

岩盤を支持層とする 杭の先端極限支持力度の評価

田辺 晶規^{1*}・七澤 利明¹・河野 哲也¹

¹(国研)土木研究所 構造物メンテナンス研究センター (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

*E-mail: a-tanabe44@pwri.go.jp

施工機械の能力向上等により、道路橋において岩盤を支持層とする杭基礎の事例が増加してきている。一方で、施工時に杭先端地盤を乱すこと等により、沈下等の不具合事例が散見されている。また、各種基準では明確に支持力推定式が示されておらず、一般的な支持層の選定法や極限支持力度の評価法が明らかではない。本研究では、岩盤を支持層とする杭基礎の杭工法に応じた支持力特性を明らかにするための研究を行った。まず、収集した載荷試験結果を、杭工法や岩盤の条件等に応じて整理し、評価対象を選定した。そして、選定した試験結果をワイブル分布曲線で近似した上で、載荷荷重レベル等に注目して整理し、極限支持力を評価した。その上で、岩盤に支持された杭基礎の先端極限支持力度の推定方法を提案した。

Key Words : pile foundation, rock masses, vertical loading test, bearing capacity of pile

1. はじめに

施工機械の能力向上や山岳部での施工事例の増加等により、岩盤を支持層とする杭の設計・施工事例が増加してきている¹⁾。特に、場所打ち杭工法等の施工機械の能力向上に伴い、特殊なビットを用いることなどで、今まで掘削が困難であった岩盤についても、施工できるようになってきている。さらに、中掘り杭工法（セメントミルク噴出攪拌方式）やプレボーリング杭工法に関しても、掘削モータの大型化や掘削ビットの改良等により、泥岩やシルト岩等の軟岩での施工実績が見られる。

岩盤を支持層とする載荷試験やそれに基づく支持力機構に関する研究は、一般に多くの費用と時間がかかることや試験において高い載荷能力が求められること、岩種・風化程度等によって特性が異なることなどから、これまで体系的な研究が実施されておらず、結果として各種基準でも明確に支持力推定式が示されてこなかった。

一方で、杭基礎を一般に岩盤の支持層とする場合には、良好な支持層とみなされ、高い支持力が期待でき、特に鉛直支持力で問題になることはないと考えられてきた。そのため、設計者の判断により杭工法選定の判断や、支持力の推定等が行われている（例えば、良質な砂れき層と同等の値の適用等）。

しかし、亀裂や風化が著しい場合や施工時に杭先端地盤を乱すこと等により、沈下等の不具合を起こす事例が

散見されている。また、風化程度など岩盤の条件によっては、設計で期待した支持力が発揮されない場合がある。岩盤の支持力を推定するための調査法や確実な支持力発現のための施工管理方法についても確立されていない。

以上を踏まえて本研究では、岩盤を支持層とする杭基礎の杭工法に応じた支持力特性を明らかにするための研究を行った。まず、収集した載荷試験結果を、杭工法や岩盤の条件等に応じて整理し、評価対象を選定した。そして、選定した試験結果をワイブル分布曲線で近似した上で、載荷荷重レベル等に注目して整理し、極限支持力を評価した。その上で、岩盤に支持された杭基礎の先端支持力度の推定方法を提案した。

2. 既往の知見

(1) 場所打ち杭工法

道路分野のNEXCO 設計要領第二集 橋梁建設編²⁾（以下、設計要領）や鉄道分野の鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物³⁾（以下、設計標準）のように、鉛直載荷試験を行って杭先端の極限支持力度を設定するのが望ましいとしながら、硬質粘性土又は軟岩で載荷試験の実施が困難な場合に支持力推定式を示しているものもある。ただし、根拠となる載荷試験例が少なく、統計的検討に基づいた所定の推定精度が確保されたものでもないため、

参考程度の扱いとしている。

また、道路橋の設計実務では、道路橋示方書・同解説Ⅳ 下部構造編⁴⁾（以下、道示Ⅳ）等で岩盤を支持層とする場合の標準的な支持力推定式を示すに至っていないため、粘性土や砂れきの既往の支持力推定式を準用している事例もみられる。ただし、それぞれの支持力推定式の岩盤への適用性は不明であり、亀裂や風化程度等の条件によっては危険側となるおそれも否定できない。

