

鋼材表面に塗布される摩擦低減剤の拘束圧下における膨潤・透水特性

矢板壁, 膨潤, 透水係数

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 国際会員 梅崎健夫, 国際会員 河村 隆
 信州大学工学部 学生会員 詠田晋伍
 (株) 日本触媒 国際会員 服部 晃

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、施工後一定期間経過した後の引抜き撤去時において、土と鋼材の表面との摩擦により表面に土が付着(写真-1(a))する場合があります、土中に空洞が生じて地盤沈下等の問題が起きる。そこで、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)}。摩擦低減剤は、地中に打設後、地下水との接触により吸水膨潤ゲル化し摩擦低減層を形成することで鋼材表面への土の付着を抑制するものである(写真-1(b))。摩擦低減剤を塗布した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それぞれ $\delta_1'=3.5^\circ$ ($c_1'=0$) および $\delta_2'=2.4^\circ$ ($c_2'=0$) であり、また、摩擦低減剤自体の摩擦角は $\delta_1'=1.5^\circ$ ($c_1'=0$) と極めて小さい³⁾。

本文では、カラム型試験装置を用いて摩擦低減剤の膨潤⁴⁾・透水試験を実施し、拘束圧下における摩擦低減剤の膨潤・透水特性とその劣化の影響について検討した。

2. 試験概要 試験には図-1に示すカラム型膨潤・透水試験装置を用いた。摩擦低減剤は、調合直後と10年および100年劣化相当のものを用いた。劣化した摩擦低減剤は、純水を加えてゲル化した吸水性ポリマーを95°Cで所定時間加熱して固化したものを粉碎することにより作製した。摩擦低減剤をろ紙(厚さ0.21mm, 保留粒子径1 μ m)に塗布して供試体とした(塗布厚さ: $H_f=0.2$ mm程度(調合直後), 0.6mm程度(劣化))。摩擦低減剤を塗布したろ紙を下部盤に、塗布していないろ紙を上部盤に、それぞれシリコン系充填剤により接着した。図-2に示すように、管路に通水して摩擦低減剤を吸水膨潤させるために、バルブA, Cを開けてバルブB, Dを閉じた状態で、二重負圧法(セル圧 $p=-75$ kN/m², 供試体から二重管ビューレットI(図-1⑪)までの管路内圧力 $u=-95$ kN/m²)により3時間真空脱気した。そして、管路内の真空圧 $u=-95$ kN/m²を保った状態で p を一旦ゼロに戻し、供試体に所定の有効拘束圧 $p'=p-u=p+95$ kN/m²が載荷されるように p を載荷した。そして、バルブAを閉じてバルブBを開け(図-1), p' を一定を保ちながら $u=0$ になるまで u と p を段階的に増加させた。 $u=0$ となった後に、ビューレットI(図-1⑪)を大気開放した。バルブBを開けた本過程において、ビューレット内の水が管路を通じて上部盤および下部盤から流入し摩擦低減剤が吸水膨潤する(膨潤過程)。膨潤過程終了後、上部盤を固定し(図-1⑩), バルブCを閉じてバルブDを開け、透水試験を実施した。ビューレットII(図-1⑫)を大気開放した状態で、 p' を一定を保ちながら、水頭差としてビューレットI(図-1⑪)の u を49, 147, 198 kN/m²と段階的に増加させ、供試体の下面から透水を行った。

3. 試験結果および考察 図-3に鉛直ひずみ ε_v (膨潤を正)の経時変化を示す。図中の近似線は、双曲線近似($\varepsilon_v=t/(a+bt)$, a, b は定数)したものである。劣化度合によって膨潤量は異なっているが、いずれも時間とともに一定値に収束する傾向を示す。双曲線近似を適用することが可能(相関係数 $r>0.99$)であり、鉛直ひずみの収束値 $\varepsilon_s(=1/b)$ を膨潤量として決定した。



