

模型杭を用いた「杭頭縁切り工法」における摩擦材と砂の繰返し摩擦実験

ジャパンパイル(株) 正会員 石川一真 国際会員 小椋仁志
 関西大学 国際会員 伊藤淳志
 エービーシー建材研究所 野瀬貴弘

1.はじめに 杭基礎の耐震性を向上させるため、図1のように杭頭と基礎スラブとを結合せず、間に砂や砂利、捨てコンクリートなどを介在させる方式を、筆者等は「杭頭縁切り工法」と呼んでいる。この工法では、介在させる土質材料や杭頭部端板に設置する摩擦材を調整することによって、比較的簡便に杭に伝達される水平力を制御する事が出来ると考えられる。本工法を開発するための基礎実験として、これまで床材料を主体とした種々の摩擦材について、砂との摩擦せん断実験を行い、本工法に適した摩擦板を選定してきた^{1)~3)}。また、高拘束圧下において地震時を想定した繰返し摩擦実験を行い、本工法の有効性および摩擦板の耐久性を検討してきた⁴⁾。今回は、より実施工に近い状況を模擬するために模型杭を用い、さらに現実の建物の荷重から求めた拘束圧にて繰返し摩擦実験を行ったので、これまでの実験結果と合わせて検討し、報告する。

2.実験概要 実験に使用した装置を図2に示す。杭は一辺250mmの角型鋼管で模擬し、基礎スラブには350×550×150mmのコンクリート体を用いた。実験の簡便のため、杭と基礎スラブの位置は上下を逆にしている。杭には鋼管内寸より小さい摩擦板(一辺223mm)をはめ込んで取り付け、摩擦板とコンクリートとの間には砂を設置した。砂は、粒径75μm~1.2mmに調整した淀川砂であって、その諸元を表1に示す。砂の層厚は20mmとした。杭の上面にはローラーを設けており、杭にせん断力を与えた際に、余分な抵抗が発生しないようにしている。摩擦板は、既報の実験にて選定された、厚さ12mmのFRP板に変性ビニルエステル樹脂を塗布し表面をUV硬化させたものを採用し、その表面粗さは0.002mm程度である。

摩擦実験は、杭に軸力を与えた後、静的に水平方向へ加力し、変位量が±15mmまでの正負交番繰返し加力を3サイクル実施した。摩擦板と砂の間に働く拘束圧は、N値が30未満の地盤に摩擦杭で支持された中層RC建物の荷重を参考にし、=5000kN/m²と10000kN/m²の2種類とした。

3.実験結果 せん断応力比 / および杭の鉛直変位 Sv と水平変位 Sh との関係を図3および図4に示す。この図および既報の実験結果³⁾⁴⁾から次のことがわかる。 / - Sh 関係において、第1サイクルの正側加力において既報の実験結果に見られたような明確な降伏点がない。正負共に除荷すると3~5mm程度変位が戻る。全ての加力において、 / = 0.2程度で変位がスリップする。(これは杭と摩擦板のずれの影響と推測される。) 第1サイクルの正側加力時の / は0.5程度だが、第1サイクル負側加力以降は0.6以上の値に収束する。Sv - Sh 関係において、繰返しサイクルが増すにつれて鉛直変位の増分は減少する。

また、実験終了後の砂は粒子破碎を起こしていた。その砂は

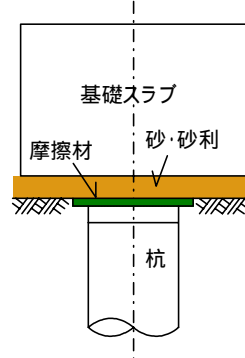


図1 杭頭縁切り工法概念図

表1 使用砂の諸元

土粒子の密度 ρ_s	2.615 g/cm ³
平均粒径 D_{50}	0.59 mm
均等係数 U_c	1.85
最小密度 ρ_{min}	1.352 g/cm ³
最大密度 ρ_{max}	1.611 g/cm ³

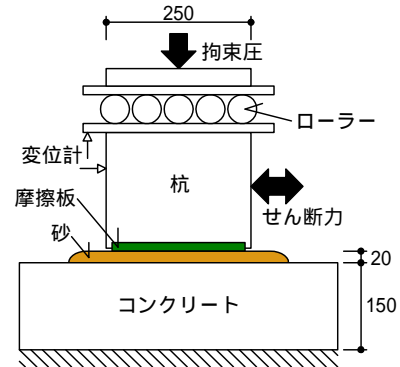


図2 実験装置 (単位: mm)

