

土と摩擦低減剤を塗布した鋼材の接触面における摩擦特性

周面摩擦，一面せん断試験，内部摩擦角

信州大学工学部 国際会員 梅崎健夫，国際会員 河村 隆
 信州大学大学院 学生会員 林 錦華
 日本触媒（株） 非会員 服部 晃，正会員 岡本功一

1.はじめに 仮設の土留め工として敷設されたH鋼や鋼矢板は，土と鋼材の表面との摩擦により引抜き撤去が困難である．そのため，鋼材の表面に特殊バインダー樹脂と吸水性ポリマーを有機溶剤に分散させたものを塗布して土と鋼材の摩擦低減剤とする工法が開発されている^{1),2)}．

本研究では，一面せん断試験装置を用いて，笠岡粘土および豊浦砂と摩擦低減剤を塗布した鋼材の接触面における摩擦特性について検討した．同様に，笠岡粘土および豊浦砂と鋼材の接触面における摩擦特性についても比較検討した．

2.試験概要 試験には，土質試験法（JIS 0560-2000，JIS 0561-2000）に準拠した一面せん断試験装置を用いた．試料は，笠岡粘土（土粒子密度 $\rho_s=2.649\text{g/cm}^3$ ，液性限界 $w_L=58.4\%$ ，塑性限界 $w_P=23.3\%$ ，塑性指数 $I_p=35.1$ ）および豊浦砂（ $\rho_s=2.702\text{g/cm}^3$ ，最大密度 $\rho_{dmax}=1.634\text{g/cm}^3$ ，最小密度 $\rho_{dmin}=1.341\text{g/cm}^3$ ）である．笠岡粘土は， $2w_L$ で繰返して鉛直圧密圧力 98kN/m^2 で予圧密した試料を直径60mm，高さ10mmに成形して供試体とした．豊浦砂は気乾状態であり，相対密度 $D_r=80\%$ 程度で高さ10mmになるように空中落下法により供試体を作製した．鋼材（SS400）は，表面を防錆処理されており，滑らかである．摩擦低減剤は，特殊バインダー樹脂と吸水性ポリマーを有機溶剤に分散させたものであり，塗布厚は笠岡粘土では0.1，0.2mm，豊浦砂では0.2mmとした．なお，摩擦低減剤は吸水することによりゲル状に変化する．図-1に示すように，下箱内に高さ10mmの鋼材を挿入し，その上に供試体を設置した．圧密圧力 $\sigma_c=147, 196, 245, 294\text{kN/m}^2$ で十分圧密した後，隙間設定用スペーサー³⁾を引抜くことにより上下せん断箱のすき間を0.2mmに設定し，水浸箱に純水を十分に注水して1時間程度水浸した．そして，笠岡粘土では定体積条件，豊浦砂では定荷重圧条件で，それぞれ手で制御しながらせん断変位速度 0.2mm/min （せん断時間約1時間）で水平変位7mmまでせん断を行った．なお，土-鋼材の試験においても同様に実施した．

3.試験結果および考察 図-2に試験結果の一例を示す．笠岡粘土-鋼材の τ - D 関係は，笠岡粘土の一面せん断試験と異なり，せん断の開始とともにせん断応力が急激に増加し，笠岡粘土のせん断強度よりも若干小さいピーク値を發揮した後，せん断応力は急激に減少し，一定値に収束する．一方，豊浦砂-鋼材においては，明確なピークは見られず，豊浦砂のせん断強度の約1/3のせん断応力でほぼ一定となる．摩擦低減剤を0.2mm塗布した場合は，後述するように，せん断箱の隙間を吸水ゲル化後の摩擦低減剤がすべて占めているため（図-3(a)），摩擦低減剤のせん断試験であり，せん断応力は極めて小さい．また，笠岡粘土および豊浦砂-摩擦低減剤の τ - D 関係は，いずれも摩擦低減剤の場合よりも若干大きい値でほぼ一定となる．試験中の垂直応力 σ_v および体積ひずみ ε_{vol} は，一面せん断試験と比較すると，非常に小さく，笠岡粘土および豊浦砂のせん断試験を除いて，ダイレイタンスはほとんど発生しない．

