

# 吸水性高分子摩擦低減剤の地盤内における膨潤特性

梅崎健夫<sup>1</sup>, 河村 隆<sup>1</sup>, 小林優太<sup>2</sup>,  
大石杏奈<sup>1</sup>, 岡本功一<sup>3</sup>, 服部 晃<sup>3</sup>

<sup>1</sup>信州大学工学部, <sup>2</sup>信州大学大学院, <sup>3</sup>(株)日本触媒

Swelling properties in the ground of absorbent polymer for reducing adhesion and skin friction of underground structures

T. Umezaki<sup>1</sup>, T. Kawamura<sup>1</sup>, Y. Kobayashi<sup>2</sup>,  
A. Oishi<sup>1</sup>, K. Okamoto<sup>3</sup> & A. Hattori<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Engineering, Shinshu University, <sup>2</sup>Graduate School, Shinshu University,  
<sup>3</sup>Nippon Shokubai Co., Ltd.

キーワード：吸水性高分子，鋼矢板，H形鋼，周面摩擦，拘束圧，拘束条件，  
塩分濃度

Keywords: Absorbent polymer, Sheet pile, H steel, Skin friction, Confining pressure,  
Restraint condition, Salinity

## 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によって発生する地盤変状を抑制するために、吸水性高分子摩擦低減剤<sup>1), 2)</sup> (写真-1) が開発されている。たとえば、写真-2 のように、鋼矢板の引抜き撤去においては、無処理の場合には、鋼矢板に付着して多量の土塊が地表に排出されて (写真-2(a), (b))、地盤変状が生じる。しかし、吸水性高分子摩擦低減剤を鋼矢板の表面に塗布した場合には、打設後、それが地下水との接触により地盤内で吸水膨潤ゲル化して土と鋼矢板の間に分離層を形成する。その摩擦係数は、土の内部摩擦角の 1/10~1/20 程度と極めて小さく<sup>3)</sup>、土の付着を大幅に抑制することができる (写真-2(c), (d))<sup>4)</sup>。

本文は、吸水性高分子摩擦低減剤の次の 4 つの条件における膨潤特性を検討するものである。まず、透水性が高く保水性の低い砂地盤を想定して、①膨潤特性における拘束圧の影響、②間隙水中の塩分濃度の影響、③拘束条件 (側方拘束および無拘束) の影響と、さらに、④透水性が低く保水性の高い粘土地盤を想定した場合の膨潤特性を明らかにする。

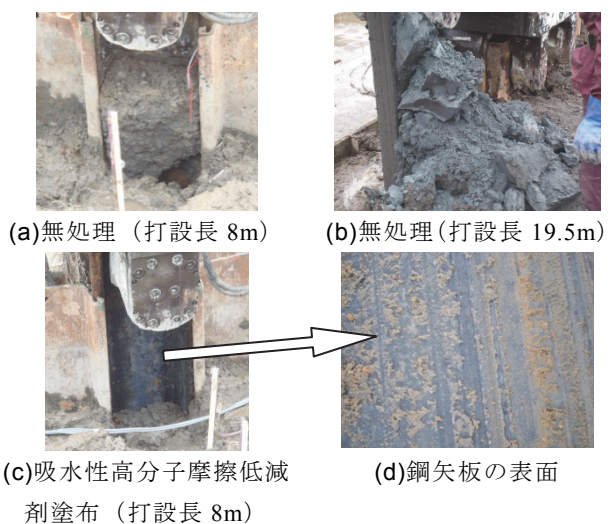
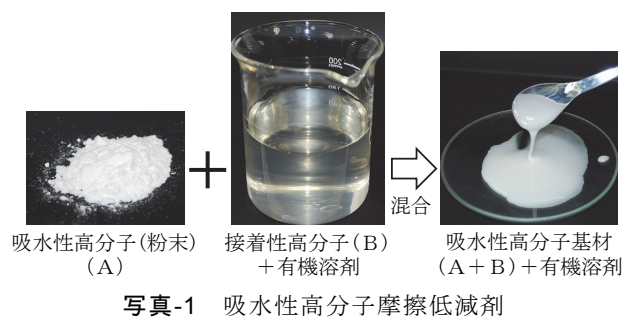


