

膨潤性止水材の膨潤率および膨潤圧に関する実験的検討

稲積 真哉^{1*}・若月 正²・小林 賢勝²・木村 亮³

¹京都大学大学院 工学研究科 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)

²日本化学塗料(株) (〒252-1111 綾瀬市上土棚北4-10-43)

³京都大学 産官学連携センター (〒615-8520 京都市西京区京都大学桂)

* E-mail: inazumi@toshi.kuciv.kyoto-u.ac.jp

膨潤性止水材は合成樹脂エラストマーを母材とし、高吸収性ポリマー、充填剤および溶剤等を配合した流動性の止水材である。本研究では、鋼矢板ならびに鋼管矢板継手の遮水処理材として膨潤性止水材の適用を想定した上、汚濁水に対する膨潤性止水材の膨潤特性を検討している。また、遮水処理材として膨潤性止水材の膨潤圧を測定することで、膨潤圧に影響を及ぼす要因を明らかにしている。結果の一例として、膨潤性止水材の膨潤に対して浸漬水中のCODおよびBODの影響は実用上小さいことが明らかになった。また、膨潤性止水材の接着厚が2 mmおよび3 mmでは、水深50 mでの水圧に相当する0.5 MPa以上の最大膨潤圧を有する。

Key Words : impermeable material, swelling ratio, swelling potential, water swelling material

1. はじめに

膨潤性止水材は合成樹脂エラストマーを母材とし、高吸収性ポリマー、充填剤および溶剤等を配合した流動性ならびに自己修復性を有する止水材である。なお、膨潤性止水材の乾燥塗膜から抽出された水は水道法に基づく水質基準を満たし、環境に適合するものである。

土木分野において膨潤性止水材は、鋼矢板や鋼管矢板の継手箇所の止水性を高めるために、継手遮水処理材として多用されている(図-1参照)¹⁾²⁾³⁾。なお、継手箇所に塗布もしくは接着された膨潤性止水材は、地盤中の水と接触することで膨潤して継手内通水空間を塞ぎ、結果的に継手箇所の遮水が図られる。ただし、これまで膨潤性止水材は主に仮設用遮水材として適用されることが多かった。これは、膨潤性止水材に対する膨潤メカニズムの解明が途上であり、遮水処理材として経験的に適用されてきた背景がある。そこで、膨潤性止水材の膨潤率および膨潤圧特性の解明は、鋼矢板継手や鋼管矢板継手の高遮水化に留まることなく、他用途における膨潤性止水材の本設適用へ多大に貢献できると考えられる。

