

変形追従性遮水材料を用いた 遮水壁構造に関する実海域実証実験 (その2)

FIELD EXPERIMENT ON IMPERVIOUS WALLS STRUCTURE
WITH CLAYEY WATER INTERCEPTION MATERIAL (PART2)

上野一彦¹・山田耕一²・上田正樹³・渡部要一⁴

Kazuhiko UENO, Koichi YAMADA, Masaki UEDA and Yoichi WATABE

¹正会員 工修 五洋建設株式会社 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町1534-1)

²正会員 五洋建設株式会社 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町1534-1)

³正会員 五洋建設株式会社 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町1524-1)

⁴正会員 工博 独立行政法人港湾空港技術研究所 地盤・構造部 土質研究室長
(〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

Steel pipe sheet piles with impervious joints usually are used for impervious sea walls of coastal waste disposal sites. We have proposed to fill between steel pipe sheet piles and U-type sheet piles with soil impervious materials as the impervious structure, then investigated impervious performance for over a year in waters. In this study, the materials samples were taken from the impervious structure, and impervious performance test, vane shear test, water content test were carried out to investigate properties of the materials. In addition, the effect which the materials may leak from holes in sheet piles was examined.

Key Words : *Water interception, waste disposal site, sheet pile wall, coefficient of permeability, marine clay*

1. はじめに

平成10年に「一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を定める命令」(環境省令)が改正され、最終処分場の遮水工に関する構造基準が明確に示された¹⁾。その結果、陸上・海上を問わず、新たに建設される管理型最終処分場は、この構造基準を満足する遮水工が必要となった。しかし、海面処分場は沿岸域の軟弱地盤上に建設されることから、沈下や変形の影響を受けやすく、また、波浪や潮汐が作用することから、陸上で用いられている遮水技術をそのまま海面処分場に適用することは難しい。特に、使用する遮水材料には、遮水性や耐久性はもちろんのこと、海域での施工性や変形に対する追従性を有していることが望ましい。

そこで、筆者らは管理型海面処分場の遮水工に用いる遮水材料として、浚渫粘土にベントナイトを添加混合した変形追従性を有する粘土遮水材料の開発を行ってきた²⁾。さらに、H形鋼矢板壁の継手隔壁内に、この粘土遮水材料を充填し、管理型海面処分場の遮水護岸

構造として利用することを提案し、室内模型実験および実海域実証実験により、施工性や遮水性能の確認を行ってきた^{3,4)}。

本研究では、護岸構造としてH形鋼矢板壁に比べ、一般的な鋼管矢板壁を対象として、鋼管矢板およびU型矢板と粘土遮水材料を組み合わせる鋼管矢板継手部の遮水性能の向上を図った構造を提案し、H形鋼矢板と同様、実海域において、その遮水性能に関する実証実験を実施した。

2. 実験概要

(1) 実験構造物の概要

本実証実験は、先行して実施しているH形鋼矢板による実験^{3,4)}と同じ実海域で行った。図-1は実験位置図である。広島県呉市の阿賀マリノポリス埋立て工事現場の一部で、港湾内に位置するため、静穏で波浪の影響は比較的少ないが、大潮時には約4.0m近い潮位差が生じる。本海域周辺の海底地盤高はC.D.L.-7.0mで、C.D.L.-

