

引抜き試験のデータによる杭の残留引抜き抵抗力の検討

正会員 ○小椋仁志*

杭 残留引抜き抵抗力 最大引抜き抵抗力
引抜き試験

1. はじめに

杭の終局状態の設計を行う時に重要になる**残留引抜き抵抗力 R_{tr}** は、**本会建築基礎構造設計指針¹⁾**(以下、基礎指針)では**最大引抜き抵抗力 R_{tu}** の1/1.2とされている。しかし、その根拠は明確には示されていない。筆者は、これまでプレボーリング拡大根固め工法で施工された14組の同一条件の既製杭に対する引抜き試験と押し込み試験の結果から、引抜き方向の周面摩擦力について検討してきた²⁾。その中で残留値についても検討し、 R_{tr} が R_{tu} の0.9倍程度になることを示した。今回、場所打ち杭などのデータも追加して改めて検討したので、その結果について報告する。

2. 引抜き試験データの概要

文献2)や1998~2009年の発表報文をまとめた文献3)などから、80件以上の引抜き試験のデータを集めた。このうち、最大杭頭変位量が杭径の10%に達していないデータや、拡底杭や先端羽根付き鋼管杭など引抜き時に大きな支圧抵抗が生じる施工法によるデータを除くと、 R_{tr} の検討に用いられるデータは23件となった。鋼管杭(埋込みマイクロパイル)と場所打ち杭が1件ずつで、他はプレボーリング〔拡大〕根固め工法による既製コンクリート杭(PHC杭、SC杭)である。節杭も含まれているが、節杭と節のない杭を継いだ試験杭があること、両者は**引抜き抵抗力 R_t ~杭頭変位量 S_o** 関係では大きな違いは見られなかったことなどから、両者を区別して扱わないこととした。

図1に、検討に使用したデータの**杭径 D** (杭の本体径、節杭は節部径)と**杭長 L** (根入れ長)の関係を示す。 D は162.5~1200mm(平均813mm)、 L は4~54m(平均14.5m)となっている。凡例で杭種の後の「砂」・「粘」は、杭長の2/3以上を砂質土・粘性土が占めるデータであり、「両」は両方がほぼ半分ずつ含まれる地盤を示している。

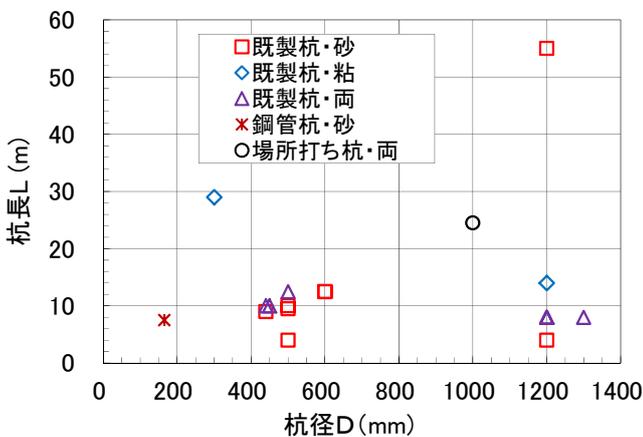


図1 検討に用いた引抜き試験データの杭径と杭長

3. 検討に用いた $R_t \sim S_o$ 関係

基礎指針では $R_t \sim S_o$ 関係を図2のように、 R_t が R_{tu} に達したあと減少し、一定値に収束するようなモデルを示している。

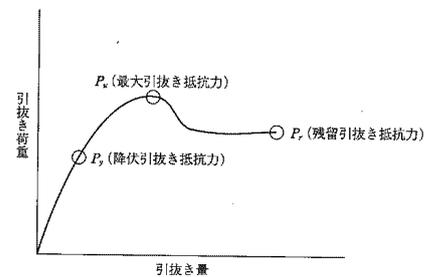


図2 $R_t \sim S_o$ 関係のモデル¹⁾

図3は、今回の検討に用いたデータの $R_t \sim S_o$ 関係である。図2のような $R_t \sim S_o$ 関係の中にはあるが、多くは R_t が R_{tu} に達したあと減少し続けるケースや、 R_t が増加し続けるケースが多い。基礎指針に示されている20件の $R_t \sim S_o$ 関係⁴⁾でも、同じような傾向が見られている。