場所打ち杭工法については岩盤に対して施工法としての適用性が相対的に高いことから、載荷試験実績は比較的多い。しかし、これまでは多方面で行われた試験結果を収集して、極限支持力に関する評価等を行った事例はない。

(2) 中掘り杭工法（セメントミルク噴出攪拌方式）及びプレボーリング杭工法

各種基準^{2) 4)}では、場所打ち杭工法と同様に、岩盤に対する支持力評価を行う場合は、鉛直載荷試験を実施して評価することが基本となっている。ただし、土木分野では場所打ち杭工法と比べて岩盤を支持層とする場合に使用されている事例は少ない。

個別の施工法における技術審査証明で、支持力推定式を提案しているものもあるが、評価対象とした載荷試験数は限定的である。また、建築分野での載荷試験例まで含めれば、場所打ち杭工法と同様に、載荷試験実績は一定数以上あると考えられるが、これまではそれら多方面の試験結果を収集して、極限支持力に関する評価等を行った事例はない。

3. 岩盤に支持させた杭の載荷試験事例の収集

岩盤に支持させた杭の載荷試験事例を土木及び建築の関係機関より94事例を収集し、評価を行った。ここで、深礎杭工法は平成24年の道示改定で場所打ち杭工法と別の扱いとなったため、今回のデータから除外している。

収集した事例（表-1参照）は、場所打ち杭工法及び中掘り杭工法（セメントミルク噴出攪拌方式）で半分程度となっており、岩盤を支持層とする場合に多く使用されていることが推察される。全体の32%を占める場所打ち杭工法のほとんどは、岩盤での施工能力及び道路橋での適用割合が高いオールケーシング工法である。上記工法に次いで3番目に多い杭工法は、鋼管の打込み杭工法（打撃工法）であり、道示Ⅳの参考資料に支持力推定式が示されていることから多く使用されていると考えられる。4番目に多い杭工法は、プレボーリング杭工法であり、建築での施工実績が多い工法で、載荷試験も建築分野で行われている。

収集した事例の中で、一軸圧縮試験を行っている事例は全体の10%程度であり、岩盤の力学的な特性を調査する岩石試験を行っている事例は少ない。一方で、多くは標準貫入試験により N 値を調査しているのみである。また、ボーリング調査により確認できるコアの形状・硬度あるいは風化程度を入手資料から確認できるものは少数であった。

4. 岩盤を支持層とする杭の鉛直載荷試験の評価

(1) 評価対象の選定

収集した事例の中から、岩盤を支持層とする場合の杭先端の支持力特性の評価に用いる事例・データを選定した。ここで、次のいずれかの条件に該当する事例は除外している。また、鋼管杭の打込み杭工法は既往の文献で支持力推定式が提案されているため本検討で対象としないものとした。

- ・杭工法が不明又は道示Ⅳに準拠しない杭工法の実例
- ・杭諸元及び杭先端の地盤条件が不明な事例
- ・静的載荷試験（押込み載荷試験、先端載荷試験等）が行われていない事例
- ・載荷荷重や変位が不明な事例
- ・押込み載荷試験で軸力分布が不明な事例

表-1に選定結果一覧を示す。全事例数は94例であり、その中で上記の除外条件に該当する事例を除いたものが33例である。杭工法別の支持力推定には一定数の試験データが必要であり、今回は5例以上のデータを有する場所打ち杭工法（オールケーシング工法）、中掘り杭工法（セメントミルク噴出攪拌方式）（以下、中掘り杭工法）、プレボーリング杭工法を評価対象とした。その結果、評価対象事例は29例となった。

表-2に評価対象とした載荷試験の概要を示す。

ここで、軟岩と硬岩の区分は、道示Ⅳに準じて一軸圧縮強さ q_u を指標とし、軟岩については 1MN/m^2 以上、硬岩については 10MN/m^2 以上を区分の目安としている。本研究では不明なデータも多いが、確認できたものはほとんどが軟岩であり、硬岩は1例であった。また、支持

