

膨潤性止水材の膨潤圧特性

稲積真哉* 若月 正**
加藤研二** 小林賢勝**

Swelling Pressure for Water-Swelling Materials

by

Shinya INAZUMI*, Tadashi WAKATSUKI**,
Kenji KATO** and Masakatsu KOBAYASHI**

In the civil engineering field, water-swelling materials are often used as joint sealing materials to improve water cut-off performance in the joints of the steel (pipe) sheet pile. In short, water-swelling materials are extremely effective as water sealing materials. However, many characteristics of water-swelling materials have not yet been proved, and one of the unproven characteristics is the swelling pressure. Solving the issue of the swelling pressure will contribute to improving water sealing in the joints of the steel (pipe) sheet pile. At the same time, it is also expected to greatly contribute to the application of water-swelling materials for other purposes, or the new development and improvement of water-swelling materials.

The purpose of this paper is to prove the characteristics of swelling pressure of water-swelling materials which are applied to joint sealing materials, e.g., a steel (pipe) sheet pile, etc., and to experimentally evaluate the swelling pressure of water-swelling materials.

The results we obtained are: (1) the swelling pressure depends on the membrane thickness of the water-swelling materials. The thicker a membrane becomes, the bigger the pressure tends to be. (2) While the swelling pressure is not much influenced by the temperature of the water to be immersed, it is influenced by the quality of water to be immersed. Similar to the traits of the swelling rate, the swelling pressure when immersed in artificial sea water is lower compared with that when immersed in freshwater. (3) For example, water-swelling materials 1 mm thick achieve a swelling pressure of 6.7 MPa when immersed in fresh water, and 4.2 MPa when immersed in artificial sea water, respectively. Accordingly, we assume they should fully perform the swelling functions under a restricted environment as well.

Key words: Water-swelling material, Swelling pressure, Swelling rate, Strength of water-swelling material

1 結 言

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遮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 (Fig.1 参照). ^{1), 2)} このように、膨潤性止水材は遮水処理材として非常に有効な材料であり、この類の膨潤性止水材の組成、膨潤率、および物性等に関しては、これまで種々報告している。³⁾ しかしながら、膨潤性止水材には未だ未解明な特性が多く、その1つとして膨潤圧を上げることができる。膨潤圧特性の解明は、鋼(管)矢板継手の高遮水化に寄与するとともに、他用途における膨潤性止水材の適用、さらには膨潤性止水材の新たな開発ならびに改良へ多大に貢献できると考えられる。

本論文では、鋼(管)矢板等の継手遮水処理材に適用する膨潤性止水材の膨潤圧特性の解明を目的とし、実験的

に膨潤性止水材の膨潤圧を求める。さらに、膨潤圧特性と膨潤率もしくは膨潤体膜強度の関係を考察している。

2 膨潤性止水材

膨潤性止水材は合成エラストマーを母材に、高吸水性ポリマー、充填材および溶剤を配合した流動性のある止水材である。この膨潤性止水材の膨潤は、主として膨潤性止水材中に配合された高吸水性ポリマーの膨潤に依存し、高吸水性ポリマーの種類により膨潤特性が大きく影響される。現行の膨潤性止水材はエーテル化度 (DS 値) 0.6M/c6 の高吸水性ポリマーを使用し、淡水および人工海水に浸漬すると 24 時間後に重量比でそれぞれ 15 ~ 30 倍および 5 ~ 7 倍の膨潤率特性が得られる³⁾。エーテル化度の高い高吸水性ポリマーを用いた膨潤性止水材は、人工海水環境下での膨潤率が大幅に向上する。すなわち、現行で使用するエーテル化度 0.6M/c6 から

+ 原稿受理 平成23年 月 日 Received

* 正 会 員 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Cクラスター, Grad. Sch. of Engineering, Kyoto Univ., Nishikyo, Kyoto, 615-8540

