

# 吸水性高分子摩擦低減剤の地盤条件を考慮した膨潤・透水特性(その1)

梅崎健夫<sup>1</sup>, 河村 隆<sup>1</sup>, 小林優太<sup>2</sup>, 宮木克真<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 and permeability properties in the ground of absorbent polymer for reducing and skin friction of underground structures (Part 1)

T. Umezaki<sup>1</sup>, T. Kawamura<sup>1</sup>, Y. Kobayashi<sup>2</sup>, K. Miyaki<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, 膨潤倍率, 膨潤圧, 限界深さ, 鋼矢板, 拘束圧, 間隙水圧, 塩分濃度, セメント水比

Keywords: Absorbent polymer, Absorption rate, Absorption pressure, Maximum depth, Sheet pile, Confining pressure, Salinity, C/W

## 1. はじめに

鋼矢板やコンクリートケーソンなどの地中埋設体の引抜き撤去や沈設施工において、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。吸水性高分子摩擦低減剤は、吸水性高分子(粉末)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。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))、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1/30~1/50程度と非常に小さく<sup>3), 4)</sup>、土の付着を大幅に抑制することができる(写真-2(b))<sup>2)</sup>。

本文では、吸水性高分子摩擦低減剤の地盤変状を抑制する効果に影響を及ぼすと考えられる地盤条件の例を図-1のように抽出し、その中から図-2に示すような、①変形条件、②応力条件、③水質条件、④温度条件を検討項目として抽出した。①変形条件として、水平方向の一次元変形を仮定した。②応力条件として、有効拘束圧 $p'$ と間隙水圧 $u$ を取り上げた。③水質条件として、吸水性高分子の膨潤特性に影響を及ぼす金属イオン<sup>2), 3), 5)</sup>

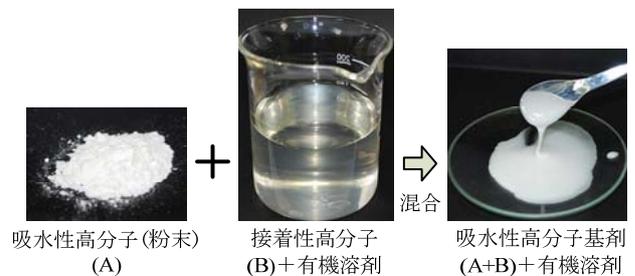


写真-1 吸水性高分子摩擦低減剤



(a)無処理



(b)吸水性摩擦低減剤を塗布



(c)塗布した鋼矢板の引抜き跡

写真-2 鋼矢板の引抜き状況の一例<sup>2)</sup>

<sup>6)</sup>が含まれていない純水のほか、海水を含む海岸近くの地盤を想定した塩分濃度  $s$  (g/L)、セメント改良地盤に含まれる金属イオンに対してセメント水比  $C/W$  を検討項目とした。なお、④温度は常温と仮定し、室内において  $23 \pm 1^\circ\text{C}$  に設定した。吸水性高分子摩擦低減剤に対してカラム膨

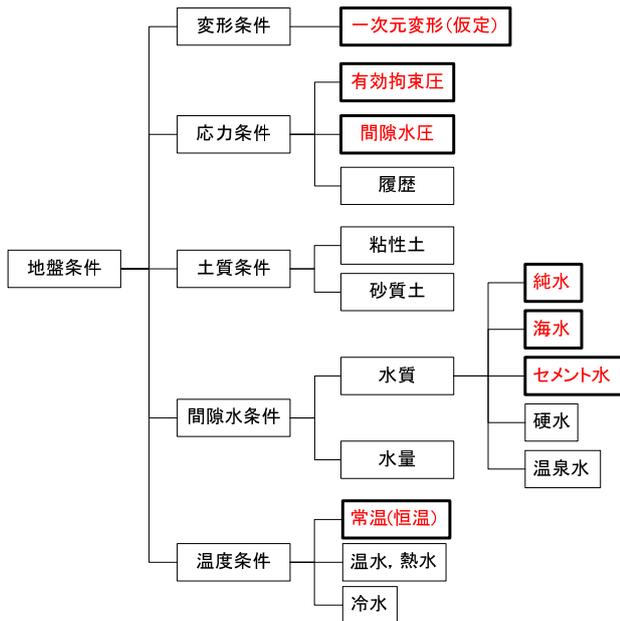


図-1 地盤条件の例

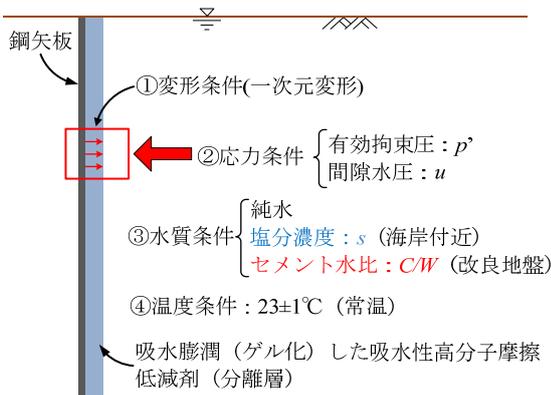


図-2 検討項目

潤・透水試験を実施し、各条件の影響を定量評価した。

## 2. 試験概要

### (1) 試料

吸水性高分子（粉末、平均粒径  $50\mu\text{m}$ ）、接着性高分子および有機溶剤を質量比 10 : 8.4 : 15.6 で十分に混合した（写真-1）。写真-3(a)に示すように、大きめのろ紙（直径 185mm、厚さ 0.21mm、保留粒径  $1\mu\text{m}$ ）を 2 重の布製ガムテープ（厚さ約 0.30mm）によりガラス板に固定した。混合した吸水性高分子摩擦低減剤（吸水性高分子基剤＋有機溶剤）をその上に垂らした後、写真-3(b)に示すように、ガラス棒をガムテープ上面に沿わせて移動することにより、均一な厚さで表面を平らに均した。24 時間以上乾燥（有機溶剤を気化）さ

