

# 港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE

OF

THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No. 1142

September 2006

鋼製遮水壁の遮水性能と適用性に関する研究

渡部 要一	吉野 久能
柿本 龍二	山田 耕一
鵜飼 亮行	沖 健
岡 由剛	喜田 浩
永尾 直也	望月 武
木下 雅敬	

独立行政法人 港湾空港技術研究所

Independent Administrative Institution,  
Port and Airport Research Institute, Japan

# 目 次

要 旨	4
1. はじめに	5
1.1 背景	5
1.2 鋼製遮水壁の遮水性に関する既往の研究	5
1.2.1 鋼矢板壁の遮水性	5
1.2.2 鋼管矢板壁の遮水性	6
1.3 本研究の目的	8
2. 実海域実験	8
2.1 実験概要	8
2.2 各種遮水方法	12
2.2.1 ゴム板付き継手鋼管矢板壁	12
2.2.2 アスファルト充填継手鋼管矢板壁	12
2.2.3 土質材料充填継手箱形鋼矢板および鋼管矢板壁	13
2.2.4 溶接継手箱形鋼矢板壁	15
2.2.5 遮水材塗布鋼矢板壁	16
2.2.6 溝付き継手鋼矢板壁	16
2.3 実験装置と設置方法	17
2.3.1 ゴム板付き継手鋼管矢板壁	17
2.3.2 アスファルト充填継手鋼管矢板壁	20
2.3.3 土質材料充填継手箱形鋼矢板壁	21
2.3.4 土質材料充填継手鋼管矢板壁	24
2.3.5 溶接継手箱形鋼矢板壁	26
2.3.6 遮水材塗布鋼矢板壁	28
2.3.7 溝付き継手鋼矢板壁	31
3. 実験結果	32
3.1 遮水性能の評価方法	32
3.2 変形付与前の遮水性能の評価	35
3.2.1 ゴム板付継手鋼管矢板壁	35
3.2.2 アスファルト充填継手鋼管矢板壁	35
3.2.3 土質材料充填継手箱形鋼矢板壁	36
3.2.4 土質材料充填継手鋼管矢板壁	36
3.2.5 溶接継手箱形鋼矢板壁	36
3.2.6 遮水材塗布鋼矢板壁	37
3.2.7 溝付き継手鋼矢板壁	37
3.3 変形を付与した実験構造物の遮水性能の評価	37
3.3.1 実験工程と気象・海象	38
3.3.2 ゴム板付き継手鋼管矢板壁	39
3.3.3 アスファルト充填継手鋼管矢板壁	39
3.3.4 土質材料充填継手箱形鋼矢板壁	40

3.3.5	土質材料充填継手鋼管矢板壁	40
3.3.6	溶接継手箱形鋼矢板壁	41
3.3.7	遮水材塗布鋼矢板壁	41
3.3.8	溝付き継手鋼矢板壁	42
3.4	実海域における基本性能等の確認試験	43
3.4.1	土質材料充填継手箱形矢板壁	43
3.4.2	土質材料充填継手鋼管矢板壁	45
3.4.3	溶接継手箱形鋼矢板壁	47
<b>4.</b>	<b>適用性に関する考察</b>	<b>47</b>
4.1	検討項目	47
4.2	遮水継手の適用性	48
4.2.1	鋼製遮水壁継手の課題と解決の方向性	48
4.2.2	鋼製遮水壁継手の適用性	54
4.3	遮水材料の適用性	55
4.4	鉛直遮水構造の新しい概念とその適用性	60
4.4.1	まえがき	60
4.4.2	フェイルセーフ機能を有する鉛直遮水構造	60
4.4.3	検査・モニタリング機能	60
4.4.4	補修方法	61
4.4.5	あとがき	62
5.	まとめ	62
6.	おわりに	64
	謝辞	65
	参考文献	66

## Applicability of Impermeable Steel Seawalls for Confined Waste Disposal Site in Coastal Areas

Yoichi WATABE\*<sup>1</sup>  
Hisayoshi YOSHINO\*<sup>2</sup>  
Ryuji KAKIMOTO\*<sup>2</sup>  
Koichi YAMADA\*<sup>3</sup>  
Akiyuki UKAI\*<sup>3</sup>  
Takeshi OKI\*<sup>4</sup>  
Yoshitake OKA\*<sup>5</sup>  
Hiroshi KITA\*<sup>6</sup>  
Naoya NAGAO\*<sup>6</sup>  
Takeshi MOCHIZUKI\*<sup>7</sup>  
Masanori KINOSHITA\*<sup>7</sup>

### Synopsis

Waste disposal sites along the coast in Japan are usually constructed on the thick clay ground, which has sufficient cutoff performance against the seepage from the bottom. Vertical seawalls of steel sheet piles or pipe sheet piles, as an impervious wall as well as a retaining structure, are considered one of the most useful methods for the landfill, because the walls can be embedded deeply into the impervious seabed.

The present paper describes field tests at an actual coastal area, Kure port, Hiroshima, Japan. The tests investigated the cutoff performance about the seven types of steel seawalls newly developed for the purpose of improving the impermeability of the joints between steel piles so as to further enhance the credibility of the coastal waste disposal landfill. Test facilities for the seven types of cutoff walls were designed and constructed, then the cutoff performance was evaluated by leakage tests by filling water for about one year. After that, the facilities were actively deformed by hydraulic jacks or other methods in order to investigate the deformation-following performance of the joints. The results showed that the present seven types of walls had sufficient cutoff performance in accordance with the design standard prescribed in a ministerial ordinance, and that those were ready for practical use from the viewpoint of installation work as well.

In addition, the applicability of the present cutoff walls is discussed and tabulated in the paper. Several seawall structures combined with the present cutoff joints proposed are studied from the viewpoint of the fail-safe design including backup functions, inspections, monitoring, and repair works, where advantages and disadvantages are compared among the proposed structures.

**Keywords:** waste disposal landfill, seawall, steel sheet pile, steel pipe sheet pile, joint, seepage control work, cutoff performance, clay, field test

---

\*1 Head, Soil Mechanics and Geo-environment Division

\*2 Japan Association for Steel Pipe Piles

\*3 Penta-Ocean Construction Co., Ltd.

\*4 JFE Steel Corporation

\*5 JFE R&D Corporation

\*6 Sumitomo Metal Industries, Ltd.

\*7 Nippon Steel Corporation

3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Phone : +81-46-844-5053 Fax : +81-46-844-4577 e-mail: watabe@ipc.pari.go.jp

# 鋼製遮水壁の遮水性能と適用性に関する研究

渡部要一\*<sup>1</sup>  
吉野久能\*<sup>2</sup>  
柿本龍二\*<sup>2</sup>  
山田耕一\*<sup>3</sup>  
鵜飼亮行\*<sup>3</sup>  
沖 健 \*<sup>4</sup>  
岡 由剛\*<sup>5</sup>  
喜田 浩\*<sup>6</sup>  
永尾直也\*<sup>6</sup>  
望月 武\*<sup>7</sup>  
木下雅敬\*<sup>7</sup>

## 要 旨

海面処分場の多くは、厚く堆積した粘土地盤上に建設され、底面の遮水性能は十分に確保されていることから、底面遮水層まで確実に根入れでき、かつ、護岸本体工と遮水工とを兼ねる鋼矢板または鋼管矢板で構成される鉛直遮水工は、海面処分場における確実な遮水を実現するための重要な工法の一つと考えられている。

本文では、鋼矢板または鋼管矢板等の鋼製矢板の継手部の遮水性能をさらに高め、より信頼性の高い廃棄物埋立護岸を実現するために開発された7種類の工法について、その施工性や遮水性能を確認するため、実海域(呉港)において実施した、施工性ならびに遮水性に関する実験結果を報告する。各遮水工について、性能を評価するための施設を設計・施工し、水張り試験を実施することによって、継手部の遮水性能を評価した。遮水工は約1年間存置した後、油圧ジャッキなどにより鋼製矢板に強制変形を与えて、遮水工の性能として求められる変形追随性についても検討した。その結果、今回の実証実験に供された各遮水継手は、実海域においても基準省令を十分満足する遮水性能を実現可能であり、施工性などの観点からもいずれも実用に供する工法であることが確認できた。

これらの実験結果を踏まえて、各遮水工の適用性について整理した。くわえて、基準省令で求められる遮水機能のみならず、遮水機能のバックアップ・検査・モニタリング・補修等を可能にするフェイルセーフ機能を考えたときに、各遮水継手の組み合わせを想定し、どのような構造を選定したら何が実現できるかなどについて検討した。

**キーワード：** 廃棄物、海面処分場、埋立護岸、鋼矢板、鋼管矢板、継手、遮水、粘土、実証実験

---

\*1 地盤・構造部 土質研究室長

\*2 鋼管杭協会

\*3 五洋建設株式会社

\*4 J F E スチール株式会社

\*5 J F E 技研株式会社

\*6 住友金属工業株式会社

\*7 新日本製鐵株式会社

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 独立行政法人港湾空港技術研究所

電話：046-844-5053 Fax：046-844-4577 e-mail: watabe@ipc.pari.go.jp

## 1. はじめに

### 1.1 背景

沿岸域に建設される管理型廃棄物処分場（以下、海面処分場）は、廃棄物埋立護岸で囲まれている。潮汐、波浪、高潮、津波、潮流等の時々刻々変化する厳しい外力が作用するこの護岸には、埋立地を海特有の外力から護る「護岸」と、処分場の保有水を外海に漏出させないための「側面遮水」の両者の性能が要求される<sup>1)</sup>。

廃棄物埋立護岸として採用される工法の多くは、従来からある捨石式、ケーソン式、二重矢板式などの護岸構造に遮水性能を付加したものである。遮水性能を発揮させる道具は、遮水シート、アスファルトマスチック、矢板継手の遮水処理等である。捨石の背面側やケーソン式の裏込めの法面には遮水シートが採用されるが、わずかな内外水位差でも容易にシートが浮かび上がってしまうため敷設が難しく、大規模な処分場で採用されることはほとんどない。ケーソン側面の鉛直遮水にシートが用いられることもあるが、地震や台風時に生じるケーソン間のずれやケーソンとマウンドとのずれといった局所的変状に対して脆弱なため、設計には慎重な検討が必要である。施工性、コスト、処分容量の確保等の観点から、海面処分場では継手に遮水処理を施した鋼矢板または鋼管矢板等による鉛直遮水工が採用されることが多い<sup>2)</sup>。

海面処分場の多くは、厚く堆積した粘土地盤上に建設され、底面の遮水性能は十分に確保されていることから、底面遮水層まで根入れでき、かつ、護岸本体工と遮水工とを兼ねる鋼矢板または鋼管矢板等で構成される鉛直遮水工は、海面処分場における確実な遮水を実現するための重要な工法の一つと考えられている<sup>2)</sup>。

### 1.2 鋼製遮水壁の遮水性に関する既往の研究

#### 1.2.1 鋼矢板壁の遮水性

わが国での鋼矢板は、1922年の関東大震災の災害復旧事業のため、世界各国から大量に輸入されたことが普及のきっかけとなり、1931年には国産化されている<sup>3)</sup>。その後、日本経済の高度成長に合わせて生産量も拡大し、断面形状の改良、大型化が進められた。

鋼矢板は、連続した鋼で構成されておりそれ自体は不透水材料であるが、継手部は打設性の観点から適当なあそびが必要であり、無処理の状態の場合、水頭差があると継手を通り鋼矢板壁を横切って水が流れる。継手の隙間は、鋼矢板の種類によって異なった湾曲形状を有する。隙間の幅は継手の嵌合（かんごう）状態によって変化し、中立状態での隙間幅は1～2mmである<sup>4)</sup>。

鋼矢板によって遮水または止水を行うことを目的とす

る縮切工、止水工、山留め工等においては、無処理のままでは継手からの漏水量が大きい。鋼矢板が土中に打ち込まれて継手に土砂が詰まっている状態、あるいは河川の止水壁などのように上流側から石炭がらや糸くず、おがくずを投入し、これらが継手の中に流れ込んだ状態では、経験的に漏水量が非常に少なくなることが知られている。

荘司らにより行われた鋼矢板の継手の止水性能に関する実験<sup>5)</sup>では、矢板壁に0.5～5.0mの水頭差 $h$ を作用させて漏水状態が調べられた。継手の嵌合状態と、矢板壁前後の水頭差や砂の有無をパラメータとした実験を行い、それ以前に行われた同様の実験結果<sup>6),7)</sup>を併せて考察し、砂がない場合には $h < 5.0\text{m}$ の範囲で $q \propto h^n$ 、 $n \approx 0.5$ が成立するとした。ここに $q$ は継手単位長さ当たりの流出量( $\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ )、 $h$ は継手前後の圧力水頭差(m)である。また、継手の周辺に砂がある場合は、 $h < 5.0\text{m}$ の範囲で $q \propto h^n$ 、 $n \approx 1.0$ が成立するとした。

継手部を狭水路とみなした荘司らの水理学的考察によると、継手部の間隔が広い場合は摩擦損失水頭が小さく、継手部での損失水頭はおおむね継手部の最小断面での速度水頭に等しくなるので、 $q \propto h^n$ 、 $n \approx 0.5$ という関係が成立する。一方、継手部の間隔が狭い状態では、摩擦損失水頭が継手部での損失水頭を支配し、その状態での流れが層流状態であることから $q \propto h^n$ 、 $n \approx 1.0$ という関係が成立する。ただし矢板壁の場合、一般に継手の間隙は一樣ではなく、継手の間隔が広がっている箇所の流出量が矢板壁全体の流出量の大部分を占めることになるため、 $q \propto h^n$ 、 $n \approx 0.5$ という関係になる。一方、継手部に土砂が詰まっている状態では、継手前後での全損失水頭が土砂中の摩擦損失水頭によって支配され、土砂中の流れは完全な乱流状態に到らない範囲にあるので、 $q \propto h^n$ 、 $n \approx 1.0$ という関係になる。

継手部に土砂が詰まっている場合には、鋼矢板壁をダルシーの法則に従う仮定の有効厚さの壁に置き換えた換算透水係数 $k_e$ （後出の式(1)参照）を用いて透水計算を行っても、実用上は支障の無い結果が得られる。上記の実験結果に、壁厚を0.5mとしてダルシーの法則を適用すると、鋼矢板壁の前後に砂がある場合の換算透水係数 $k_e$ は $7.5 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ であった。

