

岩を支持層とする杭先端の極限支持力度の評価

(独) 土木研究所 正会員 ○田辺 晶規 河野 哲也、非会員 七澤 利明

1. はじめに

近年では、山岳部への道路橋の建設や施工機械の能力向上に伴い、岩を支持層とする杭基礎の施工事例が増加してきている¹⁾。その一方で、岩の杭先端の極限支持力度は明らかとなっておらず、道路管理者等によって個々に判断されているのが実情である。

本研究では、各機関より収集した岩の鉛直載荷試験結果から、場所打ち杭（全周回転式オールケーシング）及び中掘り杭（セメントミルク噴出攪拌方式）、プレボーリング杭を対象とし、杭の先端極限支持力度の分析を行った。

2. 収集した試験結果について

収集した杭の鉛直載荷試験の条件は、下表に示す。なお、3. で後述する参考値は表 1 中には示していない。

表 1 収集した試験条件

杭種	杭長 (m)	杭径 (m)	支持層	岩級区分	先端 N 値	一軸圧縮強度 (kN/m ²)	評価方法
場所打ち杭	19.5	2.0	風化花崗岩	D~CL級	56	—	④
	24.1	1.2	風化花崗岩	D~CL級	136	—	④
	14.8	1.2	風化花崗岩	D~CL級	125	—	②
	18.0	1.2	砂岩	不明	50以上	—	④
	13.5	1.2	砂岩	不明	50以上	—	④
	8.0	1.0	砂岩	不明	50以上	1,700	③
中掘り杭	15.0	1.0	砂質泥岩	不明	191	3,322	③
	27.0	1.0	泥岩	D~CL級	167	3,000	③
	32.0	1.0	固結シルト	不明	100	—	③
プレボーリング杭	62.0	1.0	泥岩	不明	214	4,000	④
	23.0	0.5	泥岩	不明	66	1,325	③
	29.0	0.5	土丹	不明	58	—	③
	18.0	0.3	泥岩	不明	60	—	③
	39.0	0.6	固結シルト	不明	45	—	③

3. 杭先端の極限支持力度の評価方法

道示IV編²⁾では、杭基礎の鉛直変位量が上部構造に与える影響を評価するために、杭先端荷重—杭頭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又は杭頭沈下量が杭径の 10%のときの荷重をもって極限支持力とすると定めている。しかし、本研究で収集した試験結果は、杭先端変位のみ計測しているデータも多い。これを踏まえた本研究での載荷試験の分析フローを図 1 に示し、それぞれの極限支持力度（実験値）の評価方法を図 2 に示す。ここで、杭先端沈下量しか計測されていない場合には、文献³⁾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 の関係を

整理して、杭先端の極限支持力度を求めている（図 3）。杭頭沈下量が 10.0% のときの杭先端沈下量の中央値は、場所打ち杭では 9.0%、中掘り杭では 4.4% であった。