表-1 選定結果一覧

杭工法	詳細	全事例数	%	該当事例数	評価対象事例数
場所打ち杭工法	オールケーシング工法	25	27	18	18
	不明	5	5	0	—
中掘り杭工法	セメントミルク噴出攪拌方式	20	21	5	5
	最終打撃方式	4	4	1	—
	コンクリート打設方式	3	3	0	—
打込み杭工法	打撃工法	14	15	1	—
	パイプロハンマ工法	7	8	2	—
プレボーリング杭工法	—	10	11	6	6
回転杭工法	—	2	2	0	—
その他	—	4	4	0	—
合計		94	100	33	29

表-2 評価対象とした載荷試験の概要

No.	工法	詳細	杭長 (m)	杭径 (m)	支持層 の岩種	岩種の 硬軟	載荷試験 方法	一軸圧縮 強度 q_u (kN/m^2)	先端 N 値
1	場所打ち杭工法	オールケーシング	34.1	1.0	石灰岩	不明	押込み載荷試験	—	17
2			19.5	2.0	花崗岩	不明	杭先端の 平板載荷試験	—	56
3			24.1	1.2	花崗岩	不明	先端載荷試験	—	136
4			14.3	1.2	花崗岩	不明	先端載荷試験	—	150
5			14.3	1.2	花崗岩	不明	先端載荷試験 (部分載荷方式)	—	150
6			18.6	1.2	花崗岩	不明	先端載荷試験 (部分載荷方式)	—	125
7			18.0	1.2	花崗岩	不明	先端載荷試験	—	35
8			23.5	1.0	花崗岩	不明	先端載荷試験	—	83
9			29.8	1.5	琉球 石灰岩	不明	先端載荷試験	—	38
10			18.0	1.2	砂岩	不明	先端載荷試験 (部分載荷方式)	—	50以上
11			13.5	1.2	砂岩	不明	先端載荷試験 (部分載荷方式)	—	50以上
12			19.6	1.2	炭質頁岩	不明	押込み載荷試験	—	107
13			8.0	1.0	砂岩	軟岩	押込み載荷試験	1,700	50以上
14			6.0	1.2	砂岩	硬岩	押込み載荷試験	18,800	50以上
15			5.4	1.6	凝灰岩	軟岩	押込み載荷試験	1,660	50以上
16			15.0	1.2	凝灰岩	軟岩	押込み載荷試験	3,500	50以上
17			11.5	1.5	砂岩	軟岩	押込み載荷試験	2,000	167
18			15.0	1.0	砂質泥岩	軟岩	押込み載荷試験	3,322	191
19	(コンクリート杭)	噴出掘削 (NAKS)	25.0	0.8	泥岩	不明	押込み載荷試験	—	75
20		噴出掘削 (DANK)	27.0	1.0	泥岩	軟岩	押込み載荷試験	3,000	167
21		噴出掘削 (DANK)	32.0	1.0	シルト岩	不明	押込み載荷試験	—	100
22		噴出掘削 (DANK)	62.0	1.0	泥岩	軟岩	押込み載荷試験	4,000	214
23		噴出掘削 (STJ)	33.0	0.8	泥岩	不明	押込み載荷試験	—	65
24	プレボーリング杭工法	—	9.0	0.6	角閃岩	不明	押込み載荷試験	—	51
25			23.0	0.5	泥岩	軟岩	押込み載荷試験	1,325	66
26			29.0	0.5	土丹	不明	押込み載荷試験	9,100	58
27			18.0	0.3	泥岩	不明	押込み載荷試験	—	60
28			18.0	0.35	シルト岩	軟岩	押込み載荷試験	—	166
29			39.0	0.6	シルト岩	不明	押込み載荷試験	—	45

層の岩種による分類でみると中掘り杭工法とプレボーリング杭工法では泥岩、土丹のように粘性土質の岩盤とみられる実績が多い。これは、施工機械の能力によるものと考えられる。そのため、表中で岩級区分を「不明」としているものについても、軟岩である可能性が高いと考えられる。

載荷試験方法としては、「押込み試験」、「先端載荷試験」、「先端載荷試験（部分載荷方式）」があるが、そのほか杭先端において行われた平板載荷試験を「杭先端の平板載荷試験」として評価対象とし、杭先端の極限支持力度を整理した。