現位置で透水係数が計測された例としては、古土井・片山により実施された既設保船岸背後の残留水位測定調査<sup>8)</sup>があり、潮位変動に連動した地下水位の変動から透水係数が算定された。鋼矢板岸壁の場合、換算透水係数 $k_e$ は $5.0 \times 10^{-6} \sim 1.5 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ であった。また、東京都が15号地処分場で実施した遮水試験<sup>9)</sup>では、鋼矢板壁で囲まれ

た試験井戸内の水位回復を観測しており、換算透水係数 $k_c$ は $5.0 \times 10^{-6} \sim 7.0 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ であった。

継手の止水性を高める方法として、継手に粘性の高い物質を塗布して隙間を埋めることが有効であると考えられる。当初はグリースやアスファルト系の材料が使用されていたが、鋼矢板の打込み時に塗膜が剥げたり、鋼矢板の変形等により継手の嵌合状態が変化したときに隙間が生じて水密性が低下するという問題があった。また、U形鋼矢板の場合は、グリースにより中立軸部にある継手の滑動性が良くなるため、打設性は向上するものの、壁体の断面剛性を低下させる恐れもあった。

現在、仮締切りや山留めなど、鋼矢板を用いた仮設構造物の止水方法として最も普及しているのが、高吸水性ポリマーをゴム系樹脂に分散させた塗布材である。高吸水性ポリマーは、イオン性の基を持った高分子電解質をゆるく架橋したもので、自重の数百倍もの重量の水を吸収して膨張し、ヒドロゲルを形成する。架橋結合により高分子は自由に移動することができず、水分子が高分子鎖の中に取り込まれ、網目構造が膨張する。一方、高分子鎖の弾性効果により網目が収縮しようとする力が働き、吸水膨張による網目を広げる力と釣り合って膨潤平衡に至る。吸水力は、ヒドロゲル内外の可動イオン濃度差による浸透圧と、高分子電解質と水との親和力からなるが、高吸水性ポリマーの場合、浸透圧によるものが卓越している。

塗布材は、鋼矢板継手に塗布後、溶剤が揮発してゴム系樹脂が弾性のある固い塗膜を形成する。鋼矢板打設後、高吸水性ポリマーが周囲の水を吸収して膨張し、継手の隙間に充満する。淡水での重量膨潤率は15～20倍に達する。衝撃や継手の嵌合状態の変化に対しても、ゴム弾性によりある程度の追従性を有する。しかし本来、仮設構造物での使用を目的として開発されているため、長期耐久性については考慮されておらず、ゴム系樹脂に分散された高吸水性ポリマーは徐々に流出して吸水力は低下する。また、繰り返し使用を前提としているため、鋼矢板引抜き後の剥離性を重視した材料として開発されており、膨潤後の鋼材との接着性は低い。一方、吸水力は主として浸透圧によるため、外部溶液のイオン濃度が高いほど膨張率は低下する。このため、海水中での重量膨潤率は淡水の場合の3分の1程度（5～7倍）にまで低下することから、港湾工事での使用には注意が必要である。

本設構造物用の膨潤性遮水材としては、親水性ポリオールと脂肪族イソシアネートからなるポリウレタン樹脂が用いられる。継手に充満する点は高吸水性ポリマーをゴム系樹脂に分散させた塗布材と同様である。しかし、

その吸水力は、ポリウレタン樹脂を構成する親水性ポリオールと水との親和力によるため、イオン濃度の影響を受けず、海水中でも膨潤率の低下が小さい。また親水性ポリオールは樹脂骨格中に組み込まれているため、乾湿繰り返し等で膨張状態を変化させても吸水力が低下することは無い。市販品には、空気中の水分と反応してウレタン結合により硬化する一液タイプと、主剤と硬化剤を反応させてウレタン結合により硬化する二液タイプがあるが、硬化物の物性はほぼ両者で同一である。なお樹脂を構成するイソシアネートの種類によっては加水分解性が高いこともあるため、長期耐久性を重視する場合には注意が必要である。また本設構造・仮設構造兼用とした製品は、一般に使用後の剥離性を良くしているため、波や流水により矢板壁が動揺する場合の使用は避けるべきである。

膨潤性遮水材を鋼矢板の継手に塗布し、気中で継手同士を嵌合させた後に、十分に水膨張した状態で0.1MPaの水圧（水頭差10mに相当）を作用させ漏水量を計測した試験では、 $1.1 \times 10^{-10} \text{cm/s}$ の換算透水係数 $k_c$ が得られたことが報告されている<sup>10)</sup>。これは、実用上不透水であるとして、遮水性能上問題無いレベルである。また膨潤性遮水材を塗布した鋼矢板を地盤中に打設し、継手部分を切出して耐水圧試験も実施されており、換算透水係数 $k_c$ で $1.0 \times 10^{-8} \text{cm/s}$ 以下の結果が得られている<sup>11)</sup>。

陸上の廃棄物最終処分場の工事では、古くから鋼矢板が使用されているが、膨潤性遮水材を継手に塗布した事例は1985年から実績がある。また廃棄物海面処分場の護岸工事では、1989年に広島県五日市地区等で使用実績がある。1998年に改正命令が示された総理府・厚生省令「一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分に係る技術上の基準を定める命令」<sup>12)</sup>（以下、基準省令と記す）により遮水工の構造基準が強化・明確化されている。これに対応するかたちで、2001年の神戸沖埋立処分場等で採用されている。

### 1.2.2 鋼管矢板壁の遮水性

鋼管矢板が国内で普及したのは、東京オリンピック前後の高度経済成長時代からであり、1964年の横浜本牧埠頭の土留め壁工事がエポック的な事例といえる<sup>13)</sup>。鋼管矢板が使用され始めた当初は、土留め壁や仮締切り等の仮設構造物や、岸壁や河川護岸等としての利用が主体であった。その後、技術開発も進み、曲げ耐力のみならず鉛直支持力も期待する構造体としても利用されるようになった。1967年の大型高炉基礎への適用を皮切りに、鋼管矢板基礎や仮締切り兼用鋼管矢板基礎として、現在で

も低コスト・省スペース構造として幅広く使用されている<sup>14),15),16)</sup>。いずれの構造においても継手部からの漏水が問題となる場合には、継手部に遮水処理が必要となる。遮水処理を施すことで、壁体としての高い剛性と遮水性が両立できることから、厳格に遮水性能が要求される廃棄物処分場の遮水壁への適用実績も増加していった。現在までに、東京港中央防波堤外周護岸(1979年)、南本牧第二ブロック外周護岸(1992年)、新海面処分場等での適用実績が報告されている<sup>17),18)</sup>。

鋼管矢板は鋼管杭と継手鋼材を溶接したものであるが、現状で3つのタイプの継手形状が製品化されている(図1.2.1)。鋼管矢板壁は、打設時の施工性を確保するため、継手部に鋼矢板の場合より大きい嵌合余裕をもっている。従って、確実な遮水性を実現するためには、鋼矢板壁と同様に継手部の空間に何らかの処理を施さなければならない。

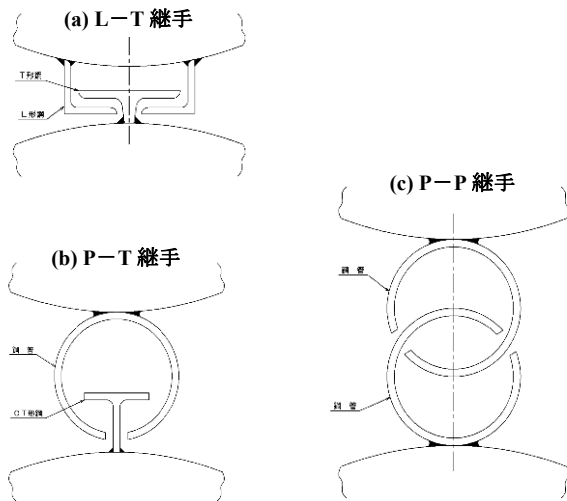


図1.2.1 代表的な鋼管矢板継手の断面図

一般的な遮水処理方法としては、継手内を水圧ジェットで洗浄した後にモルタルを充填する方法が取られ、現場条件に応じエアリフトが併用される場合もある。土中部に位置する継手についてはジェットで洗浄後にモルタルを直接打設するが、水中部に位置する継手については、流出防止のためにナイロン製のグラウトジャケットを使用した上で、モルタルあるいは粘土モルタルを打設する場合がある<sup>14)</sup>。なお、仮締切りとして鋼管矢板を用いる場合には、継手の遮水性と共に、本体基礎を設置した後に撤去するため、引抜きの容易性も要求されることとなる。モルタルならびに粘土モルタルの配合例を表1.2.1と表1.2.2に示す。

表1.2.1 モルタルの配合例 (kg/m<sup>3</sup>)

セメント	フライ アッシュ	砂	水	混和剤
600	200	850	384	7

表1.2.2 粘土モルタルの配合例 (kg/m<sup>3</sup>)

セメント	粘土	フライ アッシュ	混和剤	水	ベント ナイト
30	850	250	3.5	500	50

鋼管矢板を用いた構造物の遮水性能を定量的に評価した研究報告は余り多くはない。これは、鋼管矢板の主な用途が岸壁や仮設構造物であること、仮設構造物として用いる場合はドライワーク可能な程度に遮水性能があれば十分であり、かつウェル等の補助工法が併用可能なこと、岸壁の場合は背後地の土砂が周辺水域に流出しない程度にしか遮水性能が要求されないことが理由であると思われる。

このような中、鋼管矢板壁の遮水性に関して、施工現場、室内実験、陸上でのフィールド試験を通じていくつかの貴重な評価結果が報告されているので、その概要について述べる。

九州横断道東大川橋における仮締切り兼用鋼管矢板基礎の施工現場<sup>19)</sup>では、継手漏水に関する調査が行われた。P-P継手内にジャケット併用の粘土モルタルを打設した遮水処理となっており、継手部からの漏水は最大0.2m<sup>3</sup>/minが観察されたとの報告がある。

また、P-P継手をもつ鋼管矢板基礎の施工現場で、継手内に充填するモルタルの種類や充填位置を変えて遮水性の評価を行った事例がある<sup>20)</sup>。P-P継手の場合、1室のみの充填では漏水が見られ、3室充填すれば確実に遮水を行えることやモルタル、粘土モルタル、特殊グラウトを遮水材として用いた結果が報告されている。

一方、室内実験ではあるが、継手の種類やグラウトジャケットの有無等の条件を変えた場合の遮水性能評価も行なわれた<sup>21),22)</sup>。これによると、P-P継手よりP-T継手の方が遮水性能が優れていること、グラウトジャケットが有る場合は無い場合に比較して換算透水係数で1オーダー遮水性能が低下することが報告されている。また、地震時等に受ける遮水壁の変形の影響も考慮して、継手に遮水処理を行った鋼管矢板継手の曲げ載荷試験も実施された。それによると、曲げ変形が大きくなると遮水性能は低下する傾向にあること、その水みちとなるモルタルと継手鋼材の境界面に漏洩防止ゴム板を配置することで、継手部の変形追随性が確保されて、遮水性能を大幅に改善でき、換算透水係数 $k_e$ で表すと $1.0 \times 10^{-8}$ cm/s以下の



高い遮水性能を実現できることが確認された。

陸上でのフィールド試験では、H形鋼にP-T継手を取り付け、土中に打設した後、モルタルやアスファルトマスチックによる遮水処理を施した試験体を引き抜き、遮水性能の評価が行われた<sup>23)</sup>。この結果から、施工上の改善の余地は若干残るものの、漏洩防止ゴム板の付いた継手およびアスファルト専用ジャケットを用いたアスファルトマスチックを充填する方法において、換算透水係数 $k_e$ がいずれも $1.0 \times 10^{-7}$ cm/s以下であったと報告されている。

最近では、鋼管矢板の母管と母管をH形鋼で連結させることで、漏水原因となる継手を遠配置化した構造で遮水性を高めようとする研究も行なわれている<sup>24)</sup>。継手構造にも通常のパイプやT形鋼ではなく、剛性の高いH形鋼を用いており、膨潤性遮水材の併用によって鋼管矢板壁の遮水性能を高めようとする構造である。現位置ではなく、室内において遮水性の評価試験が行なわれており、0.3MPaの水圧差で換算透水係数 $k_e$ が $1.0 \times 10^{-6}$ cm/s以下、0.05MPaの水圧差で $1.0 \times 10^{-8}$ cm/s以下になったと報告されている。

### 1.3 本研究の目的

1.2節で述べたように、膨潤性遮水材を塗布した鋼矢板継手の遮水性能について、原位置漏水試験、現場切出し試験、室内模型試験等の結果、基準省令<sup>12)</sup>に示された構造基準を満足する遮水性能が得られることが確認されている。一方、鋼管矢板の継手については、モルタル充填したP-T継手に対する遮水性能が評価されており、グラウトジャケットを用いた場合には、ナイロン製の布袋が水みちとなるために遮水性能がやや低下するものの、モルタル充填により十分な遮水性能が得られることが実験的に示されている。

しかしながら、継手部に膨潤性遮水材を塗布した鋼矢板壁は、鋼矢板の打設時に遮水材の表面に土砂等の異物が付着したり、嵌合する継手との摩擦で遮水材が損傷したり、特に海上施工では波浪や潮汐による繰り返し変形や水圧差による吸出しで継手の遮水性能に悪影響が及ぶ懸念もある。一方、鋼管矢板の継手についても、グラウトジャケットを用いた場合にはナイロン製の布袋が水みちとなるために遮水性能が低下する可能性や、継手処理の確実性などについての懸念もある。これらに対して、本文にて取り上げるように、鋼矢板、鋼管矢板継手部の遮水性能をさらに高め、より信頼性の高い廃棄物埋立護岸を実現するための工法の開発も進んでいる<sup>25)</sup>。開発段階では、陸上での原位置漏水試験や現場切出し試験、室

内模型試験等の結果から、十分な遮水性能があることが確認されてきたが、海面処分場のような厳しい外力条件、環境条件の下でこれを適用した際に、その性能がどこまで発揮されるかについては疑問が残されていた。

これらの課題を室内試験で再現して評価・確認することは困難であることから、港湾空港技術研究所および鋼管杭協会と民間4社で共同研究を立上げ、実際の海域にて実証実験を実施した。本文では、鋼製遮水壁の継手部の遮水性能をさらに高め、より信頼性の高い廃棄物埋立護岸を実現すべく開発された表1.3.1に示す7種類の工法について、その施工性や遮水性能を確認するために、実海域において実施した実証実験の結果について報告するものである。

