

# 繰返し荷重に対する小口径鋼管杭の補強効果に関する実験的検討

九州大学大学院 学○ 菅原大暉

九州大学大学院 正 ハザリカヘマンタ (株)ケー・エフ・シー 正 渡邊直人

九州大学大学院 正 安福規之 九州大学大学院 正 石藏良平

## 1. はじめに

環太平洋造山帯に属する日本では、地すべりや斜面崩壊の発生が問題となっており、それらの対策工として杭を用いた工法が開発されてきた。地すべり対策工としては、鋼管杭工のように抑止杭 ( $\phi 300\text{mm}$  以上) の曲げ抵抗を利用し滑動を停止させる線的対策工が行われ、斜面崩壊対策工としては、鉄筋挿入工のように鉄筋 ( $\phi 29\text{mm}$  以下) の持つ引き抜き抵抗により滑動を抑止する面的対策工が行われてきた。これらの工法には問題点が残されており、それらを補う工法の模索が行われている。近年、これらの中間の杭径を持つ小口径鋼管杭 ( $\phi 100\text{mm}\sim 300\text{mm}$ ) が両者の特性を併せ持つと期待されており、開発が進められている。しかし、小口径鋼管杭を多段に配置した場合の補強効果や抑止メカニズムについては未解明な点が多く残されており、設計法確立にはいたっていない。本研究では、小口径鋼管杭を多段に配置した場合の補強効果や抑止メカニズムを解明し、設計手法確立の基礎的データを得ることを目的とした。そのため、一面せん断試験機を用いた模型実験を行い、杭配置の変化や打設角度に変化を与えることにより実験を行った。過去の研究<sup>1),2)</sup>により、本模型実験の静的試験を行ってきたが、本論文では地震時を想定した繰返し一面せん断試験による模型実験により、繰返し荷重による杭の影響について検討を行った。

## 2. 模型実験手順・概要

模型実験では、下部可動式の一面せん断試験装置 (図1) のせん断箱内に珪砂7号の相対密度80%に調整した地盤に模型杭を配置した。模型杭は  $W 10\text{mm}\times L 10\text{mm}\times H 260\text{mm}$ 、肉厚  $1\text{mm}$  の中空アルミ棒を使用し、一列に3本配置すること (図2) で面的に受けるものとした。頭部拘束を行う場合は、 $3\text{mm}$  のアルミ棒を使用した。せん断箱の大きさは、 $W 200\text{mm}\times L 400\text{mm}\times H 300\text{mm}$  のものとした。本研究の繰返し一面せん断試験では、拘束圧を  $25\text{kN/m}^2$ 、周波数  $0.01\text{Hz}$  に設定し、それに伴うせん断応力を測定し、せん断強度の高低により補強効果、耐震性の比較を行った。設定した周波数  $0.01\text{Hz}$  は、長周期振動波の地震を取り出して考え、繰返し周期は  $\sin$  波とし、20 サイクルするものとした。繰返し荷重の最大せん断応力は、 $20\text{kPa}$  と  $40\text{kPa}$  で実施した。また、模型杭に傾きを付ける場合は、 $20$  度の傾きをつけ実験を行った。行った実験条件は、表-1 に示す。

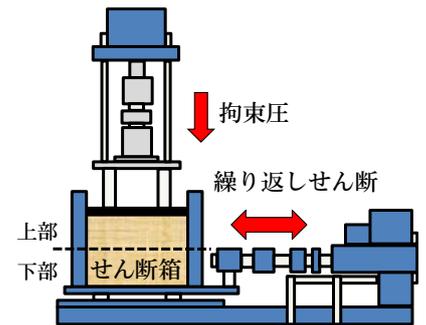


図1 一面せん断試験装置

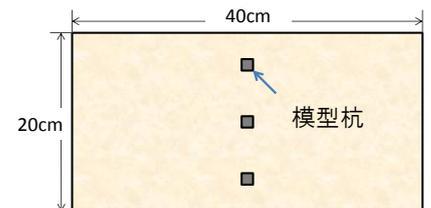


図2 一列3本配置

表-1 実験条件一覧

Case	実験条件	列数	頭部拘束	打設角度	せん断応力周期
Case1	無補強	—	—	—	20kPa
Case2	一列補強	1	なし	—	20kPa
Case3	一列斜め補強	1	なし	20度	20kPa
Case4	二列補強	2	なし	—	20kPa
Case5	一列補強	1	あり	—	40kPa
Case6	二列補強	2	あり	—	40kPa
Case7	二列斜め補強	2	あり	20度	40kPa
Case8	組杭補強	2	あり	20度	40kPa
Case9	三列補強	3	あり	—	40kPa

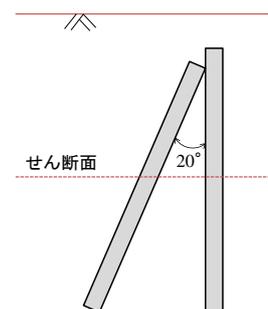
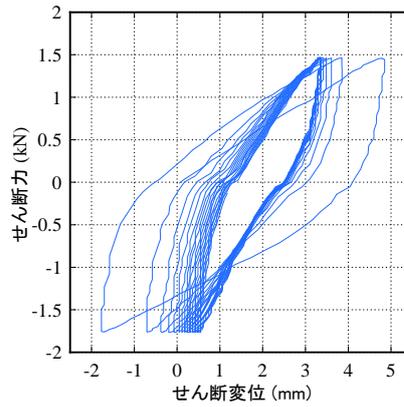