図-3に供試体設置時からせん断直前までにおける摩擦低減剤の厚さの変化を示す．図-3(a)，(b)に示すように，笠岡粘土の場合は，摩擦低減剤が圧密時に粘土からの排水を吸水して膨張する．その後，上下せん断箱の隙間設定後に隙間から吸水ゲル化した摩擦低減剤の一部が漏出するために沈下を生じている．図-3(a)に示す塗布厚0.2mmの場合は，せん断直前における摩擦低減剤の厚さは0.4mm程度であり，隙間全体を摩擦低減剤が占めており，吸水ゲル化した摩擦低減剤のせん断試験である．一方，図-3(b)に示す塗布厚0.1mm

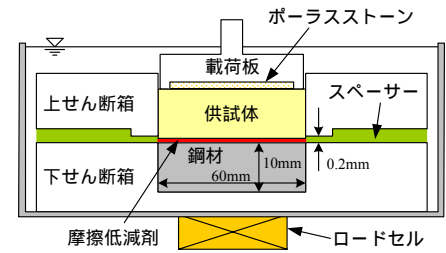


図-1 試験装置の概要

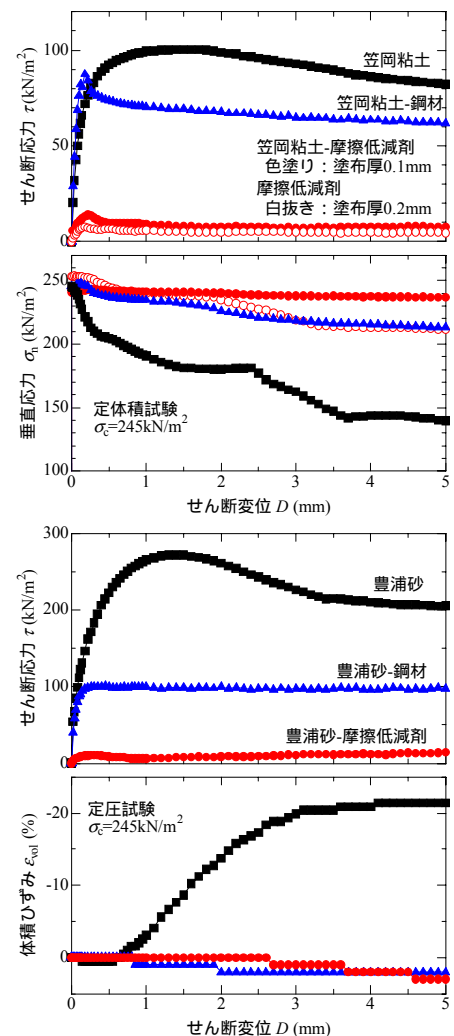


図-2 試験結果の一例

Skin friction between soil and steel covered by a chemical agent

T. Umezaki, T. Kawamura, J. Lin (Shinshu University) & A. Hattori, K. Okamoto (Nippon Shokubai Co., Ltd.)

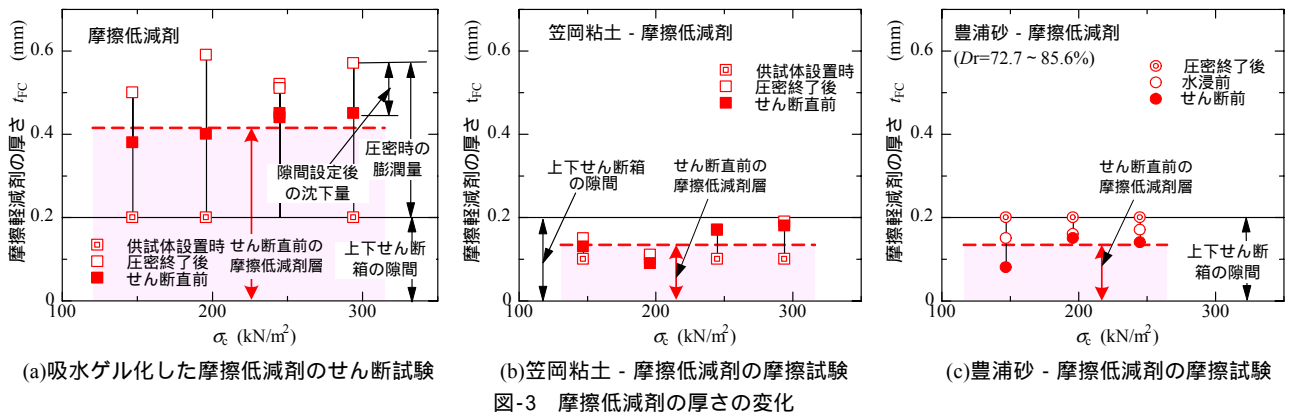


図-3 摩擦低減剤の厚さの変化

の場合は、せん断直前に 0.16mm 程度であり、笠岡粘土と摩擦低減剤の接触面はせん断箱の隙間に位置しており、笠岡粘土と摩擦低減剤の接触面における摩擦試験である。また、図-3(c)に示す豊浦砂の場合もせん断直前に 0.17mm 程度であり、豊浦砂と摩擦低減剤の接触面における摩擦試験である。

図-4(a), (b)に吸水ゲル化した摩擦低減剤のせん断試験および笠岡粘土および豊浦砂 - 摩擦低減剤の摩擦試験から得られた破壊線を示す。いずれも $c_1' = c_{cu} = c_d = 0$ であり、原点を通る直線として近似できる。摩擦角 δ_{cu} , δ_1' および δ_d については以下に考察する。