なお、表1.3.1中で遮水工の説明の欄において<>内に記した表現は、本文において便宜上用いている各工法の略称を表すものである。

表1.3.1 実証実験を実施した工法<sup>26)</sup>

記号	遮水工の説明
1	漏洩防止ゴム板付き継手にモルタルを充填した鋼管矢板壁 <sup>27)</sup> <ゴム板付き継手 鋼管矢板壁>
2	アスファルト事前充填継手を用いた鋼管矢板壁 <sup>28)</sup> <アスファルト充填継手 鋼管矢板壁>
3	継手隔壁内に土質系遮水材を充填した箱形鋼矢板壁 <sup>29)</sup> <土質材料充填継手 箱形鋼矢板壁>
4	継手部に設けた隔壁内に土質系遮水材を充填した鋼管矢板壁 <sup>30)</sup> <土質材料充填継手 鋼管矢板壁>
5	継手部を溶接した箱形鋼矢板壁 <sup>31)</sup> <溶接継手 箱形鋼矢板壁>
6	継手部に膨潤性遮水材を塗布した鋼矢板壁 <sup>32)</sup> <遮水材塗布 鋼矢板壁>
7	溝付き継手部に膨潤性ゴムを装填、またはシリコーン樹脂を注入した鋼矢板壁 <sup>33)</sup> <溝付き継手 鋼矢板壁>

<>内は略称を表す。

## 2. 実海域実験

### 2.1 実験概要

実験施設設置地点は、広島県呉市の阿賀マリノポリス建設現場海域の一部で(図2.1.1)、水深は7mあり、不透水層として十分な性能を有していると考えられる厚さ14mの粘土層が海底に堆積している。大潮時における干満の潮位差が最大約4mあり、遮水工には非常に厳しい自然条件となっている(表2.1.1および図2.1.2参照)。

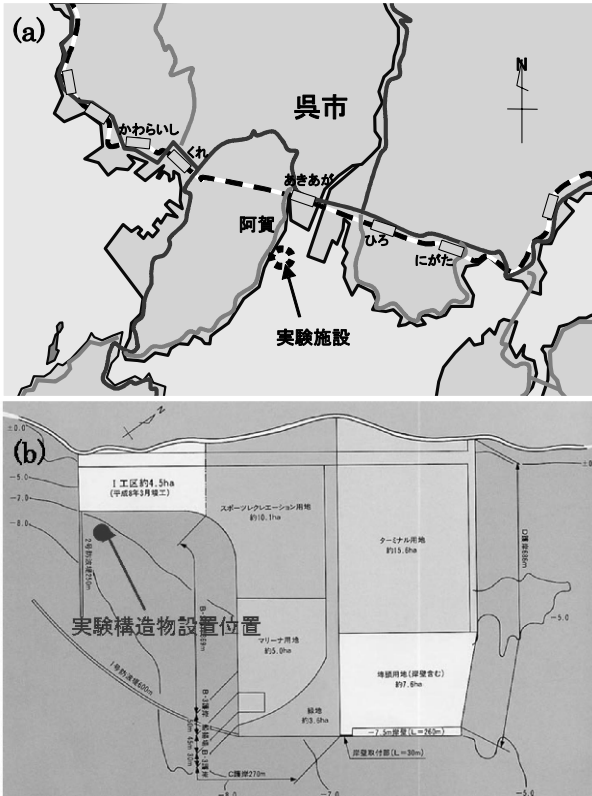


図2.1.1 実験場所（阿賀マリノポリス）

表2.1.1 潮位条件など

	現地数値
H.W.L.	C.D.L. + 4 m
M.S.L.	C.D.L. + 2 m
L.W.L.	C.D.L. ± 0 m
海底面	C.D.L. - 7 m

上記7種類の遮水工について性能を評価するための施設を設計し、同地点に設置した。実験施設の平面図を図2.1.3～2.1.5に、施設の外観を図2.1.6に示す。遮水継手で囲まれた狭い空間（図2.1.3～2.1.5に示された①～⑦の部分）を設けて水張り試験を実施することによって、継手部の遮水性能を短期間で評価することができる<sup>34)</sup>。なお、各実験構造物の詳細および設置状況については後節にて記述する。

本実験の工程を表2.1.2および2.1.3に示す。実験施設の建設は、2003年4月1日から足場仮設工の施工を開始し

た。その後、実験施設本体の設置工を下記の順に実施し、矢板の打設およびモルタルの充填注入等の継手遮水工の施工、および計測機器の設置を同年9月末に完了させた。その後、遮水性能の評価を目的とした水位計測を開始した。遮水工は約1年間存置した後、鋼管矢板および鋼矢板に油圧ジャッキによる加力や、切梁の切断などにより強制変形を与えて、矢板壁の変形に伴う遮水性能の変化について検討した。

なお、箱形矢板と土質系遮水材を組み合わせた遮水工3の実験用構造物は、その他の構造物の約半年前の2002年9月に構造物を施工し、実験終了時（2004年3月）まで断続的に水位計測を実施した。実験期間の後半には他のものと同様にジャッキにより強制変形を与え、矢板壁の変形に伴う遮水性能の変化についても検討した。

深度 C.D.L. (m)	深度 G.H. (m)	層厚 (m)	柱状 図	土質名	標準貫入試験 (N値) 一軸圧縮強度試験 (kN/m <sup>2</sup> )	
-7.10	0.00		---	シルト	-	
-9.90			---			$q_u=7.8\text{kN/m}^2$
-11.90			---			$q_u=10\text{kN/m}^2$
-13.90			---			$q_u=16\text{kN/m}^2$
-15.90			---			$q_u=10\text{kN/m}^2$
-17.90			---			$q_u=21\text{kN/m}^2$
-19.90			---			$q_u=22\text{kN/m}^2$
-21.30	14.20	14.20	●●●●	砂礫	-	
-22.30	15.20	1.00	++++	風化軟岩	N=50	
-24.10	17.00	1.80	++++			

図2.1.2 実験場所の土質柱状図

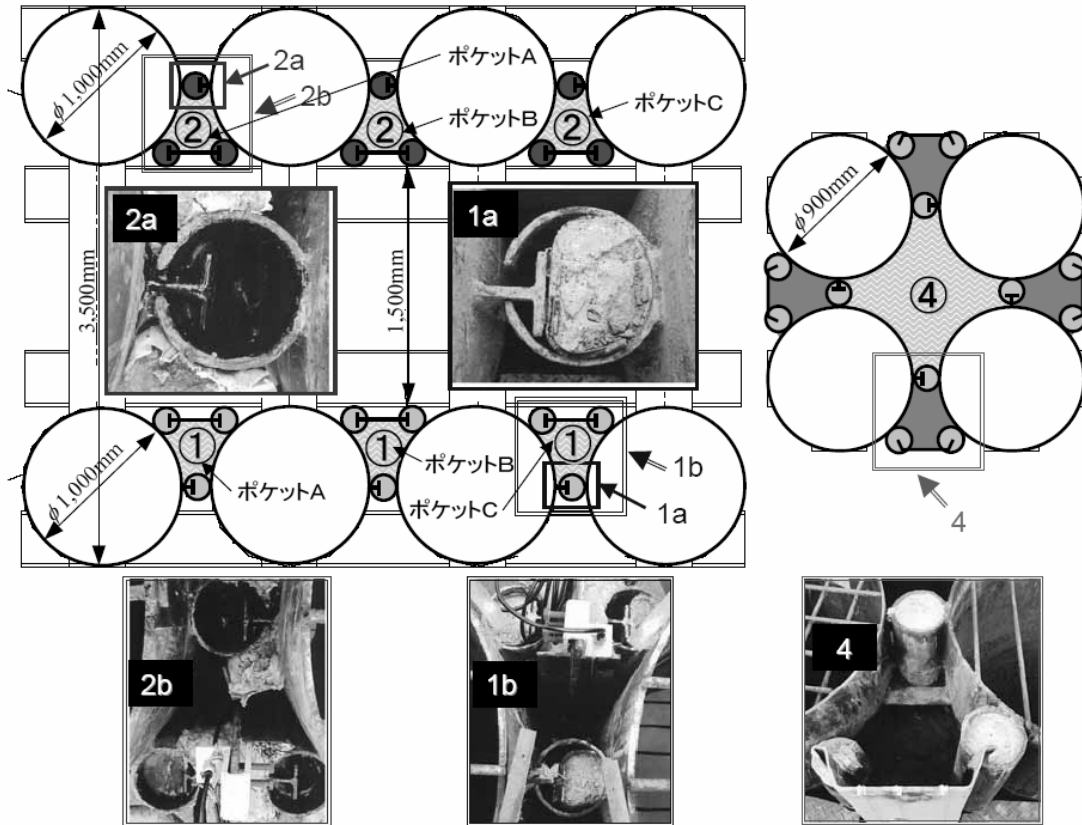


図2.1.3 鋼管矢板継手遮水性確認実験（工法1, 2, 4）

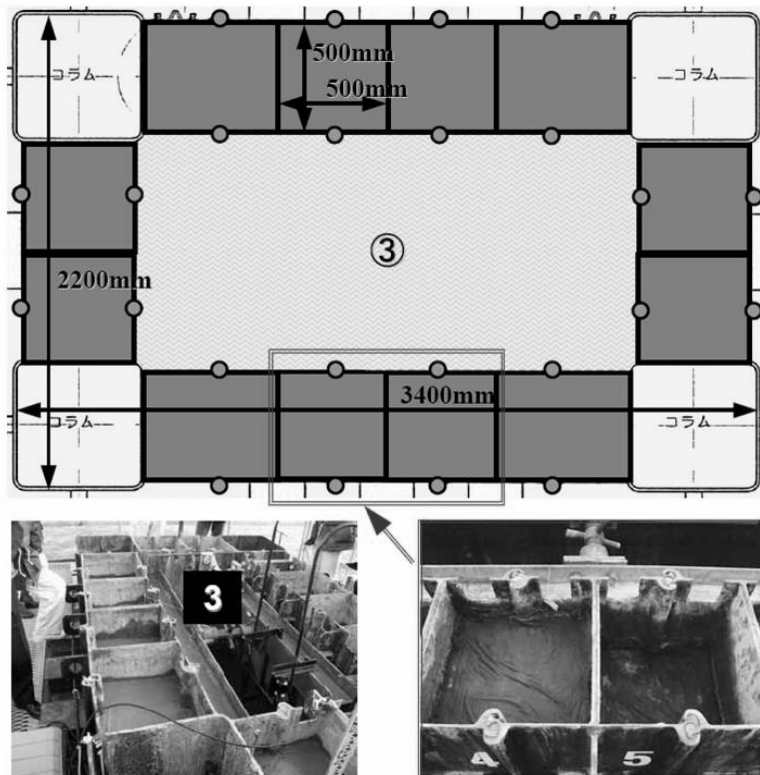


図2.1.4 H鋼矢板と土質系遮水材の組合せ（工法3）

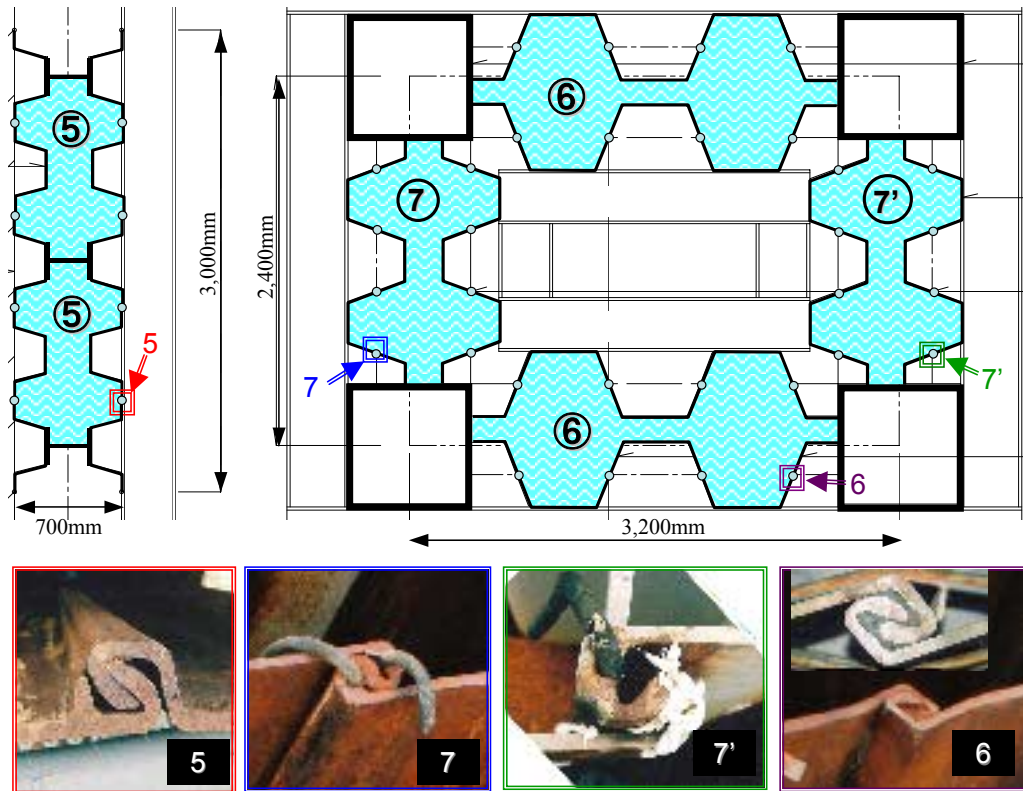


図2.1.5 鋼矢板継手遮水性能確認実験（工法5, 6, 7）



図2.1.6 実海域遮水性能確認実験のための構造物外観

表2.1.2 実験工程（遮水工3以外）

項目	年	2003			2004			2005		
		月	4~6	7~9	10~12	1~3	4~6	7~9	10~12	1~3
①遮水工・計測機器の設置										
②遮水工の施工性評価										
③遮水性能の評価										
④変形付与試験										
⑤変形付与後の遮水性能評価										
⑥遮水工の撤去										
⑦解体・調査										

表2.1.3 実験工程（遮水工3）

	2002		2003				2004
	9	10~12	1~3	4~6	7~9	10~12	1~3
構造物施工	●						
水位計測		①②③			④⑤		⑥
サウンディング サンプリング			●				
強制変位					●		●

海面処分場では、背後の地盤を含めて、便宜上、厚さ0.5mの層の透水係数に次式で換算した換算透水係数 $k_e$ を用いて遮水性能を評価する。

$$k_e = \frac{q}{B} \cdot \frac{L}{\Delta h} \quad (1)$$

ここで、 $q$ は継手単位長さにおける単位時間あたりの漏水量、 $B$ は矢板壁の継手間隔、 $\Delta h$ は遮水壁前後の水頭差、 $L$ は換算透水厚さ（=0.5m）である。換算透水係数 $k_e$ が $1.0 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 以下の場合に基準省令<sup>12)</sup>に示された構造基準を満足すると見なす<sup>35)</sup>。実験では、水位を観測するための空間の底部には土質系遮水材を充填しているために底部の遮水性は確保されていること、また、継手部の遮水性能をより厳しい視点で評価すべきことを考慮して、底部からの漏水は無視し、水位の変動はすべて継手に起因しているものとして検討を行っている。