本論文では、膨潤性止水材が海面廃棄物埋立処分場における鋼矢板ならびに鋼管矢板継手の遮水処理材として適用されることを想定した上、汚濁水に対する膨潤性止

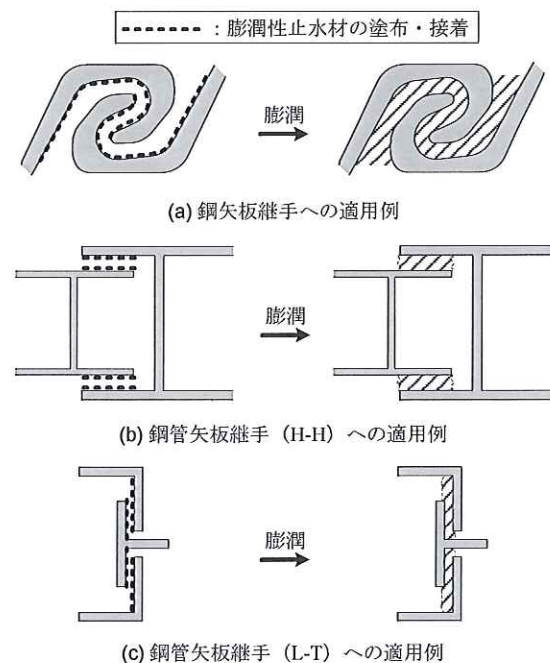


図-1 遮水処理材として膨潤性止水材の適用例

水材の膨潤率特性を検討する。さらに、遮水処理材として膨潤性止水材の膨潤圧を実験的に測定することで、膨潤圧に影響を及ぼす要因を明らかにする。なお、既往研

究⁴⁾では、主として重金属類や有機溶剤による汚染水に対する膨潤性止水材の膨潤特性を実験的に解明している。

2. 膨潤性止水材の概要

(1) 遮水特性

近年では、海面廃棄物埋立処分場における鋼矢板継手¹⁾ならびに鋼管矢板継手^{2,3)}の高遮水化において、継手遮水処理材として膨潤性止水材の積極的な適用が試みられている(図-1 参照)。さらに、膨潤性止水材が接着された鋼管矢板継手の遮水性能は、例えば淡水および人工海水(3%食塩水)の環境において、換算透水係数 $k_e = 1 \times 10^{-8}$ cm/s オーダーの低透水性を確保することが明らかにされている³⁾。また、原位置における膨潤性止水材の剥離や遮水性能等も同時に検証されており^{5,6)}、概ね良好な結果が報告されている。

膨潤性止水材を継手遮水処理材として適用する場合、シートとして継手内に接着する止水材(膨潤性シート)、ならびに塗料として塗布する止水材(膨潤性塗料)があり、現場条件に応じてこれら膨潤性止水材の性状を選択することが可能である。ここで、膨潤性塗料の塗布は止水材と鋼がより密実に合成することで剥離などを防止できる。また、膨潤性シートは品質管理に優れており、所定厚でムラなく鋼へ接着することができる。なお、膨潤性止水材自体の透水係数はシートもしくは塗料による相違がなく、いずれも 1×10^{-9} cm/s オーダーである。

(2) 膨潤特性および体膜強度特性

膨潤性止水材の膨潤機構は、主として膨潤性止水材中に含まれる高吸収性ポリマー(高い水分保持性能を有するように設計された高分子材料)の膨潤に依存するものである。なお、高吸収性ポリマーは、イオン性の基を持った高分子電解質を緩く架橋した網目構造である。高吸収性ポリマーが水(溶媒)に浸漬した場合、高分子電解質と水(溶媒)が混合するため、水(溶媒)は次第に高吸収性ポリマーの網目構造内に吸収され、高吸収性ポリマーの膨潤が生じる。

現状において使用頻度の高い膨潤性止水材の組成では、淡水および海水に浸漬すると、24時間後に重量比でそれぞれ15~30倍および5~7倍に膨潤する⁴⁾。

さらに、既往の研究⁴⁾では膨潤性止水材の組成と膨潤および膨潤体膜強度特性に関して実験的な検討を実施している。既往の研究⁴⁾から明らかにされた膨潤性止水材の膨潤特性は以下のとおりである。

(i) 高いエーテル化度(DS値)を有する高吸収ポリマーを配合した膨潤性止水材は、人工海水中での膨潤率が大幅に向上する。特に、配合する高吸収ポリマー

のDS値を0.9 M/c6に改質することで、人工海水環境下、現行の膨潤性止水材(高吸収ポリマーのDS値=0.6 M/c6)と比べて約2倍の膨潤率が得られる。なお、DS値とはポリマー構造の結合強さを表す指標であり、高吸収性ポリマーにおけるグルコース($C_6H_{12}O_6$)1ユニット(炭素数6個)に対するエーテル化(ナトリウム化)したナトリウム(Na)の物質質量(mol数)である。

- (ii) 淡水温の上昇は、膨潤性止水材の膨潤率の増加に影響する一方、人工海水の水温は膨潤性止水材の膨潤率に影響を及ぼさない。また、膨潤性止水材は強酸もしくは強アルカリ領域において膨潤率が低下する傾向にあるが、pHが4~12の領域ではpHが膨潤性止水材の膨潤率に及ぼす影響が小さい。
- (iii) 重金属類が含有された浸漬水中においても膨潤性止水材は淡水中と同程度に膨潤し、浸漬水に含まれた重金属類は膨潤性止水材の膨潤率に大きな影響を及ぼさない。
- (iv) 有機溶剤が浸漬水に含まれる場合、有機溶剤が飽和濃度条件下での膨潤性止水材の適用は不可能である。一方、2.0 g/L程度の有機溶剤を含有する浸漬水では、膨潤性止水材の膨潤に対して全く影響が確認されず、十分な膨潤率が得られる。
- (v) 膨潤性止水材の組成成分である合成樹脂エラストマーに関する樹脂含有量の調整は、膨潤性止水材の膨潤体膜強度の向上に貢献する。特に、樹脂含有量を高めた合成樹脂エラストマーを配合した膨潤性止水材は、現行の膨潤性止水材と比べて、淡水ならびに人工海水中での膨潤体膜強度をそれぞれ約2倍および1.5倍まで高めることができる。なお、膨潤体膜強度とは、膨潤性止水材が膨潤した状態における膜強度である。