図-5(a), (b)に一連の試験から得られた内部摩擦角および摩擦角を示す。笠岡粘土の内部摩擦角 ϕ_{cu} と笠岡粘土 - 鋼材の全応力に基づいて決定した摩擦角 δ_{cu} はほぼ等しく、それぞれ $\phi_{cu} = 22.9^\circ$ および $\delta_{cu} = 22.4^\circ$ である。鋼材の表面は非常に滑らかであるが、笠岡粘土のせん断が生じている。しかし、図-2(a)において考察したように、笠岡粘土と鋼材の試験ではダイレイタンスがほとんど発生しないため、有効応力から求めた摩擦角 δ_1' は笠岡粘土の ϕ_1' よりも小さい。一方、豊浦砂 - 鋼材の場合は $\delta_d = 21.6^\circ$ であり、豊浦砂の $\phi_d = 47.4^\circ$ よりも小さい。ダイレイタンスもほとんど生じていないことから、主に鋼材との接触面においてすべりが生じていると考える。笠岡粘土 - 摩擦低減剤および豊浦砂 - 摩擦低減剤における摩擦角(吸水ゲル化後)は、それぞれ $\delta_{cu} = \delta_1' = 3.5^\circ$ ($c_{cu} = c_1' = 0$) および $\delta_d = 2.4^\circ$ ($c_d = 0$) であり、その他の場合と比較してその値は極めて小さい。また、摩擦低減剤の摩擦角(吸水ゲル化後)は $\delta_{cu} = \delta_1' = 1.5^\circ$ ($c_{cu} = c_1' = 0$) であり、その値はさらに小さい。したがって、土と摩擦低減剤を塗布した鋼材の接触面における摩擦角(吸水ゲル化後)は、土の種類が異なる場合においてもその値は極めて小さく、 $\delta_1' = \delta_d = 2.0 \sim 3.5^\circ$ ($c_1' = c_d = 0$) 程度である。