表2 実験の種類

摩擦材	FRP下地変性ビニルエステル樹脂塗布
砂の含水比 W	0.083% (気乾状態)
拘束圧	5000 および 10000 kN/m ²

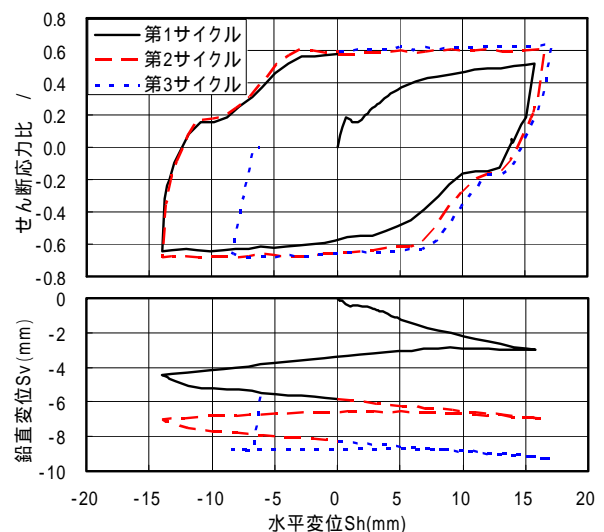


図3 / , Sv - Sh 関係 (= 5000kN/m²)

Cyclic Friction Tests with Model Pile on Method of Pile Head Joint with Sliding Mechanism
 ISHIKAWA Kazuma, OGURA Hitoshi(JAPAN PILE Corp.),
 ITO Atsushi(Kansai Univ.),
 NOSE Takahiro(ABC Research Laboratory for Building Materials Co.,Ltd.)

非常に固く締まっており、摩擦板の表面に固着していた。これは拘束圧が比較的小さい既報の実験では見られなかった現象である。 $\sigma = 10000 \text{ kN/m}^2$ の実験後の摩擦板に固着していた砂の粒度分析結果を図5に示す。実験前の砂と比較すると、粒子破碎によって平均粒径は約1/10になった。

また、実験終了後の摩擦板表面には砂による傷があり、表面粗さは0.02mm弱と実験前の約10倍であった。

4. 考察 既報の実験において、本研究と同じ摩擦材を用いた実験の結果を、 $\gamma / - Sh$ 関係における降伏せん断応力比 $\gamma /$ についてまとめたものを表3および図6に示す。文献3では $\sigma = 50, 100, 300, 500 \text{ kN/m}^2$ の単調摩擦実験および $\sigma = 100, 300 \text{ kN/m}^2$ の繰返し摩擦実験が行われており、 $\gamma / - Sh$ 関係に現れた降伏点の $\gamma /$ を $\gamma /$ として採用した。文献4では繰返し摩擦実験が行われており、 $\sigma = 500, 1000 \text{ kN/m}^2$ の場合は降伏点が見られたが、 $\sigma = 3000, 5000 \text{ kN/m}^2$ の場合は明確な降伏点が見られないため、ほぼ降伏したとみられる $S = +10 \text{ mm}$ 時の $\gamma /$ を $\gamma /$ として採用した。本研究においても同様とした。

これらの結果より、次のことがわかる。拘束圧を大きくすると、単調摩擦実験および繰返し摩擦実験の第1サイクルの $\gamma /$ が増大する傾向がある。繰返し摩擦実験において、文献4の $\sigma = 3000, 5000 \text{ kN/m}^2$ の場合を除くと、第2サイクルの $\gamma /$ は第1サイクルよりも大きくなる。

ここで、砂の粒径と摩擦板の表面粗さが摩擦抵抗に及ぼす影響について検討した研究⁵⁾によると、摩擦板の表面粗さ R_{max} を砂の平均粒径 D_{50} で除した正規化粗さ R_n が大きくなるにつれて摩擦板と砂の降伏摩擦係数も大きくなり、 $R_n = 0.1$ 程度になると砂の内部ですべりが生じ、砂のせん断抵抗が発揮される事が報告されている。

本研究において、 $\sigma = 10000 \text{ kN/m}^2$ の摩擦実験の前後での R_n を求めると、実験前では $R_n = 0.003$ であるが、実験後では $R_n = 0.3$ となっている。これより、砂の粒子破碎と摩擦板に傷がつく事によって、砂の粒径に対する摩擦板の表面粗さが大きくなり、砂と摩擦板の境界ではなく砂層の内部ですべるようになったと考えられる。これは、実験終了後に粒子破碎した砂が摩擦板に固着していたことから裏付けられる。

また、第1サイクル正側加力時の $\gamma / - Sh$ 関係に明確な降伏点が見られない事は、水平加力につれて粒子破碎が進行し、摩擦板と砂の降伏せん断応力比が徐々に上がったためと考えられる。

5. おわりに 今回の実験により、高拘束下では砂の内部にせん断面が形成され、摩擦板と砂の境界面ですべりが生じる場合より、大きなせん断応力比を発生させることが分かった。