3. 膨潤性止水材の膨潤率試験

(1) 試験概要

本章では有機汚濁の浸漬水条件において、膨潤性止水材の膨潤率特性を検討するため、独自に組み立てた膨潤率試験を実施した。なお、有機汚濁した浸漬水の再現には、化学的酸素要求量(COD)および生物化学酸素要求量(BOD)を指標として設定している。

CODは水中の物質が酸化されることによって消費される酸素の量で表し、湖沼、海域および工場排水等の汚濁度指標の一つである。ここで、生活環境の保全に関する環境基準(生活環境項目)におけるCOD濃度では、湖沼において1~8 mg/L以下、および海域において2~8 mg/L以下である。一方、BODは水中の有機物が微生物

により分解される過程で消費される水中の酸素量であり、河川の汚濁度指標の一つである。また、生活環境の保全に関する環境基準（生活環境項目）では、河川の水利用や自然環境保全の点から水質階級（類型）が設定されており、その類型ごとに BOD 濃度に関する基準値が設定されている。例えば、最も水質が良好な河川区間は類型 AA であり、BOD 濃度は 1 mg/L 以下である。一方、最も汚れた河川区間は類型 E であり、BOD 濃度は 10 mg/L 以下となっている。

膨潤率試験では淡水ならびに人工海水（3%食塩水）をベースとして、各々濃度の COD および BOD に調整された水溶液に浸漬した膨潤性止水材の膨潤率を測定している。実施した膨潤率試験の手順は以下のとおりである。

- (i) 膨潤性止水材を一定量乾燥させて 2 mm 厚のシート状にし、2×2 cm の試験片を準備する。
- (ii) 試験片の初期重量を測定し、淡水ならびに人工海水（3%食塩水）をベースとして、予め各々濃度の COD および BOD に調整された水溶液で満たされた恒温水槽内（20°C）に浸漬する。
- (iii) 2 日間浸漬した後、試験片を取り出して浸漬後の重量を測定する。
- (iv) 膨潤率（浸漬後重量／初期重量）を計算する。

ここで、各々 COD 濃度は過酸化水素水添加量を調整することで準備作成した。また、COD 濃度の検査は簡易的な比色判定する測定方法（アルカリ性過マンガン酸カリウム酸化法）を用いた。さらに、各々 BOD 濃度は河川水を採取し、グルコース（ブドウ糖）を添加した上、空気をバブリングしながら数日間放置し、微生物を培養することで準備作成した。また、BOD 検査は COD の場合と同様、比色判定することができる簡易測定方法（酸性インジゴカルミン比色法）を用いた。

試験に供したシート状の膨潤性止水材は、組成成分である高吸収性ポリマーの DS 値が異なるサンプル A（DS = 0.6 M/C6）およびサンプル B（DS = 0.9 M/C6）の 2 種類である。なお、2.(2)で述べたとおり、高吸収ポリマーの DS 値の改質は、人工海水中における膨潤性止水材の大幅な膨潤率向上に寄与する。

(2) 浸漬水の BOD および COD 濃度と膨潤率

図-2 は、淡水および人工海水（3%食塩水）における COD 濃度と膨潤性止水材の膨潤率を示している。これより、淡水環境では COD 濃度の上昇に伴い、サンプル A および B とともに膨潤率が若干低下する傾向にある。ただし、COD 濃度が 1 mg/L 以下と 10,000 mg/L の場合を比較した場合、膨潤率の低下はサンプル A が 10% およびサンプル B が 5% 程度であり、COD 濃度が膨潤性止水材の膨潤率に及ぼす影響は実用上小さいと判断できる（図-2(a)参照）。同じく、人工海水環境においても COD 濃