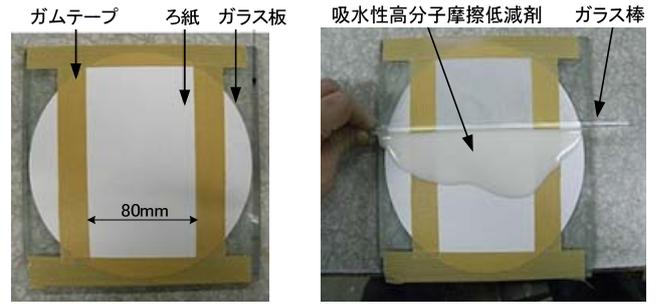


写真-3 ろ紙への吸水性高分子摩擦低減剤の塗布

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>	KSO <sub>4</sub>	CaSO <sub>4</sub>
純水 1kg に対する質量(g)	26.8	0.7	3.2	2.1	1.4

表-2 普通ポルトランドセメントの主な成分例

成分	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>
質量(%)	21.1	5.2	2.8	64.2	1.5	2.0

せ、直径 75mm の円に切り取って、供試体（吸水性高分子基材）とした。乾燥後の塗布厚さは  $t_0 \approx 0.2\text{mm}$  である。

試験水としては、表-1 に示す 1 価と 2 価の金属イオンを含む人工海水（塩分濃度  $s=35\text{g/L}$ ）を希釈した濃度が異なる水溶液（ $s=0$ （純水）～ $35\text{g/L}$ （海水））と、表-2 に示す普通ポルトランドセメントを用いて作製したセメント水比  $C/W=1 \sim 182\%$ （水セメント比  $W/C=10000 \sim 55\%$ ）のセメントミルクを真空吸引ろ過して得られた、主に 2 価の金属イオンを含むセメントミルク抽出水（以下、セメント水と称す）を使用した。

### (2) カラム膨潤・透水試験

図-3 に示すカラム膨潤・透水試験装置を用いた。試験水に含まれる金属イオンによる腐食を防止するために、それぞれアクリル製のカラム（内径  $D=75\text{mm}$ 、断面積  $A_s=4417\text{mm}^2$ ）、載荷板、下部板およびステンレス製の配管部品を用いた。供試体（吸水性高分子基材を塗布したろ紙）を下部板に、ろ紙を載荷板に、それぞれシリコン系充填剤により接着した。管路に通水して吸水性高分子基材を吸水膨潤させるために、バルブ A を負圧装置（真空ポンプ）側にして管路内を背圧（間隙水圧） $BP=u=-95\text{kPa}$  で真空脱気した。そして、管路内の

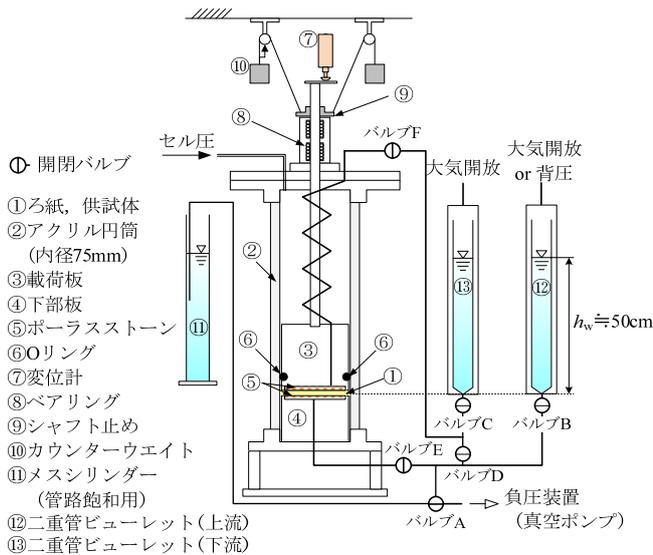


図-3 カラム型試験装置

表-3 試験ケース

純水 ( $s=0\text{g/L}$ , $C/W=0\%$ )	有効拘束圧	間隙水圧
人工海水	$p'=0, 50,$	$u=5, 105,$
$s=2.92, 5.80, 17.5, 35.0\text{g/L}$	100, 150,	305 kPa
セメント水	200, 300,	
$C/W=1, 10, 33, 182\%$	400 kPa	