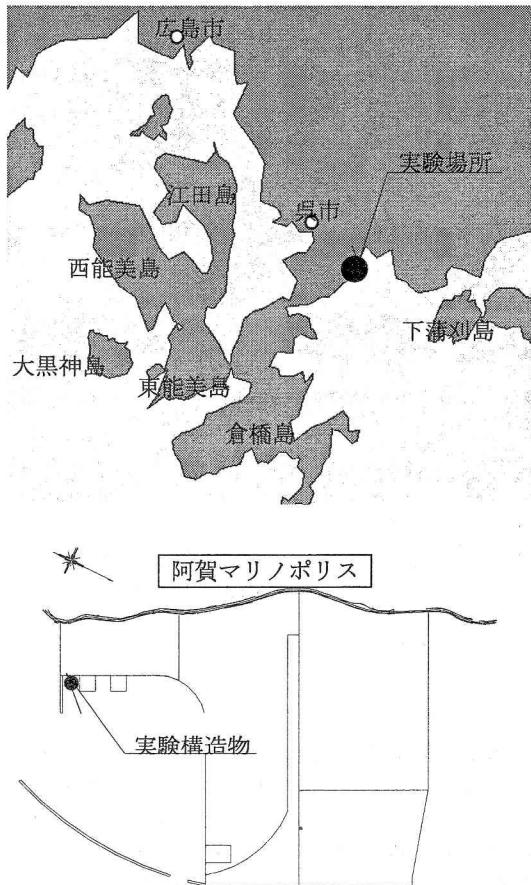


図-1 実験場所

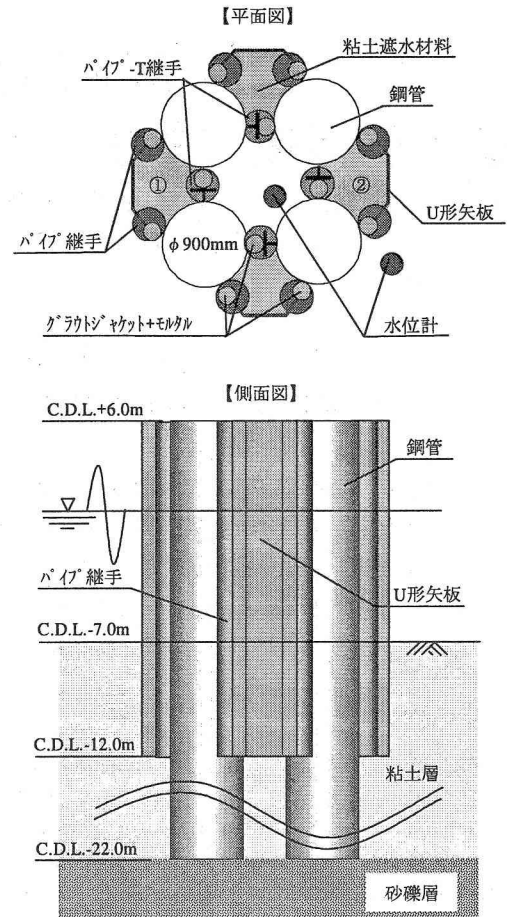


図-2 遮水実験構造物概要図

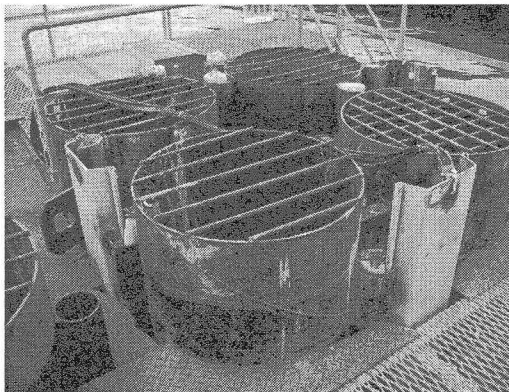


図-3 遮水実験構造物写真

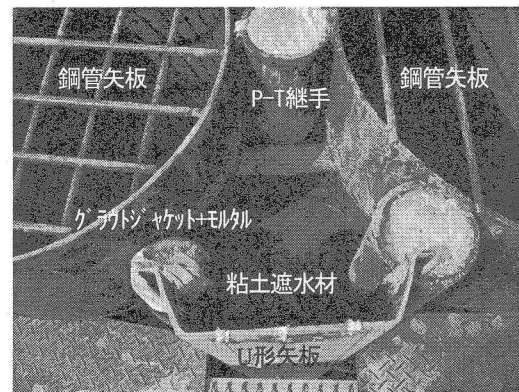


図-4 遮水室拡大写真

22.0m付近まで約15.0mにわたり粘土層が堆積しており、ほぼ不透水地盤と見なすことができる。

実験構造物の概要図を図-2、写真を図-3、図-4に示す。パイプ-T継手を有するφ900mm、長さ28.0mの鋼管矢板4本をクレーン付き台船からパイプロハンマにより矩形上に閉合させて砂礫層まで打設し、さらに、鋼管矢板継手部の外側にU形矢板を海底粘土地盤に根入れ深さ5.0m (C.D.L.-12.0m) まで打設している。U形矢板を打設することにより、鋼管矢板のパイプ-T継手部外側