写真-2 鋼矢板の引抜き状況 (打設 1 年後) の一例

## 2. 試験の概要

### (1) 試料

吸水性高分子摩擦低減剤は、吸水性高分子 (粉末)

表-1 人工海水（塩分濃度： $s=35\text{g/L}$ ）の成分

成分	NaCl	KCl	MgCl <sub>2</sub>	MgSO <sub>4</sub>	CaSO <sub>4</sub>
水溶液 1kg 中の質量(g)	26.8	0.7	3.2	2.1	1.4

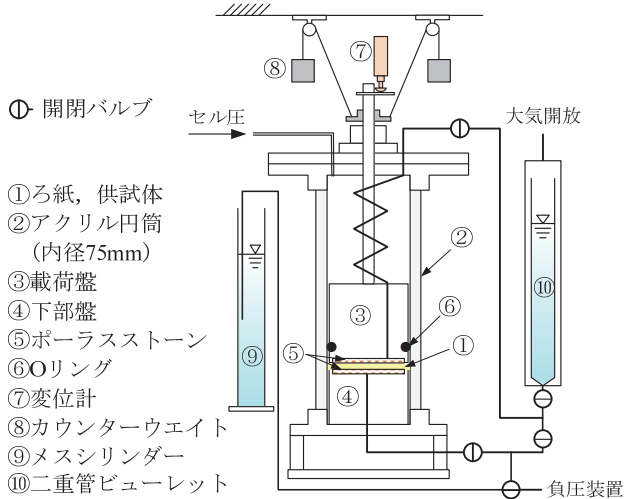
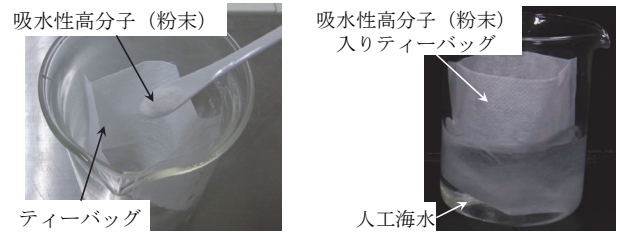


図-1 カラム膨潤試験（側方拘束条件）

と接着性高分子を混合した吸水性高分子基材を有機溶剤に分散させたものである（写真-1）。吸水させる水としては、実際の地下水ではなく、純水および1価と2価の金属イオンを含む人工海水（表-1）を用いた。土試料には、NSF(C)粘土（粘土分100%、土粒子密度 $\rho_s=2.723\text{g/cm}^3$ 、液性限界 $w_L=57.5\%$ 、塑性限界 $w_p=35.7\%$ 、塑性指数 $I_p=21.8$ ）を純水で $2w_L$ 程度に練り返して、圧密再構成（圧密圧力 $98\text{kPa}$ ）したものを用いた。

## (2) 拘束圧を载荷したカラム膨潤試験

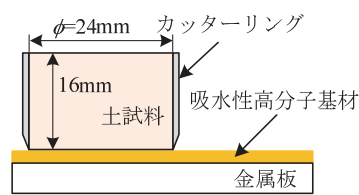
①透水性が高く保水性の低い砂地盤内で拘束圧を受ける場合における吸水性高分子基材の膨潤特性を検討するために、側方拘束条件（一次元変形）において純水を用いたカラム膨潤試験を実施した（図-1）。吸水性高分子基材と有機溶剤を混合したもの（写真-1）をろ紙（厚さ $0.21\text{mm}$ 、保留粒子径 $1\mu\text{m}$ ）に塗布し、24時間以上乾燥（有機溶剤を気化）させたもの（乾燥後の塗布厚さ $h_0=0.2\text{mm}$ 程度）を用いた。そのろ紙を下部盤に、無処理のろ紙を载荷盤に、それぞれ接着し、鉛直方向の有効拘束圧 $p'=0\sim 400\text{kPa}$ を载荷した状態で吸水膨潤させた。②間隙水中に塩分を含む海岸付近の地盤を模擬した膨潤試験として、人工海水（表-1）を希釈した濃度が異なる水溶液（塩分濃度 $s=2.92\sim 35\text{g/L}$ （海水））を用いて、同様の試験を実施した。試験の詳細は文献<sup>5)</sup>を参照されたい。