4.まとめ 土と摩擦低減剤を塗布した鋼材の接触面における摩擦特性について検討した。土試料として圧密再構成した笠岡粘土と気乾状態の豊浦砂を用い、以下の知見を得た。笠岡粘土 ($c_1' = 0$, $\phi_1' = 28.4^\circ$)、豊浦砂 ($c_d = 0$, $\phi_d = 47.4^\circ$) に対して、吸水ゲル化した摩擦低減剤の摩擦角は、 $\delta_1' = 1.5^\circ$ ($c_1' = 0$) と極めて小さい。表面に防錆処理を施した鋼材 (SS400) は、表面が比較的滑らかであるが、笠岡粘土および豊浦砂と接触面の摩擦角は、それぞれ $\delta_1' = 22.2^\circ$ ($c_1' = 0$) および $\delta_d = 21.6^\circ$ ($c_d = 0$) である。笠岡粘土、豊浦砂と摩擦低減剤を塗布した鋼材の接触面における摩擦角(吸水ゲル化後)はそれぞれ $\delta_1' = 3.5^\circ$ ($c_1' = 0$)、 $\delta_d = 2.4^\circ$ ($c_d = 0$) と極めて小さく、土の種類が異なる場合においても、ほぼ同程度の値である。

【参考文献】1)フリクションカッター施工編,株式会社日本触媒,2005.2)白井 豊,岡本 功一:損斐川伊曽島水門改築工事(摩擦低減塗料を用いた大深度仮設基礎杭の引抜き撤去),第42回地盤工学研究発表会,pp.1253-1254,2007.3)梅崎健夫,河村隆,伊藤美由紀,本郷五十鈴:低垂直応力域における粘土の一面せん断試験方法の検討,第37回地盤工学研究発表会,pp.217-218,2002.

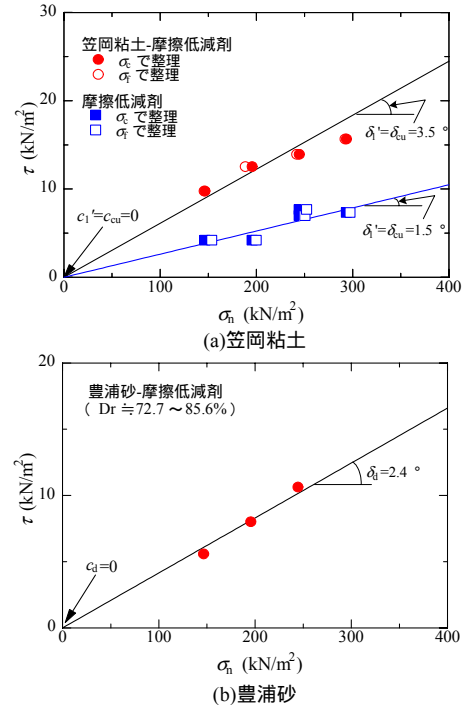


図-4 摩擦低減剤および土と摩擦低減剤の破壊線

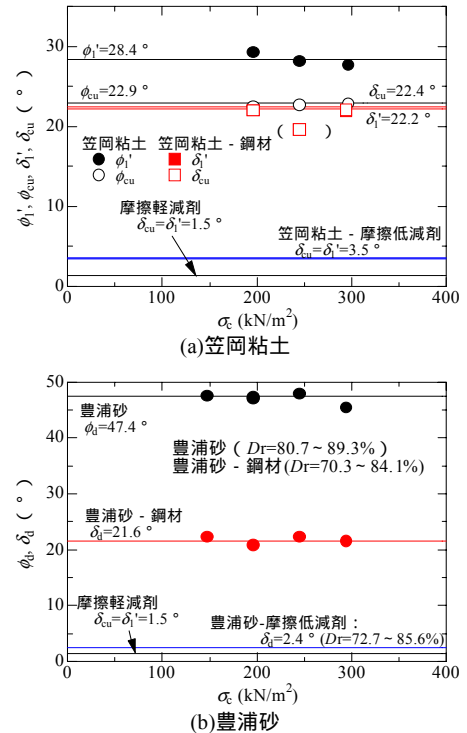


図-5 内部摩擦角および摩擦角