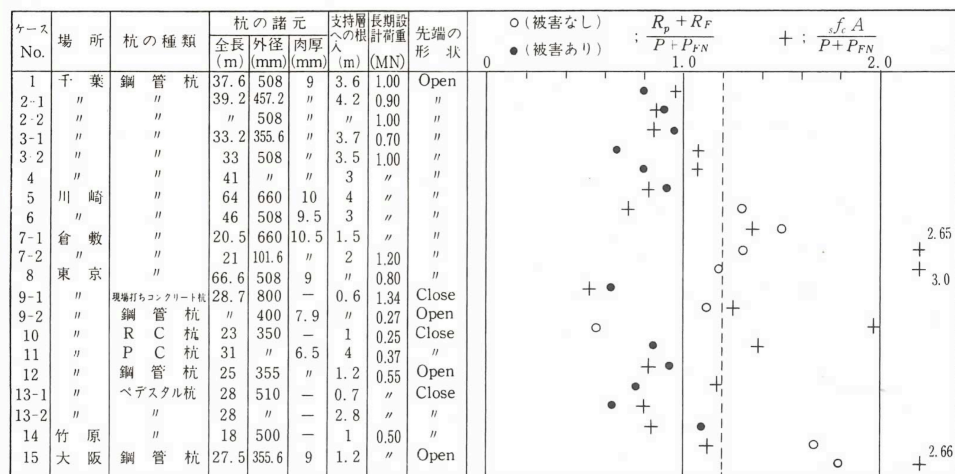


図 6.4.2 負の摩擦力に対する安全性の検討例^{6.4.8)}

指針改定の担当者は 1974 基礎規準当時の状況には通じていない筈である [なぜなら 50 年近く前のことなので委員のほとんどの方は故人となってしまっているなど、世代が違うからである]。また、発表者

本人が言ってもいないことを「…検討式が採用されているのは…配慮したためである」と、提案時からこのような配慮がなされていたかのように書くこと、しかも断定することは学術的には許されるものではないし、越権行為ではないかとも思ったのである〔改定時に新たに考えたことであるというのであれば、その経過について言及しておくのが学術上の礼儀というものであろう〕。

これらの提案式が作られたのは昭和 40 年代の初め頃、千葉県浦安市の小学校で地盤沈下に伴って大きな不同沈下が生じて最終的には取り壊しにまで至ったという事例があり、杭に負の摩擦力が作用したことが原因ではないか、建築基礎にとって重大な問題であるという理由から当時建設省建築研究所内に検討委員会が立ち上げられ、数年にわたる検討がなされたことによる。ただ、その委員会の詳細な報告書は作成されていないために、経過などについてはほとんど記録が残っておらず、当時の状況は誰も知らないことになってしまった。このままでは闇の中に葬られてしまう恐れがあるので、上記の論文とともに、その背景に触れた一文を添付しておくことにしたい〔第 10 回土質工学研究発表会、pp.505-508、1975.6 と「2019 建築基礎構造設計指針改定版についてのメモ(2019. 4. 25)」〕、このメモは指針改定案の原稿段階のものを建築学会近畿支部から入手出来た時に、その中味を読んだ感想を書き留めておいたものである。直接的にはその 1 番目に「負の摩擦力の設計式の提案経緯」としたものが該当しており、上記小学校の被害事例の調査報告にも触れながら設計式の検討を行ったものである〕。

これらの二つのうち論文には、当時設計式として負の摩擦力が作用した時の検討内容を示したが、杭の軸応力分布の把握に関心が集中していることが分かるものと思われる。ここでは、①のような現象の推移までには思いも及ばぬ状況であったことが想像していただけるであろう〔負の摩擦力によって杭の沈下が生じると R_F が増大し P_N が減少するなどの変化が現れることは、今から思えば考えられないではないが、…〕。当時は負の摩擦力による被害はいわば初めての経験であったので、それを考察するのに手一杯であったというのが実態である。そのため、②のように負の摩擦力を設計しない建物でも機能を維持している例があるなどには考えが及ばない状況であったことも理解していただけるであろう。

上記 2 番目のメモ「1. 負の摩擦力の設計式の提案経緯」は、当時の状況を記憶の範囲内で可能な限り詳しく書いたものである。負の摩擦力による被害が世の中に驚きを持って受け取られていた状況も感じ取って頂けるものと思われる。今から思えば、時代の違いというものであろうか。

委員会で討議した結果、上記(6.4.1)と(6.4.2)の設計式に落ち着くことになったが、当時建設省の課長通達と建築学会の基礎規準の両方に示されることになったこともあり、建設界でも重く受け止められて使われ、地盤沈下地域での建物の建設では負の摩擦力に対する設計が定着することになった。それと同時に、杭に負の摩擦力そのものが作用しないようにすることを意図した NF 対策杭〔負の摩擦力を低減する工夫がなされた既製杭〕が開発され、使われるようになったことも記憶に新しい。そうしたことが重ねられた結果であると思われるが、その後、負の摩擦力による被害が報告されることはなくなり、とくにここ 10 年ほどは被害があったということはほとんど聞かなくなっている。その意味では筆者の論文も世の中に一定の貢献が出来たのかとほっと胸をなでおろしている。

追記：負の摩擦力を受けている杭基礎建物が地震に遭遇した場合には、上記課長通達でも基礎指針でも杭の応力の重ね合わせは考慮しないでよいとされている。負の摩擦力の長期観測実験の際に新たな載荷試験を行った結果、杭の軸力分布で杭頭付近の軸力が増加するだけで負の摩擦力が最大となる位置での軸力が変わる訳ではないという結論を得たことが根拠とされている。これに基づいて筆者もこれまでは以下のように考えることにしていた。「負の摩擦力による軸力分布を経験している杭が地震に遭遇すると、一時的にその分布が崩れて地震による軸力分布〔例えば上部構造のロックンク動による軸力分布など〕を経験することになり、地震が終わった後に長い時間をかけてまた地盤沈下の影響を受けるようになって負の摩擦力による軸力分布に戻る。したがって、地震時の杭応力と負の摩擦力による杭応力は重ね合わせる必要はないということである。ただ、最近では“本当にそうなのだろうか”、少なくとも地震観測などでその点を確かめてみる必要があるのではないかと考えが芽生え始めている。もし応力的な重ね合わせの必要がない場合でも、沈下に関しては累加されると考える必要があるだろう。その点に関するだけでも、地震観測などによって確認するべきであると思われるからである。この点は今後の課題として考えている。