

## 高圧噴射攪拌式の地盤改良による損傷杭の補修・補強に関する研究

## (その3) 載荷試験結果

地盤改良 高圧噴射攪拌 既存杭  
鉛直載荷試験 支持力発現機構

正会員 ○井上波彦\* 正会員 島村淳\*\*  
正会員 田井秀迪\*\*\* 正会員 楠浩一\*\*\*\*  
正会員 柏尚稔\*\*\*\*\* 正会員 二木幹夫\*\*\*  
正会員 久世直哉\*\*\*

## 1. 鉛直載荷試験の概要

載荷試験は、図1に示す通り、被災杭の周辺の改良体を築造後にフーチング部分を含めて既存躯体から切り出し、その上部に設置した鋼製の載荷梁(写真1)を介して鉛直荷重を加え、フーチング上部の荷重及び沈下量を計測することで実施した。反力を確保するために地盤アンカー(耐荷重1,200kN×4本)を配置し、また、フーチングの周辺の地盤については、摩擦を切るための掘削を行った。

## 2. 載荷重の設定および載荷サイクル

試験において設定した計画載荷サイクルを図2に示す。サイクルは地盤工学会基準(JGS1811-2002:杭の押し込み試験方法)に基づき定めた。最大荷重は6サイクル目の3,600kNであり、これは設計図書における杭No.1の長期許容支持力110tの3倍(3,234kN)を極限支持力の目安と仮定して設定した。

参考として、杭No.1(セメントミルク中掘り工法、杭周固定液なし)の極限支持力 $R_u$ について、平成13年国交省告示第1113号及び旧建築基準法第38条の大臣認定工法を参考に次の式(1)に基づき算定した結果、 $R_u=3,273\text{kN}$ となり、上記とおおむね整合する値が得られた。

$$R_u = \alpha \bar{N} A_p + (\beta \bar{N}_s L_s + \gamma \bar{q}_u L_c) \phi \quad (1)$$

ここで、 $\alpha$ : 200(告示第5のセメントミルク工法)、 $\beta \bar{N}_s$ : 15(旧認定工法での数値)[kN/m<sup>2</sup>]、 $\gamma \bar{q}_u$ : 15(旧認定工法での数値)[kN/m<sup>2</sup>]、 $\bar{N}$ : 60(告示第5の杭先端付近の平均N値の上限)、 $A_p$ : 0.197(杭先端の有効断面積 $\pi D^2/4$ )[m<sup>2</sup>]、 $L_s$ : 16.0(杭周地盤のうち砂質地盤に接する長さの合計(G.L.-24.8m~-40.8m))[m]、 $L_c$ : 22.9(杭周地盤のうち粘性土地盤に接する長さの合計(G.L.-1.9m~-24.8m))[m]、 $\phi$ : 1.57(杭の周長 $\pi D$ )[m]

## 3. 載荷試験結果

鉛直載荷試験の結果として、載荷荷重(P)と鉛直変位(S)の関係を図3に、各載荷段階の荷重及び鉛直変位を両対数で表した関係を図4に、それぞれ示す。

載荷試験の結果、最大荷重(3,600kN)の段階におけるフーチング部の沈下量は8.7mmであった。一般に極限支持力の判定に用いられる第2限界抵抗力における杭先端の沈下量が杭径の10%であるが、今回対象とした杭No.1(杭径500mm)についてはそれに達しておらず、実際の極限支持力の数値は最大荷重をさらに上回ると考えられる。フーチングの鉛直変位を杭頭部の鉛直変位とみなして一般的な杭の荷重-沈下関係図<sup>1)</sup>を図3の試験の荷重-

沈下関係と重ね合わせた結果を図5に示す。杭頭部に改良体を有する杭の場合、後述するように支持力発現機構が単杭と異なる可能性があるが、今回の試験結果を載荷初期の荷重-沈下関係に当てはめた場合、試験最大荷重の2倍程度の極限支持力を有するものと考えられる。

