

基礎設計における基準の背景と使い方

7-1 杭基礎の設計（鉛直支持）

平 山 英 喜 (ひらやま ひでき)

(株)ジオトップ 基礎研究室 主席研究員

7.1 概 要

道路・鉄道・港湾・建築関係の基準類における杭基礎の設計において、基本的な検討事項および設計手順は、ある程度共通している。しかしながら、各々の対象構造物・関係機関・基準類の役割・制定の歴史的経緯等の違いにより、それぞれの特徴を有する。

本章では、下表の基準類を対象とする。

- | |
|---|
| ①道路：道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編 ¹⁾
→ 道示 |
| ②鉄道：国鉄建造物設計標準解説—基礎構造物・
抗土圧構造物 ²⁾
→ 建造物設計標準 |
| ③港湾：港湾の施設の技術上の基準・同解説 ³⁾
→ 港湾施設基準 |
| ④建築(行政)：建設省告示第111号・1623号 ⁴⁾
→ 告示 |
| ⑤建築(学会)：建築基礎構造設計指針 ⁵⁾
→ 建築基礎指針 |

まず全体にほぼ共通する基本的検討事項と設計手順を7.2節で概説する。本稿ではその内、鉛直支持について述べ、水平抵抗については次稿で述べる。そこで、7.3節で各現行基準類の鉛直支持力算定法の特徴をまとめ、次に7.4節で杭施工法別に各現行基準類の鉛直支持力算定式を比較する。ただし、群杭に関しては実測データが限られているので、単杭のみを対象とする。1985年以前の旧基準類についての歴史的経緯・特徴については文献⁶⁾に詳しく説明されているが、それ以降、建築の行政関係を除いてすべて改定されている。そこで、旧基準類との対比のもとに説明する。ただし基準の性格上、改定に際しては前基準と基本的には矛盾しないことが前提と

なっている。最近の改定の主要な点は、軸力分布を測定した現場載荷試験データの蓄積に基づく、場所打ち杭を中心とした支持力算定法の見直しであるので、その点を中心に述べる。7.5節で、主に土質力学的な観点から、杭の鉛直支持力算定に関する動向と課題をまとめる。

7.2 基本的検討事項と設計手順

各基準類における設計上の基本的検討事項は、次のようにまとめられる⁷⁾。

- ① 杭に作用する荷重が、地盤や杭本体などによって決まる許容支持力（耐力）以下であること。
- ② 沈下量や水平変位の制限があれば、許容変位量以内に収まるように杭の本数や径を考えること。
- ③ 杭基礎に作用する荷重は原則として杭のみで抵抗させ、フーチング（建築関係ではべた基礎も含めて基礎スラブ）の抵抗を考慮する場合は慎重に検討すること。
- ④ 圧密沈下層を貫く場合や、影響範囲内に圧密層がある場合は、沈下の影響を検討すること。
- ⑤ 杭の最小間隔は杭径の2.5～3.0倍を標準とすること。

また、杭基礎設計の手順は、次のようにまとめられる⁷⁾。

- ① 地盤調査、環境調査、施工条件の調査を十分行って、杭の施工法を念頭において、杭種、杭径、杭長などを仮定する。
- ② 単杭の常時および地震時の押込み・引抜き・水平方向の許容支持力を算定する。群杭効果やネガティブ・フリクションを考慮する必要がある場合は、それらによる低減を行う。
- ③ 杭配置や本数を仮定して、各杭頭に分配される杭頭反力と変位量の計算を行い、許容支持力

講 座

・許容変位量と比較して、妥当な値に収まるような杭配置や本数を決める。

- ④ 杭の深さ方向のモーメントやせん断応力分布を計算し、杭の詳細な断面（鋼管杭の肉厚やRC杭の鉄筋量）を計算する。どうしても適切な断面が決まらない場合は、③または①に戻って計算をやり直す必要がある。
- ⑤ 杭頭・杭先端・継手などの構造細目を決める。
- ⑥ 杭頭反力を用いフーチング（基礎スラブ）の検討を行う。

杭基礎設計の実例は、例えば文献^{7),8)}に示されている。

7.3 現行設計基準類の鉛直支持力算定法の特徴

7.3.1 道路関係

現行基準は、1980年版を改訂した道示(1990)¹⁾である。なお、道路関係の公団（日本道路公団・首都高速道路公団・阪神高速道路公団・本州四国連絡橋公団）は、道路橋示方書を補足するものとして、各々独自の設計基準類を制定している⁶⁾。