に扇状断面の空間（以下、遮水室とする）ができる。この遮水室に粘土遮水材料を海底地盤（C.D.L.-7.0m）から鋼管矢板先端付近（C.D.L.+5.8m）まで充填した。粘土遮水材料は事前に陸上のヤードで製造し、施工現場までアジテータ車で運搬、コンクリートポンプ車で施工箇所まで圧送し、遮水室内へトレーマー管を用いて水中打設している。また、鋼管矢板のパイプ-T継手部および鋼管矢板とU形矢板のパイプ継手部には、グラウトジャケットを海底粘土地盤に根入れ深さ0.5m

表-1 原料土の物理特性

土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.586
粒度組成 (%)	砂分	7.5
	シルト分	41.2
	粘土分	51.3
コンシステンシー (%)	液性限界 w_L	111.6
	塑性限界 w_P	45.4
	塑性指数 I_P	66.2
強熱減量 L_i (%)		10.3

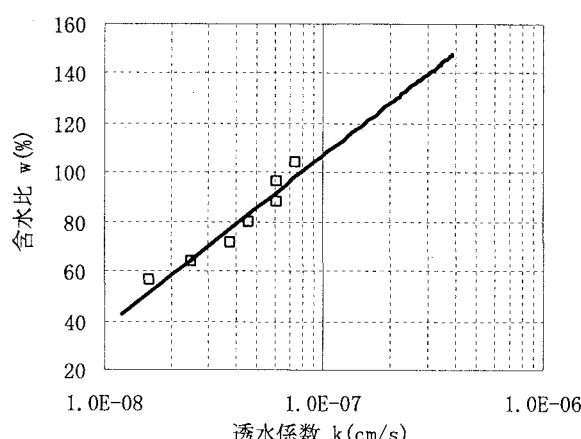


図-5 原料土の含水比と透水係数の関係

(C.D.L.-8.5m) まで挿入してモルタルを充填し、遮水室に打設した粘土遮水材料が漏れ出さないように処理している。

本実験では粘土遮水材料の原料土として、表-1に示す物理特性を有する瀬戸内海で浚渫した海成粘土を使用した。図-5はこの海成粘土の標準圧密試験結果より得られた含水比 w と透水係数 k の関係を示したグラフである。原料土を液性限界 w_L の1.3倍程度のスラリー状に含水比調整して雑物を除去した後、国産のNaベントナイトを添加混合して透水係数 k が 3.0×10^{-7} cm/sとなるように含水比を設定している。

(2) 検討内容

a) 実験構造物の遮水性能

環境省令¹⁾には、鉛直遮水壁が満たすべき構造基準として「壁厚50cm以上、透水係数 $k \leq 1.0 \times 10^{-6}$ cm/sの連続壁」と示されている。そこで、遮水構造物の設置終了後、鋼管矢板で囲まれた中央部の水位を上げ、図-1に示す位置に設置した水位計により、内水位と外潮位を計測し、内水位の低下傾向から遮水性能を調べる水張り試験を実施した⁵⁾。実験構造物は図-2、図-4に示す通り、鉛直遮水壁として一般的な構造ではないため、ダルシー則を適用して遮水壁の透水係数を求めることは難しい。そこで、便宜上、均質材料からなる厚さ50cm

の一般的な壁と見なし、(1)式により求まる換算透水係数 ke を用いることとした。

$$ke = \frac{q}{B} \cdot \frac{D}{\Delta h} \quad (1)$$

ここに、 ke ：換算透水係数、 q ：鋼管矢板継手単位長さにおける単位時間あたりの漏水量、 B ：隣り合う継手同士の間隔、 D ：換算壁厚（ここでは、50cmとする）、 Δh ：遮水壁に作用する水頭差である。実験構造物の遮水性能は、水張り試験による水位の実測値と換算透水係数 ke を 1.0×10^{-5} 、 1.0×10^{-6} 、 1.0×10^{-7} cm/sと仮定したときの水位計算結果と比較することにより評価することとした。なお、漏水はすべて矢板継手から、すなわち、側面方向のみとして、海底地盤からの漏水は無いものとしている。水張り試験は平成15年9月の実験構造物の設置以降、平成16年12月まで1年以上にわたり断続的に実施した。

b) 粘土遮水材料の品質

実験構造物の遮水性能を調べる水張り試験終了後、粘土遮水材料の性状を調べるために、図-2に示す遮水室①に充填した粘土遮水材料を固定ピストン式シンウォールサンプラーにより、天端から海底地盤を含むC.D.L.-9.0mまで連続的に不攪乱試料をサンプリングし、含水比試験およびペーセン断試験を実施した。なお、本実験ではケーシング内の排泥にはウォッシュボーリングを採用した。