** 賛助会員 日本化学塗料株式会社 〒252-1111 綾瀬市上土棚4丁目10-43, Nihon Chemical Paints Co., Ltd., Ayase, 252-1111

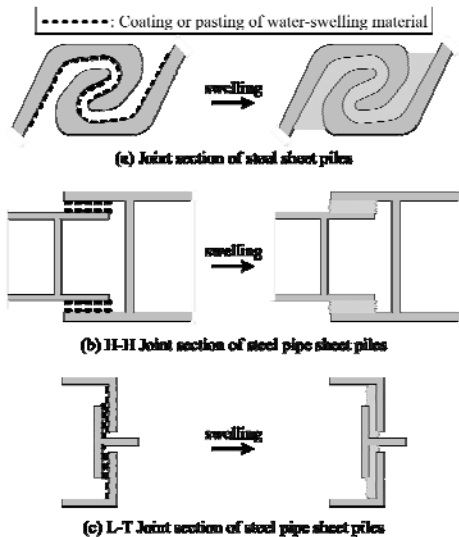


Fig. 1 Water cut-off treatment on joint section of steel sheet piles or steel pipe sheet using water swelling materials

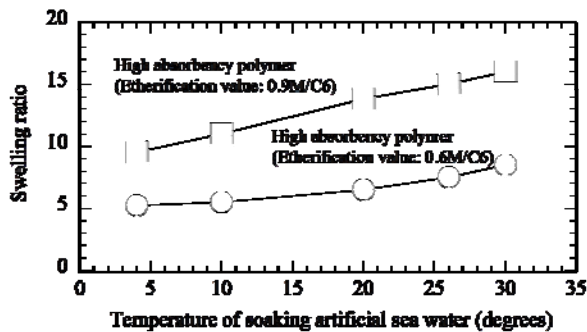


Fig. 2 Relationship between temperature of soaking artificial sea water (3% saline) and swelling ratio

0.9M/c6 に改質することで、海水環境下で現行膨潤性止水材のおよそ 2 倍の膨潤率を得ることができる (Fig.2 参照).³⁾ なお、本研究で使用した膨潤性止水材は、DS 値 0.9M/c6 の高吸水性ポリマーを使用した膨潤性シートである。一方、膨潤性止水材の膨潤過程において抽出された水は、水道法に基づく水質基準を満たしており、環境に適合するものである。

近年では、海面廃棄物埋立処分場における鋼(管)矢板継手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 (Fig.1 参照)。

4), 5) さらに、膨潤性止水材が塗布または接着された鋼(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、透水係数 $k=1 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$ 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。^{5), 6)}

3 膨潤圧試験

膨潤圧とは、膨潤性止水材が膨潤により発生する圧力である。膨潤性止水材の膨潤圧は、耐水圧特性ならびに長期耐久性に大きく影響を及ぼすものである。例えば、

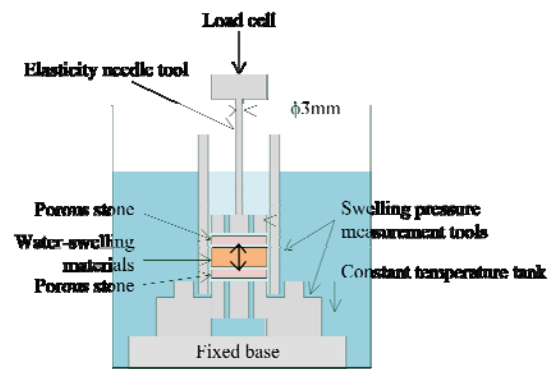


Fig. 3 Schematic view of swelling pressure measuring equipment

水深 50m に打設された膨潤性止水材を塗布した鋼(管)矢板は、水と接触することで膨潤する結果、鋼(管)矢板継手内通水空間を塞ぎ遮水される。この場合、膨潤体膜は少なくとも、水深 50m の 0.5MPa の水圧と同等以上の膨潤圧である必要がある。このように膨潤圧は膨潤性止水材にとって重要な特性であり、これまでも評価・検討が実施されているが、³⁾ 本研究は独自に膨潤圧試験装置ならびに方法を組み立てることで、膨潤圧に関する評価方法の確立を目的にしている。すなわち、膨潤性止水材の膨潤圧に対して、小型卓上試験機 (島津製作所製 EZTEST-500N) および膨潤圧測定専用容器 (Fig.3 参照) を用いて測定を行った。

膨潤性止水材は水と接触すると水を吸収して膨潤が始まり、四方八方に広がる。膨潤圧も同様に四方八方に分散するため、発生する全ての膨潤圧を測定することは困難であった。本研究では膨潤圧測定専用容器 (セル) を考案し、膨潤圧を一方向に集められる構造とし、変位固定の下で発生した膨潤圧をロードセルで捉えて測定した。なお、本測定機で得られた値の単位は N であるが、単位面積当たりの MPa 単位に換算し膨潤圧とした。

