

【よくある指摘事例】

杭の支持力算定において、十分な地盤調査が行われずに過大な支持力の採用事例や支持層直下の粘性土の影響を考慮しない事例、および短い杭の不適切な支持力採用事例がある。

【関係法令等】

令第93条，平成13年国交省告示第1113号第2

【指摘の趣旨】

適合性判定において、杭先端付近の地盤調査が不足し支持力の評価が不十分な事例や、支持層下端にある粘性土層の地盤調査が不足し、粘性土層を考慮した2層地盤としての検討が行われていない事例、あるいは短い杭の支持力の評価について検討が不足している事例が見受けられるため、以下に解説する。

【解説】**1. 問題の要点**

杭の許容鉛直支持力は地層構成や地質、支持層深さ、支持層下部層などに影響されるため、適切な内容・箇所数の調査を行わなければならない。地盤の種類や地層構成のデータが不十分な場合、杭先端位置の決定や支持力算定の際に適切な判断ができず、場合によっては建物の沈下等の不具合をまねくおそれがある。一方で、地域によっては支持層の傾斜や不陸があり、支持層深さ等を正確に想定することが難しい場合がある。この場合には地盤構成の評価に幅を持たせて支持力算定を行うことが必要である。また諸事情により設計前に十分な調査を行うことができない場合には施工時に支持層の確認を確実にすること等の対応が必要である。地盤調査の詳細については日本建築学会「建築基礎のための地盤調査計画指針」¹⁾等を参考にすることが望ましい。

適合性判定において指摘の多い以下の項目について留意事項等を解説する。

- ・杭の支持力の算定における地盤評価について
- ・杭先端を層厚の薄い支持層（中間支持層という）に止め、下部に粘性土層（下部粘性土層という）がある場合の2層地盤の先端支持力の算定について
- ・杭長が短い場合の鉛直支持力の算定について

2. 杭の支持力算定における地盤評価について

杭の支持力算定式としては告示式や学会指針式等があり、それぞれに N 値の取り方と上限値、平均 N 値の算定法が示されている。これらは支持力式の考え方や適用範囲に関連して定められている。また、高支持力杭等の大臣認定を取得した杭工法の場合については、認定内容や適用範囲に留意して支持力算定を行う必要がある。

建物を安全に支持するために杭の支持力算定に留意する事項を以下に示す。

2.1 採用 N 値の評価

杭の鉛直支持力は、一般的に標準貫入試験の結果（ N 値）および室内土質試験結果から得られる土質定数に基づいて算定される。 N 値は試験の生データであるため、数値を鵜呑みにせず適切に評価・判断して、算定結果が安全側となるように用いる必要がある。例えば、礫を多く含む地盤では「礫打ち」により N 値が過大評価される。このような場合には、10cmごとの N 値のばらつきが一

つの目安となり、大きくばらついている場合は、そのうちの最小値の3倍を30cm相当の N 値とすることも一つの方法である。また、有機質土を多く含む地層や層厚の薄い層（または薄い互層）に摩擦を期待する場合は、周辺のボーリングデータの情報などから、支持力を見込む層厚や N 値が過大評価となっていないか等、慎重に判断する必要がある。

2.2 杭周面摩擦抵抗力を算定する際の液状化の扱い

杭周面の摩擦抵抗力は、液状化層内においては大幅に低下する。中間に液状化層がある場合は、その上部層への影響も考慮する必要がある。上部非液状化層の層厚が比較的薄い場合や透水性の地層である場合には、間隙水圧の上昇によって杭周面に沿って水と土砂が噴出する懸念がある。したがって、地層構成によっては、液状化層以浅の地層の摩擦抵抗力を無視する等の設計上の配慮が必要となる。

2.3 先端支持力

先端支持力を求める際の先端平均 N 値は告示式では上4D下1D間の平均となっている。一方、学会基礎指針²⁾では埋込み杭、場所打ち杭では上1D下1D間の平均となっている。杭径が1.5~2.0mを超える大径の場所打ち杭では先端付近の平均 N 値として上1D下1D間の平均が用いられる場合が多いが、この場合の先端支持力度は告示式の150Nでなく学会基礎指針式²⁾の100N(上限値は7500kN/m²)とすることが必要である。また大径杭は先端支持力度が同一でも中小径杭と比較すると沈下が大きくなる傾向がある。大径杭を用いる場合は施工管理をより慎重に行い、沈下の検討を行うことが望まれる。