また、提案する本実験構造物に、万一、腐食等により孔が生じてしまった場合、そこから充填した粘土遮水材料が漏れ出すことが懸念されるため、図-1に示す遮水室②のU形矢板側面の平均水位 (C.D.L.+2.0m) 付近に人為的に孔を開け、粘土遮水材料の漏れ出し状況について目視により確認した。

3. 実験結果

(1) 実験構造物の遮水性能

まず、実験構造物を建設した直後の平成15年9月に水張り試験を実施したが、内水位が異常な速さで低下した。原因を調査したところ、鋼管矢板継手付近の海底粘土地盤にみずみちが生じている事が確認された。これは、構造物施工時に継手内部をウォータージェットにより洗浄したため、継手部付近の海底粘土地盤が乱され、さらに、継手に充填したグラウトジャケットの根入れが50cmと不足していたことから、潮位変動による内外水位差によって継手付近の海底粘土地盤がヒービングを起こしたと考えられる。そこで今回は、みずみちが生じた箇所を地盤改良することにより補修を行った。実施工においては、パイプ継手内を洗浄する際は原地盤を乱さないように注意するとともに、グラウトジャケットの根入れ長を十分に確保することで、今回生じた不具合を防ぐことが可能であると考えた。

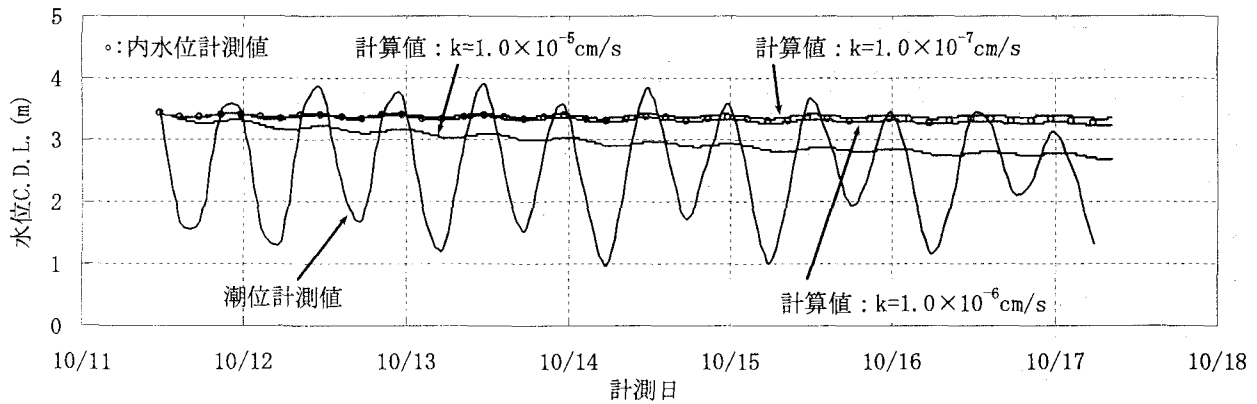


図-6 水張り試験結果（平成15年10月）

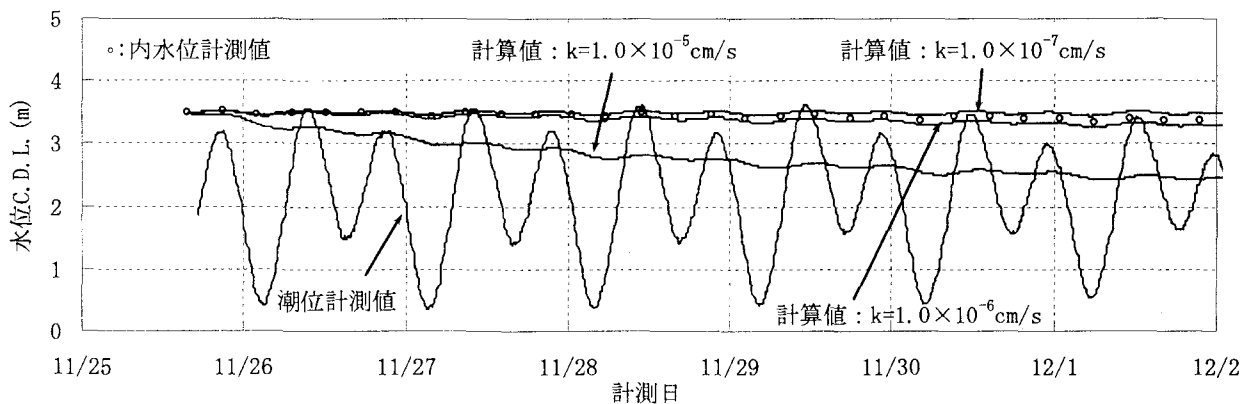


図-7 水張り試験結果（平成16年12月）

海底地盤に生じた不具合を補修した後、平成15年10月に実施した水張り試験の結果を図-6に示す。図中には水位計による実験構造物の内水位と潮位の計測値に加え、換算壁厚 D を50cm、換算透水係数 k_e を 1.0×10^{-5} 、 1.0×10^{-6} 、 1.0×10^{-7} cm/sとして水位変動を計算した結果も載せている。なお、実験構造物は潮汐によって発生する内外水圧差により変形するため、内水位も変形量に応じて影響を受ける。これについては、潮位と内水位の計測値から潮位と水位変化量の関係を求め補正³⁾を行っており、計算値が潮位に連動した水位変動となっているのはそのためである。図-6より、内水位の計測値は 1.0×10^{-7} cm/sと 1.0×10^{-6} cm/sの計算値の間に位置していることがわかる。継手遮水室内に充填した粘土遮水材料の透水係数が 3.0×10^{-7} cm/sであることを考慮すれば、ほぼ期待どおりの結果といえる。