真空を保った状態で、供試体に所定の有効拘束圧  $p'=0\sim 400\text{kPa}$  ( $=p-u$ ,  $p$ :セル圧) を载荷した。その後、バルブ A をメスシリンダー (⑪) 側へ切り替え、メスシリンダー (⑪) から通水させて管路およびポーラスストーンの間隙を飽和させた。3分程度経過後、バルブ A を閉じ、バルブ B を開放して二重管ビューレット (⑫) から通水させるとともに、所定の間隙水圧  $u=5\sim 305\text{kPa}$  を载荷した。この過程において、水溶液が载荷板 (③) および下部板 (④) から流入し、吸水性高分子基材が吸水膨潤する (膨潤過程)。膨潤過程終了後、シャフト止め (⑨) で载荷板を固定し、バルブ D を閉じバルブ C を開けて透水試験を実施した。二重管ビューレット (⑬) を大気開放した状態で、 $p'$  を一定を保ちながら、水頭差として二重管ビューレット (⑫) の  $u$  を 55, 155, 205kPa と段階的に増加させ、供試体の下面から透水を行った。試験ケースは、表-3 に示す通りである。

### 3. 試験結果および考察

#### (1) 膨潤特性

写真-4 に吸水性高分子基材の試験前後の状況

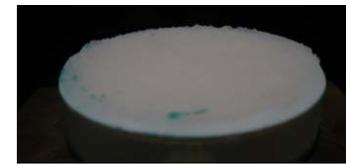
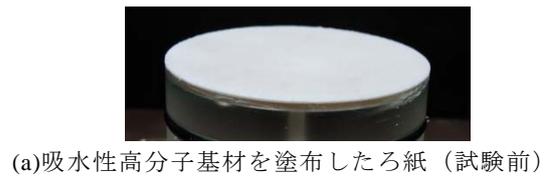


写真-4 試験前後の吸水性高分子基材

を示す。いずれの場合も、ろ紙に塗布した吸水性高分子基材の全体がほぼ均一に吸水膨潤 (ゲル化) する。

図-4 に膨潤試験結果の例として、膨潤倍率  $Ra$  の経時変化を示す。ここで、 $Ra$  は、吸水性高分子基材の吸水量を用いて次式により算定した。

$$Ra = \frac{m_w + m_a}{m_a} \quad (\text{g/g}) \quad (1)$$

ここで、 $m_w$ : 単位塗布面積あたりの吸水量 ( $\text{g/mm}^2$ )、 $m_a$ : 単位塗布面積あたりの吸水性高分子基材に含まれる吸水性高分子の質量 ( $\text{g/mm}^2$ ) である。 $Ra$  は時間経過とともに徐々に増加し、一定値に収束する。1500分までの最大値を  $Ra_{\text{max}}$  と定義すると、有効拘束圧  $p'$  が大きいほど、塩分濃度  $s$  が高いほど、セメント水比  $C/W$  が大きいほど、最大膨潤倍率  $Ra_{\text{max}}$  は小さくなる。

図-5 に各試験水における間隙水圧  $u$  と最大膨潤倍率  $Ra_{\text{max}}$  の関係を示す。図-5(a) に示すように、純水において  $Ra_{\text{max}}$  は  $u$  の影響を受けず、 $p'$  ごとに一定の値を示す。同様に人工海水、セメント水

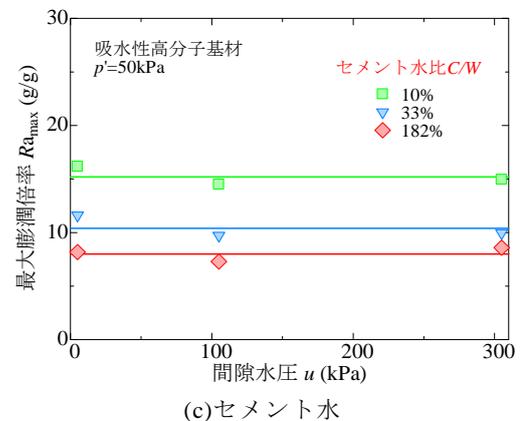
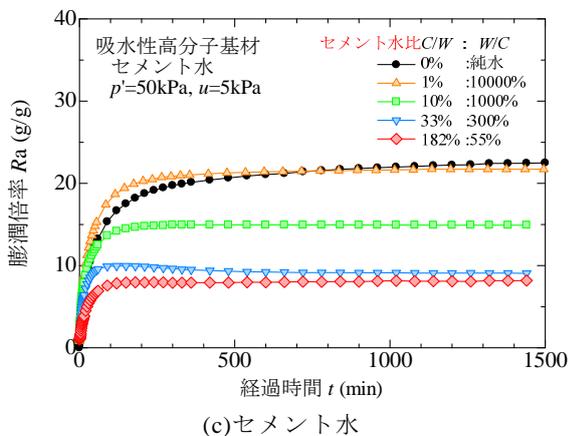
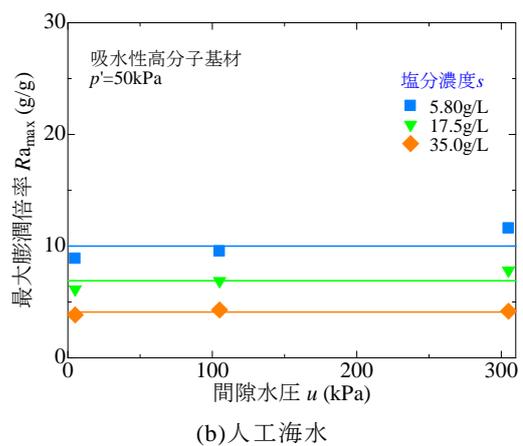
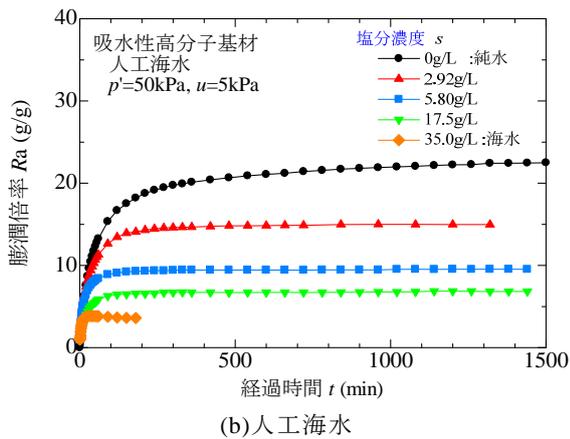
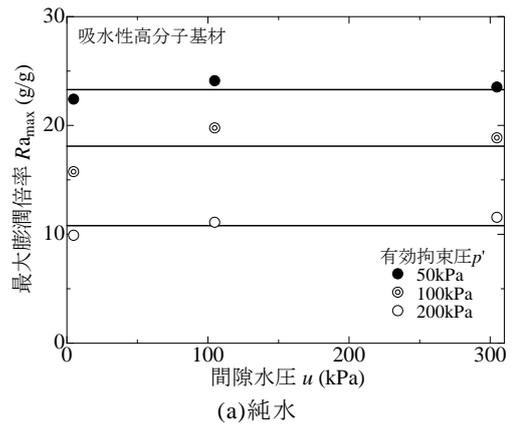
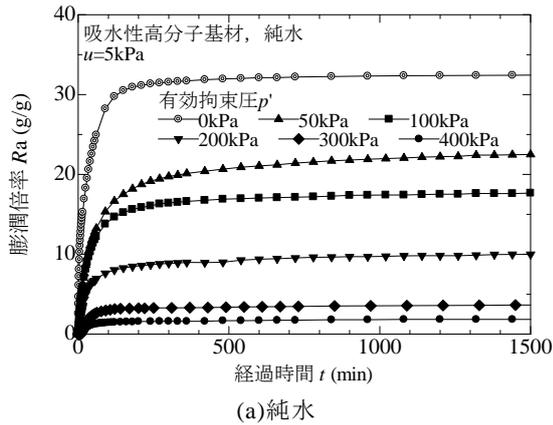


