

杭と土のうを併用した基礎の原位置載荷実験（その1）

株式会社テクノックス 正会員 ○河合 拓也 非会員 平山 勇治
 鉄道総合技術研究所 正会員 土井 達也, 室野 剛隆
 名古屋工業大学 正会員 張 鋒

1. はじめに

著者らは、図1に示すような杭と土のうを併用した基礎（以下、提案構造）を開発している^{1),2)}など。提案構造は、杭頭に土のうを敷設し、その上に直接基礎を構築するものであり、構造物の長周期化による応答加速度の頭打ち効果や、杭頭水平力の抑制、杭頭接合構造の省略を期待している。本稿では、実材料、実応力レベルの条件における提案構造の地震応答特性を把握することを目的に、原位置載荷実験（水平交番載荷試験）を行った結果について報告する。

2. 原位置載荷実験概要

図2に原位置載荷実験の概要を示す。実験場所は茨城県坂東市で、地盤は地表より埋土（ローム質土）、凝灰質粘土、細砂とシルトの互層から構成される。杭頭部のN値は1~6程度と小さく、杭先端はN値20程度の細砂に定着させた。載荷杭は、ソイルセメント柱状体に羽根付きの鋼管を埋設した構造（改良径 $\phi 500\text{mm}$ 、鋼管径 $\phi 165\text{mm}$ 、羽根径 $\phi 300\text{mm}$ ）とし、水平載荷時に2本の杭が一体として挙動（杭頭水平力分散）させることを目的に、滑車状の鋼製板とD19鉄筋（SD345）を用いた杭頭繋ぎ材を杭頭部に設置した。土のう体は、ジオテキスタイルと中詰め材（粒度調整砕石M-30、 $\rho_{\text{dmax}}=2.2\text{g/cm}^3$ ）、不織布から構成される土のうを三層に積み重ね、土のう全体をジオテキスタイルでロール状に一体化させて構築した。土のう一体当りの寸法は、幅 $0.5\text{m} \times$ 長さ $1.0\text{m} \times$ 高さ 0.1m とし、中詰め材を締固め度95%（重量110kg程度）にて締固め、結束バンドにてジオテキスタイルを縫合した。試験体は、載荷杭の打設→杭頭部掘削処理→頭繋ぎ材→土のう体→基礎く体（RC造、 $f_{ck}'=24\text{N/mm}^2$ ）の手順にて作製・設置した。載荷実験は、地盤工学会規準に準じ、実構造体を想定した鉛直荷重を載荷した状態で水平力を段階的に載荷（正負交番載荷）させた。試験時は、図2に示す載荷荷重と加力点（基礎く体頭部）水平・鉛直変位量および土のう体（載荷盤面）の土圧分布、杭頭繋ぎ鉄筋および載荷杭深度方向のひずみ分布を確認した。図3に載荷ステップ図を示す。く体（重量80kN）を設置後に計測を開始