## 2.2 各種遮水方法

### 2.2.1 ゴム板付き継手鋼管矢板壁

この構造は、P-T継手を有する鋼管矢板の止水性を高める方法として、T継手に板状のクロロプレンゴムを装着したものをP継手内に嵌合させ、モルタルを充填させたものである（図2.2.1）<sup>21)</sup>。

ゴム板のない一般的なP-T継手内に止水用モルタルを充填する方法は、海底面以下の土中部分と水中・気中部分で異なり、土中部の継手には直接モルタルを打ち込み、継手の外にモルタルが流出する可能性がある水中・気中部についてはグラウトジャケットを用いた施工となる。しかし、グラウトジャケットを用いた遮水構造は、波浪や地震等の外力により鋼管矢板が大きな変形を生じ

た場合、遮水性能が低下する問題を有している<sup>21)</sup>。ゴム板の付いた本構造は、グラウトジャケットの代わりに、T継手に板状のクロロプレンゴムを装着したものをP継手内に嵌合させ、モルタル充填を可能としている。外力により鋼管矢板が変形した場合にグラウトジャケットに起因して遮水性能が低下する問題に対し、クロロプレンゴムの弾性とP継手内面との密着性により解決を図っている。

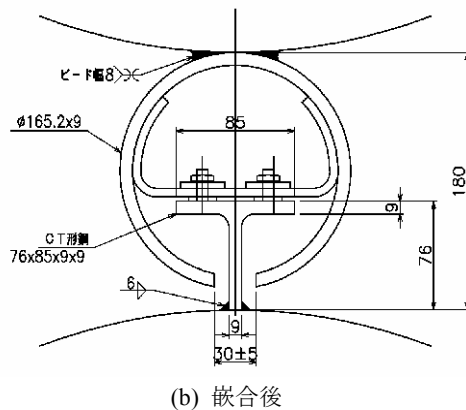
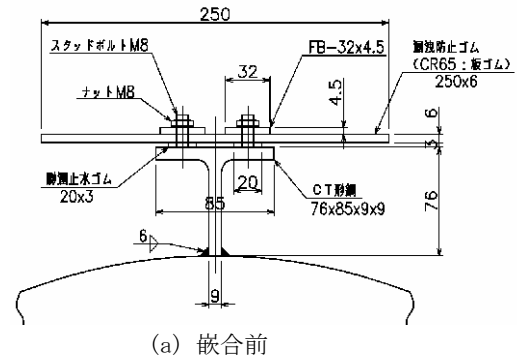


図2.2.1 ゴム板付き継手の構造（単位：mm）

本構造は、図2.2.1に示すように、通常のP-T継手のCT形鋼に予め溶接止めしておいたボルトで、漏洩防止ゴムを固定する構造である。また、漏洩防止ゴム板とCT形鋼との境界面が漏水経路とならないように、その境界面に膨潤性止水ゴムを配置することで、その止水性を高める構造となっている。

漏洩防止ゴム板の取り付け長さは、モルタル打設時に周辺海域へのモルタル漏洩を防止する観点から、必要とされる海底面への根入れを確保できるように設定する。

### 2.2.2 アスファルト充填継手鋼管矢板壁

この構造は、P-T継手を有する鋼管矢板の止水性を高める方法として、P継手に予め工場において特殊アスフ

アルト材料を充填しておくものである。鋼管矢板の場合、大水深に対応して施工深度が深い場合に用いられることが多いにもかかわらず、打設後に継手の土砂洗浄等の後処理を大深度まで施さなければならず、その品質確保が困難なケースもある。アスファルトは不透水性の材料ではあるが、施工後に鋼管矢板継手のような狭い空間に海上から充填するには適さない。そこで、鋼管矢板のP継手に予め特殊なアスファルトを充填した遮水継手が開発されている<sup>36)</sup>。この特殊アスファルトは振動工法や打撃工法による施工時には大きな施工抵抗とはならず、一方で変形追随性や長期的な流動性を有することにより、深部においても高い遮水性能を確保することを狙ったものである。

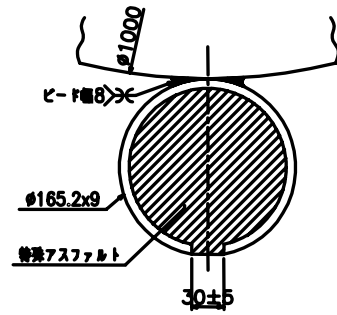


図 2.2.2 アスファルト充填継手

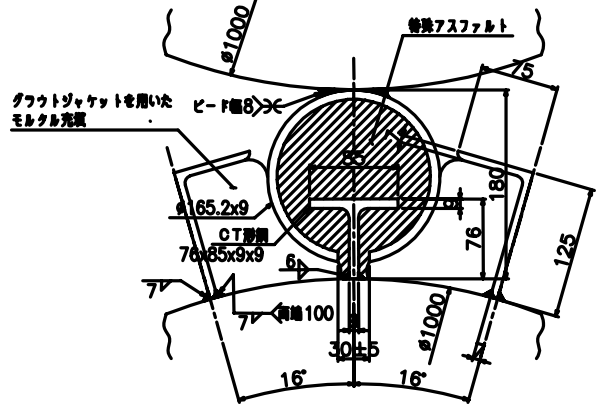
アスファルト充填継手の嵌合状況の写真を図2.2.2に示す。予め工場にて特殊アスファルトが充填された鋼管矢板P継手にT継手を振動工法により嵌合打設した後の写真であり、アスファルトにT継手が突き刺さった状態となっている。

本工法の特徴により、以下が期待される。

- 1) 優れた遮水性能：不透水性のアスファルト混合物を用いており、またアスファルトの長期的な流動性により、隙間が生じて自己充填し、施工後の長期的な遮水性能を保持することが期待できる。
- 2) 高い施工性：振動・衝撃により貫入しやすくなるアスファルトの性質を利用して、バイブロハンマや打撃により容易に嵌合できる。また、継手に入り込む土中部での土の排除・洗浄作業や、モルタル等の充填作業が不要となる。
- 3) 鋼管矢板の特性発揮：剛性の高い鋼管矢板本来の特長を十分に活かした構造物の設計・施工ができる。



(a) 継ぎ手嵌合前



(b) 継ぎ手嵌合後（アスファルト漏洩防止工の例）

図 2.2.3 アスファルト漏洩防止工の例（単位：mm）

先に述べたように、本構造の継手は、標準タイプのP-T継手のP継手パイプ内に工場で特殊アスファルトが充填されたものである。この際、運送中や仮置場で、アスファルトが継手スリットから漏出してしまふことを防止するため、継手スリット部に粘着テープが貼り付けられた状態で現地に搬入される。T継手は従来の継手と同じである。また、嵌合後の継手が長期に渡り水中部に晒される場合には、充填アスファルトが継手スリットより水中に漏出するため<sup>36)</sup>、水中・気中区間についてのみ、アスファルトの漏出を止める対策を施す必要がある。漏出防止工の例を図2.2.3に示すが、この例では、T継手の両側にアングルを取り付けておき、嵌合打設した後に、このアングルと嵌合継手に囲まれる空間にグラウトジャケットを用いてモルタル等を打設することで、スリットからのアスファルトの漏出を防止するものである。また、P継手の先端は、打設時に土砂がアスファルト充填された継手内に侵入してくるのを防止するため、先端沓を取り付ける。

### 2.2.3 土質材料充填継手箱形鋼矢板および鋼管矢板壁

海面処分場を用いる遮水材には、遮水性はもちろんのこと、ある程度の構造物の変位を許容できる変形追随性、

長期的に材料劣化や腐食を起さない耐久性、そして海上施工で確実かつ容易に取り扱うことのできる施工性が要求される。本遮水工法の遮水材料である土質系遮水材は、浚渫工事等で発生する海成粘土を有効利用し、現場で簡易なプラントを用いてベントナイトを添加・混練して製造するもので、遮水性、変形追随性および経済性に優れた材料である<sup>37),38),39)</sup>。

海成粘土はもともと高い遮水性を有しているが、浚渫粘土の状態では含水比が高く、そのままの状態では遮水材としての適用が困難である。そこで、本土質系遮水材は、主原料である浚渫粘土に間隙調整材としてベントナイトを添加・混練することで、遮水材料として要求される遮水性や施工性を有する材料に改良している。同材料のフロー試験の状況を図2.2.4に示すが、ベントナイトの添加によって流動性は抑えられていることがわかる。土質系遮水材は、①固化しないため、護岸完成後の地盤沈下や、地震時の外力などに起因する遮水工の変形に追随し、ひび割れを生じない、②土質系の自然材料であるため、材料劣化が少なく長期的に安定している、③ポンプ圧送が可能で、一般的な機械により施工が可能である、などの特徴を有している。これらにより、海面処分場の

側面遮水工や底面遮水工への適用が可能である。側面遮水工としては、鋼板や遮水シートと組み合わせることで、鋼管矢板の継手遮水に適用する方法や、箱形鋼矢板壁の継手隔壁内に本遮水材を充填して連続遮水壁を構築する方法などにより、多様な護岸構造に対応できる(図2.2.5)。また、箱形鋼矢板または鋼管矢板の継手止水と併用するため、二重、三重の遮水となり、より信頼性の高い遮水構造を構築することができる。

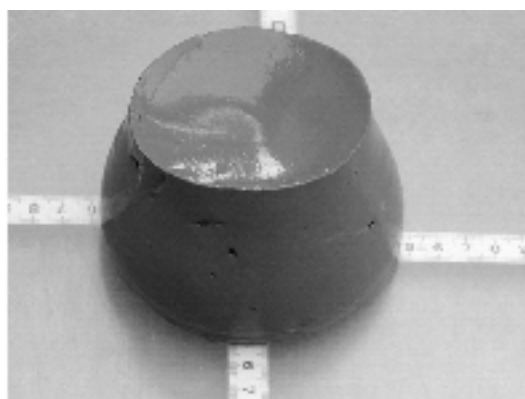


図2.2.4 土質系遮水材

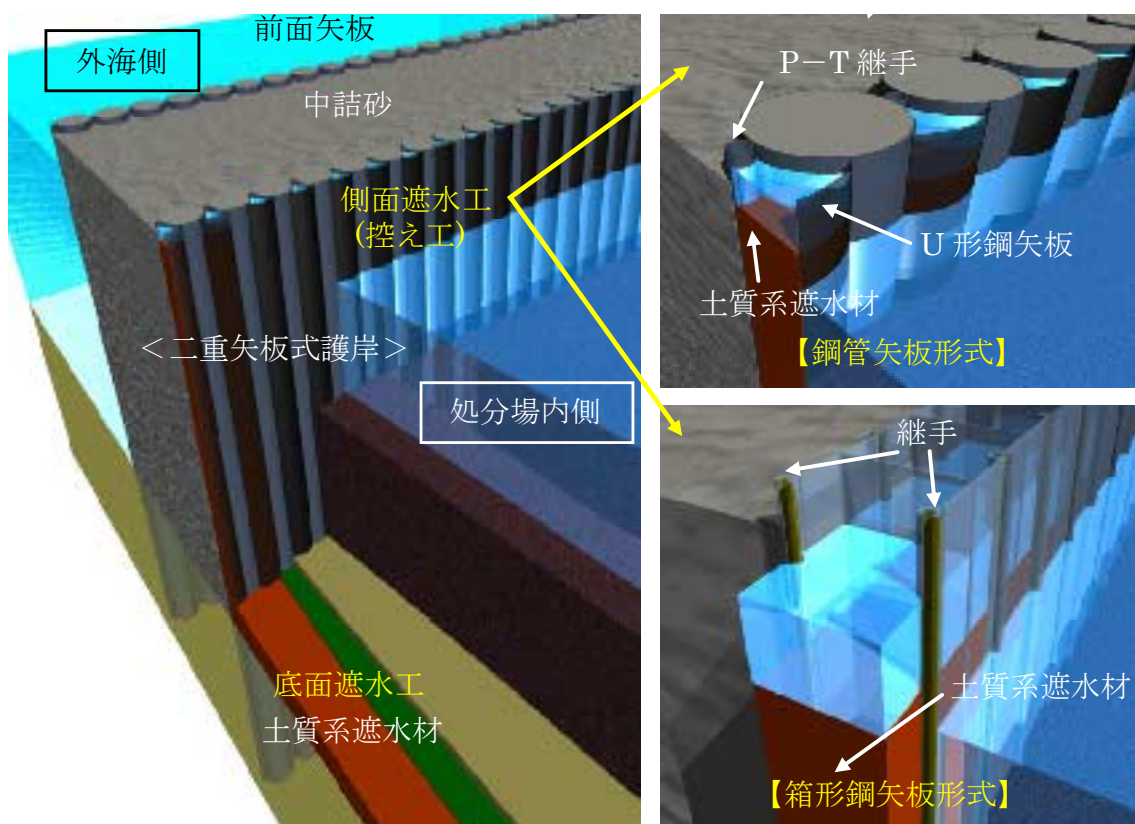
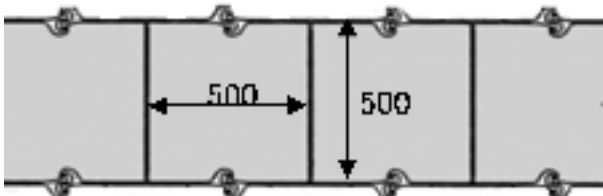
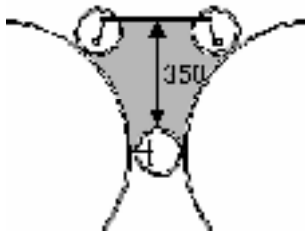


図2.2.5 土質系遮水材の適用例

本実験では、図2.2.6に示す箱形鋼矢板壁の継手隔壁内に土質系遮水材を充填した構造<sup>29),40)</sup>、および鋼管矢板の継手部にU形鋼矢板を取り付けてできるポケット内に土質系遮水材を充填した構造<sup>30),41)</sup>を対象とした。



(a) 箱形鋼矢板壁に土質系遮水材を充填 (単位: mm)



(b) 鋼管矢板の継手部に土質系遮水材を充填 (単位: mm)