(2) 試験における杭先端極限支持力度（試験値）の推定方法

先に示した 29 例の鉛直載荷試験の結果から杭先端の極限支持力度（試験値）を推定する方法を以下に示す。

ここで、杭先端の極限支持力度は、杭先端の荷重を載荷面積で除して求めた。載荷面積は、杭先端の平板載荷試験では載荷板径、押込み載荷試験と先端載荷試験では杭径、また先端載荷試験（部分載荷方式）ではジャッキ径とした。

a) ワイブル近似の適用性の検討

極限支持力度に相当する杭頭沈下量まで載荷している試験であっても、通常、杭頭沈下量 10% 丁度での計測値は

ないため、こうしたケースも含め、全ての載荷試験データをワイブル分布曲線式で近似・連続化した上で極限支持力度を評価している。宇都ら⁹⁾の提案しているワイブル曲線式は、式(1)で表される。

$$R_o / R_u = 1 - \exp(-(S_o / S_y))^m \quad (1)$$

ここに、

R_o : 杭頭における任意の杭軸方向荷重 (kN)

R_u : 杭頭における極限支持力度 (kN)

S_o : 任意の杭頭荷重によって生じる杭頭沈下量 (m)

S_y : 杭頭荷重が降伏支持力度 R_y 時の杭頭沈下量 (m)

$$R_y = 0.63R_u$$

m : 変位指数

式(1)は、杭頭荷重 R_o —杭頭沈下量 S_o 関係について適用される式であり、杭先端荷重 R_p —杭頭沈下量 S_o や杭先端荷重—杭先端沈下量 S_p 関係についての適用性は確認されていない。また、式(1)の適用性が確認されているのは、砂、砂れき、粘性土であり、岩盤に対する適用性は確認されていない。

収集した岩盤を支持層とする杭基礎の載荷試験では、杭先端荷重 R_p —杭先端沈下量 S_p のみ確認している試験もあるため、式(1)に関して杭先端荷重 R_p —杭先端沈下量 S_p 関係への適用性についても確認する必要がある。また、杭先端の極限支持力度を確認するために、杭先端荷重 R_p —杭頭沈下量 S_o 関係への適用性についても確認する必要がある。

そこで、岩盤の杭頭荷重 R_o —杭頭沈下量 S_o 、杭先端荷重 R_p —杭頭沈下量 S_o 、杭先端荷重 R_p —杭先端沈下量 S_p の標準誤差を、既に適用性が確認されている砂、砂れき、粘性土の杭頭荷重 R_o —杭頭沈下量 S_o の標準誤差と比較することで、岩盤へのワイブル曲線の適用性を確認する。図-1 には、その結果を示す。

ここで、標準誤差 SE は式(2)で示される量であり、適用性が高いほど小さい値となる。

$$SE = \sqrt{\sum e_t^2 / (n - k)} \quad (2)$$

ただし、 n = データ数、 k = 独立変数の数、 e_t = 残差

図-1 に示すように極限支持力度相当まで載荷された砂れきの実験値をワイブル曲線で近似した杭頭荷重 R_o —杭頭沈下量 S_o 関係から算出される標準誤差と、極限支持力度相当まで載荷された岩盤の実験値をワイブル曲線で近似した杭頭荷重 R_o —杭頭沈下量 S_o 関係から算出される標準誤差が同程度であるため、岩盤におけるワイブル曲線の適用性があるとした。また、岩盤での杭先端荷重 R_p —杭頭沈下量 S_o 及び杭先端荷重 R_p —杭先端沈下量 S_p も同等程度の標準誤差であるため、ワイブル曲線が適用できると考えられる。

