

硬質地盤にモルタルに定着した杭の周面抵抗

長岡技術科学大学 学生会員 ○佐々木 彰平, 正会員 大塚 悟
 港湾空港技術研究所 正会員 堤 彩人, 非会員 水谷 崇亮

1. 目的・背景

硬質な地盤に杭を打設する場合、先行掘削工法が用いられる。この工法では、杭の周面抵抗が確保できず、十分な軸方向抵抗力が得られない可能性があるため、杭周面にセメントモルタル等を充填する方法が採られる。しかしながら、このような場合において地盤への杭の定着性、特に周面抵抗のメカニズムについては、十分な検討が行われていないのが実状である。

杭を定着させた硬質地盤のモデルを図-1に示す。杭に軸方向の外力が作用した場合には、杭～モルタル、およびモルタル～硬質地盤境界のそれぞれの抵抗特性の相互的な作用により、杭全体の周面抵抗が決まるものと思われる。したがって、杭の周面抵抗を考える際には、まず、それぞれの境界のせん断特性について評価する必要がある。本検討では、杭～モルタル境界に着目し、この境界で発揮されるせん断特性に与える充填材料(モルタル)の材質や、杭の表面形状の影響について検討した結果を報告する。

2. 実験方法

杭～モルタル間のせん断特性は、金属製の円盤にモルタルを付着させた二層系の供試体を用いて、一面せん断試験により評価した。図-2に使用した一面せん断試験機を示す。試験機はX線CT装置内に設置できる仕様となっており、せん断試験中にX線CT装置を用いてせん断の進行過程を観察した。鮮明なCT画像を取得するため、供試体はD=35mm、h=20mmの寸法のものを使用した。

金属製の円盤試料は、表面の平均粗さが10μmとなるよう加工した鋼材、表面にシアキーを設置したアルミニウムの計2種類を準備した。図-3に円盤試料の写真を示す。アルミを用いた理由は、鋼材ではX線の透過能力が不足し、シアキー付近で鮮明な画像が取得できなかったためである。

円盤に付着させたモルタル試料は、通常モルタルとゴムチップ入りのモルタルの2種類を用いた。ゴムチップ混合はモルタルの靱性向上を期待したものである。通常モルタルは、普通ポルトランドセメント(C)、水(W)、セメント強さ試験用標準砂(S)、カオリン粘土(K)をC:W:S:K=1:2.3:4:1.5の質量比で配合して作製した。ゴムチップ入りのモルタルは、通常モルタルにモルタル全体の体積比で約20%のゴムチップを混合して作製した。作成した供試体を図-4に示す。

一面せん断試験では、作製した供試体を圧密定圧条件下で単調にせん断した。表-1に試験条件の一覧を示す。試験中の垂直応力は150kPaとし、0.2mm/minの載荷速度でせん断した。

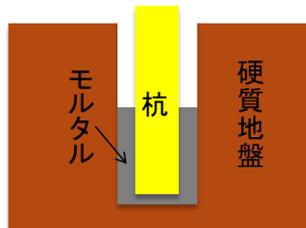


図-1 硬質地盤のモデル



図-2 一面せん断試験機

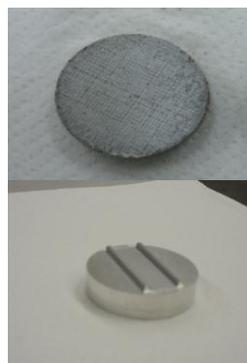


図-3 円盤試料



図-4 供試体の様子

表-1 試験条件

試料ケース	供試体	モルタルの一軸圧縮強さ
case1	鋼材～モルタル	818kPa
case2	鋼材～ゴム混入モルタル	621kPa
case3	シアキー～モルタル	818kPa
case4	シアキー～ゴム混入モルタル	621kPa

3. 一面せん断試験の結果

一面せん断試験の結果得られたせん断応力とせん断変位の関係を図-5に示す。図中の応力緩和が見られる箇所、せん断荷重の載荷を一旦停止し、X線CT撮影を行った。鋼材～モルタル(case1)、鋼材～ゴム混合モルタル(case2)のせん断応力は、付着力に起因する最大値を示した後、急激に減少し、脆性的なせん断挙動を示している。また、ゴムチップを混合することで、材料境界面の付着性が悪化し、せん断応力の最大値が低下していることがわかる。一方、シアキーを設置(case3, 4)するとせん断応力の最大値は増加し、残留応力も大きい。さらにゴムチップを混合することで、せん断応力の最大値までの剛性が小さくなり、靱性が向上していることが確認できる。最大値も通常のモルタル

キーワード 杭, 周面抵抗, 一面せん断試験, X線CT画像, ゴムチップ

連絡先 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡1603-1 長岡技術科学大学 環境・建設系 TEL 0258-47-6313