図2.2.6 土質系遮水材を用いた実験構造物の遮水構造

#### 2.2.4 溶接継手箱形鋼矢板壁

溶接継手箱形鋼矢板壁は、非対称継手を有するハット形土留め鋼材を箱状に組み立てて遮水壁を構築し、形成された内部空間に遠隔操作型自動溶接機を走行させ、継手部を施工現場にて溶接することで、遮水性能と矢板壁の剛性を向上させた工法である。溶接状況を示す図2.2.7は、継手に溶接用の一次止水材を用い、箱内を排水により気中状態として継手溶接を行った一例である。排水後、溶接機を、底部から上方向に移動させながら溶接（上進溶接）する方法を採用した。溶接は気中状態でシールドガスを用いて行うことから、水中で気泡処理を行った溶接よりも確実に溶接できる。

また、ハット形土留め鋼材を箱状とするには、ハット形土留め鋼材のみから構築するタイプⅠ（図2.2.8）、ハット形土留め鋼材とH形鋼とを組み合わせて構築するタイプⅡ（図2.2.9）、後述する呉港で実験したタイプ（図2.2.9）とほぼ同様にH形鋼を1本おきに設置）が考えられ、H形鋼の大きさを変えることで自由に剛性を変化させることが可能である。

なお、本工法は内部空間を排水後に溶接するため、相対する継手の部分がそれぞれ独立した内部空間を形成す

る図2.2.8および図2.2.9に示す形状は、水中での耐圧性と施工性の観点からともに優れたものであると考えられる。また、土中部においても、箱内にある土砂を排出して溶接することが可能である。



図2.2.7 溶接状況

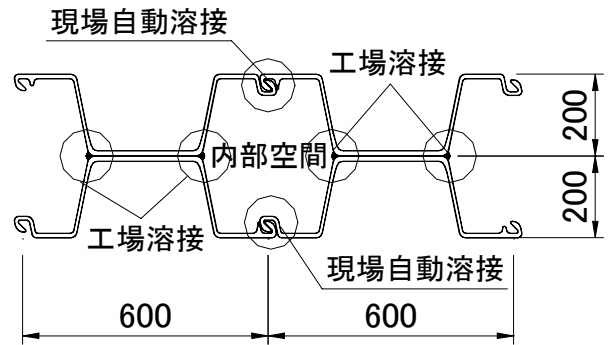


図2.2.8 箱形鋼矢板（タイプⅠ）（単位: mm）

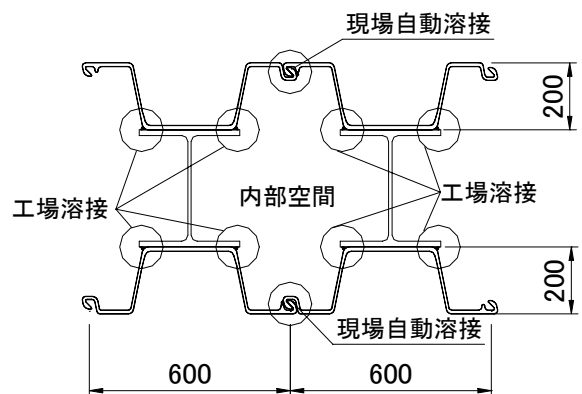


図2.2.9 箱形鋼矢板（タイプⅡ）（単位: mm）

以下に本工法の特徴を示す。

- H形鋼の組合せにより断面性能を自由に変化させることが可能となる。



- ・溶接中にカメラで監視することが可能なため、遮水の確実性を目視で確認できる。
- ・前面側または背面側の一方の継手を溶接すれば遮水構造となるが、両方の継手を溶接することでバックアップ機能としてのフェイルセーフ（ここでは、フォルトトレランシーについてもフェイルセーフに含まれるものとする）を兼ね備えた構造となる。
- ・内部に空間を有しているため、フェイルセーフを考えて不透水性／難透水性材料を充填することも可能である。

呉港での実験に用いたハット形土留め鋼材単体の断面を図2.2.10に、継手溶接部の断面図を図2.2.11に示す。

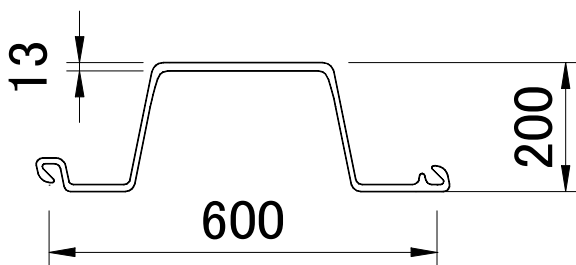


図 2.2.10 ハット形土留め鋼材の断面図（単位: mm）

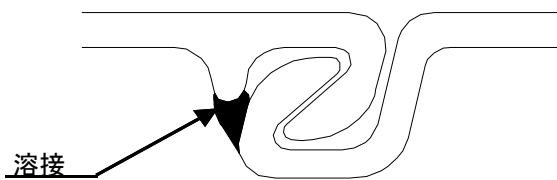


図 2.2.11 継手溶接部

### 2.2.5 遮水材塗布鋼矢板壁

海面処分場等の鉛直遮水工として鋼矢板が用いられる場合、継手部に膨潤性遮水材を塗布して遮水性を高めて使う方法が一般的である。

遮水壁に用いられる膨潤性遮水材は、特殊ポリウレタンを主成分とし、水を吸収して24～48時間後に最大で10倍程度に膨潤する。オイルジョッキや刷毛、専用ジグ等を用いて、継手の所定の範囲に塗布する。塗布した遮水材は硬化してゴム弾性を持つ生成物となり、鋼矢板打設後周囲の水を吸収して膨張し、継手の隙間に充満する（図2.2.12）。膨潤性遮水材の一般的な耐久性については、耐薬品性、耐熱性、耐寒性、乾湿繰返し特性に関する試験が実施され、管理型廃棄物処分場で想定される環境において十分な耐久性を有することが確認されている<sup>42)</sup>。

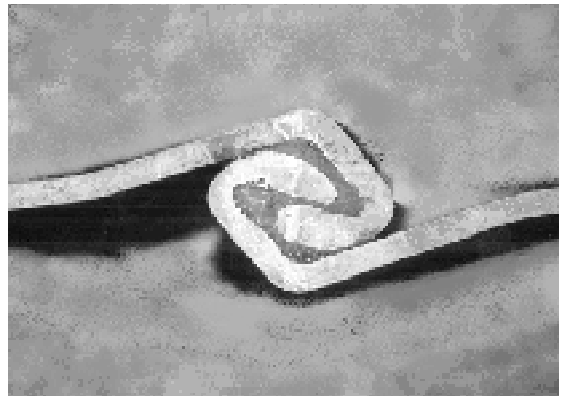


図2.2.12 膨潤性遮水材を塗布した鋼矢板爪部

### 2.2.6 溝付き継手鋼矢板壁

溝付き継手鋼矢板は、従来のU形鋼矢板爪部底面に、圧延により直径10mm程度の凹溝（ポケット部）を設けて止水処理することにより、継手部の止水処理の信頼性向上を目的として開発された遮水壁用の鋼矢板である<sup>10)</sup>。現在製造されている型式は有効幅600mm，有効高さ210mmの1種類であり、その断面図を図2.2.13に示す。

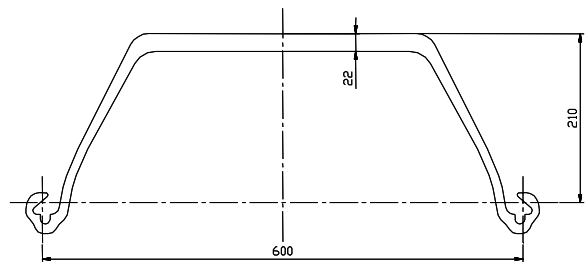


図2.2.13 溝付き継手鋼矢板の断面図（単位: mm）

継手部の止水処理の方法には、打設前に膨潤性ゴム等を継手部に設置する方法と、溝付き継手鋼矢板を打設後に、ポケット部を利用して継手内に不透水性材料を充填する方法がある。

打設前に継手内に設置する遮水材には、ポケット部の形状に合わせて円形断面に成形した膨潤性ゴムの紐（直径12mm）を用いる。同材料は天然ゴムをベースとし、水膨張性のポリウレタン樹脂を練り込んである。同一素材で長方形断面の製品は、シールドトンネルのセグメント間のシール材として使用実績がある。従来のポリウレタン樹脂による塗布型遮水材と比較し、強度や耐久性に優れ、寸法形状のばらつきが小さい。溝付き継手鋼矢板打設時には、十分な大きさのポケット内部に大部分が収納され、対向する継手や地盤との摩擦が最小限に抑えら

れるため、打設時に損傷する可能性を大幅に低減している。また膨潤後も、長期的にゴム弾性が保持されるため、波浪や潮汐などによる繰返し変形や、地震や沈下などによる継手間の大幅なずれに対しても損傷することなく、変形に追随するとされている。

また、施工期間中の継手のずれによる影響を避ける方法として、溝付き継手鋼矢板を打設後に、不透水性材料を継手内に充填する方法がある。U形鋼矢板の継手の隙間は1~2mm程度しかなく、通常の鋼矢板では、深度方向に嵌合状態が変化するため、鋼矢板天端部から下端部まで隙間無く充填することは不可能である。溝付き継手鋼矢板の場合、打設時の土砂侵入を防止すれば、ポケット部を利用して継手内への充填が可能である。継手の嵌合状態によっては、継手の隙間から充填材が継手外に漏出することもあり得るため、充填材には適度な粘性が必要である。施工性の他に、耐久性や経済性を考慮して、充填する不透水性材料には水中硬化するシリコン樹脂が用いられている。

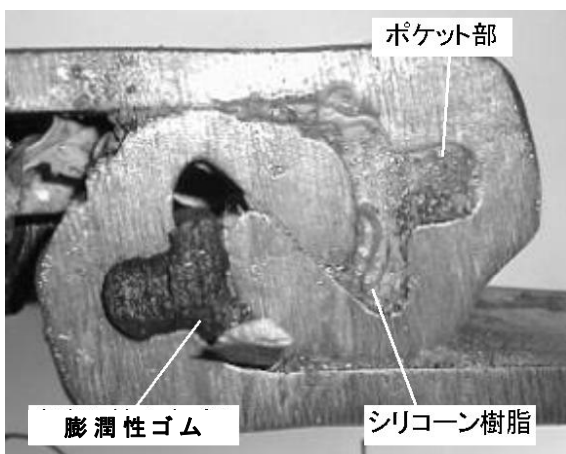


図2.2.14 溝付き継手鋼矢板の継手断面

継手1箇所につきポケット部は2ヶ所存在するため、膨潤性ゴムとシリコン樹脂は、互いの特性を考慮し、条件に合わせて組み合わせて使用することも可能である(図2.2.14)。この場合、性質の異なる二種類の遮水方法の組合せになるため、継手の遮水性能の信頼性が向上する。この止水処理方法により、海面廃棄物最終処分場の鉛直遮水壁の新設工事と、陸上の不適正処分場の適正化工事における鉛直遮水壁の改修工事で、2005年度末までにそれぞれ1件の施工実績がある。

## 2.3 実験装置と設置方法

### 2.3.1 ゴム板付き継手鋼管矢板壁

#### (1) 実験構造物の概要

実験構造物は、図2.3.1に示す平面図のように、鋼管矢板(本体：直径1000×厚さ11mm×長さ33m、P継手：直径165.2×厚さ9mm×長さ17.7m、T継手：76×85×9×9mm×長さ17.7m)と水位観測のポケットを作るためのH鋼を加工した締切材(長さ17.7m)から構成される。なお、鋼管矢板のT継手と締切り材の漏洩防止ゴム板付き区間は13.3mとして、ゴム板を海底土中に0.5m程度根入れさせた。締切り材において異種継手が混在すると遮水性能評価が難しくなるため、本体継手と同じ漏洩防止ゴム板付き継手を両側に装着した部材とした。地盤条件と実験構造物の関係を図2.3.2に示す。水位観測用ポケットの底面には、底面遮水用として土質系遮水材を厚さ2~3m打設した。

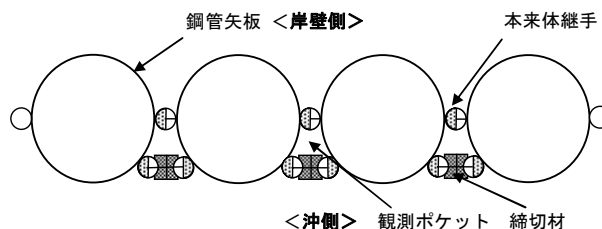


図2.3.1 実験構造物平面図

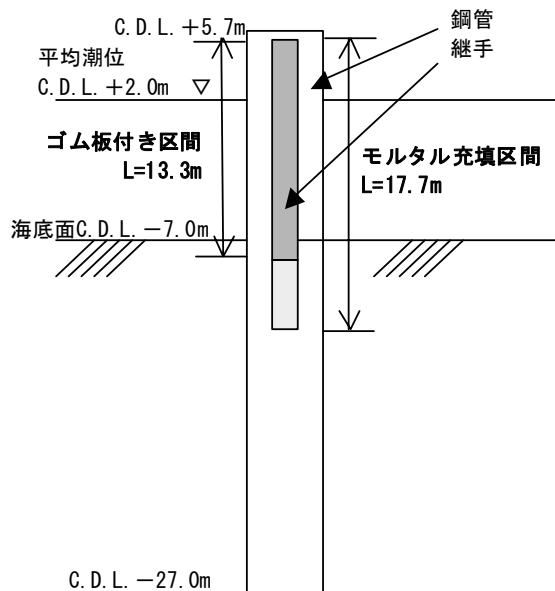


図2.3.2 実験構造物側面図

#### (2) 使用材料

継手内に充填したモルタルの配合を表2.3.1に、また、底面遮水用の土質系遮水材の配合を表2.3.2に示す。

表2.3.1 モルタルの配合

セメント kg	フライ アッシュkg	砂 kg	水 kg	混和材 kg	$\sigma_{28}$ N/mm <sup>2</sup>
675	240	600	445	9	21.8