杭基礎の鉛直支持力に関しては、載荷試験データを基に場所打ち杭を中心に大幅に改訂された1980年版から大きな変更はない。1980年版において、場所打ち杭に対する算定式で、先端支持力の減少（砂質地盤で $300 \sim 750 \text{ tf/m}^2$ から 300 tf/m^2 に減少）、周面摩擦抵抗の大幅な増加（砂質土で上限値を 12 tf/m^2 から 20 tf/m^2 に、粘性土で $c/2$ または $N/2$ から c または N に増加）により場所打ち杭を摩擦杭的なものと見なした⁹⁾。

1990年の改訂では、①過圧密粘性土地盤に杭長の $1/3$ 以上根入れされている場合等の条件付きで、摩擦杭の安全率を4から支持杭と同等の3にしてよいこと、②載荷試験において、明確な極限荷重が見られない場合は、杭径の10%の沈下量での荷重を極限支持力とすること（後述する鉄道・建築関係における基準支持力と同等）、③載荷試験を実施した場合は、計算のみで推定した場合よりも安全率を低減しうる、等の変更があった。

7.3.2 鉄道関係

建造物設計標準(1986)²⁾は、1974年発行の「日本国有鉄道建造物設計標準解説（基礎構造物及び抗土

圧構造物）」を、土木学会に委託して改訂したものである。

1974年版は、場所打ち杭に対する有効な載荷試験のない中で制定されており、極限支持力の定義に沈下量が考慮されていないため、打込み杭と場所打ち杭は同等の支持力（例えば、先端抵抗 $q_{ult} = 30 \bar{N} [\text{tf/m}^2]$ ）としていた¹⁰⁾。

1986年版では、約20例の場所打ち杭の載荷試験データを用いて、杭径の10%の沈下量に対する支持力を“基準支持力”と定義して、統計的解析を行って基準先端支持力（砂質土 $7 \bar{N}$ 、砂礫 $10 \bar{N}$ ）および最大周面支持力（結果的に、前述の大幅に増大した1980年版道示と同等）の各算定式を定めた。さらに確率的検討により、先端抵抗および周面抵抗に別個の安全係数（安全率の逆数）を定めた¹⁰⁾。この確率的検討に際して、1974年版と同程度の安全性を有することを判断基準として用いているので¹¹⁾、約 $1/3 \sim 1/4$ に減少した場所打ち杭の先端抵抗に対する安全係数は常時状態において0.6（すなわち安全率1.7）となっており、他分野の現行設計基準類と比べると、許容鉛直支持力の内の先端抵抗は倍程度大きくなる。ただし、別途定められた方法で検討した変位量が、定められた許容変位量以下であることとした条件が規定されている。

7.3.3 港湾関係

現行の港湾施設基準(1989)³⁾は、1979年発行のものの改訂版である。

港湾構造物における基礎杭の設計では水平抵抗が支配的であり、大口径・長尺の鋼杭を用いた打込み杭が大半を占めるので、打込み杭を対象としている。港湾構造物は、ほかの構造物に比べ変形に対する制限がさほど厳しくないものが多い。したがって、安全率がほかの基準類よりも小さいものになっている⁶⁾。

1989年版では、極限先端抵抗が $q_{ult} = 40 \bar{N} [\text{tf/m}^2]$ から $30 \bar{N}$ に、杭先端付近の平均 N 値 \bar{N} の計算範囲が下方 $0 \sim 2D$ ・上方 $10D$ から杭先端と上方 $4D$ に変更になり、ほかの基準類の打込み杭の算定式とほぼ同等のものになった。

7.3.4 建築関係

(1) 行政

「建築基準法施行令」（1950）93条の規定に基づく、

「建設省告示第111号」(1971) (「建設省告示第1623号」(1978)により一部改正)・各種通達に加えて、確認申請を実際に審査する特定行政庁(人口25万人以上の市、都道府県等)では、告示・通達・学会指針・現場での施工管理の実状などを参考にし、法令に抵触しない範囲内で内規として設計指針等を定めて行政指導を行っている^{6),8)}。

1971年の告示では、先端抵抗は $q=40\bar{N}$ [tf/m²]であったが、1978年の改正で $30\bar{N}$ (打込み杭)・ $20\bar{N}$ (セメントミルク工法による埋込み杭)・ $15\bar{N}$ (場所打ち杭)と変更になった。周面摩擦抵抗は $\bar{N}/5$ ・ $q_u/2$ (上限値は、打込み杭10 [tf/m²]、埋込み・場所打ち杭は5 [tf/m²])で、7.4.2(2)で後述するように場所打ち杭は、土木関係(道路・鉄道)に比べて、先端抵抗重視型になっている。

