

## 中位から非常に軟らかい粘土地盤における木杭基礎の支持力の算定 Estimate of bearing capacity of wood piles driven into medium to very soft clay

○森井俊廣\*・伊藤広明\*\*・小田里司\*\*\*

MORII Toshihiro, ITO Hiroaki and ODA Satoshi

### 1 はじめに

軟弱地盤に建設される用水路など比較的低レベルの载荷条件下では、基礎に木杭が使われることが多い。廉価で運搬が容易であり施工に際し大型重機を必要としないこと、また一般に地下水位が高く常に浸漬状態にあるため腐朽しにくいなどの利点があげられる。木材の利用により森林育成を通して CO<sub>2</sub> の吸収固定を促進でき、また半永久的に地中に打設すれば炭素貯蔵効果も期待できる<sup>1)</sup>ため、木杭の積極的な利用は地球環境問題への取り組み策としてすぐれて時宜に合ったものともいえる。

木杭基礎は、土地改良事業計画設計基準<sup>2)</sup>によると「摩擦杭に準じた設計を行ってよい。」とされる。現行、道路橋示方書<sup>3)</sup>に準拠することが多いようであるが、その中で、木杭が用いられるような軟弱な地盤では、土の粘着力を土質試験等に基づいて設定したうえで支持力を算定するよう求められている。本文では、3 年度間にかけて実施した杭の押し込み試験に基づいて木杭基礎の支持力特性を分析し、*N* 値が 8 程度以下の中位から非常に軟らかい粘土地盤に適した支持力算定法を提案する。

### 2 支持力算定式

摩擦杭の鉛直支持力は、先端支持力と周面摩擦力の和で与えられる<sup>4)</sup>。道路橋示方書によると、この支持力は杭の軸方向押し込み力に対する極限支持力  $R_u$  として、表 1 の①、②および③式で求めることができる。土質力学理論の塑性解析に基づく算定式<sup>4)</sup>は①、④および⑤式となる。これらより、軟らかい粘土地盤での木杭の支持力算定では、 $R_u$  の大部分が周面摩擦力で受けもたれることから、結局のところ非排水せん断強さ  $c_u$  をいかに合理的に決定するかがキーとなる。

表 1 杭基礎の支持力算定式 (粘土地盤)

支持力算定法	道路橋示方書 <sup>3)</sup>	塑性解析 <sup>4)</sup>
極限支持力 (kN/m <sup>2</sup> )	$R_u = q_d \cdot A + U \cdot \sum(L_i \cdot f_i)$ ①	
先端支持力度 (kN/m <sup>2</sup> )	$q_d = 90N (\leq 4,500)$ ②	$q_d = 9.6c_u$ ④
周面摩擦力度 (kN/m <sup>2</sup> )	$f_i = c$ または $6N (\leq 70)$ ③ ただし $N \leq 5$ では別途土質試験より $c$ を定める。	$f_i = c_u$ ⑤

A: 杭先端の断面積(m<sup>2</sup>), U: 杭の周長(m), L<sub>i</sub>: 地盤の第 i 層の厚さ(m), c: 粘着力(kN/m<sup>2</sup>), c<sub>u</sub>: 非排水せん断強さ(kN/m<sup>2</sup>), N: N 値

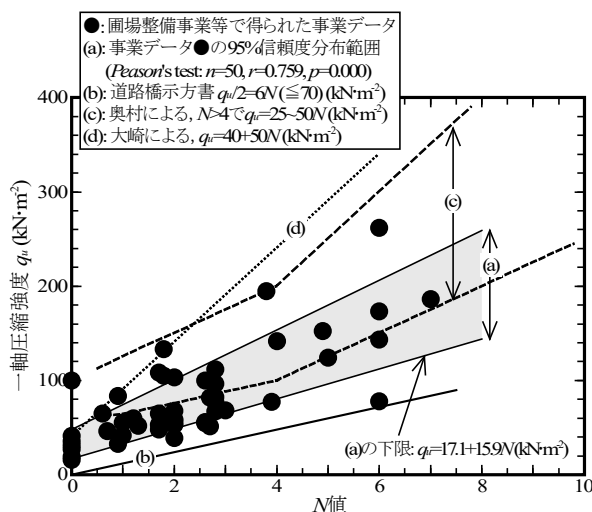


図 1 公表されている  $q_u \sim N$  値関係および圃場整備事業等で実施された一軸圧縮試験結果

*N* 値と  $c_u$  の関係、あるいは  $c_u$  は一軸圧縮強さ  $q_u$  の 1/2 であるから、*N* 値と  $q_u$  の関係は古くから調べられてきており、たとえば図 1 の(c)線や(d)線が公表されている<sup>5)</sup>。同図の(b)線は表 1 の③式であるが、 $N \leq 5$  では使えないとされているためあくまでも参考である。前述の杭の押し込み試験を進めるにあたり、新潟県下越・中越地域での圃場整備事業等 18 事業で実施された一軸圧縮試験を取りまとめ 50 点の  $q_u$  を得た。これを図 1 に●で示し、その 95%信頼度分布幅を(a)

\* 新潟大学自然科学系フェロー Institute of Science and Technology, Niigata University, \*\*新潟県農地部 Niigata Prefectural Government, \*\*\*新潟県長岡地域振興局 Niigata Prefectural Government