(a)水浸前

(b)水浸後

写真-3 ティーバッグを用いた簡易吸水試験（無拘束条件）



(a)概略図



(b)試験状況の一例

図-2 圧密再構成粘土と接触させた膨潤試験

## (3) ティーバッグを用いた簡易吸水試験

③吸水性高分子（粉末）に対する $p'=0\text{kPa}$ の無拘束条件（等方変形）における簡易吸水試験を写真-3に示すように実施した<sup>5)</sup>。市販のティーバッグ内に約 $0.2\text{g}$ の吸水性高分子（粉末）を入れ（写真-3(a)）、塩分濃度（ $s=0$ （純水） $\sim 35\text{g/L}$ （海水））の異なる水溶液（ $100\text{g}$ ）に水浸した（写真-3(b)）。24時間吸水膨潤（吸水性高分子は吸水時に等方的に膨潤変形）させた後、ティーバッグを引き上げて5分間空気中に吊し水切りして、質量を測定した。

## (4) 圧密再構成粘土と接触させた膨潤試験

④透水性が低く保水性の高い粘土地盤内における吸水性高分子基材の膨潤特性を検討するために、金属板に塗布した(2)と同様の吸水性高分子基材（ $h_0=0.2\text{mm}$ 程度）と土試料を接触させるだけの膨潤試験を実施した<sup>6)</sup>（図-2）。圧密による間隙水の排水を生じさせないために、NSF(C)粘土の圧密再構成試料（圧密圧力 $98\text{kPa}$ ）をカッターリングにより成形（直径 $24\text{mm}$ 、高さ $16\text{mm}$ 、初期質量約 $12\text{g}$ ）してそのまま置くだけの試験とした。試験中、試料上端面の鉛直変位をレーザー変位計により測定した。

## 3. 試験結果および考察

図-3に吸水性高分子基材に対するカラム膨潤試験結果の一例を示す。ここで、鉛直倍率 $R_v$ （ $\text{mm/mm}$ ）は、吸水性高分子基材の厚さの変化より次式により算定した。

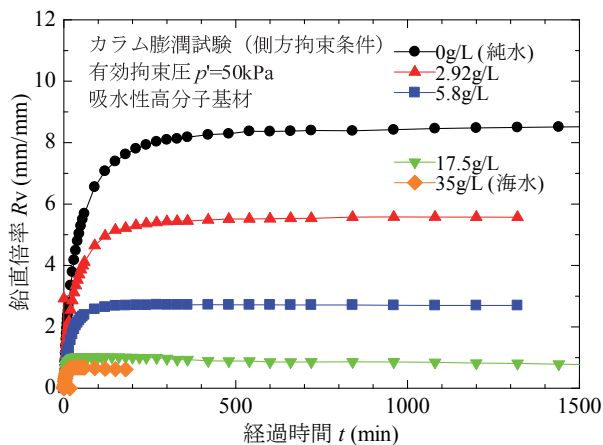


図-3 鉛直倍率の経時変化（カラム膨潤試験， $p'=50\text{kPa}$ ）

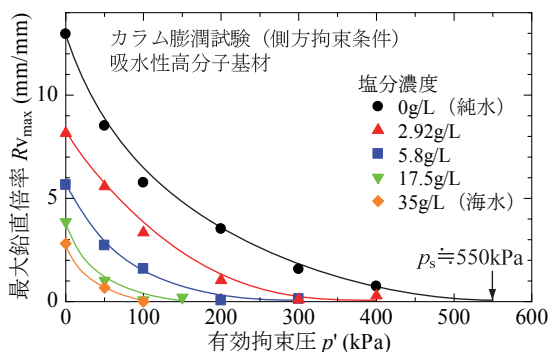


図-4 有効拘束圧と最大鉛直倍率の関係（カラム膨潤試験）

$$Rv = \frac{(\text{吸水膨潤後の厚さ}) - (\text{初期厚さ})}{(\text{初期厚さ})} \quad (1)$$

鉛直倍率は時間経過とともに急激に増加し、一定値に収束する。塩分濃度が低いほど、最大鉛直倍率  $Rv_{\max}$  は大きくなり、収束するまでの時間も長くなる。たとえば、塗布厚さを  $0.2\text{mm}$  とした場合の膨潤ゲル層の厚さは、 $s=0\text{g/L}$ （純水）の場合は 8 時間程度で約  $1.8\text{mm}$  になり、 $s=35\text{g/L}$ （海水）の場合は 1 時間程度で約  $0.4\text{mm}$  になる。