(2) 学会

建築基礎指針(1988)⁵⁾は、1974年発行の「建築基礎構造設計規準・同解説」を改訂したものである。地盤調査関係および住宅基礎関係は、各々別冊として「建築基礎設計のための地盤調査計画指針」(1985)、「小規模建築物基礎設計の手引き」(1988)が発行されている。

土木関係の基準類と異なり、日本建築学会が学術・技術的な内容を中心に将来の方向も含めてまとめた、基礎設計をする上での基本的な考え方の参考書的なものである¹²⁾。1.3節で説明されたように、前記行政諸基準とは従来表裏一体であったが差異も生じるようになってきたこと、法的な規制力は無いこと、考え方を示すものであることを明確にするために、名称が「規準」から「指針」に変更された。指針では、①場所打ち杭・埋込み杭等の非排土杭(non-displacement pile)に対する“基準支持力”(杭径の10%の沈下の時の支持力)の導入、②先端抵抗と周面抵抗に対する別個の安全率(寄与係数)の概念導入、③周面抵抗の増加($\bar{N}/5$ [tf/m²] から $\bar{N}/3$ に67%増加)、等の提案が行われている。

7.4 各基準類の鉛直支持力算定式の比較

7.4.1 打込み杭

(1) 先端支持力

基本的には、砂質地盤では、Meyerhof(マイヤホフ)¹³⁾が、飽和した微細砂またはシルト質砂におけ

るコーン貫入試験の q_c 値と N 値の相関関係と、平均的に $q_c=q_{ult}$ であるという結果から提案した

$$q_{ult}=4N[\text{tons per sq. ft.}] \\ =39N[\text{tf/m}^2]\text{注1)} \dots\dots\dots(1)$$

を、載荷試験のデータに基づいて低減させた

$$q_{ult}=30\bar{N}[\text{tf/m}^2] \dots\dots\dots(2)$$

が、各基準類で用いられている。

粘性土地盤では、各基準類で次のようになっている。

$$q_{ult}=C_1\bar{C}_u \text{ または } C_2\bar{N} \dots\dots\dots(3)$$

ここに、

	道 路	鉄 道	港 湾	建 築 (学会)
C_1		9	8	6
C_2	30	10		

(1)式から(2)式への低減に関しては、寸法効果等⁵⁾が挙げられているが、ほかにも次のような要因が考えられる。

① 鉛直載荷試験で軸力分布を測定する場合、通常試験開始時の軸力を杭全長にわたってゼロと仮定する。しかしながら、打込み前の軸力を初期値とすると、打込みの影響によって載荷試験開始時に杭頭以外ではかなりの軸力がすでに発揮されている。これは、初期残留軸力と呼ばれているものであるが、杭先端において極限先端支持力の10~40%程度の値が測定されている¹⁵⁾。したがって、通常の測定法では、杭先端での初期残留軸力を無視しているの、その分だけ真の先端抵抗より低く見積る¹⁶⁾。

② 先端地盤が(1)式の条件と異なる場合、細粒分が多くなると係数は低減する。例えば、非塑性シルトに対しては、後に $q_{ult}=3N$ [tons per sq. ft.] が提案されている¹⁴⁾。ただし、逆に砂礫地盤では係数は大きくなる可能性がある¹⁷⁾。

(2)式で、先端付近地盤での平均 N 値 \bar{N} の算定に際して、鉄道関係以外は杭先端上方の範囲として $4D$ を採用している。これは、van der Veen (ファンデルビーン)ら¹⁸⁾が q_c から q_{ult} を推定する場合に下方 $1D$ ・上方 $3.75D$ と提案したものを、Meyer-

注 1) 文献¹³⁾の ton は米トン (=907 kgf) であり、1 [ton per sq. ft.] \approx 100 [kN/m²]¹⁴⁾である (Meyerhof 教授との私信による)。

講座

hof¹⁹⁾が下方1D・上方4Dとして用いたものによっているものと考えられる。鉄道関係²⁾では、日本での現場実験およびモデル実験に基づいて、砂・砂礫地盤で上方2D、粘性土・軟岩地盤で上方1Dを採用している。理論的には、この影響範囲は先端地盤の高圧下でのダイレイタンス特性が関係すると考えられ、平均的には鉄道関係のものに近いが、上限としては上方4D程度と考えられる²⁰⁾。支持層への必要根入れ深さは、施工性や薄層支持層問題との関連において重要な問題点の1つであり、今後さらに多くの現場データによる検討が必要と考えられる。