膨潤圧測定手順は以下のとおりである。

- (1) 膨潤性止水材を一定量乾燥させ、一般的な厚さである膜厚 1, 2, および 3mm の膨潤性シートを作製する。
- (2) 膨潤性シートを専用容器に入るサイズに切断し、試験片を準備する。
- (3) 試験片を膨潤圧測定専用容器内に挿入し、容器を恒温槽に入れるとともに測定機にセットする。
- (4) 所定水温の恒温槽内にて、膨潤圧を計測する。

4 結果・考察

4.1 膜厚と膨潤圧の関係

浸漬する水質 (淡水もしくは人工海水) および水温は、膨潤性止水材 (DS 値 0.9M/c6 の高吸水性ポリマーを用いたタイプ) の膨潤圧特性に大きく影響を及ぼすものと考えられる。そこで、膨潤性止水材の膜厚 1, 2, 3mm で、浸漬水の水質および水温を変化させた条件下において膨潤圧試験を実施した。Fig.4 は、淡水および人工海水の浸漬水環境下における膨潤性止水材膜厚と膨潤圧の関係を示している。膨潤圧は、上記したように小型卓上

Fig. 4 Relationship between thickness of the material and swelling pressure

Fig. 5 Relationship between temperature of soaking water and swelling pressure

Fig. 6 Relationship between dipping time to plain water and swelling pressure

Fig. 7 Relationship between dipping time to artificial sea water and swelling pressure

試験機で得られた測定値 (N) を MPa 単位に換算している。これより、淡水および人工海水のいずれの環境下にも

においても膨潤圧は膨潤性止水材の膜厚に依存し、膜厚が厚くなると、膨潤圧も増す傾向にある。また、膨潤圧は浸漬水質に大きく影響される。すなわち、淡水に比べ人工海水の膨潤圧は小さくなる。これは、膨潤性止水材に配合されている高吸水性ポリマーが塩類の影響を受けやすく、そのため、塩類を含む浸漬水では、塩類の影響で膨潤が阻害されるため、膨潤圧が小さくなると考える。しかしながら、本試験で得られた膨潤圧は、例えば、Fig.4 より 1mm 膜厚の場合、淡水環境下で 6.7MPa および人工海水環境下で 4.2MPa が得られている。この値は、水深圧で 670m および 420m に相当する。このように、膨潤性止水材の膨潤により発生する膨潤圧は非常に大きく、拘束条件下（例えば水深 100m）においても十分に膨潤機能が発揮されると推測される。よって、膨潤性止水材が止水等で要求される耐圧力（膨潤圧）には、十分に対応できると考えられる。

4.2 浸漬水温と膨潤圧の関係

Fig.5 は、淡水および人工海水下での浸漬水温と膨潤圧の関係を示している。これより、淡水および人工海水のいずれの浸漬水温も膨潤圧にほとんど影響を及ぼさず、浸漬水温による膨潤圧変化は非常に小さいものである。膨潤圧は、前記したように浸漬水の水質には影響されるが、同じ水質の浸漬水温変化ではほとんど影響されない。

4.3 浸漬時間と膨潤圧の関係

Fig.6 および Fig.7 は、淡水および人工海水環境下での各膜厚による浸漬時間と膨潤圧の関係を示している。これらより、浸漬時間による膨潤圧を比較すると淡水環境は人工海水環境より、膨潤圧の立ち上がりが早く、大きな膨潤圧が得られる。さらに、膜厚条件では淡水環境および人工海水環境ともに 1mm と 2mm の膜厚差は膨潤圧への影響は大きい、2mm と 3mm の膜厚差は膨潤圧への影響は小さくなっている。この原因は Fig.4 から判別できるように、膜厚と膨潤圧の関係より膜厚が 3mm 程度で膨潤圧は飽和傾向を示しており、このため 2mm と 3mm の膜厚差での膨潤圧の差が小さくなると考える。なお、淡水環境に比べ人工海水環境における膨潤圧の立ち上がりが遅いのは、膨潤性止水材に配合されている高吸水性ポリマーが浸漬水に含まれる塩類の影響で膨潤が阻害されるためである。