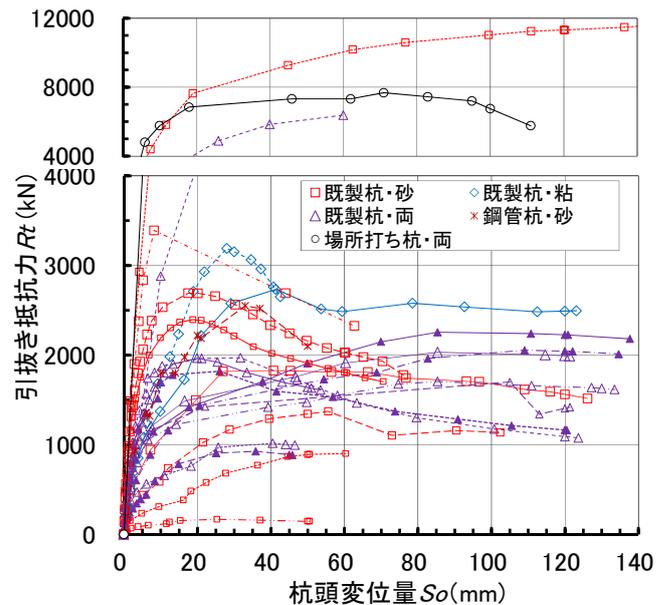


図3 検討に用いた引抜き試験の $R_t \sim S_o$ 関係

4. R_{tr}/R_{tu} の検討

前述のように $R_t \sim S_o$ 関係で R_t が一定値に収束することは少ないことから、 R_{tr} を $S_o=0.1D$ 時の R_t の値とし、 R_{tu} との関係を示したのが図4である。なお、 R_t が増加し続けるケースでは、 R_{tu} は $S_o=0.1D$ 時の R_t の値を採用した。 R_{tr}/R_{tu} の最小値は0.55、最大値は1.00、平均値は0.90、(R_{tr} の平均/ R_{tu} の平均)は0.91となっている。このことから、 R_{tr} は平均して R_{tu} から0.9倍程度に減少した値であり、基礎指針の $R_{tr}=R_{tu}/1.2=0.83R_{tu}$ (注:杭自重を考慮しない)は安全側として妥当な値といえよう。杭種や土質

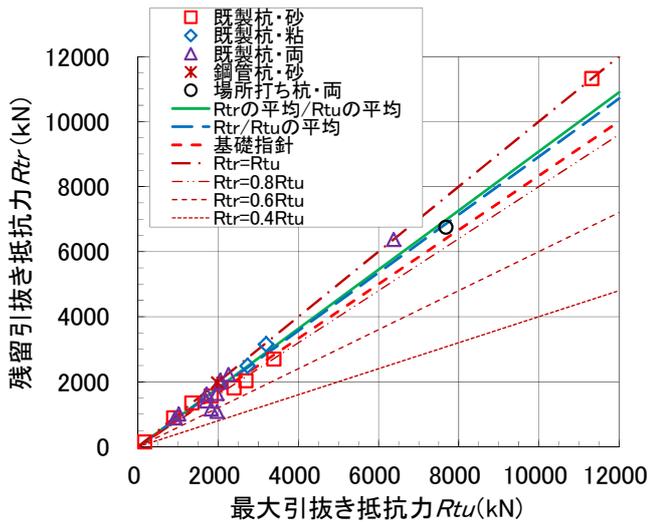


図4 R_{tr} ($S_o=0.1D$ 時の R_t) $\sim R_{tu}$ 関係

による R_{tr}/R_{tu} の差は、あまり見られない。なお、 R_{tr}/R_{tu} が 0.64 以下の 2 件は、 $D=120\text{mm}$ 、 $L=7.5\text{m}$ の短い大径杭のデータである。

引抜き抵抗は先端抵抗に比べて杭径の影響は小さいものと考えられる。そこで、 S_o が 100mm、75mm、50mm、25mm に達した時の R_t を R_{tr} として、 R_{tu} との関係を検討した。ただし、これらの S_o よりも R_t が R_{tu} に達した時の S_o が大きいデータは除外している。 R_{tr}/R_{tu} のデータ数、最小値、最大値、平均値、(R_{tr} の平均/ R_{tu} の平均) は、

- $S_o=100\text{mm}$ では 8、0.60、1.00、0.87、0.88、
- $S_o=75\text{mm}$ では 5、0.68、1.00、0.86、0.89、
- $S_o=50\text{mm}$ では 9、0.80、1.00、0.88、0.88、
- $S_o=25\text{mm}$ では 4、0.99、1.00、0.96、0.95 となった。

$S_o=50\text{mm}$ 時の R_{tr} と R_{tu} の関係を図5に示すが、最小値は 0.80 以上と他のデータとあまり変わらなくなっている。

5. R_{tr}/R_{tu} と杭径、杭長との関係

$S_o=0.1D$ 時の R_{tr}/R_{tu} が 0.64 以下のデータが短い大径杭であることから、 R_{tr}/R_{tu} と D 、 L および L/D との関係を検