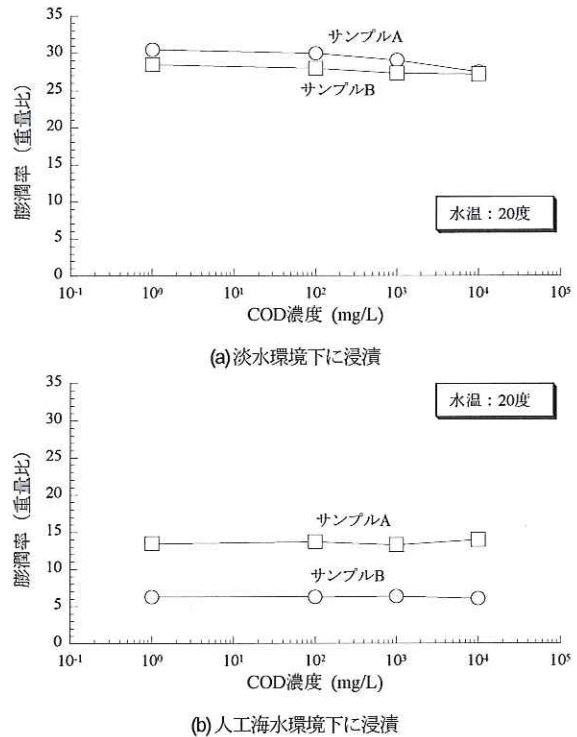


図-2 COD 濃度が膨潤性止水材の膨潤率に及ぼす影響

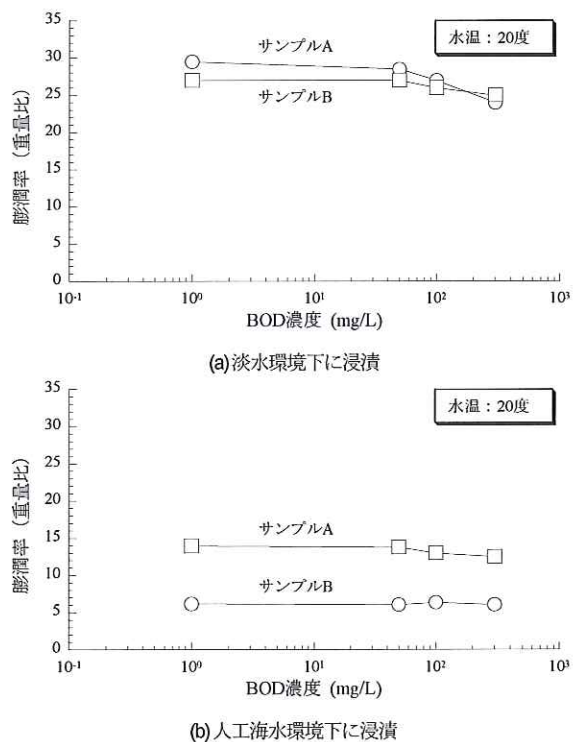


図-3 BOD 濃度が膨潤性止水材の膨潤率に及ぼす影響

度がサンプル A およびサンプル B の膨潤率に及ぼす影響は小さい（図-2(b)参照）。

図-3 は、淡水および人工海水（3%食塩水）における BOD 濃度と膨潤性止水材の膨潤率を示している。これ

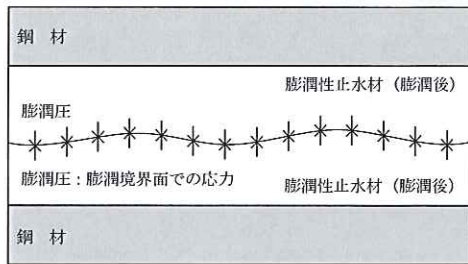


図4 膨潤境界面における膨潤圧のイメージ

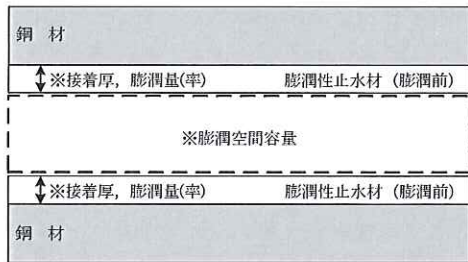


図5 膨潤性止水材の膨潤圧に影響を及ぼす因子

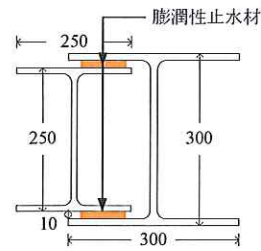
より、COD 水溶液の場合と同様、淡水および人工海水環境において BOD 濃度がサンプル A およびサンプル B の膨潤率に及ぼす影響は小さいと判断できる。

