

吸水性高分子摩擦低減剤の膨潤特性に及ぼす拘束条件と塩分濃度の影響

信州大学工学部 正会員 梅崎健夫, 正会員○河村 隆
 信州大学大学院 非会員 小林優太
 (株)日本触媒 正会員 岡本功一, 正会員 服部 晃

1. はじめに 仮設の土留め工として打設された H 鋼や鋼矢板を引抜き撤去する際に、土と鋼材の表面との摩擦を低減するために塗布される吸水性高分子摩擦低減剤（吸水性高分子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、写真-1）^{1)~4)}が開発されている。本文では、塩分濃度の異なる水溶液に対して、カラム膨潤試験装置を用いた拘束圧下における吸水性高分子基材の膨潤試験およびティーバッグを用いた吸水性高分子（粉末）の簡易吸水試験を実施し、吸水性高分子摩擦低減剤の膨潤特性に及ぼす拘束条件（拘束圧、変形条件）および塩分濃度の影響について検討した。

2. 試験概要 表-1 に示すように、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） $\sim 35\text{g/L}$ ）を用いた。

鋼材に塗布される吸水性高分子基材の拘束圧下における膨潤特性を検討するために、側方拘束条件における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 0.21mm ，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）させて供試体とした（乾燥後の塗布厚さ 0.2mm 程度）。吸水性高分子基材を塗布したろ紙を下部盤に、塗布していないろ紙を載荷盤に、それぞれ接着し、供試体に所定の有効拘束圧 $p'=0\sim 400\text{kPa}$ を載荷した状態で、吸水膨潤させた。試験の詳細については、文献 4) を参照されたい。

一方、吸水性高分子（粉末）の無拘束圧かつ無拘束条件における簡易吸水試験を写真-2 に示すように実施した。市販のティーバッグ内に約 0.2g の吸水性高分子（粉末）を入れ（写真-2(a)），塩分濃度の異なる水溶液（ 100g ）に水浸し、24 時間吸水膨潤させた（写真-2(b)）。そして、ティーバッグを引き上げて 5 分間空气中に吊して水切りした後、質量を測定した。

3. 試験結果および考察 図-2 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、鉛直倍率は吸水性高分子基材の厚さの変化より $R_v(\text{mm/mm})=\text{吸水膨潤後の厚さ}-\text{初期厚さ}/(\text{初期厚さ})$ として算定した。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 $R_{v\text{max}}$ 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 0.2mm 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 1.8mm であり、 $s=35\text{g/L}$ （海水）の場合は 1 時間程度で約 0.4mm である。

図-3 に有効拘束圧 p' と最大鉛直倍率 $R_{v\text{max}}$ の関係を示す。拘束圧および塩分濃度が大きいほど $R_{v\text{max}}$ 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。

図-4 に吸水性高分子（粉末）の簡易吸水試験（無拘束条件）および吸水性高分子基材の無拘束圧下（ $p'=0\text{ kPa}$ ）におけるカラム膨潤試験（側方拘束条件）から得られた吸水倍率と塩分濃度の関係をまとめて示す。それぞれの試験の吸水倍率は、 $R_a(\text{g/g})=(\text{吸水膨潤後のティーバッグの質量}-\text{ティーバッグの質量})/(\text{吸水性高分子の質量})$ および $R_a(\text{g/g})=(\text{吸水量})/(\text{吸水性高分子基材に含ま$

