

## 杭の押し込み試験で得られる鉛直支持力特性に関する新たな代表指標値の検討

杭 押し込み試験 基準

愛知工業大学 国際会員 ○渡邊康司  
 システム計測 正会員 中里彰人  
 地盤試験所 正会員 亀井秀一  
 中央大学 国際会員 西岡英俊  
 東京理科大学 国際会員 菊池喜昭

## 1. はじめに

杭の押し込み試験は、杭頭に押し込み方向の静的荷重を加える載荷試験のことであり、静的に軸方向押し込み力を杭頭に載荷した場合の挙動（各荷重に対する試験杭の変位量等の情報）や杭先端および杭周面における抵抗特性等の情報を把握することを目的に実施される。杭の押し込み試験方法は、地盤工学会基準“杭の鉛直載荷試験方法・同解説”<sup>1)</sup>（JGS1811-2002）に規定されている。本基準は、制定されてから約19年が経過しており、現在、JGS 杭の鉛直載荷試験基準改訂WG（グループリーダー：菊池喜明東京理科大学教授）にて改訂作業を進めている。既報<sup>1)</sup>では、現行基準<sup>2)</sup>における限界抵抗力の考え方や海外基準（ISO 22477-1, ASTM D1143M-07）における限界抵抗力の考え方に関してまとめるとともに、現行基準<sup>2)</sup>における限界抵抗力の評価に関する課題を整理した。本報では、改訂に関する検討項目のうち杭の押し込み試験で得られる鉛直支持力特性に関する新たな代表指標値の名称および定義を整理するとともに、後述する第一限界抵抗力（残留変位）に関して検討した結果および評価方法を報告する。

## 2. 鉛直支持力特性に関する代表指標値

現行基準<sup>2)</sup>では、鉛直支持力特性に関する代表値として第1限界抵抗力と第2限界抵抗力が示されている。第1限界抵抗力は、Fig. 1に示すように杭頭における荷重と変位量の関係を両対数目盛でプロットし、載荷初期の直線関係とある変位量に達して別の直線に移行する際に生じる折れ点を求め、折れ点に対応する荷重として定義される。第1限界抵抗力の判定においては、折れ点が明瞭に現れない場合や複数の折れ点が認められる場合がある。このような場合には、

$\log P$ - $\log S$  曲線だけでなく、 $S$ - $\log t$  法、 $\Delta S/\Delta \log t$ - $P$  法、残留変位量の急増点などの結果を総合して判断する必要がある。現行の第一限界抵抗力の算定方法は、「段階載荷方式・多サイクル方式」での試験を前提として規定されていた。基準改訂後は、「連続載荷方式」や「1サイクル」の採用の増加も期待されることから、文献<sup>1)</sup>において、試験で把握したい挙動に応じて載荷方法を選定する考え方を提案している。そこで、現行の第一限界抵抗力は、多サイクル方式によって得られる情報と、荷重保持方式（現行基準における段階載荷方式）によって得られる情報とを区分することが必要と考え、細分化することを提案する。以下に第一限界抵抗力に関する各代表指標値とその定義を示す。

①第一限界抵抗力（残留変位） $R_{1r}$ 

「残留変位挙動」のうち、ゼロ荷重段階まで除荷する繰り返し載荷によって得られた荷重と除荷後の残留変位量の関係において、杭先端の残留変位が杭先端部径  $D_{pmax}$  の2%に達するまでの範囲で明確な折れ点が認められる場合には折れ点に対応する荷重。明確な折れ点が認められない場合には杭先端の残留変位が杭先端部径  $D_{pmax}$  の2%に対応する荷重

②第一限界抵抗力（クリープ） $R_{1c}$ 

「荷重保持時挙動」のうち、段階的な荷重保持載荷によって得られた荷重と変位増分を荷重保持時間の対数で除して求めたクリープ速度の関係において、初期の線形と見なせる範囲の直線と最終荷重保持段階およびその1つ前の荷重保持段階を結んだ直線との交点の荷重

なお、第一限界抵抗力（クリープ）は、現行基準の $\Delta S/\Delta \log t$ - $P$ 法に対応する考え方であり、ISO 22477-1のAppendix-Aに