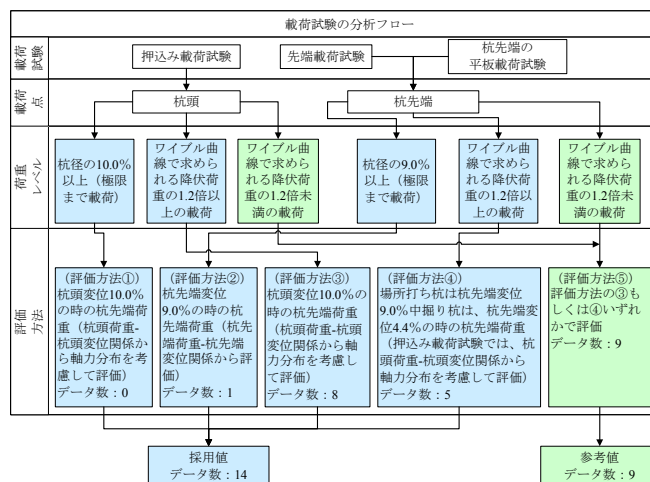


図 1 載荷試験の分析フロー

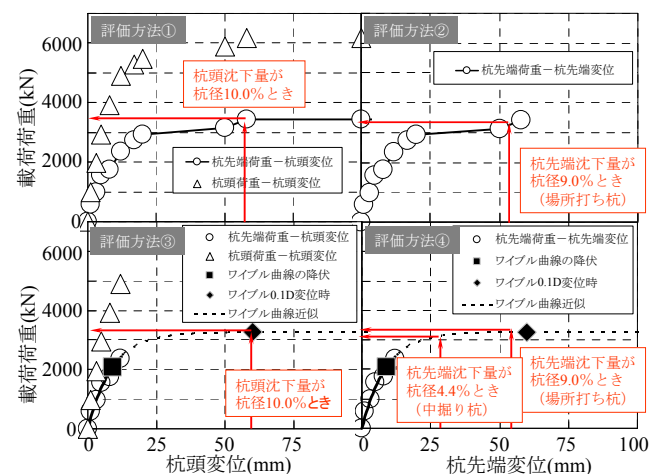


図 2 載荷試験結果からの先端極限支持力度（実験値）の評価方法

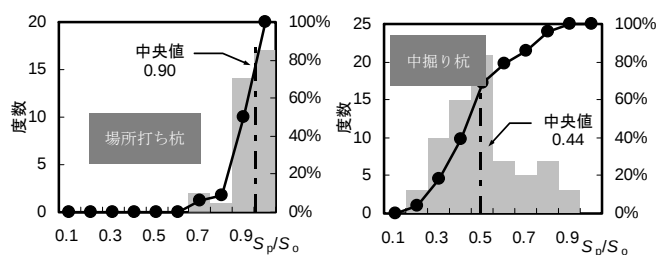


図 3 杭頭極限時の杭頭変位 S_0 に対する杭先端変位 S_p の比 S_p/S_0 の度数分布

図 1 中の評価方法③④⑤のように極限支持力まで載荷されていない場合、ワイブル曲線で極限支持力を推定

キーワード 杭基礎, 岩, 鉛直載荷試験, 先端支持力度

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1 丁目 6 番 土木研究所 Caesar TEL 029-879-6773

している³⁾。载荷レベルは、③④でワイブル曲線により求められる降伏荷重の1.2倍以上、極限支持力未満の試験結果を採用値として、1.2倍未満の場合は、载荷荷重不足のために近似精度が悪くなる可能性が既往の研究で確認されている⁴⁾ことから、本研究では参考値として扱った。また、ワイブル曲線の曲がり具合は、変位指数 m によって評価される。場所打ち杭で極限支持力まで载荷されている試験結果の再現性から、本研究では変位指数 m を1.0とした(図4)。ただし、試験結果をうまく評価できず変位指数 m に1.0以外を使用する場合は、図1中の⑤以外の条件でも参考値として扱った。

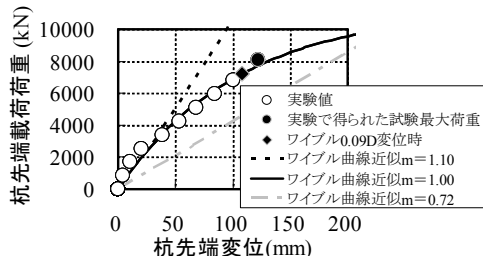
図4 ワイブル変位指数 m 

図5は、縦軸に载荷試験で得られた極限支持力の実測値と横軸に推定式より求めた極限支持力の推定値の関係を示している。推定値は、以下の(1)~(3)に示す方法により求めた。

4. 杭の先端極限支持力の分析結果

図5は、縦軸に载荷試験で得られた極限支持力の実測値と横軸に推定式より求めた極限支持力の推定値の関係を示している。推定値は、以下の(1)~(3)に示す方法により求めた。