表2.3.2 土質系遮水材の配合

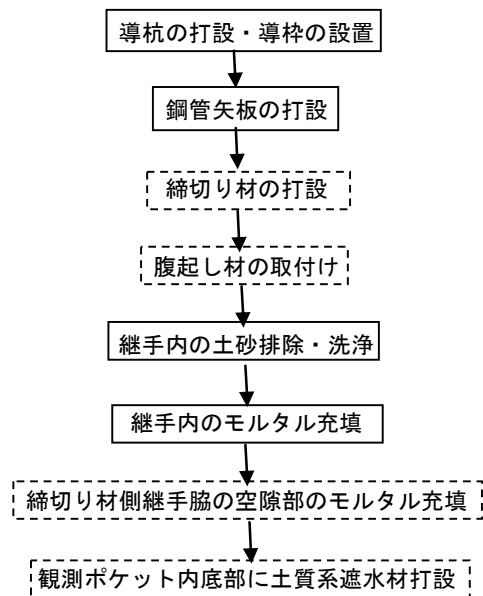
調整泥土		調整泥土1m <sup>3</sup> に対する 外割質量配合量 kg			混合時理論値		
含水比 %	密度 t/m <sup>3</sup>	土粒子	海水	ベント ナイト	密度 t/m <sup>3</sup>	間隙比	含水比 %
150	1.358	543	815	93	1.40	3.23	128.1

### (3) 実験構造物の施工方法

実験構造物の施工・築造フローを図2.3.3に示す。導枠の設置に引き続き、鋼管矢板を打設した。鋼管矢板の打設は、電動式バイプロハンマ120kWにより、また、締切り材の打設は、電動式バイプロハンマ60kWにより行った。図2.3.4に鋼管矢板の打設状況を示す。その後、外水位の変動や波浪により締切り材が変形するのを防止するための腹起しを取り付けた後、継手内の土砂排除・洗浄およびモルタル充填により遮水処理を行った。最後に観測ポケットの底面遮水のために、土質系遮水材を観測ポケット内にポンプ圧送にて打設した。



図2.3.4 鋼管矢板の打設状況



(図中、点線の括弧内の工程は実験のためにのみ必要な工程を示す。)

図2.3.3 実験構造物の施工・築造フロー

### (4) 施工状況と施工上の留意点

ゴム板が露出しているため、保管時やハンドリング時にゴム板に鋭利なものを当てないように注意する必要があったが、吊金具を用いたり、ゴム板の付いていない区間にワイヤ掛けをしたりすることにより損傷を与えることなく施工できた。また、打設時にゴム板が正常な形態でP継手に挿入される必要があったが、ゴム板下端を事前に斜めにカットすることなどによりスムーズかつ正常に挿入することができた。ゴム板による摩擦抵抗は軽微であり、地盤への打込み性は、通常の鋼管矢板と同等であった。遮水性能の面からも正常な継手嵌合状態が必要であったため、間隔保持や回転防止用の固定ジグを適宜セットし、位置や方向を管理しながら打設した。

また今回、海底面付近の地盤が軟弱シルト層であったため、ウォータージェットによる土砂排除・洗浄時に、地盤が削られたり緩められたりしたことにより、充填完了までかなりの多くのモルタル量を必要とした。当初は、継手土砂の洗浄後、充填モルタルは底部から上端まで連続的に打設することを想定していたが、ゴム板の下端部あたりから硬化前のモルタルが漏洩したため、上部まで連続的にモルタル打設ができた継手はわずか1本であった。そこで、その他の継手については、翌日もしくは数日後に再打設し、上端までモルタル充填を行った。しか

しながら、それでも3本の継手についてはモルタルが上端まで上がってこなかった。これら3本の継手については、前日までに海底面付近まで打設したモルタル上部に1～2m程度のつなぎモルタルを打設したのち、漏洩防止ゴムにより囲まれた空間にグラウトジャケットを挿入し、つなぎモルタル中にグラウトジャケットを差し込んだ後、ジャケット内にモルタルを打設することにより、継手内のモルタル充填を完了させた（図2.3.5参照）。

漏洩防止ゴム板付き継手の中にグラウトジャケットを挿入して、モルタル打設を行った継手については、別途陸上で実施した実物大模型実験による評価で、その遮水性能が十分にあることが確かめられている。今回、グラウトジャケットを利用した実験構造物ができたことにより、この方法の実海域での遮水性能についても評価に含まれる。海底面が非常に軟弱な場合などは、ゴム板の海底面以深への根入れ深さなどについても今後検討する必要があると考えられる。

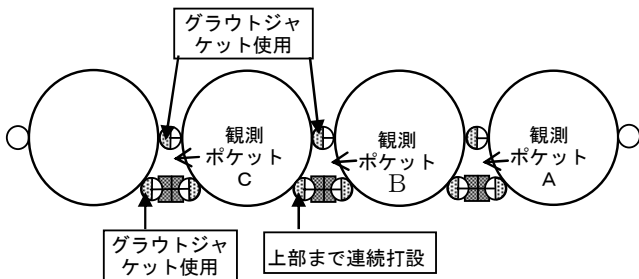


図2.3.5 ゴム板付き継手のモルタル打設経緯

(5) 遮水性能の確認方法

観測ポケットの水位を、外水位より高く設定し、その水位の時間経過を観測することで、継手部の遮水性能を評価することを試みた。2.1節にて述べたように実験構造物は1年以上にわたり存置されており、時間経過に伴う遮水性能の変化についても評価した。

(6) 変形付与実験の方法

上記の遮水性能の評価を行った後、さらに鋼管矢板壁に強制変位を与えることにより遮水性能に変化が生じるかどうかを評価した。4本の鋼管矢板からなるゴム板付き継手鋼管矢板壁と、相対して設置されたアスファルト充填継手鋼管矢板壁の2列の実験構造物の壁の間にジャッキを設置し、矢板壁頭部に強制変位を与え、その状態での遮水性能を水位計測により評価した。矢板壁に生じる変位は、岸壁からのトランシット測量および挿入式傾斜計により計測した。実験構造物の断面図を図2.3.6.に、また変位付与のステップを図2.3.7.に示す。沖側がアスファルト充填継手を持つ鋼管矢板壁で、陸側が漏洩防止ゴ

ム板付き継手を持つ鋼管矢板壁である。

鋼管矢板壁頭部に相対変位200mmを与えた時のジャッキ荷重は合計220kNであり、発生変位は両側でほぼ同じで約100mmずつであった。また、頭部変位が100mmの時の11m下の海底面付近の発生変位は、25mm程度であった。鋼管矢板壁に与えられた変位は、頭部において、連結材切断後に発生した約25mmと強制変位約100mmを合わせて片側最大125mm程度である。変位付与の各ステップにおいて、その状態を7日以上保持したまま水位計測を行うことにより遮水性能を評価した。

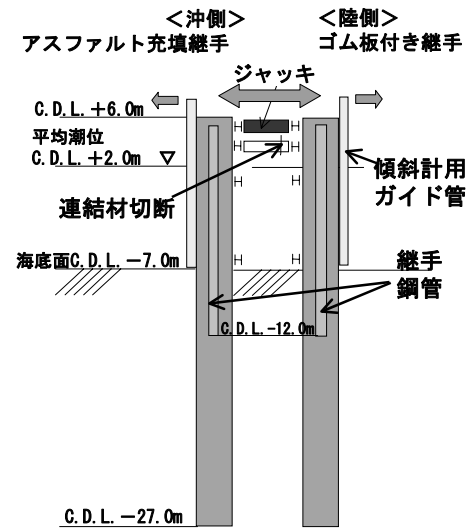


図2.3.6 鋼管矢板の変形付与実験の概要

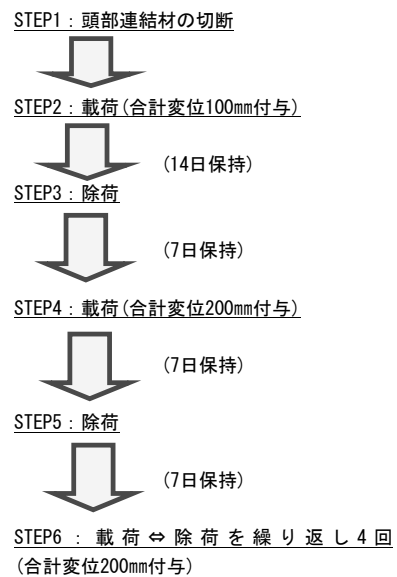


図2.3.7 鋼管矢板の変形付与実験のステップ

### 2.3.2 アスファルト充填継手鋼管矢板壁

#### (1) 実験構造物の概要

実験構造物は、ゴム板付き継手鋼管矢板壁に相対する形で設置されており、その構成もゴム板付き継手鋼管矢板壁とほぼ同様である。図2.3.8に示すように、アスファルトを予め充填した継手を有する鋼管矢板を4本嵌合打設するとともに、その背後にも同じ継手により仕切られた空間を形成することで、3つの当該継手により囲まれた観測ポケットを構築した。鋼管矢板および継手の設置深度もゴム板付き継手鋼管矢板と同様であり、図2.3.9に示す通りである。

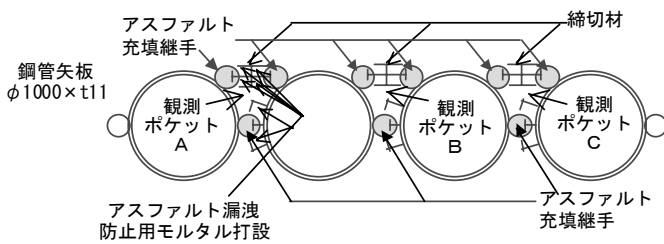


図2.3.8 実験構造物平面図

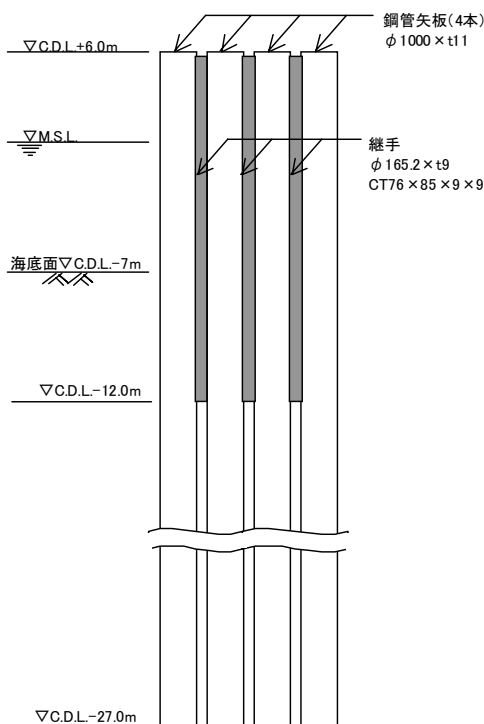


図2.3.9 実験構造物側面図

#### (2) 使用材料

継手に充填した特殊アスファルトは、数種類の材料を混合し、粘性や比重などを調整して用いている。その物

性値を表2.3.3に示す。また底面遮水に用いた土質系遮水材は、2.3.1に記述されているものと同一である。

表2.3.3 アスファルトの物性値

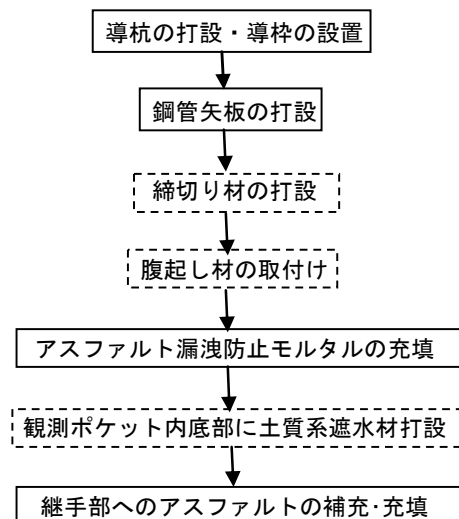
試験項目	試験方法	値
針入度 (25°C) 1/10mm	JIS K 2207	78
軟化点 (°C)	JIS K 2207	59
密度 25°C g/cm <sup>3</sup>	JIS K 2207	1.22
絶対粘度 100°C Pa·s*	JPI-5S-54-99	20.4

\*ブルックフィールド回転粘度計 ローターSC4-21 20rpm

#### (3) 実験構造物の施工方法

実験構造物の施工・築造のフローを図2.3.10に示す。導杭の設置に引き続き、鋼管矢板を打設した。鋼管矢板の打設は、電動式バイプロハンマ120kWにより、また、締切り材の打設は、電動式バイプロハンマ60kWにより行った。締切り材は外水位の変動や波浪による変形を防ぐため、腹起し材を4本の鋼管矢板に渡るように取り付けて、それに締切り材を固定した。

海中部では充填アスファルトが継手鋼管のスリットより徐々に漏洩するおそれがあるため、それを防止することを目的として、図2.3.8に示すような各継手の脇の空間にグラウトジャケットを使用してモルタルを海底面以浅に打設した。最後に、観測ポケットの底面遮水のために、土質系遮水材を観測ポケット内にポンプ圧送にて打設した。図2.3.11に築造された観測ポケットの状態を示す。



(図中、点線の括弧内の工程は実験のためのみ必要な工程を示す。)

図2.3.10 実験構造物の施工・築造フロー



図2.3.11 築造された観測ポケット

#### (4) 施工状況と施工上の留意点

実験構造物の築造に当たっては、締切り材部分でアスファルト漏洩防止のためのモルタル打設用配管が一部挿入できない箇所があった他は、特に問題もなく施工することができた。特に、鋼管矢板および締切り材の打設は、アスファルト充填継手が施工上の抵抗となることなく、スムーズに施工できた。

一方で、底面遮水として土質系遮水材を2~3m打設した段階においても、底面から漏水が発生していることが判明したため、土質系遮水材を一部取り除き、逸泥防止材(白雲母や蛭石の粉碎フレーク、鈦物繊維等)を混入した加重泥水(バライト粉により比重を2.0程度に増加させたベントナイト泥水)を土質系遮水材の上に打設することにより、底面以深の水みちを塞ぎ、底面漏水をできる限り小さくした(図2.3.12)。

また、実験構造物築造後、継手に充填されたアスファルト上面が時間経過とともに徐々に沈下した。これは、打設により生じた空隙が次第にふさがれたこと、ならびにアスファルトの自重により地盤へのめり込みが起きたためであると推定される。そのため、同じ材料を加熱して継手天端より投入することにより補充した。アスファルト面の沈下は5ヶ月経過後、ほぼ終了した。今回のアスファルト漏洩防止工は海底面以浅のみに施しているが、地盤が軟弱であったため、アスファルトの地盤へのめり込みがかなり大きくなったものと推定される。したがって、漏洩防止工は海底面以深まで、例えばアスファルトの自重と地盤の支持力が釣り合う深さまで行うような工夫が今後必要と考えられる。