(a)無処理鋼矢板 (土の付着) (b)摩擦低減剤を塗布した鋼矢板 (土の付着)
写真-1 鋼矢板の引抜き

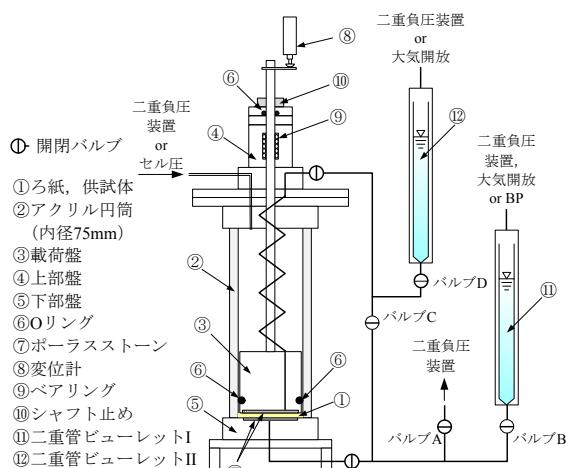


図-1 カラム型膨潤・透水試験装置の概略

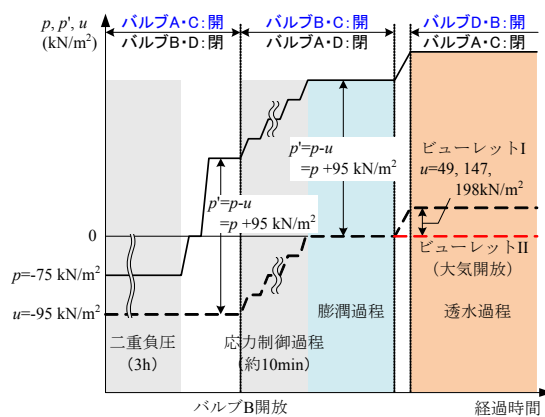


図-2 試験手順(膨潤・透水過程)

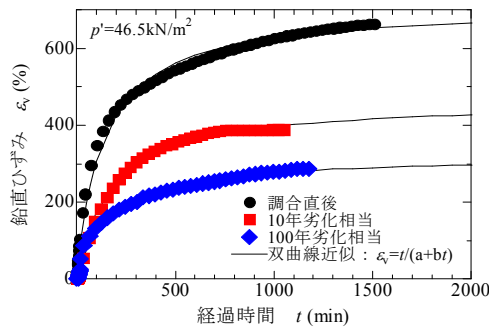


図-3 鉛直ひずみの経時変化の一例 (膨潤過程)

図-4 に有効拘束圧 p' と膨潤量 ε_s の関係を示す。拘束圧が大きいほど膨潤量が小さくなり、両者の関係は図のような直線で近似できる。膨潤量がゼロである拘束圧を膨潤圧 p_s と定義すると $p_s=400\text{kN/m}^2$ 程度である。劣化の度合いが大きくなると膨潤量は小さくなるが、いずれも直線で近似でき、膨潤圧は同じである。

図-5 に、図-4 の近似直線に基づいて、吸水膨潤した摩擦低減層の厚さを試算した値と深度の関係を示す。このとき、施工後一定期間経過した場合を想定して、地盤内の応力状態は K_0 状態 ($K_0=0.5$) であり、地下水面は地表面と一致 (G.W.L.=0m) し、地盤は飽和状態 ($S_r=100\%$) であると仮定した。摩擦低減層の厚さが 0.1mm 程度であれば、十分に摩擦低減機能を発揮できることから³⁾、土の湿潤密度 $\rho_t=1.6\text{g/cm}^3$ の場合、深度 130m 程度の大深度においても摩擦低減剤は吸水膨潤し、十分な効果が期待できる。

図-6 (a) ~ (f) に透水過程における間隙水圧 u 、鉛直ひずみ ε_v (透水開始時 0% 、膨潤を正)、透水量 V 、導水勾配 i 、流速 v および透水係数 k の経時変化の一例を示す。透水過程においては、シャフト止めで载荷盤を固定している。ただし、図-6 (b) に示すように、わずかな鉛直ひずみが生じる。図-6 (d) に示すように、動水勾配は $i=10^4 \sim 10^5$ 程度と大きい、図-6 (e) に示すように、流速は $v=10^{-5} \sim 10^{-6}\text{cm/s}$ とかなり小さいため、層流状態であると考えられる。図-6 (f) に示すように、透水係数には多少の変動はあるものの、間隙水圧の大きさによらず同程度の値であり、ダルシー則は成立していると考えられる。そのため、透水係数は平均値として決定した。

図-7 に有効拘束圧 p' と透水係数 k の関係を示す。透水係数は $k=10^{-7} \sim 10^{-11}\text{cm/s}$ 程度とかなり小さく、劣化した場合も同様の値である。なお、最終処分場で定められている遮水層 ($k=10^{-6}\text{cm/s}$ で層厚 50cm 以上) もしくは $k=10^{-7}\text{cm/s}$ で 5cm 以上) の透水係数よりも小さく、遮水剤としての適用も期待できる。