ルと大きな差がなく、ほぼ同程度であることが分かる。

4. X線CT装置によるせん断過程の観察結果

一面せん断試験中のせん断過程を観察した結果を図-6に示す。CT画像は、密度が大きい領域ほど白くなるようグレースケールで表示している。例えば、case2の画像では、下せん断箱に設置された鋼材の上にゴムチップ(黒)と砂(白)が混在したモルタル試料が定着されていることが確認できる。

case2のせん断応力がピークに達する前とピークに達した付近の画像を比較すると、鋼材試料全体がわずかに左方向に変位しており、この時点で付着が剥がれたことがわかる。さらにせん断を続けると鋼材試料の左方向への変位は大きくなるが、この間モルタル部分にクラックが生じる様子は認められず、鋼材~ゴム混合モルタル間の残留抵抗は材料間の摩擦特性に支配されることがわかる。case1の鋼材~モルタル供試体の場合にも同様の観察結果が得られており、付着力が卓越するような材料の組み合わせでは、境界面のせん断抵抗は付着力に起因する極限值と、摩擦抵抗に起因する残留抵抗によってせん断挙動が特徴づけられる。これは、付着が剥がれてしまうと大きな抵抗を期待できないことを示すもので、構造物の粘り強さや長期的な安定性を考えた場合には、材料間の付着性に期待する設計は危険な構造であるといえる。

一方、case3, 4の画像では、せん断応力のピーク付近からシアキー先端付近のモルタル部分にクラックが生じ始め、せん断の進行とともにクラックが進展していく様子が確認できる。このことから、杭表面にシアキーを設置した場合のせん断抵抗は、モルタルのせん断特性に支配されることがわかる。さらに、case3, 4の画像を比較すると、ゴムチップを混合したcase4では、モルタル部分に大きなクラックが生じていないことが確認される。図-6のcase4の画像を拡大した図-7の赤丸の中をみるとゴムチップ自身が伸縮していることが分かる。菊池ら¹⁾は、固化処理土にゴムチップを混合すると、ゴムチップがクラックの進展を妨げる緩衝材のような効果を発揮するため、材料全体の靱性が向上することを報告している。本研究の結果においてもゴムチップが伸縮することによってクラックの進展を妨げており、靱性向上効果が得られている。シアキーを設置した杭にモルタルを定着する際にも、ゴムチップを混合することで材料境界のせん断挙動に「粘り強さ」を与えることができることを確認した。今後、ゴムの混合率等をより詳細に検討するなど実用化にむけた研究を進めることが望まれる。

5. まとめ

シアキーを設置していないcase1, 2ではピーク値が低く、付着が剥がれた後は摩擦特性に支配され、大きな抵抗が期待できないのに対し、シアキーを設置したcase3, 4では最大せん断応力が大きく、せん断応力のピーク後も急激な減少が見られないことから残留抵抗も期待できる。特に、case4のゴムチップを混合した場合は、ゴムチップの効果によって大きなクラックが発生することもなく、さらに靱性が向上することが分かった。これは、震災の影響を受け構造物には「粘り強さ」が求められるようになってきた現在の設計思想と合致するもので、研究の成果は実務的にも大きく貢献するものと期待される。

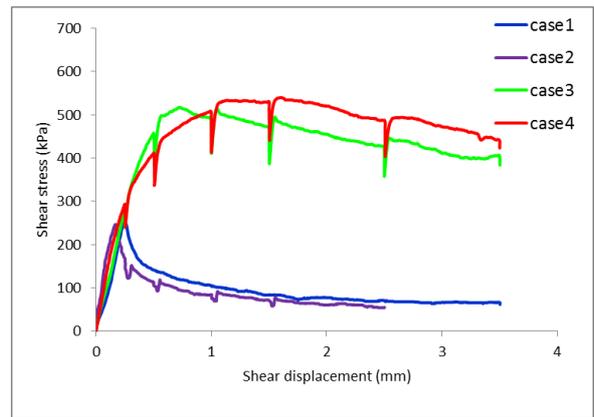


図-5 各ケースの応力ひずみ曲線

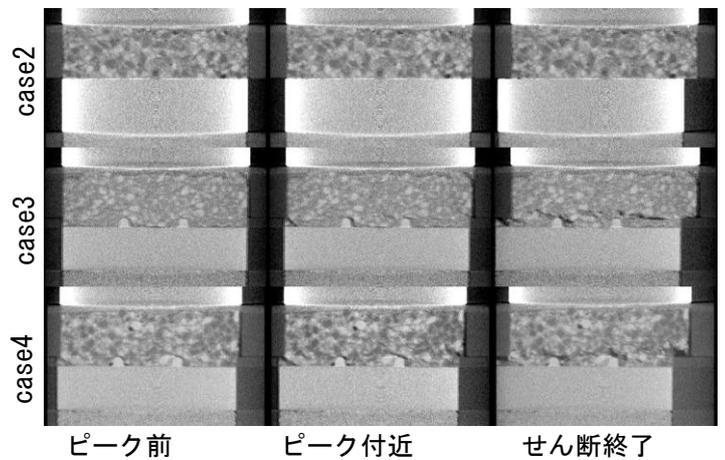


図-6 X線CT画像

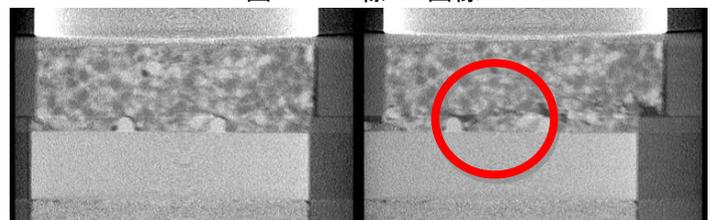


図-7 ゴムチップの効果

【参考文献】

1) 菊池ら：ゴムチップ混合固化処理土のせん断メカニズム，港湾空港技術研究所報告，pp87~103，2006. 6