

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 (その3)

周面摩擦, 摩擦角, 一面せん断試験

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 国際会員 岡本功一 ((株) 日本触媒)  
 信州大学工学部 学生会員 丸山 翼  
 (株) 日本触媒 国際会員 服部 晃

**1. はじめに** 地中埋設体の沈設施工や引抜き撤去において, 地盤と埋設体との間に生じる付着力や摩擦力が原因となって発生する地盤変状を抑制するために, 埋設体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摩擦低減剤とする工法が開発されている<sup>1), 2)</sup>. 摩擦低減剤は, 打設後, 地下水との接触により吸水膨潤ゲル化して土と埋設体の間に分離層を形成することで埋設体表面への土の付着を抑制するものである. 現場での施工実績<sup>1)</sup>はあるものの, 詳細な摩擦特性については十分に明らかにされていない.

本文では, 施工現場においては埋設体表面が錆び等で大きな粗度を有している場合があることを考慮して, 前報<sup>3), 4)</sup>に引き続き, 表面粗さの異なる2種類の耐水サンドペーパーを接着した鋼材に摩擦低減剤を塗布し, 笠岡粘土および豊浦砂との摩擦特性について検討した.

**2. 試験概要** 図-1 に示すように, 土質試験法 (JIS 0560-2000, JIS 0561-2000) に準拠した一面せん断試験を実施した. 土試料は, 笠岡粘土 (土粒子密度  $\rho_s=2.705\text{g/cm}^3$ , 液性限界  $w_L=55.2\%$ , 塑性限界  $w_P=14.9\%$ , 塑性指数  $I_P=40.3$ ) と豊浦砂 ( $\rho_s=2.702\text{g/cm}^3$ , 最大密度  $\rho_{dmax}=1.634\text{g/cm}^3$ , 最小密度  $\rho_{dmin}=1.341\text{g/cm}^3$ , 50%粒径  $D_{50}=0.162\text{mm}$ ) である. 笠岡粘土は,  $2w_L$  で練返して圧密圧力  $98\text{kN/m}^2$  で予圧密した試料を直径  $60\text{mm}$ , 高さ  $10\text{mm}$  に成形して供試体とした. 豊浦砂の供試体は, 気乾状態のものを空中落下法により作製し, 相対密度  $D_r=80\%$  程度, 高さ  $10\text{mm}$  とした. 表面を防錆処理された滑らかな鋼材 (SS400, 厚さ約  $9\text{mm}$ ) に表面粗さの異なる2種類の耐水サンドペーパー (320, 100 番) を接着して, 鋼材の粗度を模擬した. 表面粗さの測定結果 (JIS B 0633, JIS B 0601) を表-1 に示す. ここで,  $R_z$ : 最大高さ,  $R_c$ : 平均高さである. なお, 土質試験に用いられるポーラストーンおよびポーラスメタルの表面粗さはそれぞれ  $R_z=388\mu\text{m}$  および  $148\mu\text{m}$ ,  $R_c=201\mu\text{m}$  および  $74.1\mu\text{m}$  であった.

図-1 (b), (d) に示すように, 下せん断箱内にサンドペーパーを接着した鋼材を挿入した. このとき, サンドペーパーが下せん断箱の上面から  $0.02\sim 0.03\text{mm}$  程度出るように (図-1 (c) 参照), 真ちゅう製のスペーサーおよびステンレス薄板 (厚さ  $0.01, 0.02\text{mm}$ ) を用いて調整した. せん断時に摩擦低減剤と土の接触面が上下せん断箱のすき間 (せん断層) に位置するように, 塗布厚  $0.1\text{mm}$  の摩擦低減剤を塗布した (図-1 (c), (d)). 圧密圧力  $\sigma_c=147, 196, 245\text{ kN/m}^2$  で 3t 時間圧密した後, すき間設定用スペーサー<sup>5)</sup> を引抜くことにより上下せん断箱のすき間を  $0.2\text{mm}$  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, 豊浦砂では定載荷圧条件で, それぞれ手動で制御しながらせん断変位速度  $0.2\text{mm/min}$  (せん断時間約 35 分間) で水平変位  $7\text{mm}$  までせん断を行った.

