吸水性高分子摩擦低減剤の摩擦角に及ぼす塩分濃度の影響（その 2）

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　学生会員　○松林　達也
（株）ゴウダ　正会員　服部　晃
（株）日本触媒　正会員　岡本　功一

1. はじめに

地中埋設体の引抜き撤去の際，地盤と埋設体との間の付着力や摩擦力により土塊が排出され，周辺の地盤変状を引き起こす問題が発生する（**写真-1 (a)**）．その対策として，吸水性高分子摩擦低減剤を埋設体にあらかじめ塗布する工法が開発されている [1), 2)]．吸水性高分子摩擦低減剤は地盤内部で地下水と接触することで吸水膨潤し，土と埋設体の間に分離層を形成することで，埋設体の表面に作用する付着力や摩擦力を低減させ，土の付着を抑制するものである（**写真-1 (b), (c)**）．しかし，既往の研究において [3)]，この吸水性高分子摩擦低減剤は**図-1** に示すように拘束圧の他に吸水する海水等に含まれる Na，Mg，Ca イオン等の金属イオンと反応し，膨潤倍率（吸水性）が低下することが確認されている．そのため，海岸地域などでの適用を検討する必要がある．本文では，人工海水を吸水させた吸水性高分子に対して定圧一面せん断試験を実施し，塩分濃度が摩擦角に与える影響について検討した．

(a) 無処理　(b) FC 剤を塗布処理

(c) 処理鋼矢板の引き抜き跡

写真-1　鋼矢板の引き抜き状況 [2)]

2. 試験の概要

試験には，土質試験法(JIS 0560-2000, JIS 0561-2000)に準拠した一面せん断試験装置を用いた．供試体は，吸水性高分子基剤と有機溶剤を混合したもの(FC 剤)を防錆処理された表面が滑らかな鋼材（SS400，直径 6cm，塗布面積 28.274cm^2）に塗布して 24 時間以上乾燥（有機溶剤を気化）させたものを用いた．乾燥後の塗布厚さは h_0=0.2mm とした．FC 剤の膨潤倍率は Ra (g/g) = (吸水量 m_w＋FC 剤に含まれる吸水性高分子の質量 m_a) / m_a として定義し [3)]，乾燥後の供試体をせん断箱内に設置後，所定の Ra となるようにマイクロピペット（GILSON 社，P-10：適用容量 0.0005～0.01g，P-200：0.05～0.2g）を用いて人工海水(NaCl, $MgSO_4$, $MgCl_2$, $CaSO_4$, KCl)を供試体上面に少量ずつ，均等に注水した．膨潤した FC 剤の漏出を防止するために，載荷盤の下に直径 6cm のアクリル板を設置した．その後，所定の垂直応力を載荷した．そして，上下のせん断箱の隙間を 0.1mm に設定するために隙間設定用スペーサーの引抜きを行った．試験は定載荷圧条件を手動で制御してせん断変位速度 0.2mm/min で行った．

試験ケースを**表-1** に示す．試験ケースは Ra=10，5，2.5g/g として FC 剤が人工海水を吸水した場合，摩擦角にどのような変化が生じるのか純水での結果と比較した．人工海水の塩分濃度及びせん断時の垂直応力は**図-1** より膨潤可能な条件を選定した．

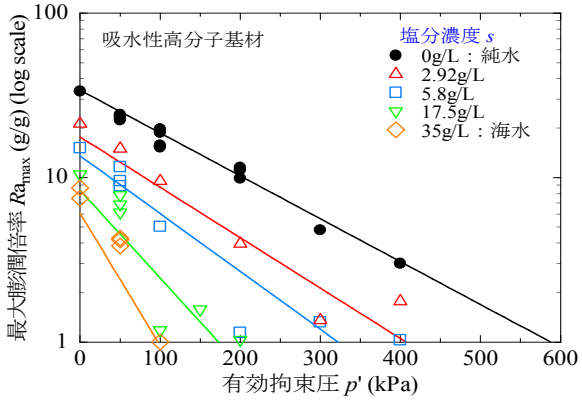

図-1　有効拘束圧 p'と最大膨潤倍率 Ra_{max} の関係 [3)]

表-1　試験ケース

塩分濃度 s(g/L)	σ_n'=100,120,150(kN/m^2) 膨潤倍率 Ra(g/g) 2.5	5	10	15
0 (純水)	○	○	○	○
2	○	○	●	—
5	○	○	—	—
15	○	—	—	—

●:σ_n'=100kN/m^2 のみ．

3. 結果および考察　既往の研究[4]における FC 剤の定体積一面せん断試験および垂直応力減少試験の結果より，FC 剤はせん断過程において，過剰間隙水圧がほとんど生じないため，一面せん断試験における垂直応力は有効垂直応力 σ_n'として評価できる．また，純水を吸水させた場合の粘着力は $c'\fallingdotseq 0$ であり，せん断抵抗は，σ_n'の増加に伴い増加するため，FC 剤は粘着性材料ではなく摩擦性材料として評価できることが明らかとなっている．

図-2 にせん断変位 D とせん断応力 τ の関係，**図-3** に有効垂直応力 σ_n'と最大せん断応力 τ_{max} の関係の代表例を示す．**図-2** より人工海水で膨潤させた場合においても FC 剤のせん断抵抗は σ_n'の増加に伴い増加する．**図-3** により，τ_{max}~σ_n'の関係は原点を通る $\bar{\delta}'\fallingdotseq 0.7°$の直線で評価することができる．よって FC 剤は吸水する水分の塩分濃度に関わらず $c'\fallingdotseq 0$ の摩擦性材料として評価できる．