図-4 膨潤試験結果の例

図-5 間隙水圧と最大膨潤倍率の関係

においても  $R_{a,max}$  は  $u$  によらず濃度ごとに一定の値を示す (図-5(b), (c)). すなわち,  $R_{a,max}$  は  $p'$ ,  $s$ ,  $C/W$  の影響を受けるが,  $u$  の影響を受けない.

図-6 に純水および人工海水の場合の  $p'$  と  $R_{a,max}$  の関係を示す. 純水においては  $p'$  が大きくなるほど  $R_{a,max}$  は小さくなり, 両者の関係は式(2)で近似できる. また, 人工海水においても, 純水と同様に  $p'$  の影響を受け, さらに,  $s$  が大きくなるほど  $R_{a,max}$  は小さくなる. この関係は式(3)で近似できる. 式(2), (3)の相関係数はそれぞれ  $r=0.97888$ ,

$r=0.73704 \sim 0.96739$  であり, 実測値との相関は高い.

純水:

$$R_{a,max} = 34 \exp(-0.0060 p') \quad (\text{g/g}) \quad (2)$$

人工海水:

$$R_{a,max} = \left\{ 34(s+1)^{-0.48} \right\} \times A \quad (\text{g/g}) \quad (3)$$

$$A = \exp\{- (0.00036s + 0.0060) p'\}$$

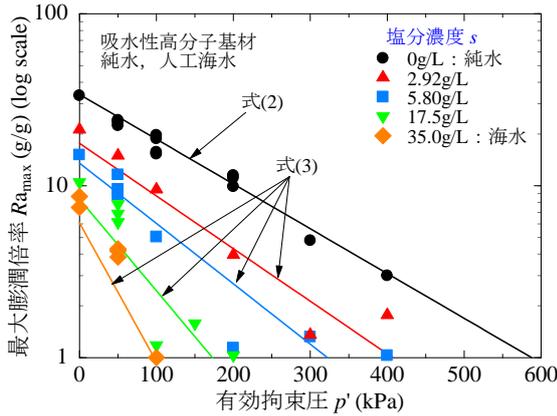


図-6 有効拘束圧と最大膨潤倍率の関係 (人工海水)

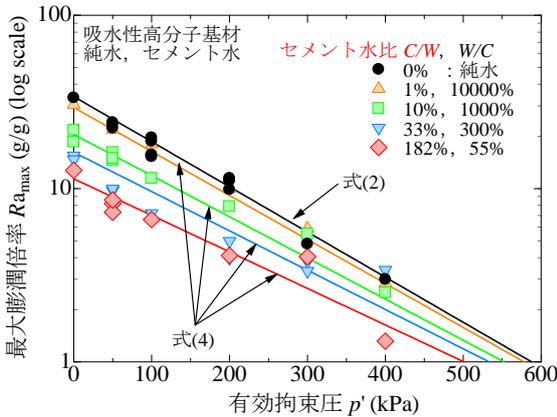


図-7 有効拘束圧と最大膨潤倍率の関係 (セメント水)