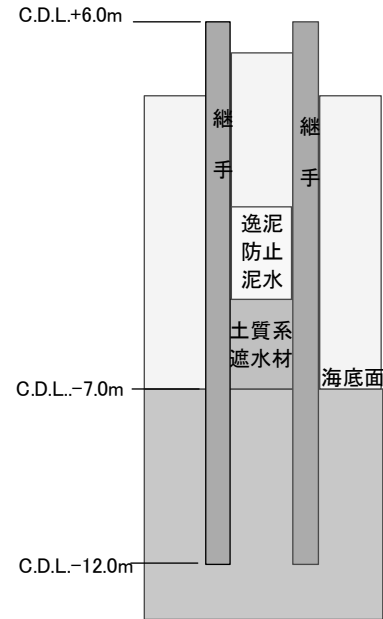


図2.3.12 観測ポケットの底面遮水状況

その他、アスファルト充填鋼管矢板の保管時において、直射日光により継手内の温度が過度に上昇したため、継手スリットに目張りした粘着テープが剥がれて、アスファルトが継手スリットより漏洩するトラブルも発生した。アスファルト充填鋼管矢板保管時には、直射日光を遮って過度な温度上昇を抑制するとともに、耐熱性のある粘着テープを使用するなどの対応が必要と考えられる。

#### (5) 遮水性能の確認方法

遮水性能の確認方法は2.3.1と同様で、観測ポケットの水位を外水位より高く設定し、その水位の時間経過を観測することで、継手部の遮水性能を評価した。

#### (6) 変形付与実験の方法

変形付与実験の方法は2.3.1に述べた通りで、アスファルト充填継手鋼管矢板壁とゴム板付き継手鋼管矢板を互いに押し合うことで変形を付与した。その概要は図2.3.6および図2.3.7に示した通りである。

### 2.3.3 土質材料充填継手箱形鋼矢板壁

#### (1) 実験構造物の概要

実験構造物の平面図および側面図を図2.3.13に示す。本実験構造物は、基礎部材として4隅に600×600mmのコラムを砂礫層(支持層)まで打設し、その間に500×500mmの箱形鋼矢板をシルト層に根入れ深さ5.0m (C.D.L.-12.0m)まで打設したもので、平面形状2200×3400mmの矩形に壁厚500mmの箱形鋼矢板壁を閉合した構造となっている。なお、実施工では矢板の継手遮水工と土質系遮水材の併用となることが想定されるが、本実験では土質

系遮水材単独の遮水性能を評価するため、箱形鋼矢板の継手には遮水処理を施さず、隔壁内に充填した土質系遮水材のみで遮水処理を施している<sup>29)</sup>。

遮水壁の内外には水位計を設置しており、内外水位差を経時的に計測することで、本遮水工の遮水性能を評価した。

また、図2.3.13に示すように、この遮水壁の本體工の傍らには、箱形鋼矢板の継手隔壁と同じ大きさを有する500×500mmのコラムを、シルト層に根入れ長5.0mまで打設した。このコラムは、土質系遮水材の圧密過程のみを抽出して計測することを目的としている。コラム内には土質系遮水材を打設し、深さ方向4箇所の間隙水圧および土圧を計測した。

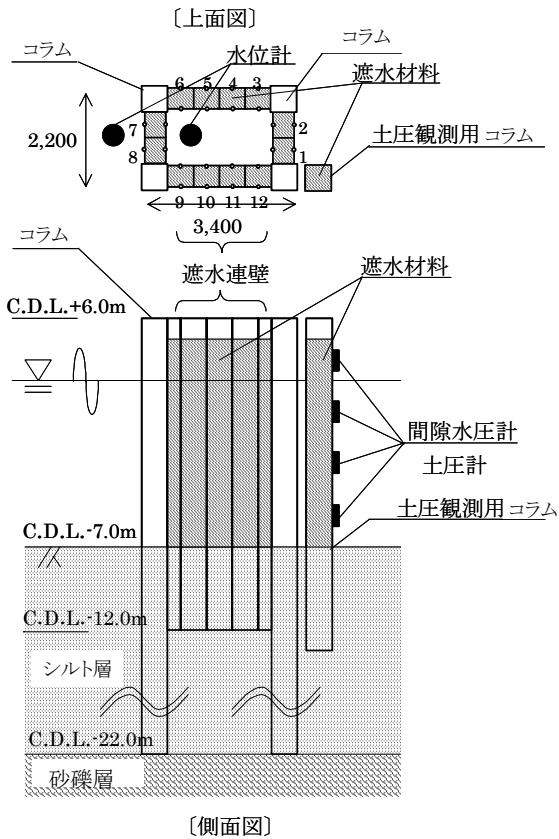


図2.3.13 実験構造物（箱形鋼矢板＋土質系遮水材）

(2) 土質系遮水材の配合試験

箱形鋼矢板の継手隔壁内に充填する土質系遮水材は、浚渫粘土にベントナイトを添加し、それをモルタルミキサー等で攪拌・混練して作製する。これは、浚渫された粘土は水を多く含み、間隙が大きく、そのままでは遮水材として適さないため、ベントナイトを間隙調整剤として添加して、所要の透水係数以下となるように配合することが有効であるためである。しかしながら、ベントナ

イト添加量が多くなると、遮水材自体が硬くなり、遮水材を打設する際にポンプ圧送時の負荷が大きくなってしまったり、遮水材の充填性も損なわれてしまう。そのため、浚渫粘土の種類ごとに予めベントナイトの配合試験を実施して、適切な添加量を設定する必要がある。

本実験で用いた土質系遮水材の主原料となる浚渫粘土は、表2.3.4に示す物理特性を有するもので、実験場所の近隣の海域で採取した。

表2.3.4 浚渫粘土の物性値

土質特性	宇部粘土	単位
土粒子の密度 $\rho_s$	2.592	g/cm <sup>3</sup>
自然含水比 $w_0$	120.27	%
粒度組成	砂分	13.3 %
	シルト分	38.2 %
	粘土分	48.5 %
コンシステンシー	液性限界 $W_L$	106.3 %
	塑性限界 $W_P$	41.7 %
	塑性指数 $I_P$	64.4 %
強熱減量 $L_i$	9.26	%

図2.3.14は、本実験で用いた浚渫粘土の圧密試験結果である。ある程度粘土が自立するような比較的含水比の小さな領域については段階荷重圧密試験を、また、自重圧密をするような高含水比領域については、浸透圧密試験を実施した。なお、本遮水壁の壁幅は500mmであるため、側面遮水工の基準値として充填する遮水材料には $1.0 \times 10^{-6}$ cm/s以下の透水係数が要求される。すなわち、図2.3.14から本実験で用いる浚渫粘土の透水係数を $1.0 \times 10^{-6}$ cm/s以下とするためには、間隙比 $e$ が3.6以下になるように配合すればよいと判断される。これは含水比 $w$ に換算すると140%以下に相当する。

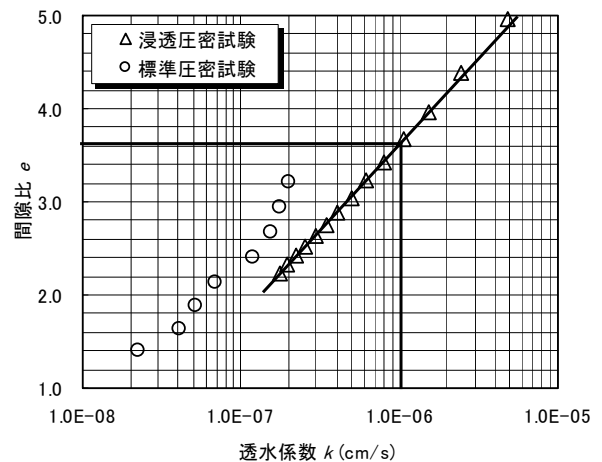


図2.3.14 浚渫粘土の透水特性と間隙比の関係

図2.3.15に浚渫粘土のフロー値と含水比 $w$ の関係を示す。フロー値の試験方法は、日本道路公団規格の「エアモルタルおよびエアミルクの試験方法」のシリンダー法に準拠している。図2.3.15より、含水比 $w$ が140%の場合におけるフロー値は90mm程度となっている。このフロー値は、ポンプ圧送および遮水材の充填性の観点から十分な施工性・流動性を有することを、事前に行った室内試験等で確認している。

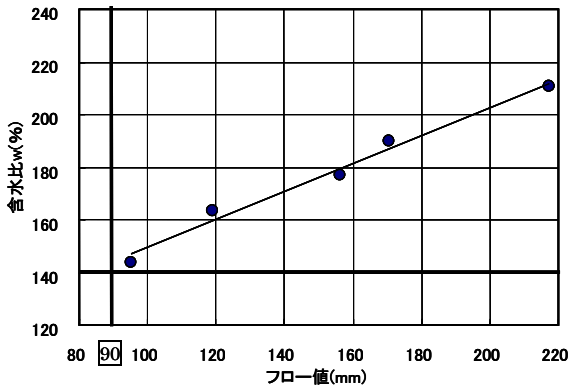


図2.3.15 浚渫粘土の流動性(フロー値と含水比の関係)

以上の配合試験結果をもとに、本実験で使用する土質系遮水材は、含水比 $w$ が140%となるように配合することとした。なお、現地で実際に土質系遮水材を作製する時には、浚渫粘土に海水を加えて含水比 $w=180\%$ のスラリー状に解泥し、200mmメッシュの金網を通して雑物の除去を行った後、ベントナイトを添加して所要の含水比 $w=140\%$ に調泥・混練を行った<sup>29)</sup>。

### (3) 実験構造物の施工方法

実験構造物の施工手順は、大きく分けると、土質系遮水材の作製、鋼矢板の打設、遮水材の打設の順となる。

図2.3.16に施工フローを示す。

土質系遮水材は、実験構造物設置場所の近隣のヤードで作製し、コンクリートミキサー車で運搬した。実験構造物用の鋼材を台船で打設場所まで運搬し、クレーン付き台船およびバイプロハンマで打設した。また、土質系遮水材は、スクイズポンプ車による一般のコンクリート打設と同様な方法で、トレミー管を用いて箱形鋼矢板内に充填した<sup>29)</sup>。なお、土質系遮水材は、実験構造物内外の水位差を通水弁を開放することで極力小さくした状態で乱さないように打設し、打設完了後に通水弁を閉じた。この通水弁の役割は実際の構造物では護岸の開口部の機能に相当し、通水弁を閉じることは開口部を閉め切ることに対応する。

使用した建設機械を表2.3.5にまとめる。

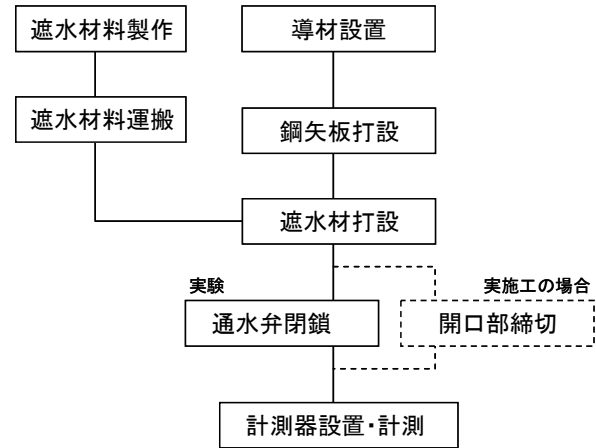


図2.3.16 施工フロー

表2.3.5 使用した施工機械

鋼材の運搬・打設時	160t吊クレーン付き台船
	500t台船
遮水材打設時	電動式バイプロハンマ90kW
	スクイズポンプ車80~60m <sup>3</sup> /h
	25t吊クレーン

### (4) 施工状況と施工上の留意点

実験構造物の施工は、まず遮水壁の設置位置の周囲四隅に導杭を打設し、導杭の高さC.D.L.+5.0mの位置に導材を設置した。そして、導材にあてがうようにしてコラムおよび箱形鋼矢板で構成される遮水壁を順次打設し、本体工の閉合を行った。遮水壁本体工の打設状況を図2.3.17に示す。



図2.3.17 箱形鋼矢板の打設状況



箱形鋼矢板壁の継手隔壁内への土質系遮水材の打設は、前述のようにポンプ車でトレミー管を用いた方法を採用した。遮水材に打ち継ぎ目が生じないようにトレミー管の下端と遮水材の天端を管理しながら打設を行った。なお、実験構造物への打設前に、アクリル容器内に土質系遮水材の試験打設を実施し、本打設方法における遮水材の充填性について目視による確認を行っている。

遮水壁本体工への土質系遮水材の打設状況を図2.3.18に、遮水材の打設完了後における遮水壁本体工の天端の状況を図2.3.19に、実験構造物の全景を図2.3.20に示す。



図2.3.18 土質系遮水材の打設状況

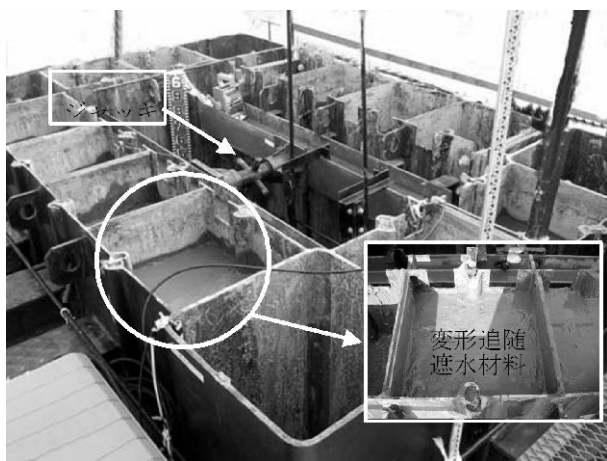


図2.3.19 遮水壁の天端



図2.3.20 実験構造物の全景

#### (5) 遮水性能の確認方法

実験構造物の遮水性を確認するため、閉合された遮水壁の内側に、水中ポンプで水を張り、図2.3.13(平面図)に示す遮水壁の内外に設置した水位計で、その後の内水位の経時的な低下傾向をモニタリングする水張り試験を実施した。なお、水位のモニタリングは、サンプリング間隔を10分として約2週間計測した。基準省令<sup>12)</sup>によると側面(鉛直)遮水工には、壁厚0.5m以上で、換算透水係数 $k_e$ が $1.0 \times 10^{-6}$ cm/s以下の遮水性能が要求される。そこで、実験構造物の遮水壁の遮水性は、現地での水張り試験による計測データと、壁厚0.5mで換算透水係数 $k_e$ が $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.0 \times 10^{-7}$ cm/sの遮水壁を想定して行った水張り試験の解析結果とを比較して評価することとした。