図-4 は純水を含めたすべての試験結果について $c'=0$ として算出した摩擦角 δ'と膨潤倍率 Ra の関係を示す．有効垂直応力に関わらず，膨潤倍率が同じであれば同じ摩擦角を示し，純水の場合と同様に，摩擦角は Ra=10g/g 以上の場合には $\delta'\fallingdotseq 0.5°$であり，$Ra$ が減少するにしたがって δ'は若干増加する．そのため FC 剤の摩擦角 δ'は塩分濃度に関わらず膨潤倍率 Ra のみによって評価することが可能である．塩分濃度によって最大膨潤倍率 Ra_{max} が減少するため，塩分濃度の低い地下水で膨潤できる場合に比べて塩分濃度が高い場合には膨潤可能な拘束圧の範囲が減少するが，Ra=2.5g/g の場合でも $\delta'=2°$程度である．すなわち，土の摩擦角の 1/15～1/25 程度である．よって少しでも膨潤すれば，海岸地域などでも鋼矢板の引抜き時に分離層として十分機能する．

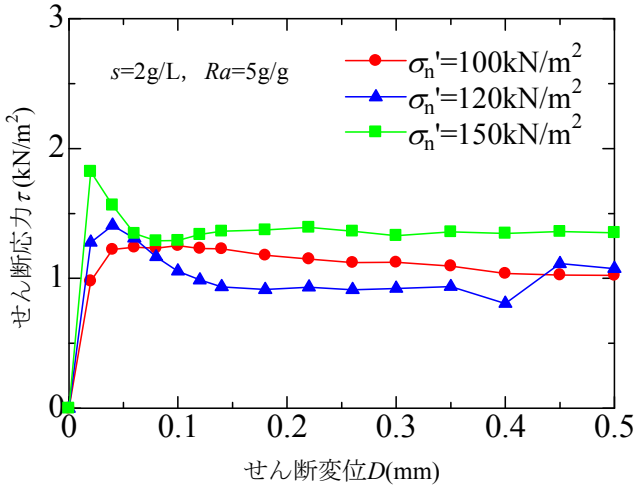

図-2 せん断応力 τ とせん断変位 D の関係の代表例

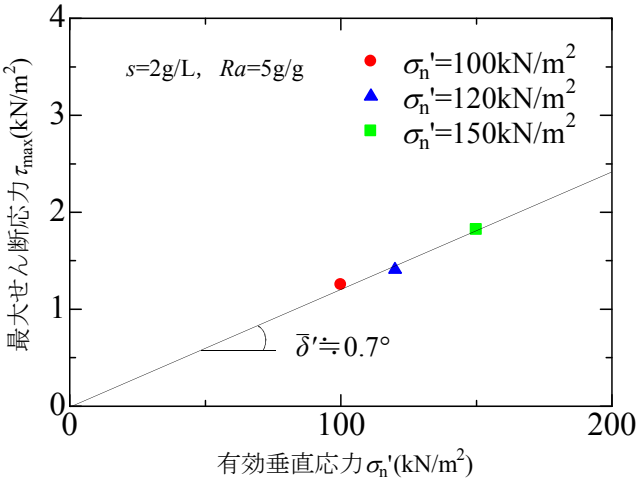

図-3 最大せん断応力 τ_{max} と有効垂直応力 σ_n'の関係の代表例

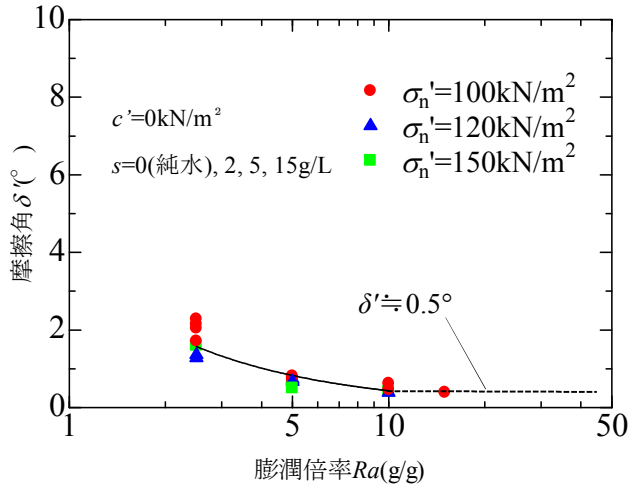

図-4 摩擦角 δ'と膨潤倍率 Ra の関係

4. まとめ　得られた知見は以下の通りである．①人工海水中でも FC 剤は粘着性材料ではなく $c'\fallingdotseq 0$ の摩擦性材料として評価できる．②塩分濃度に関わらず，摩擦角 δ'は膨潤倍率 Ra のみによって評価することが可能である．③Ra=10g/g 以上において $\delta'\fallingdotseq 0.5°$であり，$Ra$=2.5g/g においても $\delta'\fallingdotseq 2°$である．少しでも膨潤すれば地下水の塩分濃度の高い海岸地域であっても分離層として十分機能する．

謝辞　本研究は，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)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，宮木克真，小林優太，岡本功一，服部晃：吸水性高分子摩擦低減材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，pp.1483-1484，2015．4) 梅崎健夫，河村 隆，古久根晋太郎，岡本功一，国際会員 服部 晃：吸水性高分子摩擦低減剤の有効応力に基づく摩擦角（その２），第 51 回地盤工学研究発表会，pp.369-370，2016.