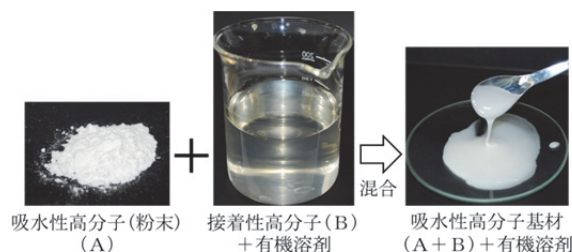


写真-1 吸水性高分子摩擦低減剤³⁾

表-1 人工海水（塩分濃度：35g/L）の成分

成分	NaCl	KCl	MgCl ₂	MgSO ₄	CaSO ₄
純水 1kg 中の質量(g)	26.8	0.7	3.2	2.1	1.4

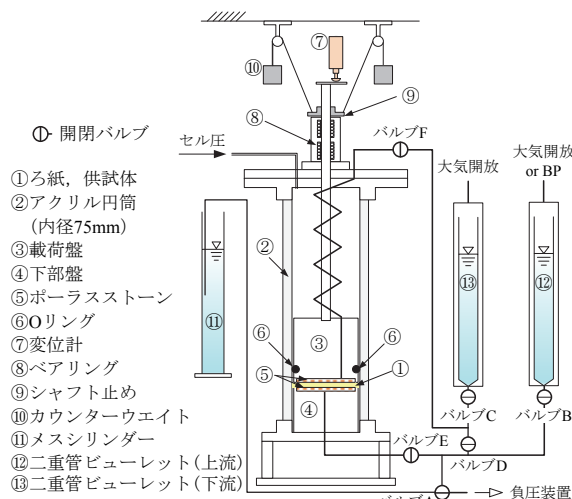


図-1 カラム膨潤試験（側方拘束条件）

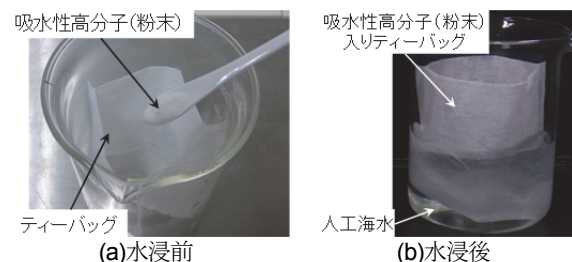


写真-2 ティーバッグを用いた簡易吸水試験（無拘束条件）

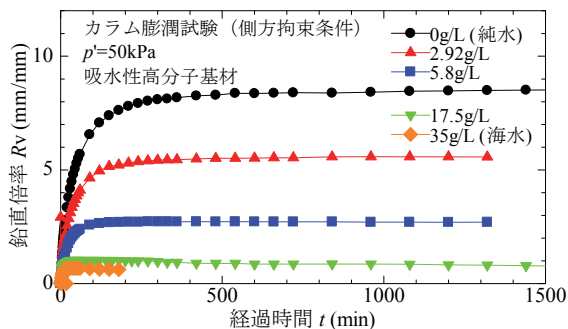


図-2 鉛直倍率の経時変化(カラム膨潤試験, $p'=50\text{kPa}$)

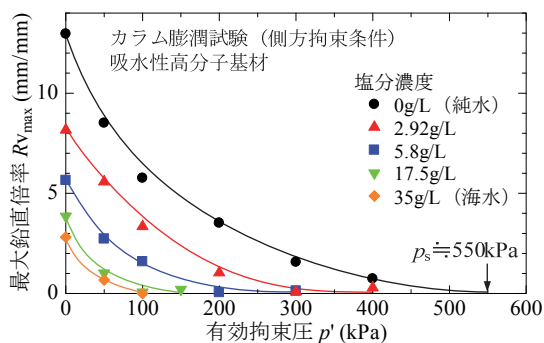


図-3 有効拘束圧と最大鉛直倍率の関係(カラム膨潤試験)

れる吸水性高分子の質量)として算定した. 拘束条件によらず, 純水($s=0\text{g/L}$)に対する R_a が最も大きく, 無拘束条件において 170~230 倍程度, 側方拘束条件において 70 倍程度であり, 無拘束条件の方が 2~3 倍程度大きい. 塩分濃度が高くなると, R_a は急激に減少し, $s=5\text{g/L}$ では約 30 倍, $s=10\text{g/L}$ 以上では, 約 20 倍でほぼ一定となり, 無拘束圧下における吸水性は高い. 一方, $s>3\text{g/L}$ 程度においては, 拘束条件によらず, 結果はほぼ等しくなる.

吸水膨潤挙動に及ぼす変形条件と塩分濃度の影響について図-5 のように考察する. 吸水性高分子は, 等方的に膨潤変形する材料である (図-5(a)). そのため, 無拘束条件において吸水倍率が 50 倍程度よりも大きくなると, 吸水膨潤した高分子の間に大きな間隙が発生し, そこに多量の水が保水される (図-5(b-1)). 一方, 側方変形が拘束される場合には, 吸水性高分子の等方的な変形 (吸水膨潤) が阻害され, (b-1) よりも高分子の間隙が小さくなるので, そこに保水される水も少なくなり, 吸水倍率が小さくなる (図-5(c-1)). 吸水倍率が 50 倍未満の場合には, 吸水膨潤量が少なく間隙が小さくなり, そこに保水される水も少なくなるため, 拘束条件の影響が現れない (図-5(b-2), (c-2)).