粘性土地盤に対する(3)式に関しては、解析的・実験的に得られた値を参考に、Skempton (スケンプトン) が半経験値として提案した $C_1=9$ が、英国で一般的に設計で用いられている²¹⁾。建築基礎指針⁵⁾が控え目の C_1 を提案しているのは、粘性土地盤に杭先端がある載荷試験例が、日本でそれほど多くないためであると解説されている。この背景には、支持層の主な対象となる土丹層で、十分な根入れを期待することが不合理であるとともに、その上部の層が非常に軟弱な場合も多いことなども考慮されているとのことである。

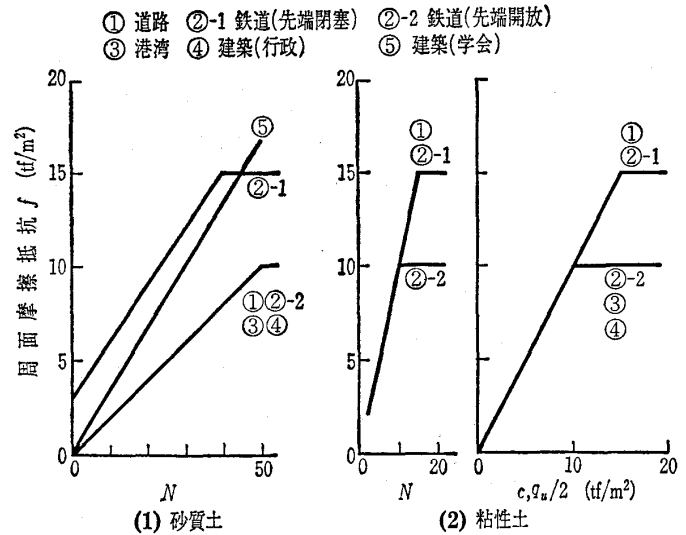
道示¹⁾では、(2)式が粘性土地盤にも適用されるとしているが、前述②の理由により、かなり過大な値を推定する可能性がある。ただし、摩擦杭（道示では粘性土の支持層を大略 $N>20$ と定義）の場合、杭先端の支持力は原則として考慮しないものとしている。また、軟岩・土丹を支持層とする打込み鋼管杭に対する算定式が、巻末の参考資料に別途提案されている。

(2) 周面摩擦支持力

各基準類の周面摩擦算定式の比較を図一7.1に示す。砂質土地盤では $f=N/5$ [tf/m²] が一般に用いられているが、建築基礎指針では、この値は下限で安全側であることから、平均的傾向に対応する $f=N/3$ を推奨している。全般的傾向として、上限値の引き上げ等により、各基準類とも改訂により増加してきている。

(3) 安全率

各基準類の安全率をまとめて表一7.1に示す。港湾施設基準がほかに比べて低い安全率を採用している理由については、7.3.3に前述したとおりである。



図一7.1 各基準類の打込み杭の周面摩擦抵抗 f の算定式の比較

7.4.2 場所打ち杭

(1) 先端支持力

1950年代中ごろから1960年代初めにかけて、オールケーシング工法（ベノト工法）、アースドリル工法、リバース工法の施工機械が欧米から導入され、環境問題に関連してその後急速に施工例が増加した。しかし、施工が先行し、その支持機構は必ずしも明らかではなかった。現場実験・モデル実験による支持機構の研究や軸力分布を測定した載荷試験データの蓄積により、砂質土地盤²²⁾に先端がある場所打ち杭では、打込み杭の極限先端支持力と同等の先端支持力が発揮されるのに、杭径以上の非実用的な沈下が必要なことが指摘されるとともに、1980年代に改訂された基準類では、設計の考え方および算定式が大幅に変更された。変更の主な点は、道示¹⁾・建築物設計標準²⁾・建築基礎指針⁶⁾ともに、極限支持力に変わる基準支持力（杭径の10%の（杭頭）沈下量の時の支持力、ただし基準先端支持力の評価の観点からは杭先端沈下量を用いるべきと考えられる²³⁾）の導入と、それに伴う先端抵抗の減少である。各基準類の先端抵抗算定式の比較を図一7.2に示す。

基準支持力の定義を最初に導入した鉄道関係によると、杭径の10%とした理由は、次のとおりであ

注 2) 粘性土地盤に先端がある場合のデータは、日本ではあまり多くないが、米国における過圧密粘土地盤での載荷試験結果の統計的データ²²⁾によれば、杭径の約5%の先端沈下量でほぼ極限値に達し、砂質土の場合と極めて異なった傾向を示す。