キーワード: 木杭基礎, 支持力算定式, 極限支持力, 非排水せん断強度, *N* 値, 杭の押し込み試験

線で表した。公表されている(c)線や(d)線に比べ低めであるが、 $q_u$ は $N$ 値と有意な相関性をもつ。図1より、 $f_i$ の算定に用いる $c_u$  ( $=q_u/2$ )  $\sim N$ 値関係として、過大に見積もらない範囲で95%信頼度分布の下限値を採択する。つまり、

$$q_u = 2c_u = 17.1 + 15.9N \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad \textcircled{6}$$

### 3 杭の押し込み試験に基づく木杭の支持力特性

おおよそ $N$ 値8以下の粘土地盤において杭長3~6m、杭径0.15~0.20mの主に松材を用いて、計21件の杭の押し込み試験を実施した。測定された第1限界抵抗力 $R_{L1}$ および第2限界抵抗力 $R_{L2}$ を、⑥式を用いて①、②および③式より算定した $R_u$ と比較すると、図2のようになる。 $R_{L1}$ は、杭の周面抵抗力がほぼ極限状態に達した際の抵抗力、これに対し、 $R_{L2}$ は、荷重~沈下データから特定する際の基準が踏襲的であり物理的な意味が明確でないが、これまでの長い間の経験の蓄積により、押し込み抵抗が最大となった時の荷重つまり極限支持力に相当すると解釈されている<sup>6)</sup>。図2(a)から、算定された $R_u$ は先端支持力の分だけ $R_{L1}$ より大きくなっていると考えられる。一方図2(b)では、 $R_u$ は $R_{L2}$ より小さめとなっている。木杭では一般に末口径より元口径が大きいので、末口径を基準にして算定される $R_u$ はこのテーパーを考慮すると大きめの値となる。実際、杭の押し込み試験のうち確認できる8件についてテーパーを考慮して $R_u$ を算出し直すと有意に10.1%ほど大きくなり、より $R_{L2}$ に対応した値となる。したがって、現行 $R_u$ は $R_{L2}$ より小さめではあるものの、おおむね満足できるレベルで極限支持力(ここでは $R_{L2}$ )を記述していると判断できる。このことは、 $R_u$ の算定に用いた⑥式が実務的に不適當でないことを保証するものでもある。

### 4 まとめ

木杭の極限支持力は、先端支持力と周面摩擦力の和として算定できる。施工の主な対象となる $N$ 値が8程度以下の中位から非常に軟らかい粘土地盤においては、このうち周面摩擦力は非排水せん断強さで決まり(③式および⑤式)、これを地盤調査の $N$ 値から⑥式を用いて求めることができる。一方、先端支持力は、もともと極限

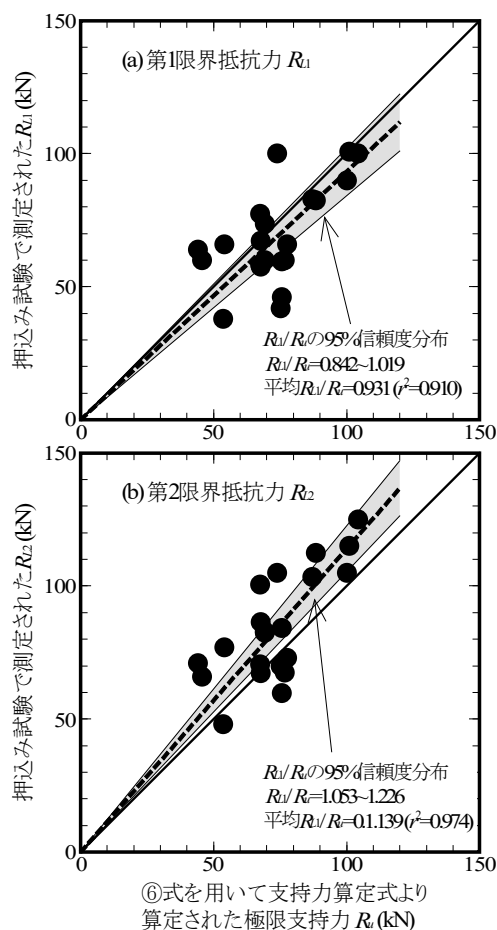


図2 ⑥式を用いて算定された極限支持力と杭の押し込み試験で測定された第1および第2限界抵抗力との比較

支持力に占める割合が小さいこともあり、道路橋示方書の②式あるいは塑性解析に基づく④式のいずれで算定しても大きな差は生じない。

### 参考文献

- 1) 沼田淳紀：地盤での木材利用による地球温暖緩和策，地盤工学会誌，67(4)，pp.247-27，2019。
- 2) 農林水産省農村振興局整備部設計課（監）：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「水路工」，農業農村工学会，pp.312-313，2014。
- 3) 日本道路協会（編）：道路橋示方書（IV下部構造編）・同解説 平成29年11月，日本道路協会，pp.237-250，2017。
- 4) 山口柏樹：土質力学，技法堂出版，pp.253-295，1984。
- 5) 地盤工学会（編）：地盤調査の方法と解説，地盤工学会，pp.308-310，2013。
- 6) 地盤工学会（編）：杭の鉛直載荷試験方法・同解説，地盤工学会，pp.19-47，2018。