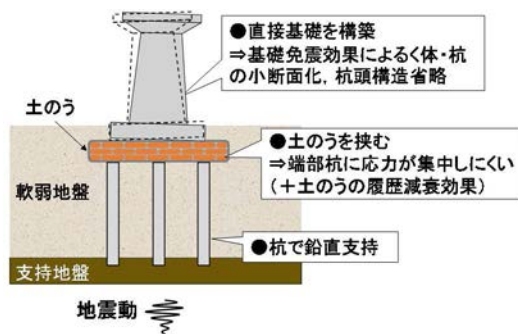
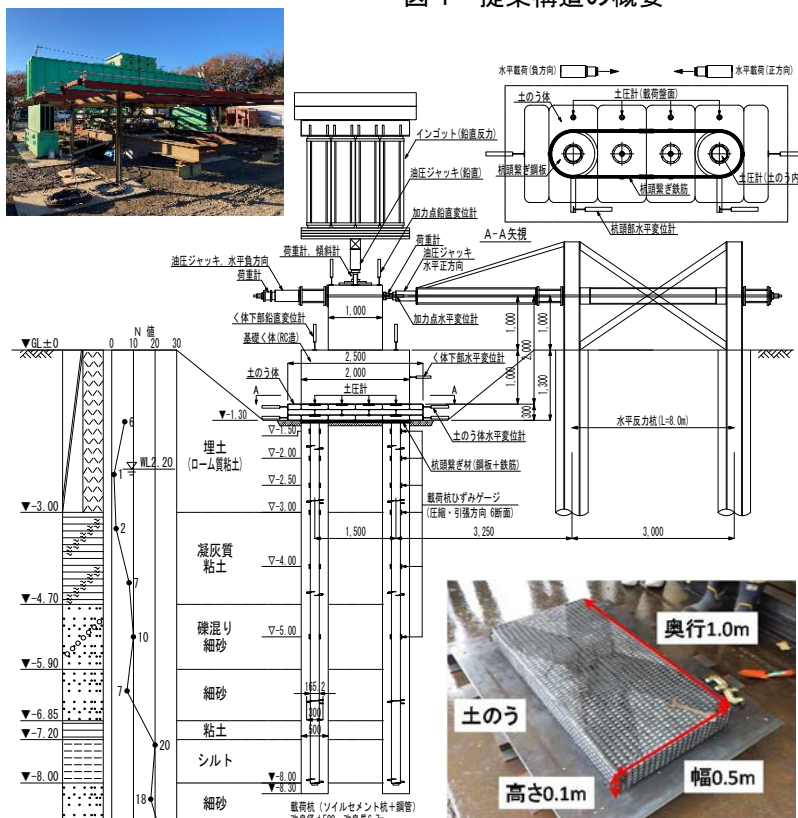
図1 提案構造の概要²⁾

図2 原位置載荷実験の概要

キーワード 土のう, 杭, 原位置載荷実験, 荷重~変位関係

連絡先 〒108-8380 東京都港区芝 5-25-11(ヒューリック三田ビル 4F) 株式会社テクノックス TEL 03-3455-7792

し、上部工荷重相当の鉛直荷重 390kN を載荷後、50kN, 100kN, 150kN の水平力を荷重制御により天端に正負交番載荷した。3 サイクル目（水平荷重 150kN）にて加力点水平変位量が急増したため、4 サイクル目は載荷方法を変位制御に変更して加力点変位量 60mm まで載荷し、5 サイクル目では加力点変位量 100mm まで載荷した。

3. 杭と土のうを併用した基礎の荷重～変位関係

図 4 に水平荷重によるフーチング底面の回転モーメント（以下、回転モーメント）～フーチング回転角関係を示す。く体の回転角はく体天端に設置した傾斜計から、回転モーメントは（載荷荷重）×（フーチング底面から加力点までの高さ 2m）により求めた。回転モーメントが 200～250kNm 程度に到達した段階で回転剛性の顕著な低下がみられる。直接基礎の設計におけるフーチングの浮き上がりが生じる回転モーメントは $(470\text{kN} \times 2\text{m}) / 6 = 157\text{kNm}$ であるため、回転剛性の低下は、く体のロッキングによりフーチングが浮き上がり、フーチングの接地面積が小さくなったことで生じたものと考えられる。図 5 に 5 サイクル目の正方向（左方向）100mm 載荷時の供試体状況を示すが、目視でもフーチング右端で浮き上がりが生じていることが確認できる。また、回転角が大きい領域では、履歴曲線が逆 S 字型の形状を示している。これは、載荷時に回転変位の進行によりフーチング端が浮き上がり、除荷時に浮き上がったフーチング端が降りるように挙動するためである。

図 6 に載荷荷重～加力点水平変位関係を示す。加力点水平変位は加力点に設置した 2 箇所の変位計の平均値とした。変位が小さい領域（2 サイクル目まで）では、載荷荷重～水平変位の履歴曲線は紡錘形であるのに対し、変位レベルが大きくなる（3 サイクル目以降）につれて載荷荷重が頭打ちになり、逆 S 字型の履歴曲線を示すようになる。これは、図 4 に示す回転モーメント～く体回転角関係の履歴曲線が、回転角の大きい範囲で逆 S 字状型になることと対応したものである。図 6 の各サイクルの履歴ループから等価減衰定数 h_{eq} を文献 3)により算定した結果、3 サイクル目（150kN）では $h_{eq}=26.2\%$ 、5 サイクル目（100mm）では $h_{eq}=21.4\%$ と、5 サイクル目で若干減衰定数が小さくなるものの、20%程度の減衰効果が発揮されることを確認した。