表-7.1 各基準類の打込み杭の鉛直支持力に対する安全率

	道 路 ¹⁾		鉄 道 ²⁾	港 湾 ³⁾	建築 (行政) ⁴⁾	建築 (学会) ⁵⁾
	支 持 杭	摩 擦 杭				
常 時	3	4	3.3 — 時 2.5	2.5 以上	長 期 3	同 左
地震時	2	3	死 荷 重 2.0 列 車 荷 重 1.7	支 持 杭 1.5 以上 摩 擦 杭 2.0 以上	短 期 1.5	同 左
備 考	・一定の条件を満たす摩擦杭は支持杭と同等の安全率 ・載荷試験を行った支持杭は1.0/1.2倍補正		・逆数の安全係数で与えられている ・一時状態とは常時荷重＋一時荷重が作用した状態		短期には、地震時と暴風時が含まれる	

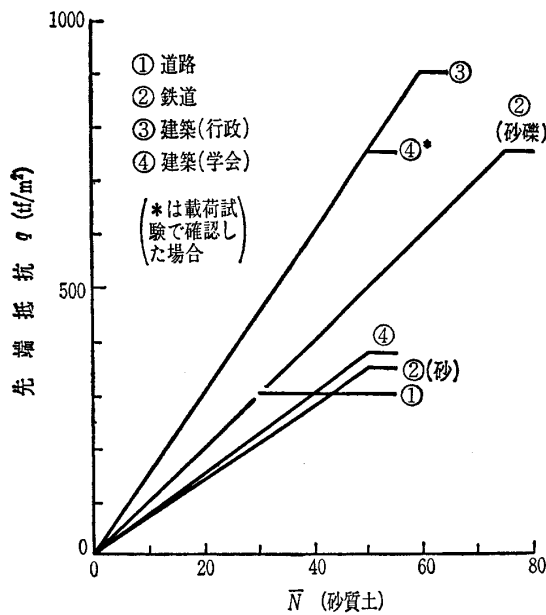


図-7.2 各基準類の場所打ち杭の先端抵抗 q の算定式の比較

る²⁴⁾。

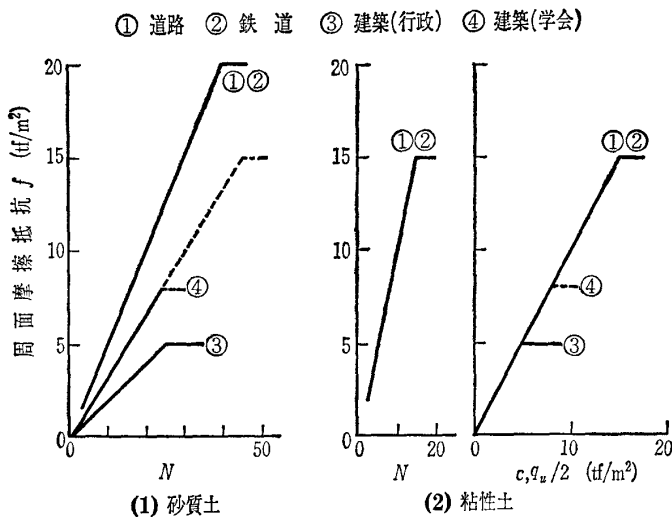
- ① 載荷試験データにおいて比較的大きな沈下量を生ずるまで載荷したもので、沈下量/杭径 $= S/D = 0.1$ 程度のものが多い。また、荷重-沈下量曲線における急折点の荷重の1.5倍に相当する荷重で $S/D = 0.1$ 程度になるものが多い。
- ② 建築学会の旧規準（1974年版）における先端抵抗算定式 $q = 15 \bar{N}$ [tf/m²] は、(結果的に) $S/D = 0.1$ を基準としていることになる。

元々、杭径の10%という値は、1942年のTerzaghiの提案²⁵⁾に基づくものとされている²¹⁾。これは、打込み杭に対する極限先端支持力の定義のために提案されたものであるが、打込み杭では先端沈下量が杭径の2.5%でも極限値の80~90%に達する²⁶⁾ことに

も留意して、場所打ち杭等に適用するのが望ましいと考えられる。杭の周面摩擦抵抗が $S/D = 0.01$ 程度で最大値に達することと、場所打ち杭の径が1 m程度以上のものが多いことから、 $S/D = 0.1$ を基準とすることの妥当性には、批判的な意見も多い。米国のあるマニュアル²²⁾では、杭先端沈下量 $0.05D$ が採用されており、杭先端沈下量 $0.025D$ という提案²⁶⁾もある。建築基礎指針⁵⁾では、部分安全率に相当する寄与率の概念が提案され、基準先端支持力と周面摩擦支持力に別個の安全率を用いる方法が提唱されている。