(1)杭先端の一軸圧縮試験が実施されている場合、一軸圧縮強度 q_{u1} から $q_d=3q_{u1}$ ⁵⁾として推定。(2)一軸圧縮強度が不明なものの、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、 $q_d=60N$ ⁵⁾、 $q_d=200N$ ²⁾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 と一軸圧縮強度 q_u の相関式 $E=260q_u$ ⁶⁾より、変形係数 E から q_{uE} を逆算し、 $q_d=3q_{uE}$ ⁵⁾より推定。

図5中の点線は、既往の推定式と比較するために示している。ここで、場所打ち杭では、 $3q_u$ 又は $60N$ で上限値を $5,000kN/m^2$ ²⁾、中掘り杭及びプレボーリング杭で $3q_u$ 又は $200N$ で上限値を $10,000kN/m^2$ ²⁾としている。図

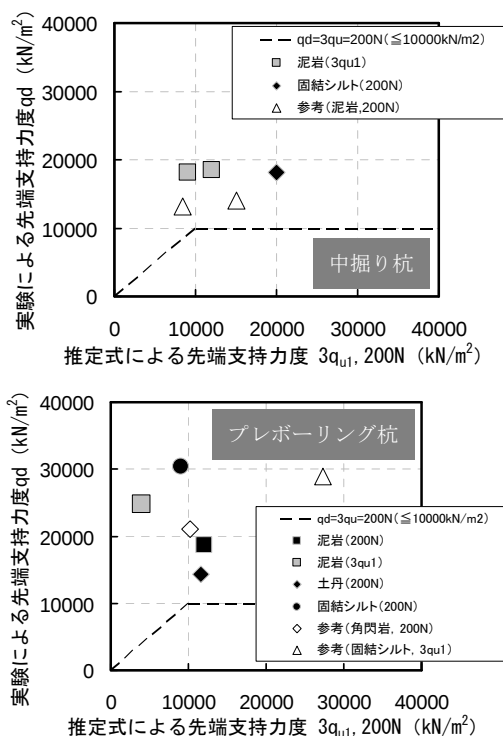
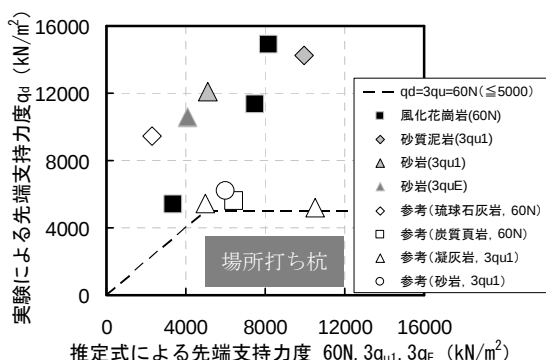


図5 岩種別の先端極限支持力推定値-実験値関係

より実測値は推定式を上回る結果であることが確認できる。なお、収集した試験結果の中には岩級区分が不明なものも多いものの、岩級や岩種による傾向は明確に見られない。ただし、中掘り杭(噴出攪拌方式)やプレボーリング杭は、施工上の特性から軟岩までの範囲で施工されていると考えられる。

5. おわりに

今回収集した载荷試験結果から、既往の推定式との比較結果を示すことができた。ただし、収集した試験結果の数は限定的で少ないため、亀裂や風化程度、膨張性の岩石等の影響を確認できておらず、その程度によっては、本研究で得られた結果よりも支持力が小さくなることも考えられる。一方で、今回の結果では推定式を大きく上回る実験値も少なくなかった。そのため、現場で载荷試験を実施しデータを蓄積・分析することで、さらに精度のよい支持力推定式が提案できると考えられる。

参考文献 1) (独)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) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV下部構造編,2012.3 3) (独)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. 4) (独)土木研究所：性能規定化における杭基礎の安定照査に関する研究,土木研究所資料第 4036 号,2007. 5) 東日本高速道路(株)ほか：設計要領第二集 橋梁建設編,2013. 6) (社)地盤工学会：設計用地盤定数の決め方-岩盤編-,2007.