上記のとおり、膨潤性止水材の膨潤に対して浸漬水中の COD および BOD の影響は小さいことが明らかになった。ただし、COD および BOD 濃度の増大に伴って膨潤性止水材の膨潤率が若干においても低下する傾向（図-2 および図-3 参照）は、次のように考察される。浸漬水中の酸素量ならびに微生物量の増減は、膨潤性止水材の組成成分である高吸収ポリマーの不溶化を誘発する可能性が考えられる。また、高吸収性ポリマーの不溶化は、高吸収性ポリマーが吸収できる水分量が減少させ、結果的に膨潤性止水材の膨潤を阻害する結果をもたらす。

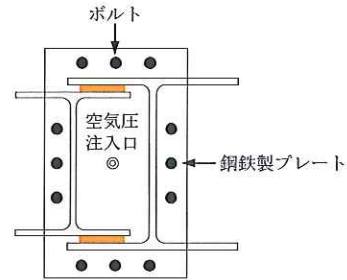
4. 膨潤性止水材の膨潤圧試験

(1) 試験概要

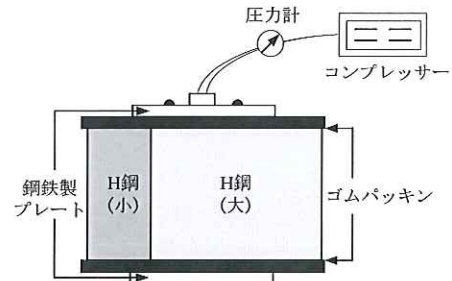
本章では、鋼矢板ならびに鋼管矢板継手に塗布・接着された膨潤性止水材（図-1 参照）の膨潤特性を膨潤圧の観点から検討することを目的とし、膨潤性止水材の膨潤圧試験を実施した。ここで、膨潤性止水材の膨潤圧とは、鋼矢板ならびに鋼管矢板内において膨潤した膨潤性止水材の膨潤境界面における応力である（図-4 参照）。また、膨潤性止水材の膨潤圧は、膨潤性止水材の膨潤量、膨潤空間容量および接着条件に依存すると考えられる（図-5 参照）。なお、膨潤空間容量が等しい条件において、膨潤性止水材の膨潤量（率）の増大は結果的に膨潤圧の増大に寄与する。