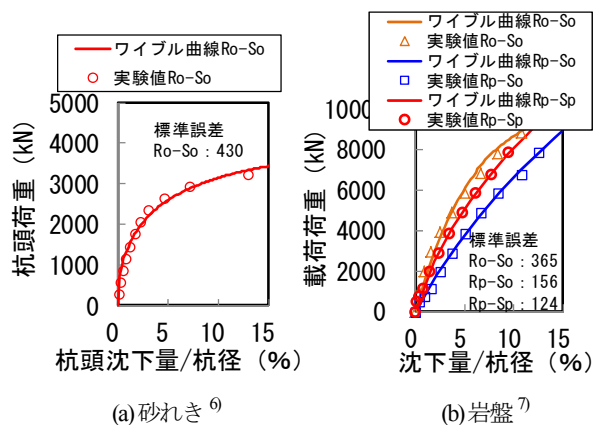


図-1 ワイブル曲線と実測値の標準偏差

b) 杭先端極限支持力度（試験値）発現時の変位レベル

道示IVの極限支持力は、静的荷重試験の結果より荷重－沈下量曲線が沈下量の軸にほぼ平行とみなしうるときの荷重とし、沈下量が杭径の10%を超える場合は、沈下量が杭径の10%のときの荷重とすると定めている。ここで、荷重－沈下量曲線とは杭頭部に関する記載であるが、杭頭部の沈下量に関連づけているのは杭基礎の鉛直沈下量が上部構造に与える影響を考慮し、設計上問題とならない範囲に制限することを意図している。

しかし、収集した荷重試験のうち場所打ち杭工法では、先端荷重により杭先端沈下量のみ計測しているものも多く、道示IVの評価方法が適用できない。このため、本文では、図-2に示す文献⁹⁾の砂、砂れき、粘性土のデータから、杭頭沈下量 S_0 が10%のときの杭先端沈下量 S_p を求めた。杭頭沈下量が10%のときの杭先端沈下量の中央値が9.0%であったため、このときの杭先端荷重を極限支持力と見なした。中掘り杭工法とプレボーリング杭工法については、すべて杭頭沈下量が10%のときの杭先端荷重が確認できたため、杭先端沈下量の中央値を使用していないが、図-2では参考までに中掘り杭工法での値を示した。中掘り杭工法では、杭頭沈下量が10%のときの杭先端沈下量の中央値は4.4%であり、場所打ち杭工法と比較して杭先端沈下量が杭頭沈下量に及ぼす影響が小さくなっている。

c) 荷重方法の違いを考慮した杭先端極限支持力度（試験値）の評価方法

個々の荷重試験は試験方法や荷重レベルが異なるため、杭先端極限支持力度の推定方法も異なってくる。こうした荷重試験の種類や荷重レベルに応じたデータの整理方法を図-3に示す。

図-3に示すように本検討では、荷重試験の種類や荷重レベルの違いにより分類する整理方法を提案している。まず荷重試験の種類で押込み荷重試験と杭先端での荷重試験に分類して整理している。押込み荷重試験