図-7 に純水、セメント水の場合の  $p'$  と  $Ra_{\max}$  の関係を示す。 $p'$  および  $C/W$  が大きくなるほど  $Ra_{\max}$  は小さくなる。この関係は式(4)で近似できる。式(4)の相関係数は  $r=0.92328\sim 0.99544$  であり、実測値との相関は高い。

セメント水：

$$Ra_{\max} = \left\{ 34 \left( \frac{C}{W} + 1 \right)^{-0.21} \right\} \times B \quad (\text{g/g}) \quad (4)$$

$$B = \exp \left[ 0.00022 \ln \left( \frac{C}{W} + 1 \right) - 0.0060 \right] p'$$

図-8 に、試験前に実測した吸水性高分子基材 (吸水性高分子+接着性高分子) の乾燥後の塗布厚さ  $t_0$  と単位塗布面積あたりの吸水性高分子基材に含まれる吸水性高分子の質量  $m_a$  の関係を示す。ここで、 $m_a$  は実測した質量から吸水性高分子と接着性高分子の配合比 (質量比) により算定した値である。両者の関係は次式により近似することができる。

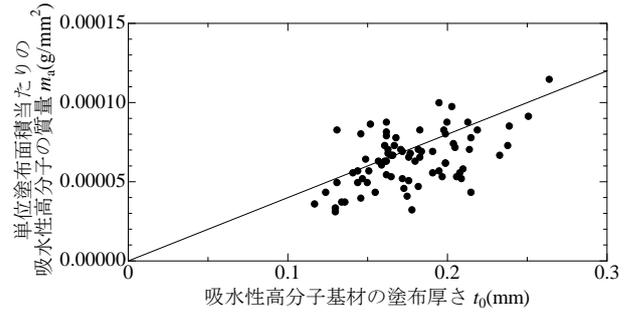


図-8 吸水性高分子基剤の塗布厚さと単位塗布面積あたりの吸水性高分子の質量の関係

$$m_a = 0.00040 t_0 \quad (\text{g/mm}^2) \quad (5)$$

吸水膨潤 (ゲル化) 後の吸水性高分子基材の厚さ (分離層) の変化量に相当する最大鉛直倍率  $Rv_{\max}$  (mm/mm) を次式のように定義する。

$$Rv_{\max} = \frac{t_{fc}}{t_0} = \frac{\Delta t + t_0}{t_0} \quad (\text{mm/mm}) \quad (6)$$

ここで、 $t_0$ : 乾燥後 (吸水膨潤前) の塗布厚さ (mm),  $t_{fc}$ : 吸水膨潤後の厚さ (mm),  $\Delta t (=t_{fc}-t_0=m_w/\rho_w)$ : 膨潤量 (mm),  $\rho_w=0.001\text{g/mm}^3$ : 水の密度である。したがって、式(1), (5)および(6)より、 $Ra_{\max}$  (g/g) は次式により  $Rv_{\max}$  (mm/mm) に変換できる。

$$Rv_{\max} = 0.40 Ra_{\max} + 0.60 \quad (\text{mm/mm}) \quad (7)$$

さらに、純水、人工海水およびセメント水の  $Ra_{\max}$  は、式(7)に式(2)~(4)を代入することにより  $Rv_{\max}$  (mm/mm) に変換できる。それぞれの式を式(8)~(10)に示す。

純水：

$$Rv_{\max} = 13.6 \exp(-0.0060 p') + 0.60 \quad (\text{mm/mm}) \quad (8)$$

人工海水：

$$Rv_{\max} = \left\{ 13.6 (s+1)^{-0.48} \right\} \times A + 0.60 \quad (\text{mm/mm}) \quad (9)$$

セメント水：

$$Rv_{\max} = \left\{ 13.6 \left( \frac{C}{W} + 1 \right)^{-0.21} \right\} \times B + 0.60 \quad (\text{mm/mm}) \quad (10)$$