現状では他の土質工学問題同様、杭の挙動を非線形弾塑性的に連続して検討するのでなく、鉛直支持力と沈下（安定問題と変形問題、すなわち剛塑性論と弾性論）に分離して検討するが、杭とは打込み杭であった歴史的経緯から、まだ前者が主である。先端支持力算定法をより合理的にするためには、周面摩擦支持力を含めた連続的な荷重-沈下関係の観点からの杭の挙動と、上部構造物の終局・使用限界状態に対する許容沈下量との関連が明確な構成の設計法の確立が望まれる。

なお、基準先端支持力に対する $S/D = 0.1$ の段階では、物理的極限先端支持力に対する $S/D > 1$ の場合よりも、杭先端付近地盤の影響領域はずっと狭い²⁰⁾。したがって、7.4.1(1)で述べた打込み杭の先端支持力算定のための平均 N 値 \bar{N} の影響範囲に比べて、非排土杭である場所打ち杭では狭い範囲の N 値が影響すると考えられる。建造物設計標準²⁾では下方 $0 \sim 1D$ (硬岩~砂質土)、建築基礎指針⁵⁾では下方 $1D \cdot$ 上方 $1D$ が影響範囲として採用されている。下方 $1D \cdot$ 上方 $4D$ も含めて、3種の影響範囲で実



図一7.3 各基準類の場所打ち杭の周面摩擦抵抗 f の算定式の比較

測結果を統計的解析した結果によると、下方 $1D$ ・上方 $1D$ が最も妥当であるといえそうである²³⁾。

(2) 周面摩擦支持力

各基準類の周面摩擦抵抗の比較を図一7.3に示す。1980年以降の改訂で、先端抵抗が減少したのに対し、周面摩擦抵抗は載荷試験データを基にかなり大幅に増加している。結果的に、各旧基準類による許容鉛直支持力は、現行基準類によるものと一般的には大きな差異は生じない。比較計算例は、例えば文献²⁷⁾に示されている。しかし、1978年以降変わっていない建築の行政関係は、土木関係に比べて先端支持力重視型になっており、実際と非常に矛盾しているとの指摘がある²⁸⁾。

(3) 安全率

鉄道関係²⁹⁾では、場所打ち杭に対する安全率を、表一7.1に示した打込み杭のものと変えている。例えば、先端支持力は常時の場合、倍の安全係数（すなわち半分の安全率）としている。この理由については、7.3.2で述べた。

また、建築基礎指針³⁰⁾では、7.4.2(1)で述べたように部分安全率の考え方を提案している。

7.4.3 埋込み杭

1980年版道示では、埋込み杭の支持力性状（特に水平支持力）が不明確で道路橋の基礎としては信頼性が十分でないとの判断により適用から除外し、杭径以上の拡大掘りを行わない中掘り工法に対してのみ基準を定めていた⁹⁾。1990年版道示¹⁾では、セメントミルク噴出攪拌方式の工法で、施工実績がある

と認められるものに限って極限先端支持力がかなり増加された。建造物設計標準²⁾でも、埋込み杭（既製杭工法）は、特殊施工法としている。

一方、鉛直力を主に設計してきた建築関係では、行政的にセメントミルク工法による埋込み杭が $q=20\bar{N}$ [tf/m²]と定められている⁴⁾。さらに、種々の埋込み杭工法が、建築基準法第38条（特殊な材料または構法に関する規定）に基づき、日本建築センターの評定・建設大臣の認定を受け、個々に認められた支持力算定式によって用いられている。

7.5 最近の動向と課題

7.5.1 地盤沈下地帯における杭

基準類において、ネガティブ・フリクション(NF)が作用する場合の設計法が定められているが、通常支持杭を想定したものである。しかし、上部構造物の浮き上がりだけでなく、支持力的にも問題になる事例が報告されるようになってきた。例えば、国鉄（現JR）が、東海道新幹線標準高架橋の目違い発生の調査を行った結果では、地盤沈下地帯で比較的小数の長尺杭を完全支持杭として用いている場合に、大きな目違いが発生していることがわかった²⁹⁾。地盤沈下地帯で摩擦杭または不完全支持杭を用いた例^{30), 31)}も報告されているが、現状の基準類では、このような場合は具体的に規定されておらず、特別な調査・検討等が必要となるため、ルーチン的な設計は行えない¹⁶⁾。土木関係では、一般的な摩擦杭は採用しやすいように変更されてきたが、ウォーターフロントの埋立地での開発が盛んになるにつれ、NFの作用する摩擦杭が、総合的に見て最も望ましい基礎形式になりうるケースも増加すると考えられる。基準類に設計法の指針・規定が与えられるレベルまでの、杭と地盤の相互作用のメカニズムの土質力学的観点からの研究と、現場での実測データの集積が早期に望まれる。