4.4 膨潤率および膨潤体膜強度と膨潤圧の関係

Fig.8 は、DS 値 0.9M/c6 の高吸水性ポリマーを使用した膨潤性止水材の膜厚と、淡水および人工海水環境による重量膨潤率の関係を示している。なお、重量膨潤率試験の詳細は文献 3) で詳述している。これより、膨潤性止水材の膜厚は重量膨潤率へ大きな影響を及ぼさない。一方、膨潤圧は膜厚に伴って増加する傾向を示し、特に淡水環境下で顕著である (Fig.4 参照)。重量膨潤率は膨潤性止水材の膨潤量を表す指標である一方、膨潤圧は膨潤の潜在能力を表している。すなわち、たとえ同程度の膨潤量(率)であっても、膨潤圧(潜在能力)は膜厚や浸漬水質に応じて異なることが考えられる。

Fig. 8 Relationship between thickness of the material and swelling ratio

Fig. 9 Relationship between temperature of soaking water and swelling ratio

Fig. 10 Relationship between temperature of soaking water and strength of swelling membrane

Fig.9 は DS 値 0.9M/c6 の高吸水性ポリマーを使用した膨潤性止水材の浸漬水温と重量膨潤率の関係を示している。重量膨潤率は水温上昇に伴って増加する傾向を示し、特に淡水環境下で顕著である。さらに、Fig.10 は DS 値 0.9M/c6 の高吸水性ポリマーを使用した淡水および人工海水の水温と膨潤体膜強度の関係を示している。ここで、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。また、膨潤体膜強度試験の詳細は文献 3) で詳述している。膨潤体膜強度は水温上昇とともに低下する傾向を示している。これは、膨潤性止水材に配合されている高吸水性ポリマーが多量の水分を含み膨潤する結果として、重量膨潤率は増加する (Fig.9 参照) もの、膨潤体膜強度は低下するためである。一方、膨潤圧は浸漬水質の影響を受けるものの、浸漬水温の影響

は受け難い (Fig.6 参照)。すなわち、膨潤性止水材の重量膨潤率や膨潤体膜強度は浸漬水質および水温に対して変動するものの、膨潤圧は各膜厚および各浸漬水質の下ではば一定の値を有することが想定できる。

5 結 言

本論文では、膨潤性止水材の膨潤圧特性に関して実験的検討を実施した。

得られた成果は以下のとおりである。

- (1) 膨潤圧は膨潤性止水材の膜厚に依存する。膜厚が増すと、膨潤圧は増加する傾向にある。
- (2) 膨潤圧は浸漬水温の影響を受け難い一方、膨潤圧は浸漬水質に影響される。膨潤率特性と同様、人工海水浸漬における膨潤圧は淡水浸漬における膨潤圧に比べて低くなる。
- (3) 例えば、1mm 厚の膨潤性止水材は淡水および人工海水への浸漬において、各々 6.7 および 4.2MPa の膨潤圧を発揮することができる。よって、拘束環境下においても十分に膨潤機能が発揮されると推測する。

今後は膨潤性止水材の止水設計において、膨潤圧、重量膨潤率、および膨潤体膜強度の整合性をより明らかにしなければならない。

参 考 文 献

- 1) Oki, T., Torizaki, K., Kita, H., Yoshida, M., Sakaguchi, Y., Yoshino, H.: "Evaluation of impermeability performance of the vertical impermeable walls by using steel sheet piles and steel pipe sheet piles", Proc. of the 5th Japan National Symposium on Environmental Geotechnology, pp.53-58 (2003).
- 2) Waterfront Vitalization and Environment Research Center: "Design, Construction and Management Manual for Managed Type Waste Reclamation", Waterfront Vitalization and Environment Research Center, (2002).
- 3) Inazumi, S., Wakatsuki, T., Kobayashi, M. and Kimura, M.: "Material properties of water swelling material used as water cut-off treatment material at waste landfill sites", J. of Material Cycles and Waste Management, Vol.12, No.1, pp.50-56 (2010).
- 4) Inazumi, S. and Kimura, M.: "On-site verification for installation and permeability of H-jointed SPSPs with H-H joints", Proc. of the 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Vol.3, pp.2540-2543 (2009).
- 5) Inazumi, S. and Kimura, M.: "Environmental impact evaluation on construction of vertical cutoff walls in landfill sites", Geotechnical Engineering J., Vol.40, No.4, pp.217-224 (2009).
- 6) Inazumi, S., Kimura, M. and Kamon, M.: "Environmental designs for vertical cutoff walls in coastal landfill sites", Geotechnical Engineering J., Vol.39, No.1, pp.19-24 (2008).