最後に今回の実験を行うにあたり多大のご協力をいただいた関西大学卒業研究生の中村一也氏、島袋幹也氏に謝意を表す。
参考文献 1)伊藤淳志・小林恒一・小椋仁志・野瀬貴弘：「杭頭縁切り工法」における杭頭部鋼板と砂との摩擦性状に関する基礎実験，第40回地盤工学研究発表会(函館)，pp.1667～1668，2005.7 2)方田公章・伊藤淳志・小林恒一・小椋仁志・野瀬貴弘：「杭頭縁切り工法」における杭頭部摩擦材と砂との摩擦せん断実験，第41回地盤工学研究発表会(鹿児島)，pp.1435～1436，2006.7 3)方田公章・伊藤淳志・小林恒一・小椋仁志・野瀬貴弘：「杭頭縁切り工法」における杭頭部摩擦材と砂との摩擦性状に関する実験，第42回地盤工学研究発表会(名古屋)，pp.1317～1318，2007.7 4)伊藤淳志・小林恒一・小椋仁志・野瀬貴弘：「杭頭縁切り工法」における摩擦材と砂との繰返し摩擦実験，日本建築学会大会講演梗概集，pp.615～616，2008.9 5)矢島淳二・上杉守道・岸田英明・林繁樹：砂・鋼材間の摩擦抵抗に正規化粗さが及ぼす影響(その2)，第21回土質工学研究発表会(札幌)，pp.287～288，S61.6

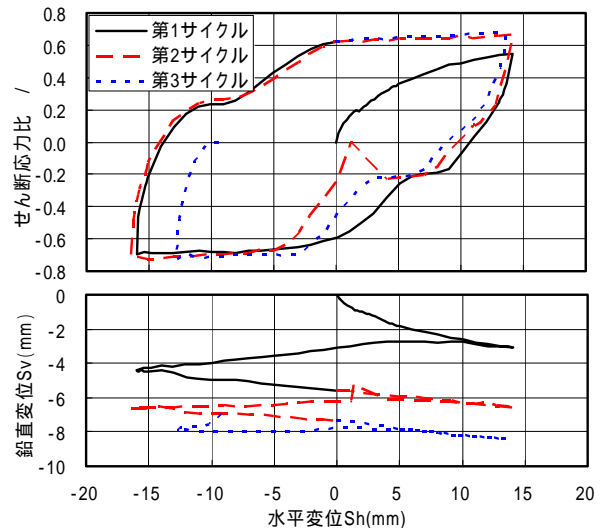


図4 $\gamma /$, Sv - Sh 関係 ($\sigma = 10000 \text{ kN/m}^2$)

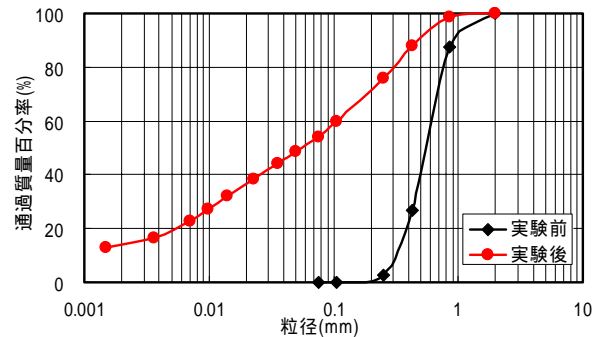


図5 粒度分析結果

表3 試験結果一覧表

	拘束圧 (kN/m^2)	実験種類	降伏せん断応力比 $\gamma /$	
			第1サイクル	第2サイクル
文献3	50	単調 摩擦実験	0.35	X
	100		0.30	
	300		0.35	
	500		0.36	
	1000		0.43	
文献4	100	繰返し 摩擦実験	0.43	0.45
	300		0.45	0.53
	500		0.38	0.49
	1000		0.38	0.45
	3000		0.53	0.53
本研究	5000		0.55	0.52
	10000		0.47	0.60
	10000		0.49	0.65

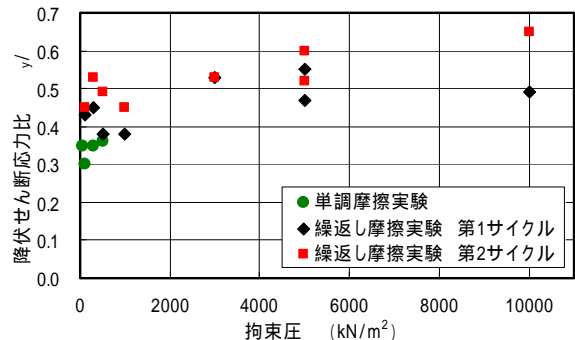


図6 $\gamma / - \sigma$ 関係