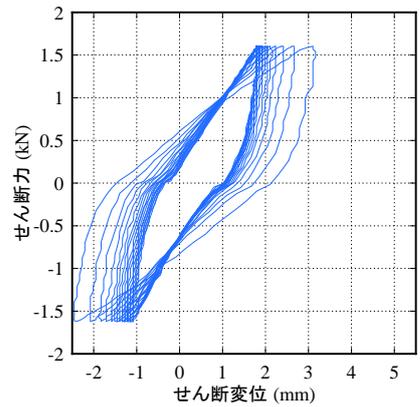
図3 組杭配置例

### 3. 繰り返しせん断による補強効果

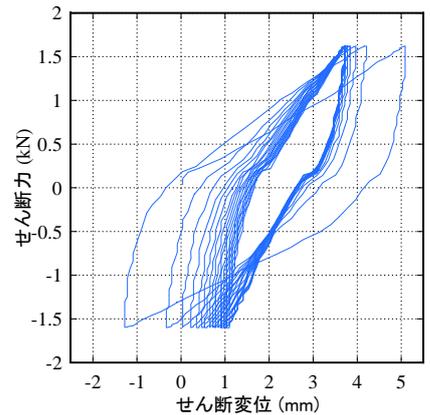
本研究では、模型杭の配置に変化を与えることにより実験を行った。実験条件は、無補強、一列補強、二列補強、組杭補強といった配置がある。頭部拘束では、3mm のアルミ棒を格子状に配置した。図 3 は、Case4 における組杭補強の配置例を示している。これらの実験条件のもと、繰り返し試験では、最大せん断力を迎えた場合のせん断変位



(a) 無補強



(b) 一列補強



(c) 一列斜め補強

や仮のせん断剛性を比較することで、補強効果や耐震性能を検討するものとした。図 4 は、繰り返し最大せん断力 1.6kN におけるせん断変位の関係を示している。各条件別にせん断変位の推移を比較すると、繰り返し回数が増えるにつれて、せん断変位の変化量が低下し、20 サイクルを迎える点に近づくにつれ収束していることが確認できた。無補強の場合、1 サイクル目のせん断変位の変化量がおおきくなり、次第に収束していくことがわかる。これに、杭を挿入する一列補強の角度に着目し比較すると、垂直に杭が配置されている場合、初期のせん断変位の変化量を低減させている。しかし、斜め打設の場合は初期のせん断変位の変化を低減させることができず、無補強時と同様の傾向を示していることが確認できた。Case7 の斜め打設を多列に配置した場合でも、繰り返し荷重に対し補強効果を発揮できていないこと確認できた。そのため、斜め打設は急激な荷重载荷に対しせん断抵抗力を発揮しにくいと考えられた。

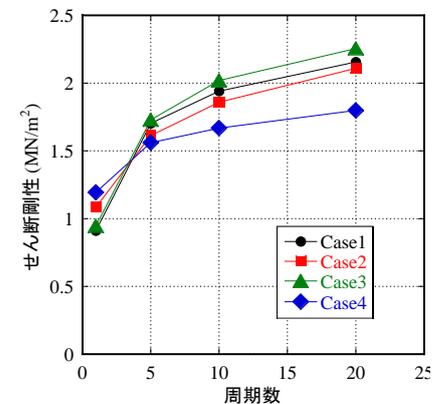
図 5 は、せん断面高さを 150mm と仮定した場合の周期別の仮のせん断剛性を示している。初期周期では、垂直杭が配置することで高いせん断剛性を発揮している。しかし、周期数が増えるにつれ、斜杭を配置することで垂直杭を上回るせん断剛性を発揮している。そのため、組杭の配置にすることで、斜杭の初期周期の低いせん断剛性を垂直杭が補い、最終的に高いせん断剛性を発揮できることが確認できた。

### 4. 結論

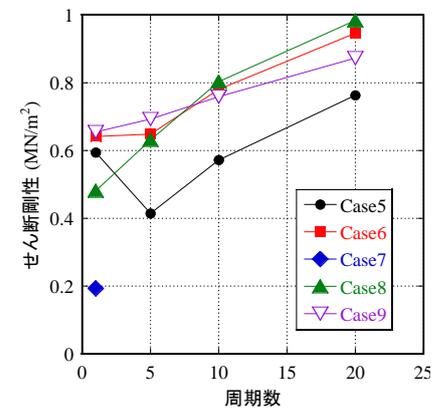
本文では、小口径鋼管杭の配置の変化による繰り返し荷重に対する補強効果について検討を行った。垂直杭は、初期周期から繰り返し挙動に対し高い抵抗力を発揮する。また、斜杭は初期周期での抵抗力は低い、周期数が進むにつれて変形抵抗を増加させることがわかった。組杭は、斜杭の初期周期の低い変形抵抗を補うことができ、斜杭の長所を活かすことができると考えられた。

【参考文献】1) 青谷恵介, ハザリカヘマンタ, 安福規之, 石藏良平, 渡邊直人: 小口径鋼管杭の曲げ剛性および配置の影響に関する研究, 平成 24 年度 土木学会西部支部研究発表会, pp.423-424, 2013, 2) 菅原大暉, ハザリカヘマンタ, 渡邊直人, 何毅, 安福規之: 小口径鋼管杭の多列配置における斜面の抑止効果について, 第 59 回地盤工学シンポジウム平成 26 年度論文集, pp.263-268, 2015.11

図 4 繰り返しせん断力 1.6kN におけるせん断変位



(a) 繰り返しせん断力 1.6kN



(b) 繰り返しせん断力 3.2kN

図 5 周期別の仮のせん断剛性