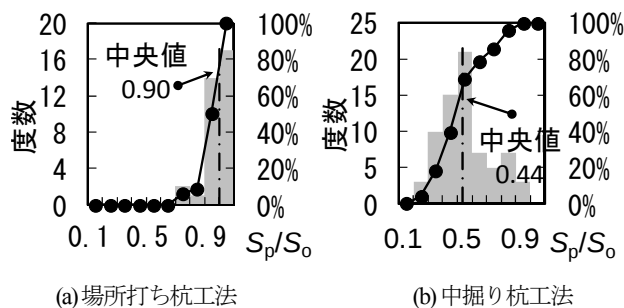


図-2 杭頭10%沈下時の杭頭沈下量 S_0 に対する杭先端沈下量 S_p の比(S_p/S_0)の度数分布

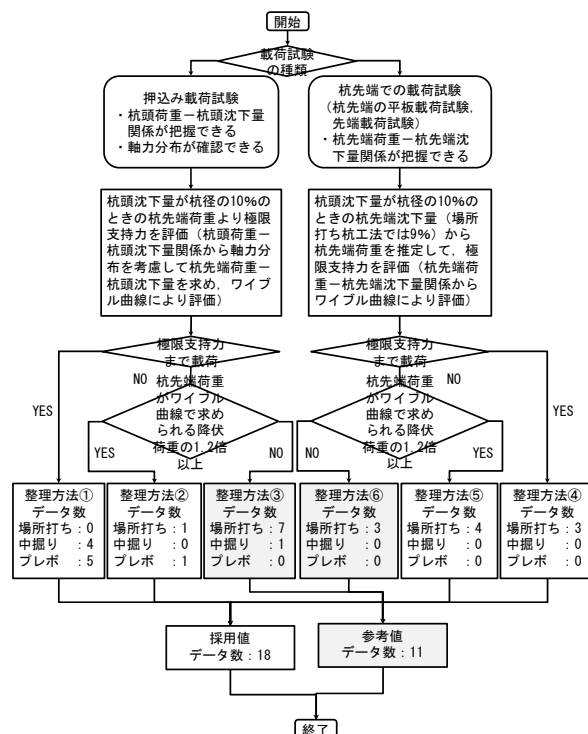


図-3 荷重試験データの整理方法に関するフロー

では、杭頭荷重 R_0 －杭頭沈下量 S_0 関係と軸力分布で杭先端の極限支持力度の評価を行うが、杭先端での荷重試験では、杭先端荷重 R_p －杭先端沈下量 S_p 関係のみから評価することがあるため区分している。なお、杭先端の平板荷重試験は、平板の周囲に拘束圧がないため、得られる極限支持力は実際より小さくなる傾向にあると考えられる⁹⁾。

その次に、荷重レベルの違いで、極限支持力まで荷重されているか否かで分類した。荷重されていない場合は、さらに杭先端荷重 R_p がワイブル曲線で求められる降伏荷重の1.2倍未満の場合には、極限支持力の推定精度が悪くなることが懸念されること⁹⁾から参考値として扱った。ここで、降伏荷重の1.2倍とした理由は、文献⁹⁾に示すように荷重不足のために近似精度が不十分であると考えられるデータを差別化するためである。

各杭工法の荷重試験データに基づく杭先端支持力度と杭頭又は杭先端沈下量との関係を図-4(a)～(d)に示す。

ここで、場所打ち杭工法については押込み載荷試験のほか杭先端での載荷試験もあるため、前者のデータを図-4 (a) に、後者のデータを (b) に示している。図-4 (a) については参考値扱いのデータが多いが、採用値と比較してワイブル曲線により推定される先端支持力度が低い傾向にある。なお、プレボーリング杭工法の中に直線的に増加する傾向の試験結果がみられ、これらは試験最大荷重がワイブルの降伏点の1.2倍未満となるが、杭頭沈下量が杭径の10%近く又はそれ以上まで載荷されているため、いずれも試験値として採用とした。

(3) 杭先端極限支持力度の推定値の算出方法

極限支持力度の推定値は、以降の1)～3)に示す方法により求めた。1)及び2)については、設計要領に記載される硬質粘性土や軟岩を支持層とする杭先端の極限支持力度の推定式である $3q_u$ ²⁾と $60N$ ²⁾を準用している。なお、3)については、1)又は2)により推定できない場合に用いた方法であり、変形係数を鉛直地盤反力度から逆算し、さらに一軸圧縮強度を変形係数と一軸圧縮強度の相関式の平均から推定しているため、他の方法と比べて推定精度は低いものと考えられる。

- 1) 杭先端の一軸圧縮試験が実施されている場合、一軸圧縮強さ q_{ul} から $q_d=3q_{ul}$ ²⁾として推定。
- 2) 一軸圧縮強さが不明なものの、杭先端の N 値が50以下もしくは換算 N 値が評価されている場合、 $q_d=60N$ ²⁾

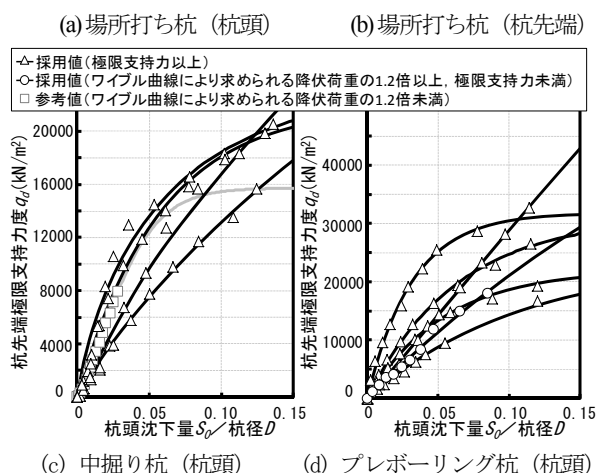
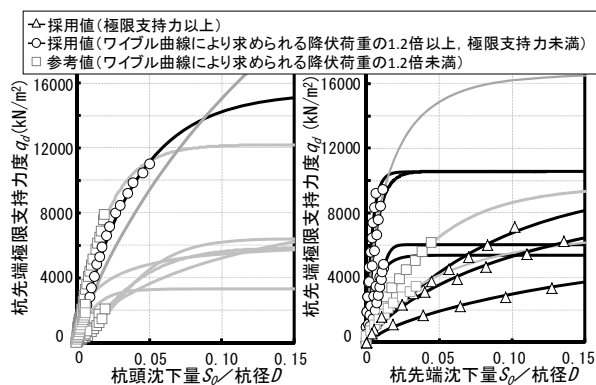