次に、図-7は約1年2ヵ月後の平成16年12月に実施した水張り試験結果である。ここでも、内水位の計測値は図-6と同様に 1.0×10^{-7} cm/sと 1.0×10^{-6} cm/sの計算値の間にあり、図-6、図-7どちらも「壁厚50cm以上、透水係数 $k \leq 1.0 \times 10^{-6}$ cm/s」を満足する遮水性を有していることが示された。なお、ここには載せていないが、平成15年10月以降、平成16年12月まで数回にわたり実施してきた他の水張り試験の結果も図-6、図-7と同様の結果が得られている。これらのことから、本実験構造物が構造基準を満足する遮水性能を、1年以上の長期にわた

り有していることが確認された。

(2) 粘土遮水材料の品質

サンプリングした粘土遮水材の試料はシンウォールチューブから10cmピッチで押し出ししながら、含水比およびベーンせん断強さを測定した。図-8に含水比の深度分布、図-9にベーンせん断強さの深度分布を示す。図-8には、粘土遮水材料を遮水室に打設した時の初期含水比 ($w_0=128\%$)と粘土遮水材料の圧密度 U が60%および100%に達した時の含水比の計算値を載せている。このとき、粘土遮水材料の圧密沈下計算の排水条件としては、グラウトジャケットを充填した3箇所のパイプ継手は、粘土遮水材料の漏れ出しを止めているだけで、完全な止水性を有していないことから、このパイプ継手部分を排水層とした。荷重条件としては、パイプ継手部分に止水性がないことから、平均水位 (C.D.L.+2.0m) 以深には粘土遮水材料の自重のみを作用させ、平均水位以上には自重に加えて浸透圧も作用させている。なお、この条件で圧密時間を求めると、圧密度 $U=80\%$ で34日、 $U=90\%$ で51日となる。

図-8を見ると粘土遮水材料の含水比は、C.D.L.+2.0～+4.0m付近で、圧密度 $U=100\%$ の含水比計算値に達しているものの、それ以深では、ほぼ100%前後で一様に分布しており、圧密度 $U=60\%$ 前後の含水比に近い。試料をサンプリングした時期は粘土遮水材料の打設から1年