(a) 試験体詳細



(b) 装置上面

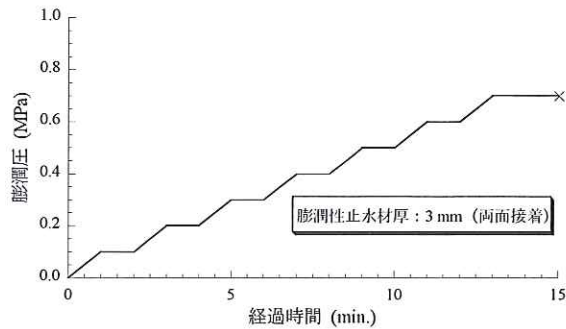


(c) 装置側面

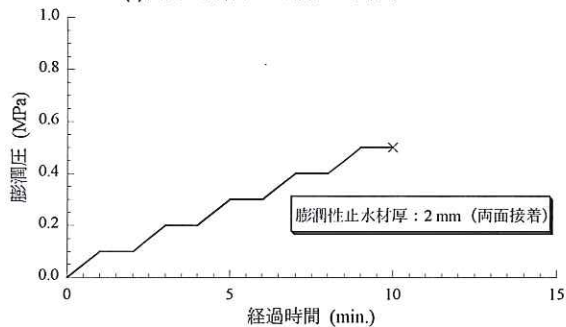
図6 膨潤圧試験装置の概要

膨潤性止水材の膨潤圧試験は、異なる大きさの H 鋼フランジクリアランス（間隔：10 mm）の両側へ所定厚（1, 2 および 3 mm）の膨潤性止水材を接着する。なお、膨潤圧試験では、一般的な鋼管矢板継手内における膨潤性止水材の接着条件ならびに膨潤空間容量を再現している（図-1 参照）^{2),3)}。図-6 は用いた膨潤圧試験装置の詳細を示している。さらに、試験体の作製方法および試験手順は以下のとおりである。

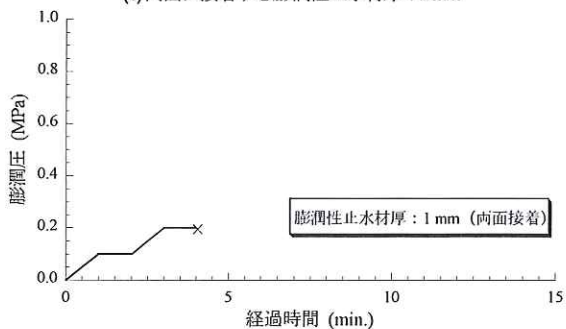
- (i) H 鋼フランジクリアランスの両面に所定厚さの膨潤性止水材を接着する（以降、“試験体”として略称する）。
- (ii) ゴムパッキンおよび鋼鉄製プレートを用いて試験体の上下部を挟み、ボルトによりゴムパッキン、鋼鉄製プレートおよび試験体との間に間隙が生じないように固定する。
- (iii) (ii) で作製された試験体を淡水で満たされた恒温水槽中（20℃）で 3 日間浸漬し、試験体内に接着した膨潤性止水材を完全に膨潤させる。
- (iv) 鋼鉄製プレート中央に開いた空気圧注入口にエアコンプレッサーを接続する。



(a)両面に接着する膨潤性止水材厚：3mm



(b)両面に接着する膨潤性止水材厚：2mm



(c)両面に接着する膨潤性止水材厚：1mm

図-7 膨潤性止水材の膨潤圧

(v) エアコンプレッサーを開き、試験体内部に空気圧を送り込む。この際、空気圧の調節は圧力計で行う。調節方法は、1分毎に0.1 MPa増加させ、空気漏れが起るまで圧力を増加させる。また、空気漏れが発生した時点の空気圧を膨潤圧として定義する。

(2) 膨潤性止水材の膨潤圧

図-7 は、膨潤性止水材の接着厚と膨潤圧の関係を示している。これより、膨潤性止水材の接着厚が薄くなれば膨潤圧は低下し、1 mm の接着厚においては膨潤圧0.25 MPaである。一方、膨潤性止水材の接着厚が 2 mm および 3 mm の場合、水深 50 m での水圧に相当する 0.5 MPa 以上の膨潤圧を示す。

当該膨潤圧試験と同様の試験条件における膨潤性止水材の透水係数は、膨潤圧以下の作用水圧において 1×10^9 cm/s オーダーであった。すなわち、H 鋼フランジクリア

ランスの両面に接着された膨潤性止水材の透水係数は、膨潤圧以下の外的作用圧において膨潤性止水材自体の透水係数と同レベルであることが分かる (2.(1)参照)。よって、鋼矢板ならびに鋼管矢板継手に対して遮水処理材として膨潤性止水材を適用する場合には、外的曝露条件(曝露水質および作用水圧等)に対する膨潤性止水材の膨潤圧および膨潤量(率)との関係を確認した上、現場にて必要とされる膨潤性止水材の接着厚・塗布厚を決定することが重要である。