図-4 にカラム膨潤試験から得られた有効拘束圧  $p'$  と最大鉛直倍率  $Rv_{\max}$  の関係を示す。拘束圧および塩分濃度が大きいほど  $Rv_{\max}$  は小さくなり、両者の関係は図のような曲線となる。膨潤可能な最大の拘束圧を膨潤圧  $p_s$  と定義すると、塩分濃度の増加とともに膨潤圧は低下する。純水では  $p_s=550\text{kPa}$  程度であり、海水 ( $s=35\text{g/L}$ ) では  $p_s=100\text{kPa}$  程度である。

図-4 における  $p'=0\text{kPa}$  のカラム膨潤試験（側方拘束条件）

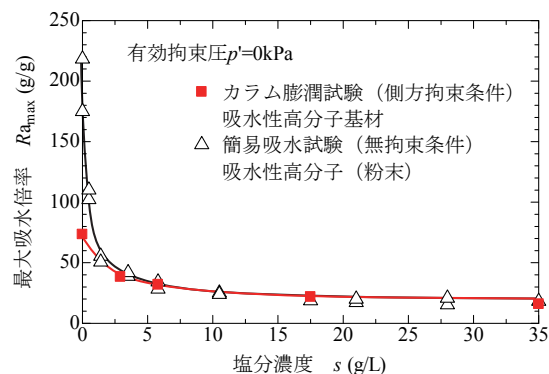


図-5 塩分濃度と最大吸水倍率の関係における拘束条件の影響

束条件）および簡易吸水試験（無拘束条件）の結果を図-5 にまとめて示す。吸水倍率  $Ra$  ( $\text{g/g}$ ) はそれぞれ次式により算定し、その最大値を  $Ra_{\max}$  とした。

$$Ra = \frac{(\text{吸水量})}{\left( \begin{array}{l} \text{吸水性高分子基材に含まれる} \\ \text{吸水性高分子の質量} \end{array} \right)} \quad (2-1)$$

$$Ra = \frac{\left( \begin{array}{l} \text{吸水膨潤後の} \\ \text{ティーバッグの質量} \end{array} \right) - \left( \begin{array}{l} \text{ティーバッグ} \\ \text{の質量} \end{array} \right)}{(\text{吸水性高分子の質量})} \quad (2-2)$$

純水 ( $s=0\text{g/L}$ ) における  $Ra_{\max}$  が最も大きく、無拘束条件の場合は  $170\sim 230$  倍程度、側方拘束条件の場合は  $70$  倍程度であり、無拘束条件の方が  $2\sim 3$  倍程度大きい。しかし、塩分濃度が高くなると、 $Ra_{\max}$  は急激に減少し、両者の値はほぼ等しくなる。たとえば、いずれの拘束条件においても  $s=3\text{g/L}$  では約  $40$  倍、 $s=10\text{g/L}$  以上では約  $20$  倍でほぼ一定となる。

図-4, 5 の結果に基づいて、膨潤特性に及ぼす拘束条件と塩分濃度の影響についてまとめると図-6 のようである。吸水性高分子は、等方的に吸水膨潤する材料である。純水に対しては最大まで吸水膨潤するが、多価金属イオンがある場合は、吸水膨潤が阻害される（図-6(a)）。無拘束条件において、純水を吸水する場合は、吸水性高分子はそれぞれ最大まで吸水膨潤する。吸水膨潤した高分子の間に大きなすき間が発生するため、そこにも多くの水が保水され、さらにその分膨潤量が増加する（図-6(b-1)）。一方、塩分濃度  $s>3\text{mg/L}$  においては、多価金属イオンにより吸水性高分子の吸水膨潤が阻害されて、吸水膨潤した高分子の間のすき間は小さく、そこに保水される水も少ない（図-6(b-2)）。側方拘束条件において、