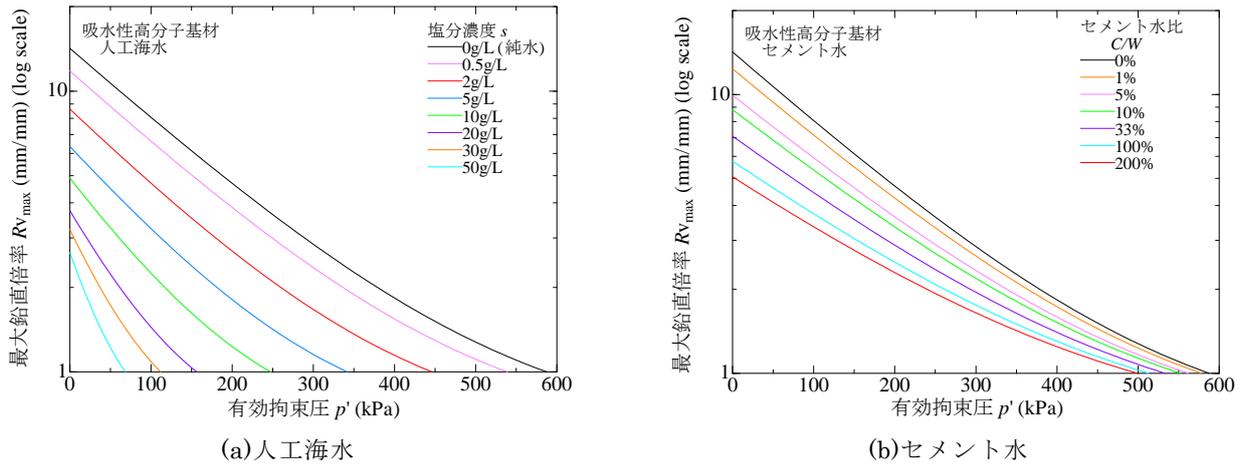


図-9 有効拘束圧と最大鉛直倍率の試算結果

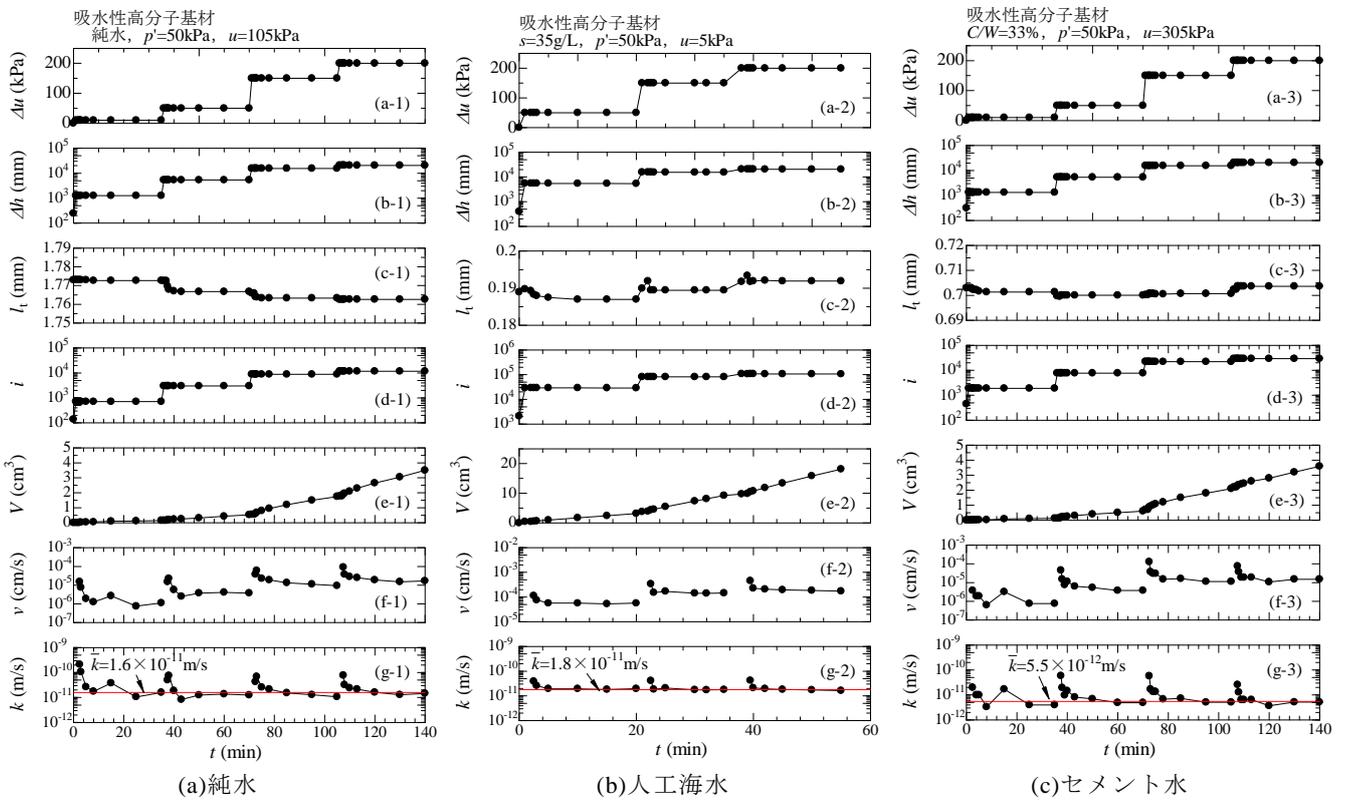


図-10 透水試験結果の例

図-9 に、式(8)~(10)より求めた塩分濃度  $s=0\sim 50\text{g/L}$ 、セメント水比  $C/W=0\sim 200\%$ における有効拘束圧  $p'$ と最大鉛直倍率  $Rv_{\max}$  の関係を示す。 $Rv_{\max}$ と塗布厚さ  $t_0$ および式(6)を用いることで、原位置の有効拘束圧  $p'$  (水平有効応力)が分かれば分離層の厚さ(吸水膨潤後の厚さ)  $t_{fc}$ を算定することができる。

## (2) 透水特性

図-10 に透水試験における下流側のビューレットに載荷した間隙水圧  $\Delta u$  (kPa)、水頭差  $\Delta h$  (mm)、

透水距離  $l_t$  (mm)、動水勾配  $i (= \Delta h/l_t)$ 、透水量  $V$  ( $\text{cm}^3$ )、流速  $v (= V/A_s)$  ( $\text{cm/s}$ )および透水係数  $k (= v/i)$  ( $\text{m/s}$ )の経時変化の一例を示す。 $l_t$ は吸水性高分子基剤の層厚とした。図-10(d-1), (d-2), (d-3)に示すように、動水勾配は、 $i=10^3\sim 10^5$ 程度と大きいですが、図-10(f-1), (f-2), (f-3)に示すように、流速は  $v=10^{-4}\sim 10^{-6}\text{cm/s}$ とかなり小さいため、層流状態であると考えられる。透水係数  $k$ は、定常状態となった一定値を採用した。