4.まとめ 拘束圧下における摩擦低減剤の膨潤・透水特性とその劣化の影響について検討し、以下の知見が得られた。①摩擦低減剤の膨潤量と拘束圧の関係は、直線で近似でき、膨潤圧は $p_s=400\text{kN/m}^2$ である。②劣化の度合いが大きくなると膨潤量は小さくなるが、同様に直線で近似でき、膨潤圧は調査直後と同じである。③劣化の有無によらず 100m 以上の大深度においても摩擦低減効果が期待できる。④摩擦低減剤の透水係数は劣化の有無によらず $k=10^{-7} \sim 10^{-11}\text{cm/s}$ 程度とかなり小さく、遮水剤としての適用が期待できる。

【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: 揖斐川伊曾島水門改築工事 (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, 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)梅崎健夫, 河村 隆, 林 錦華, 岡本 功一, 服部 晃: 鋼材表面に塗布した摩擦低減剤の拘束圧下における膨潤特性, 第 44 回地盤工学研究発表会, pp.1229-1230, 2009.

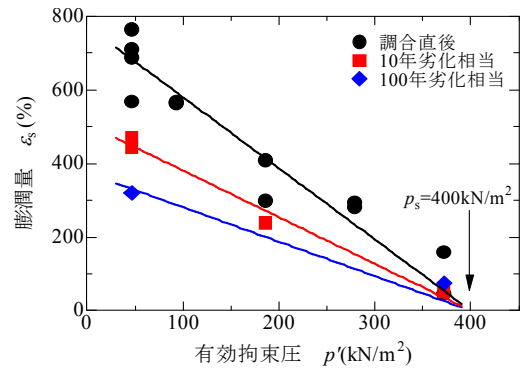


図-4 有効拘束圧と膨潤量の関係

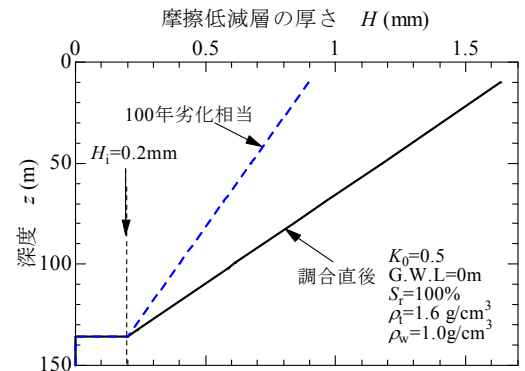


図-5 摩擦低減層厚の試算

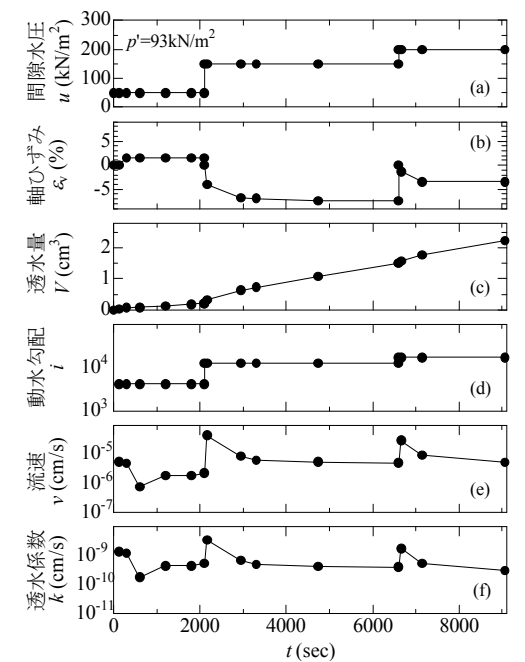


図-6 透水試験結果の一例 (調査直後)

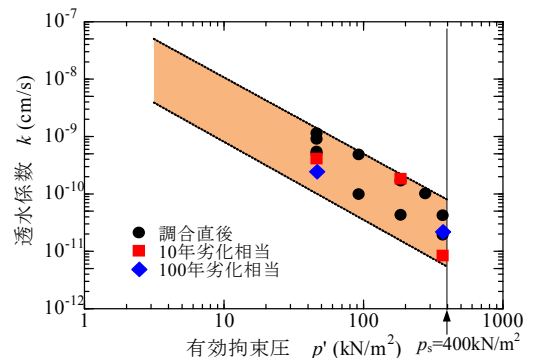


図-7 透水係数