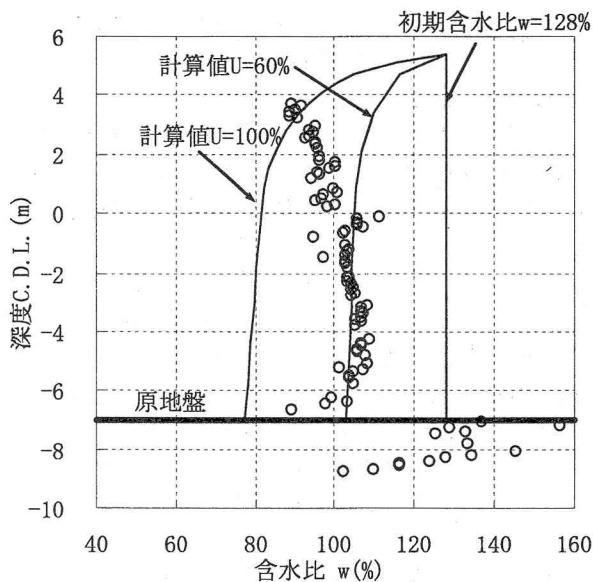


図-8 含水比の深度分布

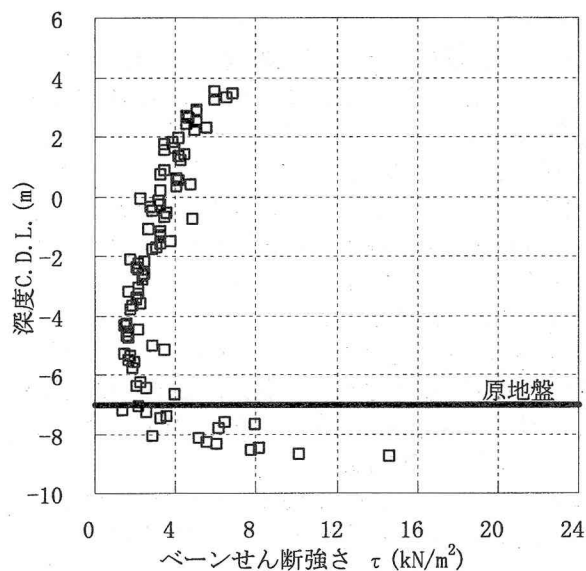


図-9 ベーンせん断強さの深度分布

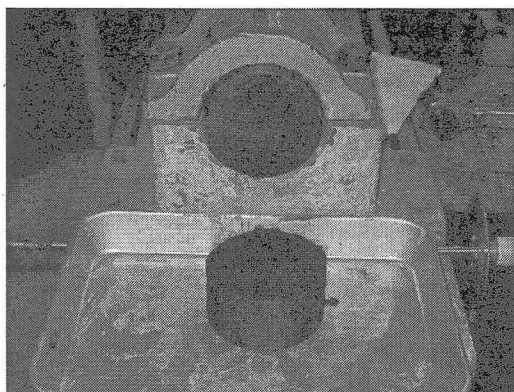


図-10 試料の押し出し状況

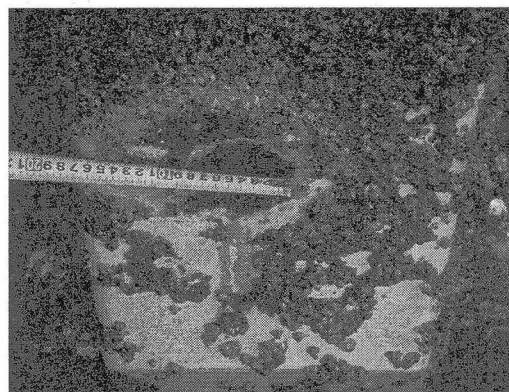


図-11 孔を開けた状況

3ヶ月以上経っており、圧密計算上では少なくとも一次元圧密は既に終了しているはずである。一方、図-9のベーンせん断強さの深度分布をみると、C.D.L.+2.0～+4.0mでは4.0～7.0kN/m²となっているが、それ以深では、2.0～4.0kN/m²の範囲で比較的一様な分布をとっている。すなわち、含水比分布と対応した結果となっている。