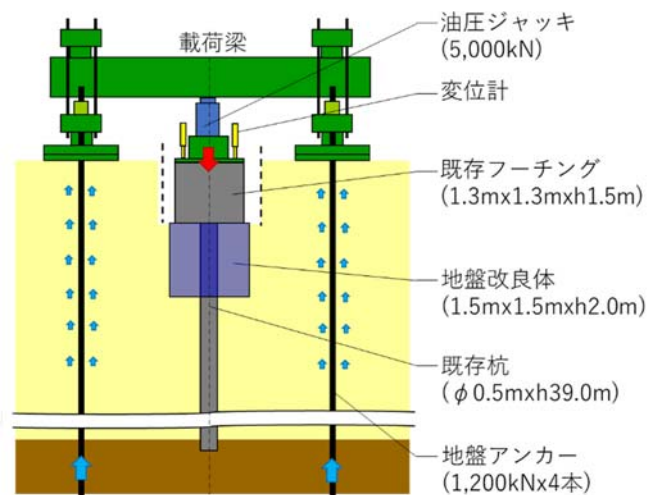


図1 載荷試験概要



写真1 載荷試験(載荷梁)の状況

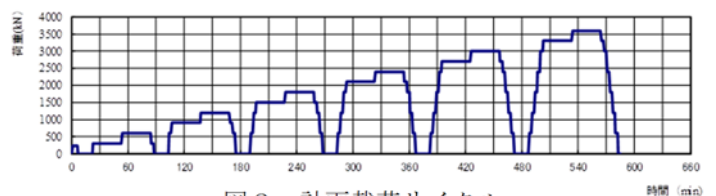


図2 計画載荷サイクル

## 4. 支持力発現機構に関する検討

今回検討した改良体によって補修・補強した杭を実務設計で用いるにあたっては、杭頭部が補強された杭の鉛直支持力の発現機構について明確にしておく必要がある。一例として原設計における杭の支持力発現機構と比較したも

のを図6に示す。

試験における支持力発現機構を図6b)と考えた場合の鉛直支持力 $P$ は①杭先端抵抗 $R_p$ 、②杭周面摩擦抵抗 $R_f$ 、③改良体下部の支圧抵抗 $R_{x1}$ 、④改良体周面の摩擦抵抗 $R_{x2}$ の総和となる。ここで④の $R_{x2}$ については既往の知見を流用できると考えられるが、③の $R_{x1}$ に関しては、圧縮土塊域の影響が明確でないことから、この評価を行う。各抵抗に関しては、次の通りとなる。

①杭先端抵抗 $R_p$  : 961kN

荷重試験の沈下量を杭の弾性歪みとして計算した数値

$$R_p = A_e \cdot E \cdot \Delta S / L \quad (2)$$

ここで、 $A_e$  : 杭の断面積[m<sup>2</sup>]、 $E$  : 杭のヤング係数[kN/m<sup>2</sup>]、

$\Delta S$  : 沈下量[mm]、 $L$  : 杭長[m]

②杭周面摩擦抵抗 $R_f$  : 1952kN

旧認定工法の支持力算定式における摩擦力の項に基づき計算した数値

③改良体下部の支圧抵抗 $R_{x1}$

$$R_{x1} = A_{x1} \cdot \tau_{x1} \quad (3)$$

ここで、 $A_{x1}$  : 圧縮土塊域 (既往の節杭に関する技術評価の内容を参考に、杭軸方向に対する傾斜角を45度、底面の径を改良体下面に内接するものとした円錐台とする) の側面積[m<sup>2</sup>]、 $\tau_{x1}$  : 圧縮土塊域の影響を考慮した抵抗力度 (支圧に対する換算係数) [kN/m<sup>2</sup>]

④改良体周面の摩擦抵抗 $R_{x2}$  : 188kN

$$R_{x2} = A_{x2} \cdot \tau_{x2} \quad (4)$$

ここで、 $A_{x2}$  : 改良体の側面積[m<sup>2</sup>]、 $\tau_{x2}$  : 改良体周囲地盤のせん断強度 (地盤調査に基づく一軸圧縮強度 31.25 の1/2) [kN/m<sup>2</sup>]

以上より、試験における最大荷重 (3,600kN) を鉛直支持力 $P$ とおき、式(5)から③の $R_{x1}$ は次の通りとなる。

$$R_{x1} = P - (R_p + R_f + R_{x2}) \quad (5)$$

$$= 3600 - (961 + 1952 + 188) = 499 \text{ [kN]}$$

したがって、今回の試験における改良体下部の支圧に関する圧縮土塊域の影響を考慮した抵抗力度 $\tau_{x1}$ について、周辺地盤の平均N値 $\bar{N}$ を既報 (その1) 図4に基づき3として表現すると、次の式(6)の通りとなる。ここで得られた係数 75.6 は、結果として既往の杭の支持力に関する技術評価において節杭の下面に対して与えられる数値とよく整合している。

$$\tau_{x1} = R_{x1} / A_{x1}$$

$$= 499 / 2.2 = 226.8 = 75.6 \bar{N} \quad (6)$$

## 5. まとめ

高圧噴射攪拌式の地盤改良を被災した杭の補修・補強に適用し、鉛直荷重試験によって当初設計における許容支持力以上の数値が得られることを確認した。今後は、補修・補強効果に関する設計が適切に実施できるよう、圧縮土塊域の形状および影響のより詳細な把握、既存杭と改良体との付着強度などについて検討が必要と考えられる。