7.5.2 周面摩擦抵抗と非排水せん断強度の相関関係

粘土地盤中の周面摩擦抵抗 f と非排水せん断強度 c_u は、 c_u が5 [tf/m²]程度まではかなり相関が良いが、 c_u が大きくなるにつれ非常にばらつくようになる⁶⁾。その結果、前述のように設計基準類では $f=c_u$ とし、 f の上限値を打込み杭では10~15 [tf/m²]

としている。

欧米では、海底油田開発に関連して長さ100m以上の杭が、かなり以前から設計されてきたが、このような場合は f に本当に上限があるかどうかは杭長決定に大きく影響する。このため種々の研究が行われてきたが、 f の算定を有効応力的に $f = \sigma_h \tan \phi$ (σ_h =有効水平応力)で考えると、 f を直接決めるのは c_u ではなく σ_h であることが分かる。正規圧密粘土では $\sigma_h \tan \phi \doteq \sigma_v(1 - \sin \phi) \tan \phi$ で $\phi \doteq 30^\circ$, $c_u / \sigma_v \doteq 0.3$ ならば $\sigma_h \tan \phi \doteq c_u$ となるために $f = \alpha c_u$ で $\alpha \doteq 1$ となると解釈される。一方、室内の要素試験結果によると、過圧密比が増加すると c_u も σ_h (または K_0 値)も当然増加するが、増加率は c_u の方がずっと大きいことが知られている。したがって、過圧密比が大きくなるにつれ上記の α の値は1から減少すると考えられる¹⁶⁾。このような観点から既往のデータを整理した結果、Semple & Rigden³²⁾は、 f を c_u でなく過圧密比に関係する c_u / σ_v (ただし杭長全体の平均値)の関数とする方が良い相関があることを示した。その結果を単純化して設計図を提案しているが、その図は建築学会の指針⁵⁾に参考的に紹介されている。

摩擦杭の増加とともに、粘土地盤中の周面摩擦抵抗 f の算定は、ますます重要になる。前述の観点から、杭の載荷試験開始時の応力、すなわち初期残留応力¹⁶⁾も考慮した個々の層における f と c_u の相関を調べれば、周面摩擦抵抗のメカニズムを、土質力学的に明確にできる可能性があると考えられる。

7.5.3 限界状態設計法

現行の設計法は、いわゆる許容応力度設計法によっている。しかし、設計法全体が、限界状態設計法 (または荷重抵抗係数設計法)に移行するすう勢にある。限界状態設計法では、不確実性が種々の変動要因ごとに分類され、それぞれに対して安全係数が設けられ、従来のようにすべての不確実性を包括した安全率という概念はなくなる。この際、7.4.2(1)で述べたように、上部構造の使用限界と杭の不同沈下量の関係を明らかにした上で、許容変位量に基づいた使用限界状態をどのように設定するかが、重要な課題となる。

参 考 文 献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説(I 共通編・

- IV 下部構造編), 1990.
- 2) 土木学会：国鉄建造物設計標準解説—基礎構造物・抗土圧構造物—, 1986.
- 3) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説(改訂版), 1989.
- 4) 日本建築士会連合会・日本建築技術者指導センター：基本建築関係法令集, 霞ヶ関出版社, 毎年改正版発行.
- 5) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針, 1988.
- 6) 土質工学会：杭基礎の設計法とその解説, pp. 38~54, 277~282, 326~388, 1985.
- 7) 土質工学会：杭基礎の調査・設計から施工まで (第1回改訂版), pp. 103~110, 1983.
- 8) 日本建築学会：建築基礎構造設計例集, 1990.
- 9) 堀部正文：IV 下部構造編—くいの鉛直支持力の算定法—, 土木技術資料, Vol. 22, No. 5, pp. 41~45, 1980.
- 10) 海野隆哉：最近の鉄道橋杭基礎の設計の考え方, 基礎工, Vol. 13, No. 11, pp. 45~50, 1985.
- 11) 村田 修ほか：場所打ち杭の支持力算定式の安全性評価, 第19回土質工学研究発表会, pp. 991~992, 1984.
- 12) 杉村義広：旧規準改訂の経緯と新指針, 基礎工, Vol. 16, No. 5, pp. 3~10, 1988.
- 13) Meyerhof, G.G.: Penetration Tests and Bearing Capacity of Cohesionless Soils, Proc. ASCE, Vol. 82, No. SM1, pp. 866-1~866-19, 1956.
- 14) Meyerhof, G.G.: Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations, 12th Terzaghi Lecture, Proc. ASCE, Vol. 102, No. GT3, pp. 195~228, 1976.
- 15) Darrag, A.A. and Lovell, C.W.: A Simplified Procedure for Predicting Residual Stresses for Piles, Proc. 12th ICSMFE, Vol. 2, pp. 1127~1130, 1989.
- 16) 平山英喜：長尺摩擦杭の支持機構から見た設計上の留意点, 土と基礎, Vol. 40, No. 2, pp. 30~40, 1992.
- 17) 小林幸男：大型静的貫入試験結果と N 値との関係, サウンディングシンポジウム発表論文集, 土質工学会, pp. 115~120, 1980.
- 18) van der Veen, C. and Boersma, L.: The Bearing Capacity of a Pile Pre-determined by a Cone Penetration Test, Proc. 4th ICSMFE, Vol. 2, pp. 72~75, 1957.
- 19) Meyerhof, G.G.: Compaction of Sands and Bearing Capacity of Piles, Proc. ASCE, Vol. 85, No. SM6, pp. 1~29, 1959.
- 20) 平山英喜：杭の鉛直支持力に関する理論と実際への適用, 土と基礎, Vol. 36, No. 7, pp. 5~10, 1988.
- 21) トーマス・ホイテカー, (訳)岸田英明：杭基礎の設計, 彰国社, pp. 71, 124~125, 1978.
- 22) Reese, L.M. and O'Neill, M.W.: Drilled Shafts: Construction Procedures and Design Methods, ADSC, 1988.
- 23) 山肩邦男ほか：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, 第423号,