4. まとめ

杭と土のうを併用した基礎の実材料、実応力レベルの条件下の地震応答特性を把握するために原位置載荷実験を実施し、基礎の荷重～変位関係や回転モーメント～回転角関係などについて報告した。次稿⁴⁾では土のう内および土のう下の鉛直土圧分布、杭の軸力や曲げモーメント分布について報告する。

謝辞 本研究は、(公財) 鉄道総合技術研究所、株式会社テノックス、株式会社ジェイアール総研エンジニアリングの共同研究により実施した。

参考文献 1) 土井ら：小径杭併用土のう基礎の地震時応答特性に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol. 65A, 2019. 2) 土井ら：杭と土のうを併用した基礎免震工法への取り組み，基礎工，2021. 3) 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説—二分冊の 2—，pp. 753, 2013. 4) 土井ら：杭と土のうを併用した基礎の原位置載荷実験（その 2），第 77 回土木学会年次学術講演会，2022.（投稿中）

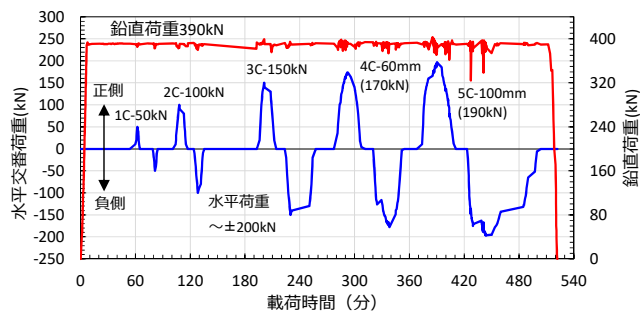


図 3 荷重ステップ図（水平荷重は左向きが正）

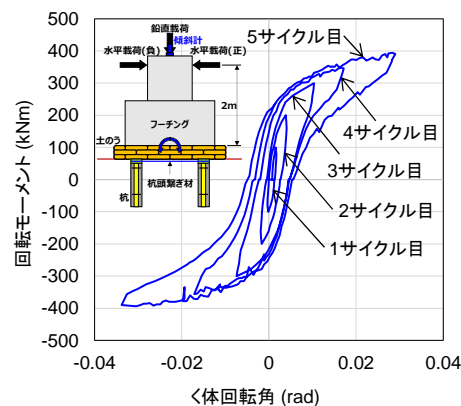


図 4 回転モーメント～く体回転角の関係（反時計回りが正）

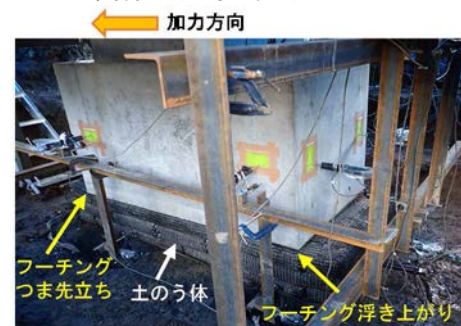


図 5 正方向 100mm 載荷時の供試体状況

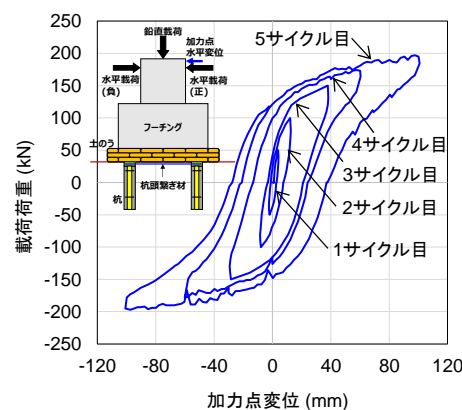


図 6 載荷荷重～加力点水平変位（左向きが正）