**3. 試験結果および考察** 図-2 (a), (b) および図-3 (a), (b) に試験結果の

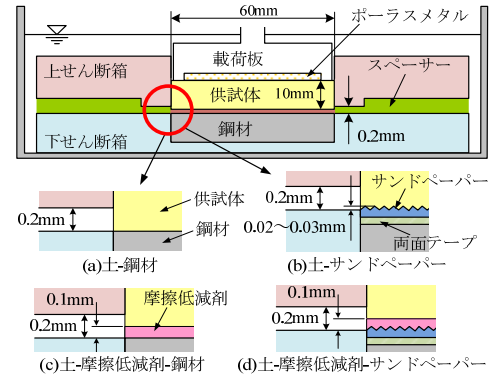


図-1 試験の概略

表-1 鋼材・サンドペーパーの表面粗さ

	$R_z$ ( $\mu\text{m}$ )	$R_c$ ( $\mu\text{m}$ )
鋼材	3.35	0.970
サンドペーパー320番	97.3	38.9
サンドペーパー100番	330	168

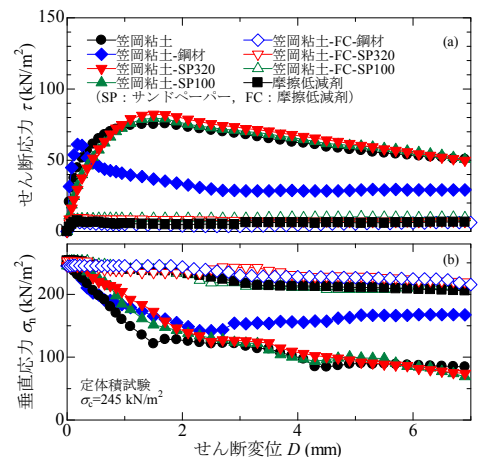


図-2 試験結果の一例 (笠岡粘土,  $\sigma_c=245\text{kN/m}^2$ )

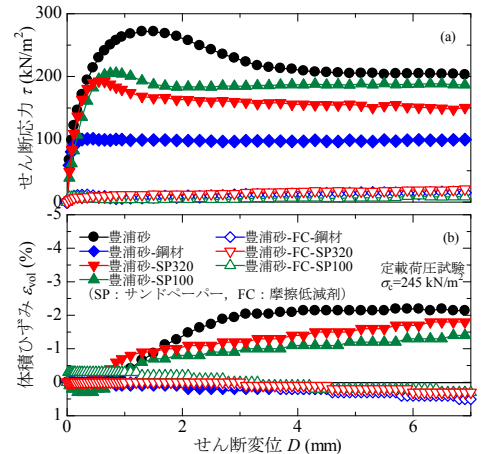


図-3 試験結果の一例 (豊浦砂,  $\sigma_c=245\text{kN/m}^2$ )

Skin friction between soil and steel covered by a chemical agent (Part 3)

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

一例を示す。ここで、 $\tau$ :せん断応力、 $D$ :せん断変位、 $\sigma_n$ :垂直応力および $\varepsilon_{vol}$ :体積ひずみである。図-2(a)に示すように、笠岡粘土-サンドペーパー(SP320, SP100)の $\tau$ - $D$ 関係は、笠岡粘土の一面せん断試験とほぼ同じピーク値を示し、曲線形状もほぼ同じである。滑らかな鋼材と笠岡粘土の $\tau$ - $D$ 関係は、笠岡粘土の一面せん断試験および笠岡粘土-SP320, SP100の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。笠岡粘土-摩擦低減剤-SP320, SP100の $\tau$ - $D$ 関係は、いずれも摩擦低減剤のせん断試験よりも若干大きい値でほぼ一定となる。一方、図-3(a)に示すように、豊浦砂-SP320, SP100では、豊浦砂のせん断強度よりも小さいピーク値を發揮した後、せん断応力は減少し一定値に収束する。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1/2強のせん断応力でほぼ一定となる。豊浦砂-摩擦低減剤-SP320, SP100の $\tau$ - $D$ 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。また、図-2(b)および図-3(b)に示すように、摩擦低減剤および摩擦低減剤を塗布した場合のせん断中の $\sigma_n$ および $\varepsilon_{vol}$ の変化は、その他の場合と異なり、一面せん断試験と比較すると非常に小さく、ダイレイタンスーはほとんど発生しない。

図-4(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。笠岡粘土および豊浦砂におけるSP320, SP100の場合の摩擦角は、笠岡粘土( $\phi'_d=29.6^\circ$ )および豊浦砂( $\phi'_d=47.4^\circ$ )の内部摩擦角よりも少し小さく、それぞれ $\delta'_1=25.2, 26.5^\circ$ ( $c'_1=0$ )および $\delta'_d=37.9, 38.2^\circ$ ( $c'_d=0$ )である。滑らかな鋼材の場合では、それよりも小さく $\delta'_1=16.1^\circ$ ( $c'_1=0$ )および $\delta'_d=21.6^\circ$ ( $c'_d=0$ )である。一方、鋼材やサンドペーパーに摩擦低減剤を塗布した場合の摩擦角は、笠岡粘土および豊浦砂において、それぞれ $\delta'_1=2.2\sim 3.5^\circ$ ( $c'_1=0$ )および $\delta'_d=2.1\sim 3.7^\circ$ ( $c'_d=0$ )である。いずれの試験においても摩擦角は $2\sim 4^\circ$ と極めて小さく、摩擦低減剤の摩擦角 $\delta'_1=1.5^\circ$ ( $c'_1=0$ )よりも若干大きい程度である。