講 座

- pp. 137~146, 1991.
- 24) 真田道夫ほか：場所打ち杭の先端支持力と周面摩擦力の推定式，第19回土質工学研究発表会，pp. 987~988, 1984.
- 25) Terzaghi, K.: Discussion of "Pile-Driving Formulas, Progress Report of the Committee on the Bearing Value of Pile Foundations", Proc. ASCE, Vol. 68, pp. 311~323, 1942.
- 26) De Beer, E.: Different Behaviour of Bored and Driven Piles, Deep Foundations on Bored and Auger Piles, Van Impe (Ed.), Balkema, pp. 47~82, 1988.
- 27) 佐竹次男：旧規準で設計した建物基礎は大丈夫か？，建築技術，No. 444, pp. 177~184, 1988.
- 28) 阪口 理：建築基礎の現状と問題点，建築技術，No. 375, pp. 73~82, 1982.
- 29) 進藤 卓・森重龍馬：鉄道構造物の変位，土と基礎，Vol. 22, No. 12, pp. 13~20, 1974.
- 30) 高野 彬：地盤沈下地帯における高架橋の設計，基礎工，Vol. 6, No. 7, pp. 57~65, 1978.
- 31) 岸田英明・辻 定利：広域地盤沈下地帯における摩擦群杭基礎，建築技術，No. 459, pp. 183~190, 1989.
- 32) Semple, R.M. and Rigden, W.J.: Shaft Capacity of Driven Pipe Piles in Clay, Analysis and Design of Pile Foundations, J.R. Meyer (Ed.), ASCE, pp. 59~79, 1984.

訂 正

本誌4月号，(Vol. 40, No. 4, 通巻411号，1992年) および 5月号 (Vol. 40, No. 5, 通巻412号，1992年) にて下記のような誤りがありましたので，お詫び申し上げますとともに，ここに訂正いたします。

記

■ 4月号 山田清臣・鎌尾彰司・吉野広司・増田幸政 著「*N*値への影響因子に関する研究」

本文中の肩付きの参考文献の番号を訂正

27ページ 右欄 上から9行目の式 (9) の中の 12) を → 15) に訂正
 同じく 下から11行目の 14) を → 16) に訂正

■ 5月号 三宅達夫・赤本弘文・佐藤 毅 著「浚渫・埋立計画における遠心模型実験の利用」

27ページ 写真-2 が天地逆さま

書籍紹介

「建築基礎 plus 土を掘る技術と固める技術」

田中修身監修

本書は日頃1人でも多く建築基礎分野の技術者を育て，またこの分野の理解者をふやしたいと願っている監修者が，(株)フジタの技術陣と協力してまとめたもので，これから基礎の勉強をしたいと思う人々を対象として「わかりやすく，かつ役に立つ」ことを主眼とし，従来のいわゆる入門書や

教科書とは一線を画する1冊になっている。内容は，地盤(土)の基礎知識や地盤調査の方法から，直接基礎，杭基礎，根切り・山留め，地盤改良まで，建築基礎に関する項目を網らして，タイトルや解説，イラストなどにユニークな工夫の跡がうかがわれる。

A 5 判 298 ページ
 定価 3,500 円 (税込み)
 (株) 建築技術 刊