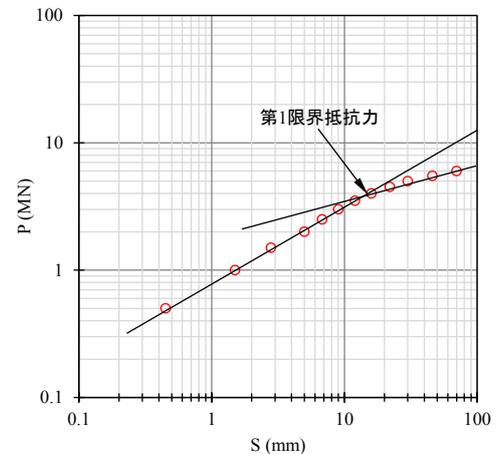


Fig. 1 現行基準での第1限界抵抗力の判定

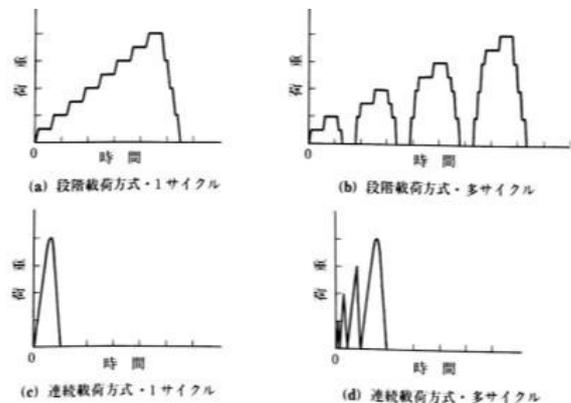


Fig. 2 現行基準での第2限界抵抗力の判定

A Study of New Representative Index Values on Vertical Bearing Capacity Characteristics of Piles in Compression Load Tests

Koji WATANABE, Aichi Institute of Technology  
 Akihito NAKAZATO, System Measure, Co., Ltd.  
 Shuichi KAMEI, Jibanshikenjo Co., Ltd.  
 Hidetoshi NISHIOKA, Chuo University  
 Yoshiaki KIKUCHI, Tokyo University of Science

準じて具体的な交点の求め方をより明確に定義した。上記の代表指標値のうち、第一限界抵抗力（残留変位）に関して、荷重試験データを分析して検討を行った結果を3章に示す。

### 3. 第一限界抵抗力（残留変位）の検討

#### 3.1 荷重試験データ

本検討を実施するにあたり収集した荷重試験データは、全36件である。荷重試験データの内訳は、Table 1に示す通りで、排土杭工法29件、非排土杭工法7件である。排土杭工法の荷重試験データは、主として羽根付き鋼管杭、打撃による鋼管杭などを対象としたものである。一方、非排土杭工法の荷重試験データは、主として場所打ち杭、プレーボーリングによる既製杭などを対象としたものである。収集したデータは、各ゼロ荷重段階での試験杭の残留変位量が得られるような荷重方式により実施された荷重試験により得られた。

#### 3.2 分析結果および第一限界抵抗力（残留変位）の評価方法

Fig. 3, Fig. 4に排土杭工法および非排土杭工法で得られた  $P_0/P_{0u}-S_r/D_{pmax}$  関係を示す。なお、 $P_0/P_{0u}$ は各段階における荷重を極限荷重で正規化した値、 $S_r/D_{pmax}$ は各サイクルの除荷時において得られた杭先端における残留変位を杭先端部径（杭先端部が拡径されている工法の場合は拡大径を採用）で正規化した値をそれぞれ示している。Fig. 3(a), Fig. 4(a)に示すように、排土杭工法、非排土杭工法における各曲線に差異はあるものの、正規化残留変位  $S_r/D_{pmax}$  が大きくなるにつれて各曲線の勾配が変化しており、曲線の勾配が変化する折れ点の存在が認められる。折れ点の発生する変位レベルを検証するために、Fig. 3(b)およびFig. 4(b)に正規化残留変位  $S_r/D_{pmax}=0.1$  までの範囲を拡大した  $P_0/P_{0u}-S_r/D_{pmax}$  関係を示す。これらの図より、両工法において  $S_r/D_{pmax}=0.01\sim 0.02$  程度の範囲に曲線の勾配が変化する折れ点が発生していることがわかる。したがって、第一限界抵抗力（残留変位）の判定は、工法などにより差異はあるものの正規化残留変位0.02の範囲における先端残留変位量に対応する荷重として判定できると考えられる。また、文献<sup>3)</sup>では多くの荷重試験データを分析した結果に基づき、降伏荷重を判断するための指標として  $S_r/D_{pmax}=2.0$  (%)における荷重を求めることが推奨されている。以上のことから、第一限界抵抗力（残留変位）を  $S_r/D_{pmax}=0.02$  の範囲における荷重として算出することが妥当であると考えられる。上記の分析結果に基づき改訂検討中の基準では、第一限界抵抗力（残留変位） $R_{1r}$ を荷重-残留変位量曲線から求めることとし、先端残留変位量が杭先端部径  $D_{pmax}$  の2%までの範囲で明確な折れ点が生じる場合には折れ点に対応する荷重、折れ点が生じない場合には先端残留変位量が杭先端部径  $D_{pmax}$  の2%に対応する荷重として評価することを提案する。なお、第一限界抵抗力（残留変位） $R_{1r}$ の算出に用いる荷重-残留変位量曲線は、各サイクル終了時の残留先端変位量とそのサイクルの最大荷重の関係を折れ線で結んで評価する。