3. 2層地盤の支持力の算定について

杭先端を層厚の薄い中間支持層で支持する場合には、先端支持力は杭先端面の検討に加えて、中間支持層下面の応力に対する下部粘性土層の強度や沈下の検討を行う必要がある。ここでは N 値は大きい薄い砂質土層を中間支持層とし、その直下で N 値が小さい粘性土の地層を下部粘性土層とする場合について述べる。このような場合には支持力と圧密沈下の両方の確認が必要となる。既往の研究では H/D (H : 杭先端から中間支持層下面までの距離, D : 杭先端径) が2以下ではパンチング破壊の可能性が高く、3以上になると下部粘性土層の影響は小さくなっていくとの研究があるが、中間支持層と下部粘性土層の剛性によりその影響は異なる。学会基礎指針や2015技術基準においても明確な設計法は定められてはいない。

3.1 支持力の検討について

建築学会「建築基礎構造設計のための地盤評価・Q&A」⁴⁾には薄い中間層を支持層として下部に粘性土層がある場合の杭の支持力について解説が示されている。中間支持層下面の応力度は2層地盤での直接基礎の検討法を準用するとして図-1に示すように杭先端応力度 p が下部粘性土層表面では応力分散により p' になると考え、粘性土層の極限支持力度 q_u との比較から先端支持力を検討している。

この考え方を踏まえ、3.2で示す圧密沈下の検討を行う条件下記の検討式(1)を提示する。 q_u には学会基礎指針⁵⁾の杭先端が粘性土の場合の極限支持力度 $6c_u$ あるいは直接基礎の極限支持力度式 $5.1\alpha c_u + \gamma D_f$ を用いている。なお、1988年版学会基礎指針⁷⁾に従い自重項 γD_f には安全率 β

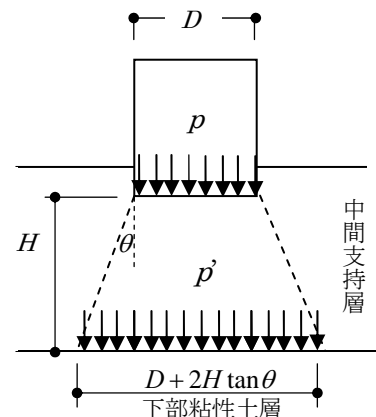


図-1 杭先端からの応力の広がり

を与えていない.

$$p' \leq \beta \cdot q_u \quad (1)$$

ここで $p' = \frac{pD^2}{(D+2H \tan \theta)^2}$ $\tan \theta : 0.3 \sim 0.5$ $p : \text{杭先端応力度 (kN/m}^2\text{)}$

D : 杭径(m), H : 杭先端から支持層下端までの深さ (m) β : 安全率 (2/3 以下)
 $q_u : 6c_u$ あるいは $5.1\alpha c_u + \gamma D_f / \beta$ c_u : 粘性土の非排水せん断強さ (kN/m²),
 α : 形状係数 1.2, γ : 地表面から支持層下端までの土の水中単位体積重量 (kN/m³),

文献 4)では 2 層地盤の支持力式による先端支持力の評価と既往の実験結果との適合性が検討されているが, (1)式に採用する数値の設定によっては危険側となるケースがあるので, 慎重な判断が必要である. また, 学会基礎指針⁶⁾によれば使用限界状態(長期)での杭頭荷重が極限支持力の 1/3 に至らなければ問題となる沈下がほとんど生じないとの過去の実績があると示されているが, 2 層地盤の支持力の検討における(1)式の安全率 β の設定にあたっては, 3.2 で示す圧密沈下の検討を行い上部建物の剛性を考慮して設計者が適切に判断する必要がある.

3.2 圧密沈下の検討

圧密沈下の検討には, 支持力と同様に下部粘性土層天端での杭先端の応力分散を考えるが, 地表面からの土の自重による有効応力を加算する必要がある. この応力 p'' と, 下部粘性土の圧密降伏応力 p_c とを比較する.

$$p'' \leq p_c \quad (2)$$

ここで

$$p'' = \frac{pD^2}{(D+2H \tan \theta)^2} + \gamma \left(H + D_f \left(1 - \frac{D^2}{(D+2H \tan \theta)^2} \right) \right) \quad (3)$$

D_f : 杭先端から地表面までの深さ (m) p_c : 圧密降伏応力 (kN/m²)

式(3)の第 1 項は杭先端から下部粘性土層に作用する応力であり, 第 2 項は地表面から下部粘性土層までの杭の部分を除いた土の重量である. ここで杭の自重は p に含む.