図-11 に  $Ra_{\max}$ と透水係数  $k$  ( $\text{m/s}$ )の関係を示す。

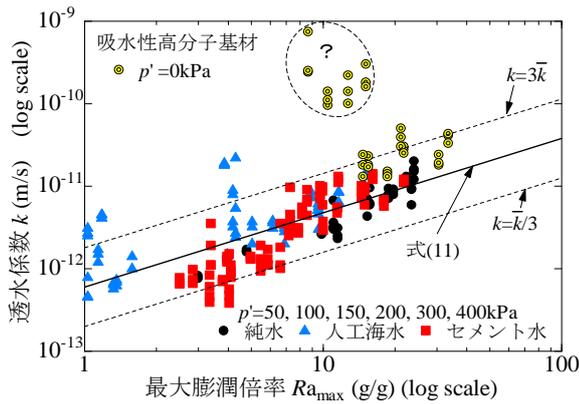


図-11 最大膨潤倍率と透水係数の関係

$k$  は、水質や  $u$  に関係なく  $Ra_{max}$  のみに依存し、 $Ra_{max}$  が高くなるほど  $k$  も高くなる。 $Ra_{max}$  と  $k$  の関係は式(11)で近似できる。ただし、 $p'=0\text{kPa}$  の場合において、 $p'$  が荷重された場合と異なった値も得られている。地盤内での適用を考慮して、 $p'=0\text{kPa}$  のすべてのデータを近似から除外した。このデータを除いたほとんどのデータが  $k=\bar{k}/3$  から  $k=3\bar{k}$  の範囲内にある。また、式(11)の相関係数は 0.6251 であり、実測値との相関は比較的高い。

$$\bar{k} = 6.0(Ra_{max})^{0.90} \times 10^{-13} \quad (\text{m/s}) \quad (11)$$

### (3) 適用例

図-12, 13 に塩分濃度  $s$ 、セメント水比  $C/W$  と膨潤圧  $p'_s$  (膨潤可能な最大の有効拘束圧) および膨潤圧に対応する限界深さ  $Z_{max}$  の関係を示す。施工後一定期間経過した場合を想定して、地盤内の条件を以下のように仮定した。

<条件>

地盤内の応力状態： $K_0$  状態 ( $K_0=0.5$ )

地下水面：地表面と一致 (G.W.L.=0 m)

土の飽和度： $S_r=100\%$

土の飽和単位体積重量： $\gamma_{sat}=19.6\text{kN/m}^3$

膨潤圧  $p'_s$  と限界深さ  $Z_{max}$  は、 $s$  および  $C/W$  の増加に伴いいずれも減少する。

上述の地盤条件において、長さ  $L=20\text{m}$  の鋼矢板に吸水性高分子基材を塗布厚さ  $t_0=0.2\text{mm}$  で塗布した場合を想定して、a)通常地盤、b)海岸近くの地盤および c)セメント改良地盤への吸水性

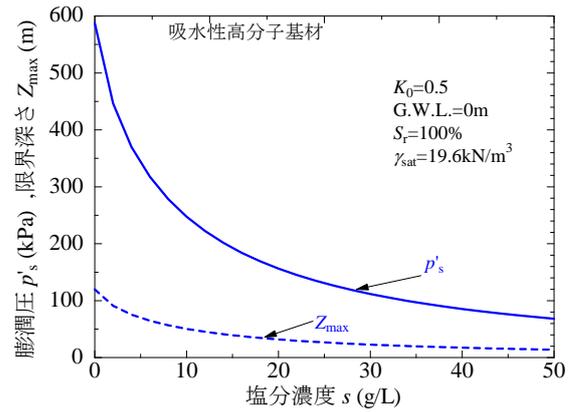


図-12 塩分濃度と膨潤圧および限界深さの関係

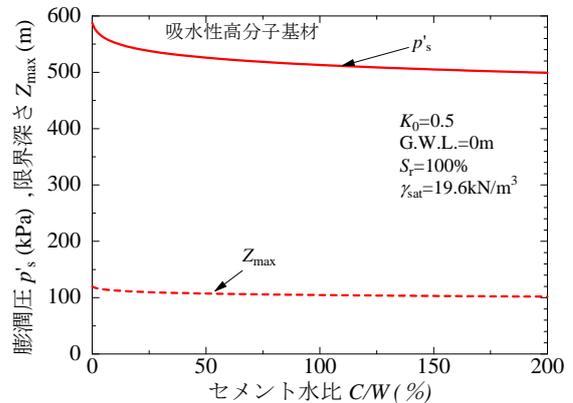


図-13 セメント水比と膨潤圧および限界深さの関係

摩擦低減剤の適用例を以下に示す。

a) 通常地盤への適用例 ( $L=20\text{m}$ ,  $t_0=0.2\text{mm}$ ,  $s=0\text{g/L}$ ,  $C/W=0\%$ )