4. まとめ

得られた主な知見は以下の通りである. ①拘束圧が大きくなると吸水性高分子摩擦低減剤の膨潤量は減少する. たとえば, 膨潤可能な最大の拘束圧 (膨潤圧) は, 純水において $p_s=550\text{ kPa}$ 程度である. したがって, 地盤内における膨潤特性について検討するためには, 拘束圧を考慮することが重要である. ②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効果が期待できる. ③吸水性高分子摩擦低減剤は等方的に膨潤変形する材料であり, 吸水倍率が 50 倍程度よりも大きくなると, 無拘束条件と側方拘束条件の吸水倍率は大きく異なる. たとえば, 無拘束圧下 ($p'=0\text{ kPa}$) の純水においては, 無拘束条件の吸水倍率のほうが 2~3 倍程度大きくなる. 無拘束条件下において吸水倍率が大きい場合は, 吸水膨潤した高分子の間に大きな間隙が生じ, そこに多量の水が保水される. 一方, 側方変形を拘束した場合には, 等方的な変形が阻害され, 高分子の間隙が小さくなるので, 保水される水も少なくなる.

【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, 岡本: 揖斐川伊賀島水門改築工事 (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) 岡本, 梅崎, 服部: 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. 4) 梅崎, 河村, 小林, 岡本, 服部: 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.

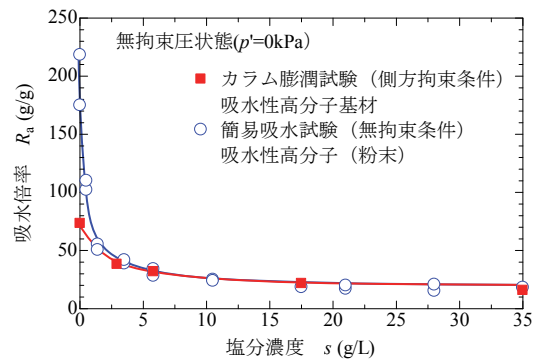


図-4 無拘束圧状態における塩分濃度と吸水倍率の関係

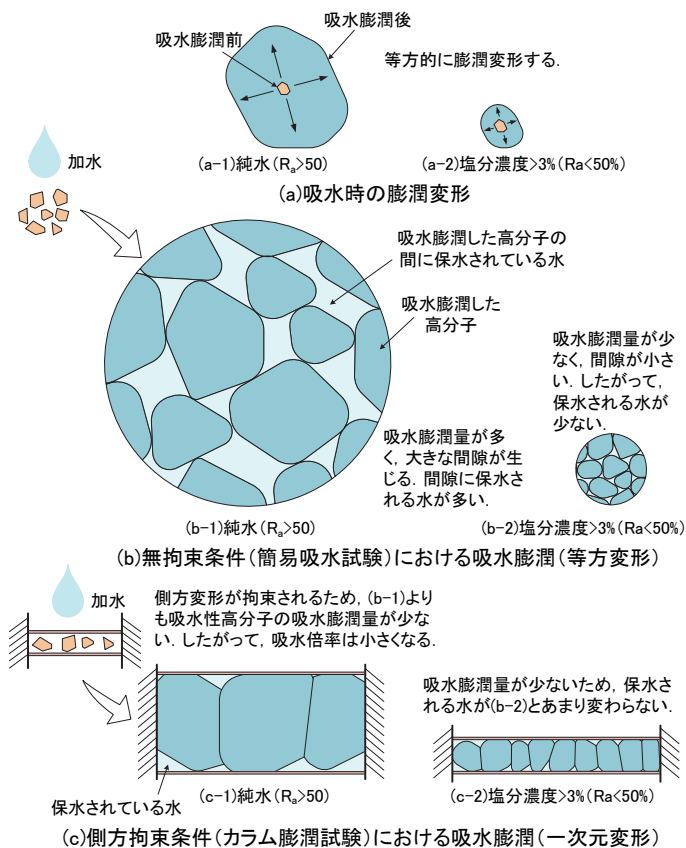


図-5 吸水膨潤挙動に及ぼす変形条件と塩分濃度の影響