この原因の一つとして、粘土遮水材料と鋼管矢板およびU形矢板との周面摩擦による圧密抑制が考えられる。縦方向に細長い空間に粘性のあるものを充填した場合、付着して中から抜け落ちないであろうことは容易に推測できる。本実験の場合も鋼管矢板とU形矢板で囲まれた細長い遮水室内に充填した粘土遮水材料が鋼材との付着により、圧密が抑制されて含水比は低下せず、強度も増加しなかったと考えられる。しかし、粘土遮水材料の粘着力は圧密度や応力レベル、シキソトロピー等により経時的に変化するため、現状では周辺摩擦による圧密抑制量を定量的に求めることは難しく、今後の課題といえる。

図-10には平均水位付近からサンプリングした試料の押し出し状況の写真を示す。目立った空隙は見られず、

密実に粘土遮水材料が充填されている様子がわかる。なお、実験構造物の天端は雨水が流入しないように、帆布による簡易な養生しか施さなかったため、粘土遮水材料の天端表面から30cm程度の深さまで、天日による乾燥と思われるひび割れが認められたが、30cm以深については、すべて図-10と同様に空隙やひび割れはなく、密実な状態であった。

図-11はU形矢板側面の平均水位（C.D.L.+2.0m）付近にφ80mmの孔を開けた状態の写真である。孔はφ10mmから段階的に様子を見ながらφ80mmまで開けたが、遮水室内から粘土遮水材料が直ちに漏れ出すことはなかった。実際には腐食等により鋼矢板にφ80mm程の孔が開くことはほとんどないが、仮に本実験構造を適用した現場で矢板に孔が開いたとしても、本実験と同様に粘土遮水材料が漏れ出すことはないと考えられる。なお、このとき孔から粘土遮水材料を採取して含水比を測定したところ、 $w=105\%$ で、図-8に示す含水比分布とほぼ一致する結果が得られた。

4. まとめ

本研究では、前報で報告したH形鋼矢板と粘土遮水材料を組み合わせた遮水壁構造に加え、より一般的な鋼管矢板を用いて、粘土遮水材料を組み合わせた遮水壁構造を提案し、実海域において1年以上にわたり、その遮水性能について調査を行い、以下の結果を得た。

- 1) 本遮水構造物の換算透水係数は 10^{-7} cm/sのオーダーを有しており、環境省令に示された構造基準を満足することが確認された。
- 2) 遮水室内に充填された粘土遮水材料は、周面摩擦により圧密が抑制される。本実験では、圧密度が60%程度、含水比が100%、ベーンせん断強さは 4kN/m^2 前後で圧密は終了した。
- 3) 遮水室側面のU形矢板に $\phi 80\text{mm}$ の孔を開けても、粘土遮水材料は漏れ出さないことが確認された。

謝辞：本研究は独立行政法人港湾空港技術研究所、鋼管杭協会および五洋建設株式会社の共同研究成果であり、実験を実施するにあたりご協力頂いた関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 例えば、国際ジオシンセティックス学会日本支部ジオメンブレン技術委員会：ごみ埋立地の設計施工ハンドブック，pp.202-205，2000。
- 2) 山田耕一，上野一彦，羽田晃，土田孝，渡部要一：変形追従性遮水材料を用いた管理型海面廃棄物最終処分場の新しい遮水護岸構造の提案，海洋開発論文集，Vol.18，pp.77-82，2002。
- 3) 山田耕一，鵜飼亮行，伊野同，土田孝，渡部要一：変形追従性遮水材料を用いた管理型廃棄物海面処分場の遮水工法に関する実海域実証実験，海洋開発論文集，Vol.19，pp.177-182，2003。
- 4) 上野一彦，山田耕一，伊野同，渡部要一：変形追従性遮水材料を用いた遮水壁構造に関する実海域実証実験，海洋開発論文集，Vol.20，pp.821-826，2004。
- 5) 渡部要一，鵜飼亮行，伊野同：管理型廃棄物埋立処分場の遮水性能，土木学会第58回年次学術講演会公演集，第Ⅶ部門，pp.329-330，2003。