地下水中の金属イオンが無視できるような地盤において、膨潤圧および限界深さは、図-12 より、 $p'_s \doteq 590\text{kPa}$ ,  $Z_{max} \doteq 120\text{m}$  である。深度 20m における膨潤倍率  $Ra$  および鉛直倍率  $Rv$  は、式(2) および式(8)より、 $Ra=18.9\text{g/g}$ ,  $Rv=8.2\text{mm/mm}$  である。したがって、分離層厚 (吸水膨潤後の厚さ)  $t_{fc}$  は、式(6)より、 $t_{fc} = Rv_{max} \times t_0 = 1.64\text{mm}$  であり、吸水性高分子摩擦低減剤の地中での膨潤後の厚さは  $t_{fc} > 1.64\text{mm}$  である。これが分離層として機能し、鋼矢板への土の付着を抑制する<sup>3), 4)</sup>ので、地盤変状を起こすことなく鋼矢板を引き抜くことができる。また、式(11)より深度 20m における透水係数は  $k=8.5 \times 10^{-12}\text{m/s}$  である。

b) 海岸近くの地盤への適用例 ( $L=20\text{m}$ ,  $t_0=0.2\text{mm}$ ,  $s=10\text{g/L}$ )

海岸近くの地盤への適用を想定して、有明海沿岸の佐賀県諫早市本明川河口付近における塩分

濃度の実測値<sup>7)</sup>を参考に  $s=10\text{g/L}$  とする. 図-12より, 膨潤圧および限界深さは  $p'_s \doteq 247\text{kPa}$ ,  $Z_{\max} \doteq 50\text{m}$  である. 深度 20m における  $R_a$ ,  $R_v$  および  $t_{fc}$  は, a)と同様にして, 式(3)および式(9)より,  $R_a=4.2\text{g/g}$ ,  $R_v=2.3\text{mm/mm}$  および  $t_{fc}=0.46\text{mm}$  であり, この場合も分離層として十分機能する. また, 式(11)より深度 20m における透水係数は  $k=2.8 \times 10^{-12}\text{m/s}$  である.

c) セメント改良地盤への適用例 ( $L=20\text{m}$ ,  $t_0=0.2\text{mm}$ ,  $C/W=100\%$ )

セメント改良地盤への適用を想定して, 一般的に用いられる  $C/W=100\%$  とする. 図-13より, 膨潤圧および限界深さは  $p'_s \doteq 510\text{kPa}$ ,  $Z_{\max} \doteq 100\text{m}$  である. 深度 20m における  $R_a$ ,  $R_v$  および  $t_{fc}$  は, 式(4)および式(10)より, それぞれ  $R_a=7.8\text{g/g}$ ,  $R_v=3.7\text{mm/mm}$  および  $t_{fc}=0.74\text{mm}$  であり, この場合も同様に分離層として機能する. また, 式(11)より深度 20m における透水係数は  $k=3.8 \times 10^{-12}\text{m/s}$  である.

#### 4. まとめ

得られた主な知見は以下のとおりである.

- (1) 吸水性高分子基剤の最大膨潤倍率  $R_{a\max}$  は, 有効拘束圧  $p'$ , 塩分濃度  $s$ , セメント水比  $C/W$  の影響を受けるが, 間隙水圧  $u$  の影響は受けない.
- (2) 最大膨潤倍率  $R_{a\max}$  および最大鉛直倍率  $R_{v\max}$  の予測式は,  $p'$ ,  $s$ ,  $C/W$  を変数とした式(2)~(4), (8)~(10)で評価できる.
- (3) 膨潤圧  $p'_s$ , 限界深さ  $Z_{\max}$  は, 純水において  $p'_s \doteq 590\text{kPa}$ ,  $Z_{\max} \doteq 120\text{m}$ , 海岸近くの地盤 ( $s=10\text{g/L}$ ) において  $p'_s \doteq 247\text{kPa}$ ,  $Z_{\max} \doteq 50\text{m}$ , セメント改良地盤 ( $C/W=100\%$ , 水セメント比  $W/C=100\%$ ) において  $p'_s \doteq 510\text{kPa}$ ,  $Z_{\max} \doteq 100\text{m}$  である.

- (4) 吸水性高分子基剤の透水係数  $k$  は,  $s$  や  $C/W$  によらず,  $R_{a\max}$  を変数とする式(11)で評価できる.  $k \doteq 10^{-13} \sim 10^{-11}\text{m/s}$  と非常に小さく, いずれの場合も高い止水性を有する.

謝辞 本研究の一部は, JSPS 科研費(基盤研究(C), No.25420499)の援助を受けた. ここに付記して感謝の意を表します.

#### 【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) 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, 土木学会論集C(地圏工学), Vol.67, No.4, pp.407-421, 2011.
- 3) 梅崎健夫, 河村 隆, 古久根晋太郎, 小林優太, 岡本功一, 服部 晃: 鋼材に塗布した吸水性高分子摩擦低減剤の摩擦特性(その1), 信州大学環境科学年報, 37号, pp.83-89, 2015.
- 4) 梅崎健夫, 河村 隆, 古久根晋太郎, 小林優太, 岡本功一, 服部 晃: 吸水性高分子摩擦低減剤のせん断特性に及ぼす吸水量の影響, 第50回地盤工学研究発表会, 2015(印刷中).
- 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, 宮木克真, 岡本功一, 服部 晃: 吸水性高分子摩擦低減剤の地盤条件を考慮した膨潤・透水特性, 第50回地盤工学研究発表会, 2015(印刷中).
- 7) 宮下義幸, 永瀬英生, 廣岡明彦, 田上 裕: 塩分が溶脱された有明粘土の力学的性質, 第34回地盤工学研究発表会, pp.469-470, 1999.

(原稿受付 2015. 3. 24)