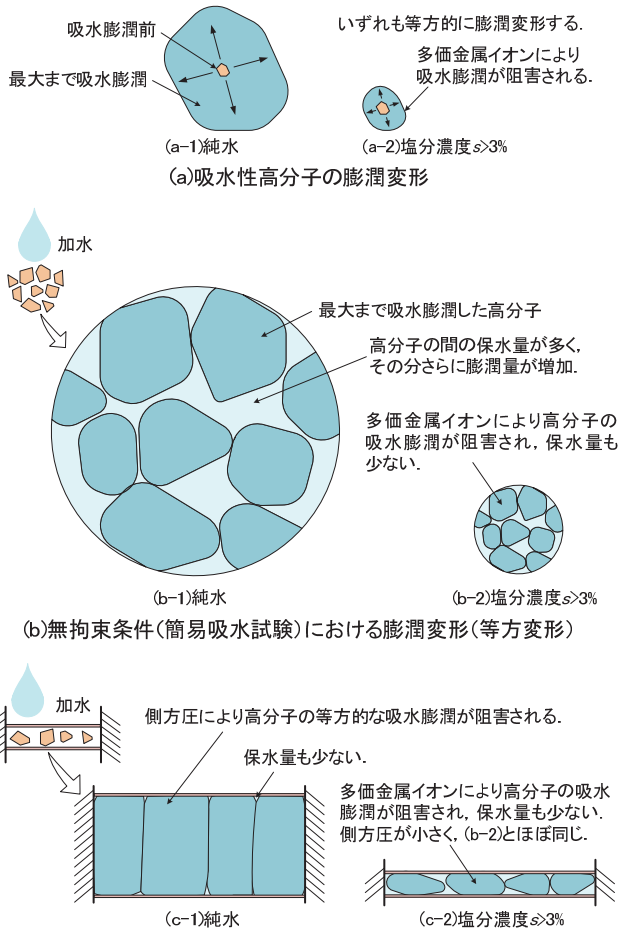


図-6 膨潤特性に及ぼす拘束条件と塩分濃度の影響

純水を吸水する場合は、側方圧により吸水性高分子の等方的な吸水膨潤が阻害され、高分子の間のすき間が小さく、保水量も少ない。(図-6(c-1))。一方、塩分濃度  $s \geq 3\text{mg/L}$  においては、多価金属イオンにより吸水膨潤が阻害され、膨潤量が小さくなる。そのため、側方圧が小さく、保水量も少ないので、無拘束条件の場合(図-6(b-2))と同様の膨潤量となる(図-6(c-2))。

図-7 に圧密再構成粘土を接触させた膨潤試験における鉛直倍率  $R_v$  の経時変化を示す。カラム膨潤試験 ( $p' = 0\text{kPa}$ , 純水)の結果もあわせて示した。吸水性高分子摩擦低減剤は、透水性が低く保水性の高い粘土地盤においても粘土内部の間隙水を吸水し膨潤ゲル化する(写真-4)。最大値  $R_{v\max}$  は 4.6 程度である。カラム膨潤試験の 1/3 程度であるが、別途実施した摩擦試験によると摩擦角は十分に小さく<sup>3)</sup>、圧密による間隙水の排水が生じなくても分離層として機能する。実施工においては、鋼矢板などの地中埋設体を打ち込む際に地盤の乱れが生じ、その後の再圧密

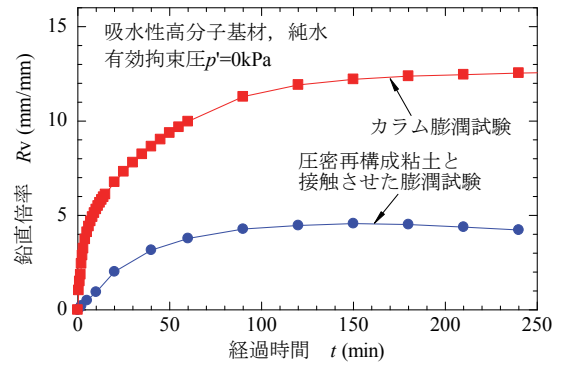


図-7 鉛直倍率の経時変化(圧密再構成粘土と接触させた膨潤試験)