\* 国立研究開発法人 建築研究所

\*\* ケミカルグラウト 株式会社

\*\*\* 一般財団法人 ベターリビング

\*\*\*\* 東京大学

\*\*\*\*\* 国土交通省 国土技術政策総合研究所

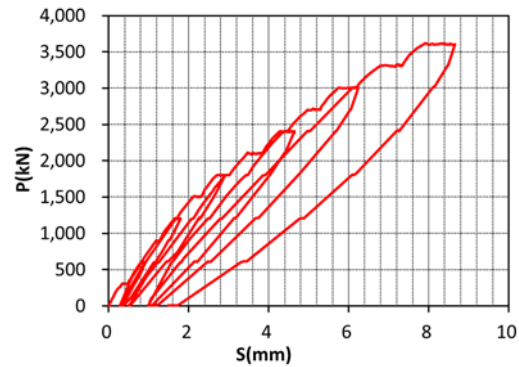


図3 載荷荷重 (P) - 鉛直変位 (S) 関係

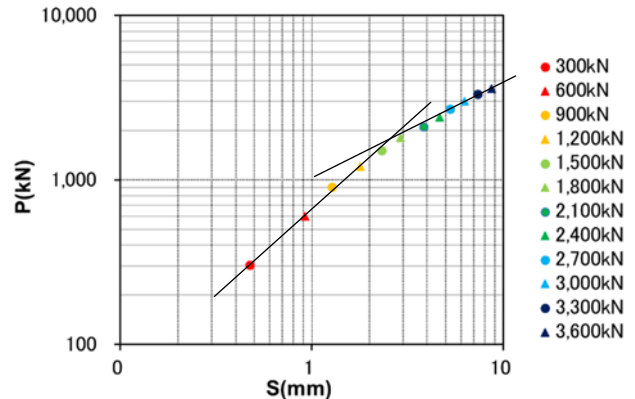


図4 log P - log S 関係

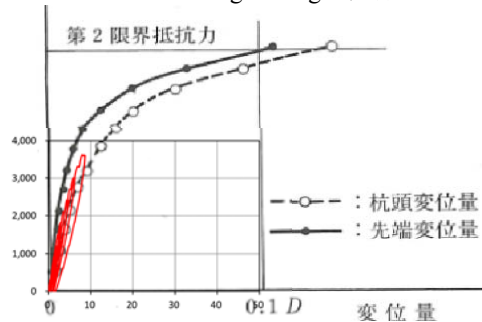


図5 杭 No.1 と一般的な杭<sup>1)</sup>の荷重-沈下関係の比較

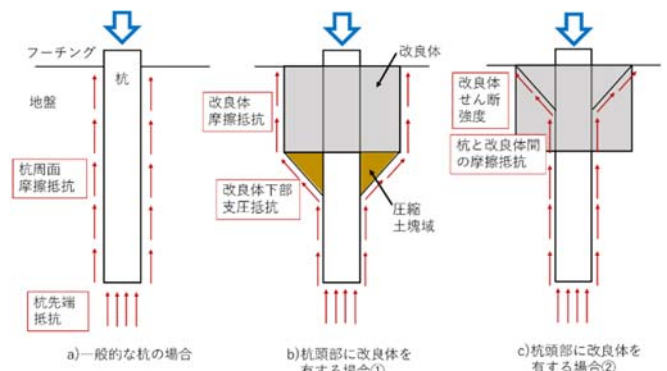


図6 鉛直支持力発現機構の例

## 【参考文献】

- 1) 杭の鉛直荷重試験方法・同解説 第1回改訂版：社団法人地盤工学会, 2002.5
- 2) 建築基礎構造設計指針 (第2版)：日本建築学会, 2001.10

\* Building Research Institute

\*\* Chemical Grouting Company

\*\*\* Center for Better Living

\*\*\*\* University of Tokyo

\*\*\*\*\* National Institute for Land and Infrastructure Management