図-4 杭先端支持力度と杭頭 (又は杭先端) 沈下量との関係

(場所打ち杭工法), $q_d=200N$ ⁴⁾ (中掘り杭工法及びプレボーリング杭工法) として推定。

- 3) 1) 及び2) に該当しない場合、地盤工学会に示される変形係数 E と q_u の相関式の平均 $E=260q_u$ ⁹⁾より、変形係数 E から推定される一軸圧縮強さ q_{uE} を逆算し、 $q_d=3q_{uE}$ ²⁾より推定)。なお、この条件に該当する事例では岩種以外の地盤条件が不明であったため、杭の載荷試験結果から得られた鉛直地盤反力係数の逆算により変形係数を求めている。

(4) 岩盤を支持層とする杭先端極限支持力度の試験値と推定値の比較

図-5は、(2) に示す方法より推定した杭先端極限支持力度の試験値と (3) に示す方法により算出した杭先端極限支持力度の推定値との関係を示している。

図-5(a)が軟岩 (杭先端の一軸圧縮強さが不明な事例も含む) を支持層とする場所打ち杭工法, (b)が硬岩を支持層とする場所打ち杭工法, (c)が中掘り杭工法, (d)がプレボーリング杭工法に対する結果である。図-5中の点線は、既往の推定式と比較するために示しており、場所打ち杭工法では $3q_u$ 又は $60N$ で上限値を $5,000\text{kN/m}^2$ 、中掘り杭工法及びプレボーリング杭工法で $3q_u$ 又は $200N$ で上限値を $10,000\text{kN/m}^2$ としている。ここで、場所打ち杭工法の杭先端の極限支持力度の上限値に関しては、道示⁴⁾の良質な砂れき層 ($N \leq 50$) の上限値を準用した。中掘り杭工法とプレボーリング杭工法の上限値に関しては、道示IV⁴⁾の砂れき層の上限値を準用した。図-5(a)に示すように軟岩を支持層とする場所打ち杭工法では、既往の推定式が載荷試験結果の推定式が載荷試験結果の下限相当となっていることが確認できる。一方で、(a)に示す軟岩の一部と(b)に示す硬岩では、上限値を有す

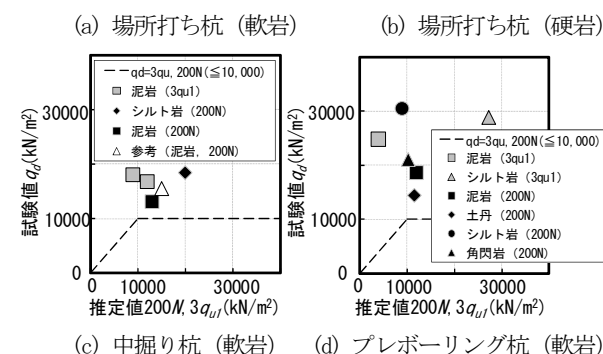
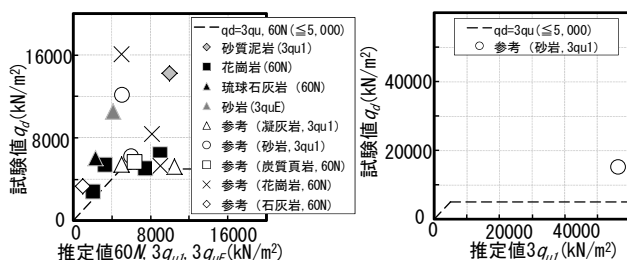