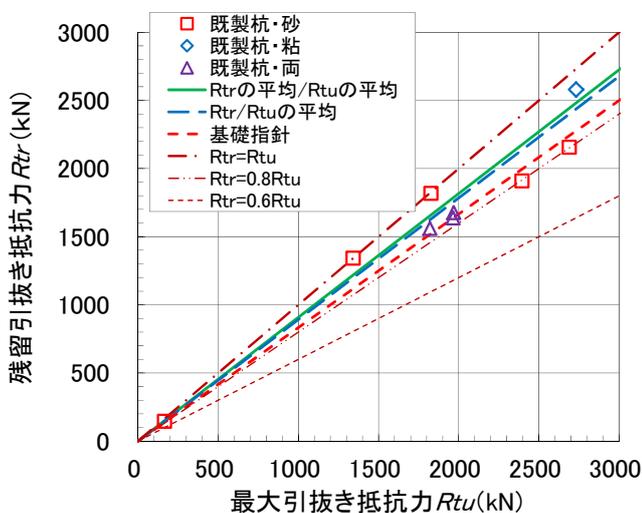


図5 R_{tr} ($S_o=50\text{mm}$ 時の R_t) $\sim R_{tu}$ 関係

討した。図6と図7に $R_{tr}/R_{tu} \sim L$ 関係、 $R_{tr}/R_{tu} \sim L/D$ 関係を示す (R_{tr} は $S_o=0.1D$ 時の R_t の値)。回帰直線を求めると、それぞれ $R_{tr}/R_{tu} = 0.893+0.00170L$ 、 $R_{tr}/R_{tu} = 0.849+0.00183L/D$ となり、 $L>50\text{m}$ 、 $L/D>80$ では R_{tr} は R_{tu} に等しいとみてよいものと判断される。 $R_{tr}/R_{tu} \sim D$ 関係も検討したが、回帰直線は $R_{tr}/R_{tu} = 0.907+0.000022D$ と、 D はほとんど影響していないという結果となった。

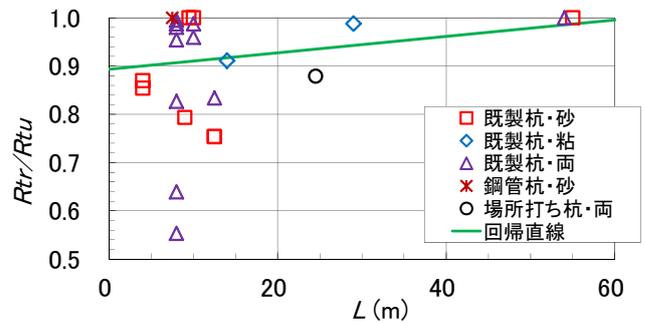


図6 杭長 $L \sim R_{tr}/R_{tu}$ 関係

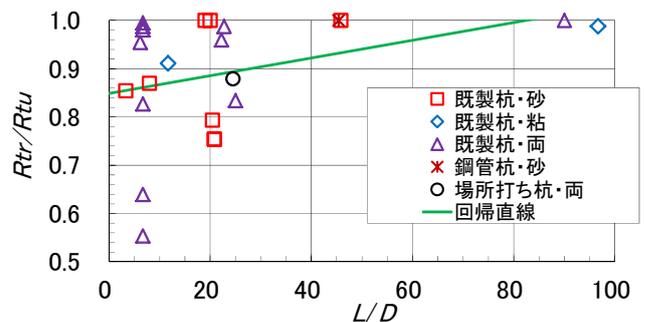


図7 長さ径比 $L/D \sim R_{tr}/R_{tu}$ 関係

6. おわりに

本報では、23 件の引抜き試験のデータから検討した結果、残留引抜き抵抗は平均的には最大引き抜き抵抗力の 0.9 倍に減少すること、基礎指針の低減係数(1/1.2)は安全側で妥当な値と判断されること、杭長や長さ径比が大きいほど最大値から減少しやすいことなどが分かった。

押し込み方向の支持力に比べて、引抜き抵抗に関する研究は少なく、引抜き試験データも少ないのが現状である。今後、引抜き試験のデータが蓄積されて、引抜き抵抗に関する検討が重ねられることを期待したい。

【参考文献】

- 1) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針、pp.238-249、2001.10
- 2) 小椋仁志：プレボーリング拡大根固め工法杭の引抜き方向の周囲摩擦力とばね定数の検討(押し込み方向との比較)、日本建築学会大会学術講演梗概集(中国) B-1、pp.611-612、2017.8
- 3) 小椋仁志・尾古健太郎・井上波彦：既往の文献データによる杭の引抜き抵抗の検討(その1 最大周囲摩擦応力度)、(その2 降時変位量)、日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸) B-1、pp.629-632、2010.9
- 4) 茶谷文雄：杭の引抜き抵抗について、日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)、pp.1317-1318、1989.10