図-5は、図-4(a), (b)における摩擦角と表-1に示した鋼材の表面粗さとの関係を整理して示したものである。 $R_z \approx 3\mu\text{m}$ の滑らかな鋼材における摩擦角は、笠岡粘土、豊浦砂のいずれにおいてもそれぞれの内部摩擦角の1/2程度である。一方、 $R_z > 100\mu\text{m}$ の粗さの場合は、 $R_z$ の値に関わらず、それぞれの内部摩擦角の0.8倍、0.9倍程度でほぼ一定となる。また、摩擦低減剤を塗布した場合の摩擦角は、土試料および鋼材の表面粗さに関わらず極めて小さく、内部摩擦角の1/10~1/20程度である。Uesugiら<sup>6)</sup>は、単純せん断試験装置を用いた鋼材( $R_z=1.4\sim 33.0\mu\text{m}$ )と数種類の砂( $D_{50}=0.15\sim 0.62\text{mm}$ )とのせん断試験において、 $R_z < 20\sim 30\mu\text{m}$ においては、接触面に沿ってすべりが生じ、表面粗さが大きくなると摩擦角も大きくなる。一方、 $R_z > 20\sim 30\mu\text{m}$ においては、砂のせん断破壊が生じて、摩擦角は砂の単純せん断試験における内部摩擦角が上限となることを報告している。

**4. まとめ** 得られた主な知見は以下の通りである。① $R_z \approx 3\mu\text{m}$ の滑らかな鋼材と笠岡粘土および豊浦砂との接触面における摩擦角は、いずれもそれぞれの内部摩擦角の1/2程度である。②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。③摩擦低減剤を鋼材に塗布した場合の土との接触面における摩擦角は、鋼材の表面粗さや土の種類に関わらず、 $\delta'_1=\delta'_d=2\sim 4^\circ$ と極めて小さく、土の内部摩擦角の1/10~1/20程度である。

**【参考文献】** 1) 岡本功一, 梅崎健夫, 服部 晃: 地中埋設体の付着力および周面摩擦力を低減する吸水性高分子材料の開発, 土木学会論文集 C (地圏工学), Vol.67, No.4, pp.407-421, 2011. 2) フリクションカッター施工編, 株式会社日本触媒, 2005. 3) 梅崎健夫, 河村 隆, 林 錦華, 服部 晃, 岡本功一: 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, 第43回地盤工学研究発表会, pp.1411-1412, 2008. 4) 岡本功一, 梅崎健夫, 河村隆, 中川一樹, 服部晃: 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(その2), 第46回地盤工学研究発表会, pp.1373-1374, 2011. 5) 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. 6) Uesugi, M. & Kishida, H.: Influential Factors of Friction between Steel and Dry Sand, SOIL AND FOUNDATION Vol.26, No.2, 33-46, June 1986 Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering.

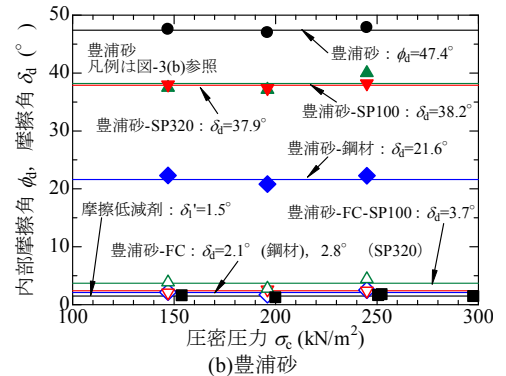
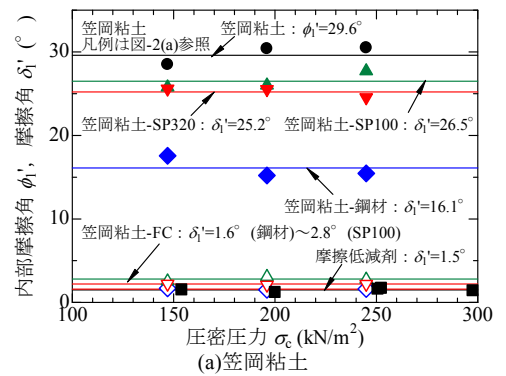


図-4 内部摩擦角および摩擦角

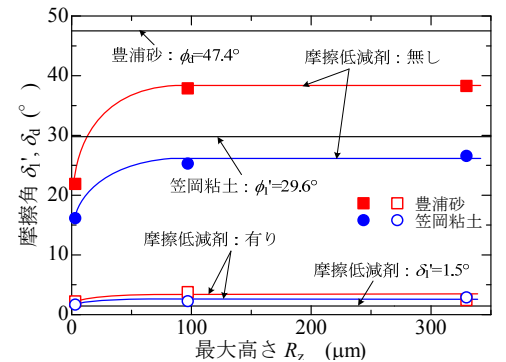


図-5 鋼材の表面粗さと摩擦角の関係