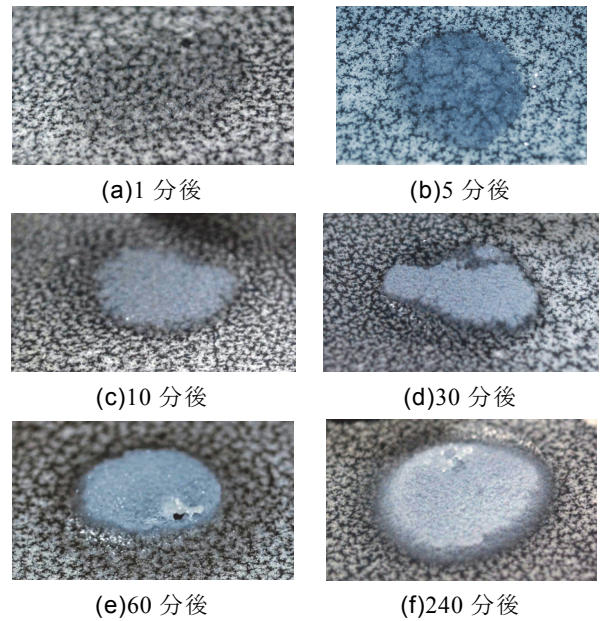


写真-4 膨潤ゲル化した吸水性高分子基材

によって間隙水が排水されるため、実際の膨潤量はさらに大きいと考えられる。

#### 4. まとめ

得られた主な知見は以下のとおりである。

- (1) 吸水性高分子摩擦低減剤の膨潤特性は、拘束圧、拘束条件、塩分濃度の影響を受ける。
- (2) 拘束圧が大きくなると膨潤量は減少する。たとえば、純水を十分に吸水膨潤できる場合の膨潤圧は  $p_s = 550\text{kPa}$  程度である。
- (3) 膨潤圧は塩分濃度が高くなるほど低下し、海水において  $p_s = 100\text{kPa}$  程度であるが、海水に対しても膨潤可能であり、海岸付近の地盤においても十分な摩擦低減効果が期待できる。
- (4) 吸水性高分子摩擦低減剤は、透水性が低く保水性の高い粘土地盤においても粘土内部の間隙水

を吸水し膨潤ゲル化して分離層を形成する。

**謝辞** 本研究は、JSPS 科研費（基盤研究(C), No.50193933, 研究代表者：梅崎健夫, 研究課題名：吸水性高分子摩擦低減剤の膨潤・摩擦特性と仮設鋼矢板引抜きに伴う地盤変状の抑制）の援助を受けたものである。ここに付記して感謝の意を表します。

#### 【参考文献】

- 1) 土木用摩擦低減材フリクションカッター, (株)日本触媒, 2012.
- 2) 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.
- 3) 梅崎健夫, 河村 隆, 岡本功一, 丸山 翼, 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3), 第47回地盤工学研究発表会, pp.1207-1208, 2012.

- 4) 梅崎健夫, 河村 隆, 服部 晃, 岡本功一, 深田和志, 豊岡義則, 酒井運雄：吸水性摩擦低減剤塗布による鋼矢板引抜きに伴う近傍地盤の変状低減効果 (その2), 土木学会第65回年次学術講演会 (III), pp.905-906, 2010
- 5) 梅崎健夫, 河村 隆, 小林優太, 岡本功一, 服部 晃：吸水性高分子摩擦低減剤の膨潤・透水特性に及ぼす塩分濃度の影響 (その1), 第48回地盤工学研究発表会, pp.1445-1446, 2013.
- 6) 梅崎健夫, 河村 隆, 小林優太, 大石杏奈, 岡本功一, 服部 晃：吸水性高分子摩擦低減剤の地盤内における膨潤メカニズム (その1), 第49回地盤工学研究発表会, 2014. (印刷中)

(原稿受付 2014. 3. 30)