#### 4. まとめ

本報告では、地盤工学会基準“杭の鉛直荷重試験方法・同解説”の改訂作業における検討のうち、押込み試験で得られる鉛直支持力特性の新たな代表指標値を示すとともに、代表指標値の一つである第一限界抵抗力（残留変位）の算定に関して荷重試験データを分析した。その結果、残留先端変位量が杭径の2.0%に到達する範囲における最大荷重として評価することが妥当であると考えられる。

【参考文献】1) 西岡ほか：杭の鉛直荷重試験基準における限界抵抗力の考え方、第54回地盤工学研究発表会、pp. 913-914, 2019. 2) 地盤工学会：杭の鉛直荷重試験方法・同解説、2002. 3) 日本建築学会：建築基礎構造設計規準・同解説、1974.

Table 1 荷重試験データ

工法	件数
排土杭工法	29
非排土杭工法	7
	36

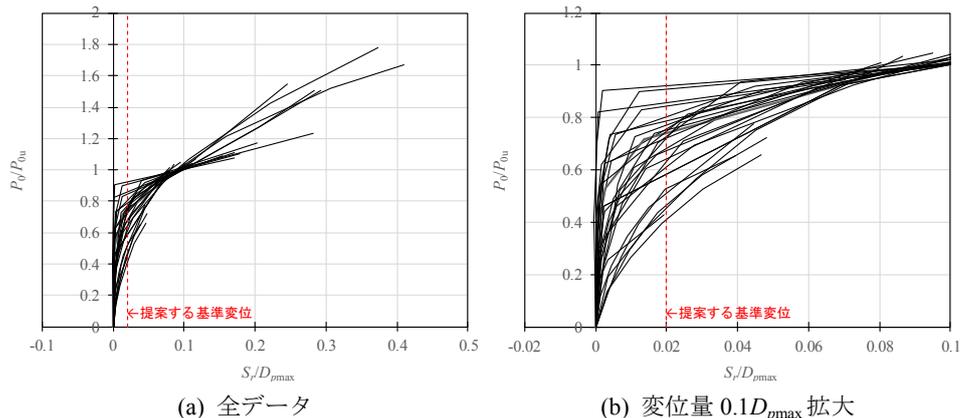


Fig. 3  $P_0/P_{0u}-S_r/D_{pmax}$  関係（排土杭工法）

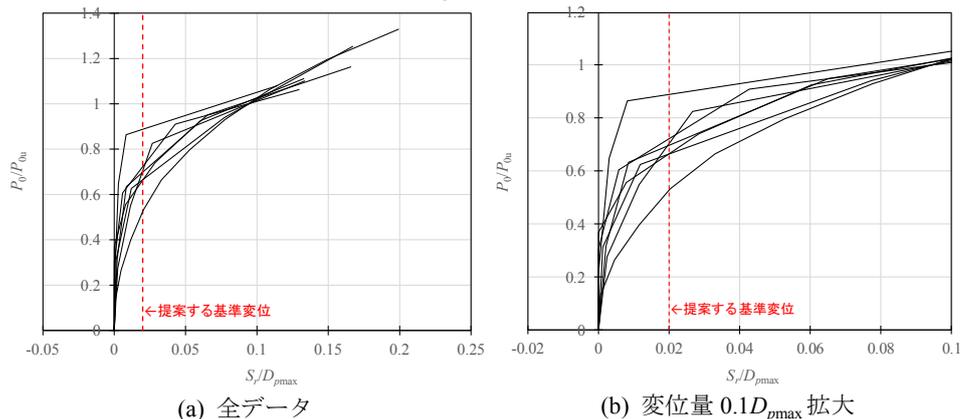


Fig. 4  $P_0/P_{0u}-S_r/D_{pmax}$  関係（非排土杭工法）