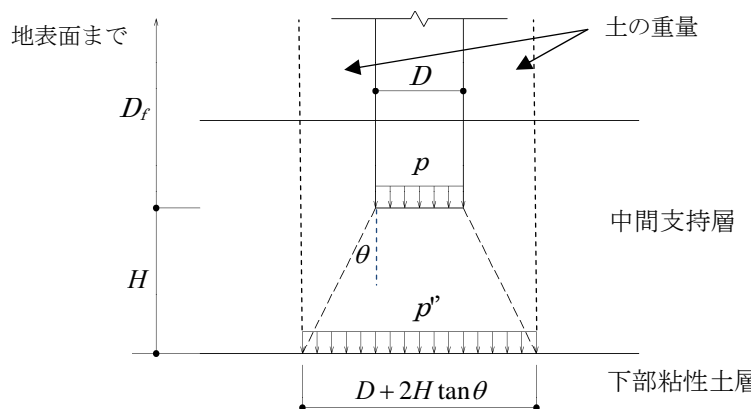


図-2 下部粘性土層の圧密沈下の検討応力

3.3 下部粘性土層の土質調査

粘性土の力学特性 c_u , p_c は現位置で採取した試料による室内土質試験で求めるのが原則である。ただし、信頼できる近隣データ等があればこれを参照することもできる。

下部粘性土層は一般には洪積粘土層の固い粘性土である。大阪平野では Ma12 と呼ばれる洪積粘土層であることが多く、既存のデータでは 1 軸圧縮強度は 100~400kN/m² 程度（粘性土の非排水せん断強さ c_u は 1 軸圧縮強度の 1/2）、圧密降伏応力 p_c は 400~700kN/m² 程度にばらついている。このような粘性土のサンプリングは適切に行わないと、乱された資料となり圧縮強度はかなり低減する。したがって、サンプルリングにはトリプルチューブサンプラーを用いることが良い。また本来は地中深い層であるため拘束圧が大きい状態であるが試験方法がこれを反映していない場合は実態の強度が得られない。従って圧縮強度試験には 3 軸 UU 試験を行い直接に c_u を求めることが良い⁴⁾。また圧縮強度試験は同一カ所で 3 回は行い、バラツキを考慮して試験結果を評価することが望ましい。一般に精度の良い調査を行うことで強度は大きな値を確認することができ、大きな支持力を採用できる。

4. 杭長が短い場合の鉛直支持力の算定について

基礎指針においては、杭長が杭径の数倍程度の短い杭基礎は直接基礎に近い挙動を示す可能性もあることから、杭基礎としての先端支持力の検討に加えて直接基礎としての検討も行い、いずれか小さな支持力値を採用することが望ましいことが示されている。

L/D が杭径の 5 倍程度以下で「短い杭」と考えられる場合については、杭先端地盤及び周辺地盤の状況を勘案して、より安全性に配慮した杭支持力の設定が必要と考えられる。以下では、場所打ちコンクリート杭について、杭先端地盤を杭支持力式ならびに直接基礎としての支持力式を比較して小さい方を採用する考え方を示す⁸⁾。

$$\left. \begin{array}{l} \text{長期} \quad {}_L R_a = q_p A_p + \frac{1}{3} R_F \\ \text{短期} \quad {}_S R_a = 2q_p A_p + \frac{2}{3} R_F \end{array} \right\} \quad (4)$$

$$q_p = \min\left(\frac{K}{3} \bar{N}, q_a\right) \quad (5)$$

$$q_a = \frac{1}{3}(i_c \alpha c N_c + i_\gamma \beta \gamma_1 B N_\gamma + i_q \gamma_2 D_f N_q) \quad (6)$$

ここで、 R_a : 地盤の許容支持力 (kN) R_F : 杭周面摩擦力 (kN)

q_p : 先端支持力度 (kN/m²) \bar{N} : 杭先端の平均 N 値

K : 告示式では 150, 学会指針式では 100 とする。

A_p : 杭先端断面積 (m²) q_a : 杭先端における地盤の許容支持力度 (kN/m²)

【参考文献】

- 1) 日本建築学会：建築基礎のための地盤調査計画指針，2009
- 2) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針，2001，p.205
- 3) 国土交通省国土技術政策総合研究所他監修：2015 年版建築物の構造関係技術基準解説書，p.569
- 4) 日本建築学会：建築基礎構造設計のための地盤評価・Q&A，2015，pp.123~127
- 5) 文献 2) の p.205
- 6) 文献 2) の pp.202~203
- 7) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針，1988，pp.119~123
- 8) 大阪府下特定行政庁連絡協議会監修：建築基準法構造関係法令集 1996 年版，大阪建築士事務所協会，p.567