図-5 杭先端極限支持力度の試験値と推定値との関係

る既往の推定式を大きく上回る結果もあることが確認できる。図-4(a)(b)にも示すように降伏以降の支持力度は他の2工法に比べて伸びが小さいことが確認できる。

一方、図-5(c)(d)に示すように軟岩を支持層とする中掘り杭工法とプレボーリング杭工法では、上限値を有する既往の推定式を大きく上回る結果である。この2工法については、図-4(c)(d)からも確認できるように降伏以降の支持力度の伸びが大きく、場所打ち杭工法とは大きく異なる支持力特性であることが確認できる。

5. まとめ

本検討により得られた知見を以下に示す。

- ・収集した載荷試験結果は、場所打ち杭工法及び中掘り杭工法で半分程度となっており、特に、場所打ち杭工法では、ほとんどがオールケーシング工法である。また、岩盤の力学的な特性を調査する岩石試験を行っている事例は少なく、多くは標準貫入試験によりN値を調査しているのみである。
- ・既往の文献⁹⁾より、杭頭沈下量と杭先端沈下量の関係を分析し、杭先端沈下量しかない場合の極限支持力推定方法を提案した。
- ・岩盤の杭頭荷重－杭頭沈下量、杭先端荷重－杭頭沈下量、杭先端荷重－杭先端沈下量について、ワイブル曲線による近似が出来ることを確認した。
- ・載荷試験の種類や載荷荷重レベルに応じた載荷試験データの整理方法を提案した。
- ・杭先端極限支持力度の試験値と推定値との関係より、場所打ち杭工法では、既往の推定式が載荷試験結果の下限相当となっていることを確認した。一方で、その他2工法については、降伏以降の支持力度の伸びが大きく、既往の推定式を大きく上回る傾向にあることが分かった。

また、今後の課題について以下に示す。

- ・中掘り杭工法やプレボーリング杭工法は載荷試験が5例程度にとどまっているため、載荷試験数をさらに収集して、信頼性を高める必要がある。
- ・岩種の違い、風化や亀裂の程度等の違いによる杭先端の支持力に与える影響の分析が必要である。特に、硬岩は試験数が少ないことや、支持力発現までに大きな変形が生じるような岩種について確認を行う必要がある。
- ・今回収集した載荷試験の多くで、三軸圧縮試験や孔内せん断摩擦試験等の標準貫入試験に比べて精度の高い地盤調査が不足しており、岩盤条件に応じた信頼性の高い支持力推定式を提案するうえで課題となっている。そのため今後、載荷試験の実施に併せてこれらの地盤調査を実施することで、例えば風化や亀裂による変形特性の違いといった詳細な分析が可能となり、信頼性の高い支持力推定式を提案することが可能となると考えられる。

参考文献

- 1) 独立行政法人土木研究所：橋梁基礎形式の選定手法調査，土木研究所資料第4037号，2007。
- 2) 東日本高速道路(株)，中日本高速道路(株)，西日本高速道路(株)：設計要領第二集 橋梁建設編，2013。
- 3) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物，2012。
- 4) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編，2012。
- 5) 宇都一馬，冬木衛，桜井学：杭の載荷試験結果の整理方法，基礎工，Vol.10，No.9，pp21-30，1982。
- 6) 独立行政法人土木研究所：杭の軸方向の変形特性に関する研究，土木研究所資料第4139号，2009。
- 7) 独立行政法人土木研究所：岩盤を支持層とする杭の先端極限支持力度の評価，土木研究所資料第4303号，2015。
- 8) 栗山道夫：砂質系地盤に支持された深礎杭の鉛直載荷試験と支持力，基礎工，Vol.23，No.4，pp38～45，1995。
- 9) (社)地盤工学会：設計用地盤定数の決め方－岩盤編－，2007。

EVALUATION OF BEARING CAPACITY OF PILE ON ROCK MASSES

Akinori TANABE, Toshiaki NANAZAWA, Tetuya KOUNO

In these days, deficient examples such as the settlement appear by disturbing the tip ground of the pile during construction. In addition, the evaluation method of bearing capacity of pile is not clear, and is not shown in various specification definitely. In this study, we tried to clarify bearing capacity properties depending on the method of construction of the pile foundation. At first we chose evaluation objects depending on the conditions of the method of construction and the rock masses, load level. After having been similar to a Weibull distribution curve, we evaluated bearing capacity of pile. As a result, we suggested the evaluation method of bearing capacity of pile on rock masses.