5. おわりに

本論文では、鋼矢板ならびに鋼管矢板継手の遮水処理材として膨潤性止水材の適用を想定した上、汚濁水に浸漬された膨潤性止水材の膨潤率を検討した。また、遮水処理材として膨潤性止水材の膨潤圧を測定することで、膨潤圧に影響を及ぼす要因を明らかにした。

得られた成果は以下のとおりである。

- (1) 膨潤性止水材の膨潤率は、淡水および人工海水環境において浸漬水中のCODおよびBODの影響を受けないと判断できる。
- (2) 膨潤性止水材の膨潤圧は、1 mmの接着厚において0.25 MPaである。一方、膨潤性止水材の接着厚が2 mmおよび3 mmでは0.5 MPa以上の膨潤圧を示す。
- (3) H鋼フランジクリアランスの両面に接着された膨潤性止水材の透水係数は、膨潤圧以下の外的作用圧において膨潤性止水材自体の透水係数と等しい。

参考文献

- 1) 沖 健, 鳥崎肇一, 喜田 浩, 吉田 節, 坂口裕司, 吉野久能: 鋼矢板, 鋼管矢板を用いた鉛直遮水壁の遮水性能の評価, 第5回環境地盤工学シンポジウム論文集, pp.53-58, 2003.
- 2) 岡 由剛, 鳥崎肇一, 喜田 浩: 廃棄物最終処分場の遮水壁に用いる鋼矢板用水膨張性止水材の長期耐久性, 土木学会第59回年次学術講演会, VII, pp.312-313, 2004.
- 3) 稲積真哉, 木村 亮, 三津田祐基, 山村和弘, 西山嘉一, 嘉門雅史: 廃棄物埋立護岸における H-H 継手を施した連結鋼管矢板の開発と適用性評価, 土木学会論文集 C, Vol.62, No.2, pp.390-403, 2006.
- 4) 稲積真哉・若月 正・小林賢勝・木村 亮: 廃棄物処分場の遮水処理材へ適用される膨潤性止水材の膨潤・強度特性, 環境工学研究論文集, Vol.44, pp.463-469, 2007.
- 5) 山村和弘, 田村博邦, 岩永克也, 本田敬明, 光田洋一, 西山嘉一, 稲積真哉, 木村 亮: H-H 継手を施した連結鋼管矢板の現場打設・遮水性試験 (その 1: 打設性能), 第42回地盤工学研究発表会発表論文集, pp.1381-1382, 2007.

- 6) 菅野友紀, 山村和弘, 萩原敏行, 田中尚人, 牛嶋 純, 西山嘉一, 稲積真哉, 木村 亮: H-H 継手を施した連結鋼管矢板の現場打設・遮水性試験 (その 2: 遮水性能), 第 42 回地盤工学研究発表会発表論文集, pp.1383-1384, 2007.
- 7) 運輸省港湾局: 管理型廃棄物埋立護岸設計・施工・管理マニュアル, 財団法人港湾空間高度化センター, 2000.

(2009. 5. 11 受付)

Experimental Study for Swelling Ratio and Potential of Water Swelling Material

Shinya INAZUMI¹, Tadashi WAKATSUKI²,
Masakatsu KOBAYASHI² and Makoto KIMURA³

¹ Graduate School of Engineering, Kyoto University

² Nihon Chemical Paints Co., Ltd.

³ Innovative Collaboration Center, Kyoto University

A water swelling material is one of the rubbery impermeable materials which mixed synthetic resin elastomers as a base material, high absorbency polymers, filler and solvents. In this study, swelling characteristics of the water swelling material on the water polluted with COD and BOD, as an impermeable material at coastal waste landfill site, are examined by laboratory swelling ratio test. Furthermore, the factor in which it influences the swelling pressure of water swelling material is clarified by measuring the swelling pressure. As the results, the COD nor the BOD concentrations in the soaked water influence the swelling ratio of the water swelling material. When the thicknesses of water swelling material are 2 mm and 3 mm, the maximum swelling pressure of 0.5 MPa or more that corresponds to hydraulic pressure by depth of 50 m is possessed.