#### (6) 変形付与実験の方法

実験構造物の一部を強制的に変形させ、変形前と変形後の水張り試験結果の比較から、変形時の遮水性能の評価を行った。変形を与える遮水壁は、長辺側の1辺とし、遮水壁長辺同士の間に取り付けたスクリージャッキにより、他辺を反力壁として変形を与える側の遮水壁を押し広げた。変形を与えた遮水壁とその両端のコラムの間には、ゴム製の止水板を取り付けてあり、変形後においても可動部からの漏水がないように処置をしている。なお、変形後の遮水性能も、変形前と同様の方法で評価した。

### 2.3.4 土質材料充填継手鋼管矢板壁

#### (1) 実験構造物の概要

本実験構造物は、鋼管矢板壁の継手遮水に土質系遮水材を適用した遮水構造である<sup>30)</sup>。図2.3.21および図2.3.22に示すように、長さ28mの鋼管矢板4本で約1.0m四方の矩形に閉合した構造とした。なお、鋼管矢板のP-T継手の

外側には、U形鋼矢板を在来粘土地盤に根入れ深さ5.0mで設置し、P-T継手とU形鋼矢板との間にできた隔壁内に土質系遮水材を充填して継手を遮水処理した。ここで、嵌合部（P-T継手およびU形鋼矢板の差込み箇所）にはグラウトジャケットを用いて根入れ0.5mまでモルタルを充填し、本遮水材が隔壁内から抜け出さないような処置をした。

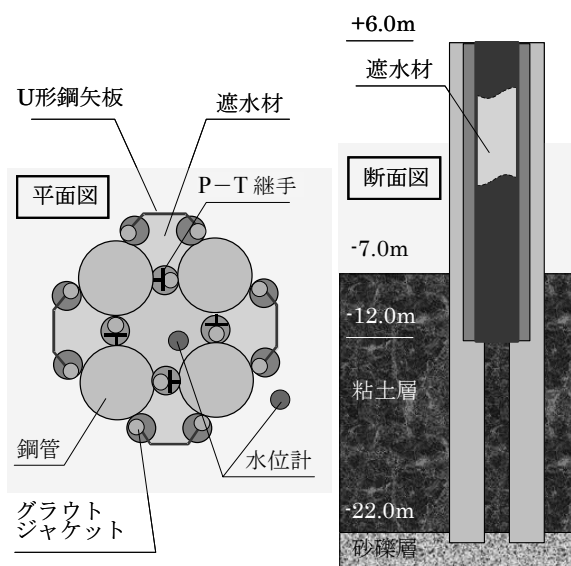


図2.3.21 実験構造物

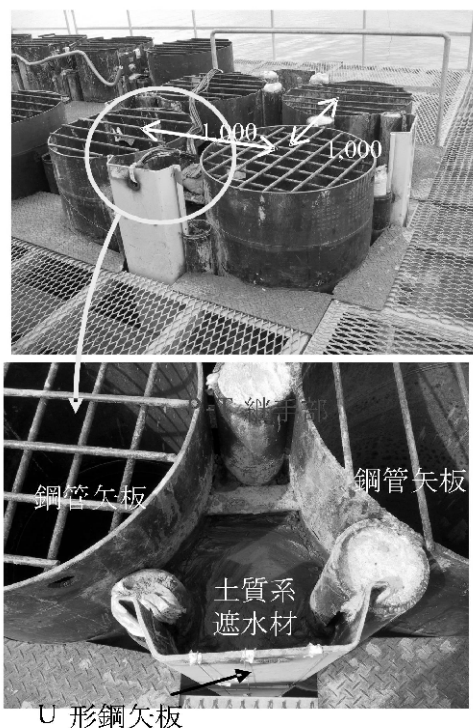


図2.3.22 遮水構造の構造

### (2) 使用材料

本実験構造物で用いた土質系遮水材は、箱形鋼矢板を用いた構造のものと同様に近隣海域で採取した浚渫粘土を主原料とした（表2.3.6）。ただし、本実験構造物では打設する遮水材の透水係数を $3.0 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ に設定し、含水比128%（間隙比3.4）となるようにベントナイトの配合量を決めた（図2.3.23）。現場での遮水材の作製は、原料土に海水を加えて含水比150%のスラリー状に解泥し、50mmメッシュの金網を通して雑物の除去を行った後、ベントナイトを添加して所定の含水比128%に調整した<sup>41)</sup>。

表2.3.6 原料土の物理特性

土質特性	宇部粘土	単位
土粒子の密度 $\rho_s$	2.586	$\text{g/cm}^3$
自然含水比 $w_0$	122.1	%
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	%

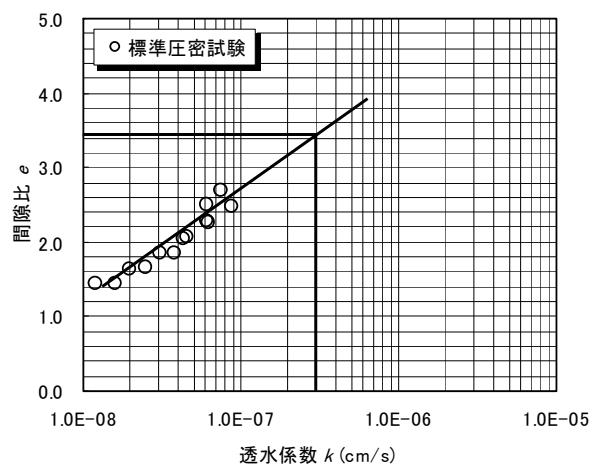


図2.3.23 透水係数と含水比の関係

### (3) 実験構造物の施工方法

本実験構造物の施工は、実施工を想定して一般的な建設機械を用いて行った。施工手順を図2.3.24に示す。前述の「継手隔壁内に土質系遮水材を充填した箱形鋼矢板壁」の場合とほぼ同様であるが、鋼管矢板およびU形鋼矢板打設後にP-T継手部へのグラウト充填の工程が加わっている。

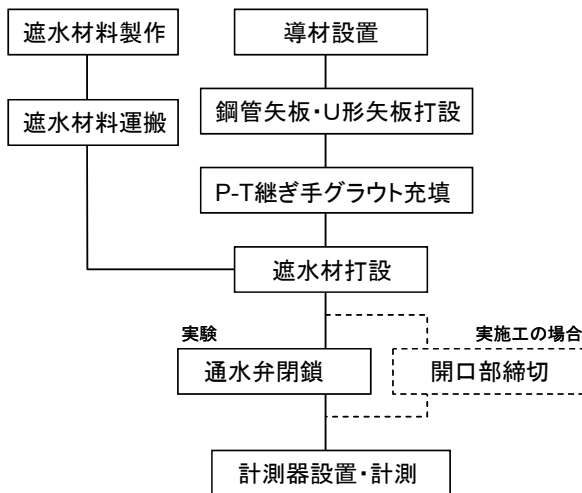


図2.3.24 施工フロー

#### (4) 施工状況と施工上の留意点

本実験構造物では、P-T継手内に充填したグラウトジャケットの根入が0.5mと不足していたため、施工中の構造物の内外水位差により在来地盤がヒービングを起こし、底面遮水層に水みちが発生するというトラブルが生じた。このことから、現地盤の状態を考慮してグラウトジャケットの根入長を十分確保することが必要であると認識した。また、遮水工が完成に近づくと内外水位差が生じやすくなるため、遮水工の未施工部で、水みちが生じる危険性が高くなる。この危険性を軽減するためには十分な大きさの開口部を確保し、内外水位差を極力生じさせないことが重要である。

#### (5) 遮水性能の確認方法

実験構造物の遮水性を確認するため、閉合された遮水壁の内側に水中ポンプで水を張り、図2.3.21に示す遮水壁の内外に設置した水位計で、その後の内水位低下量を測定する水張り試験を実施した。なお、遮水性能は、これら水張り試験の実測データと、壁厚0.5mを想定して行った水張り試験の解析結果とを比較して評価した。

### 2.3.5 溶接継手箱形鋼矢板壁

#### (1) 実験構造物の概要

図2.3.25に実験構造物側面図を示す。実験に用いた箱形鋼矢板は単体の施工でも二重遮水壁を構築し、形成された内部空間に遠隔操作型自動溶接機を走行させ、継手部を現場にて溶接することで遮水性能を向上させた構造物である。内部空間の底面にはヒービング防止用コンクリートを打設し、さらに溶接不能箇所（トーチ先端と底面コンクリートの間）へ土質系遮水材を充填して、遮水を施した。ヒービング防止用底面コンクリートは、排水

溶接時に、水圧による鋼材の変形防止にも寄与していたと考えられる。また、図2.3.25に示すように実験構造物内外に水位計を設置し、水張り試験で内外の水位差を計測することで遮水性能を評価した。

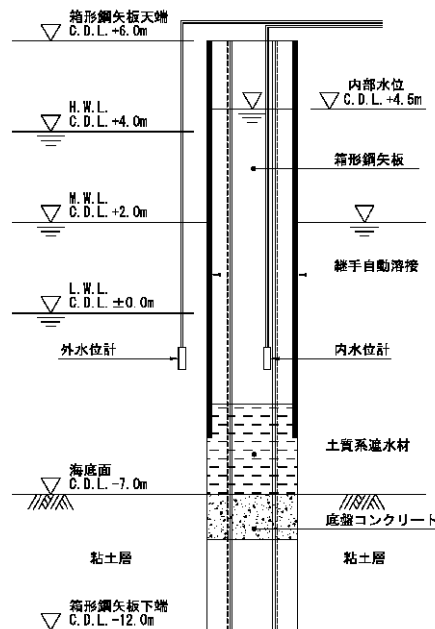


図2.3.25 実験構造物側面図

本研究実施時点では、溶接機器が改良途上であり、大きな内部空間を必要としたことから、図2.3.26に示す形状の実験構造物とした。これは内部空間を排水して溶接する際に、排水ポンプと溶接用機器材をセットするにはある程度大きな断面が必要であったことによる。しかし、本実験終了後、溶接機の改良を行い、別途行った試験で排水ポンプと溶接機器材が図2.2.8、図2.2.9の内部空間にも収まることを確認している。

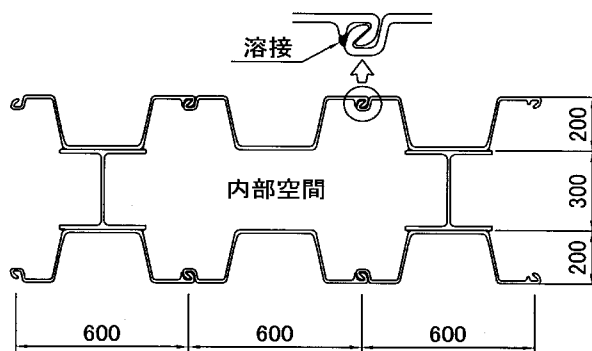


図2.3.26 実験構造物平面図

ここでは、遮水用に溶接する継手部位を1つの箱形断面あたり4箇所として2つの箱形断面で構成される実験構

造物を構築した。したがって、実験構造物全体では計8箇所の継手を溶接した。

(2) 溶接機器および材料

①溶接機器

遠隔操作型専用溶接機 (CO<sub>2</sub>半自動MAG溶接機)

②溶接材料

ワイヤ

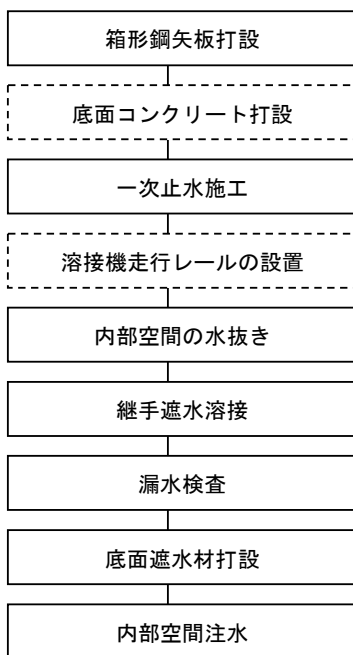
アーク溶接フラックス入りワイヤ φ1.2mm  
(規格：JIS Z 3313 YFW-C50DR)

シールドガス

CO<sub>2</sub> 100% 25 l/min

(3) 実験構造物の施工方法

現地施工フローを図2.3.27に示す。図中、箱形鋼矢板の打設では、電動式パイプロハンマ90kWを使用した。地盤が軟弱なため打設の最終段階で頭部揃え等で若干稼動させたにすぎず、殆ど自重により沈設した。



(注) 図中破線で囲んであるのは本実験において必要となった項目であり、常に必要というわけではない。

図2.3.27 施工フロー

溶接のための排水時に水圧で箱断面の変形が予想されたため、腹起しを設けて補強した。本実験においては、腹起しの存在が障害となって、水中硬化パテを使用した一次止水に手間取ったが、手順を入れ替えて一次止水処理を腹起し設置前に行うことでこれを解決できる。また箱形状を図2.2.8、図2.2.9の形状とすれば、剛性が高くなるため、腹起し設置の必要性が大幅に減じる。

次に、溶接施工時には、溶接部付近を監視するカメラ

を用いることにより、止水状況と溶接状況を確認することができた。カメラを通じて目視により確認できることから、一次止水の局部的な漏れを発見し、水中からおがくずを付着させるといった対策を取ることで、順調に施工することが可能となった。

(4) 施工状況と施工上の留意点

図2.3.28は、溶接機器全景、図2.3.29は箱形断面内上端からガイドレールに挿入された溶接機器の詳細写真である。また、図2.3.30は溶接実施時の状況を、図2.3.31はその出来形を示している。



図2.3.28 溶接機器

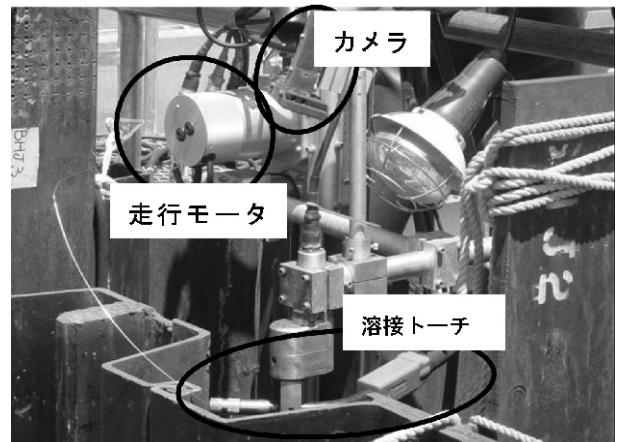


図2.3.29 箱内収納溶接機器



図2.3.30 溶接状況

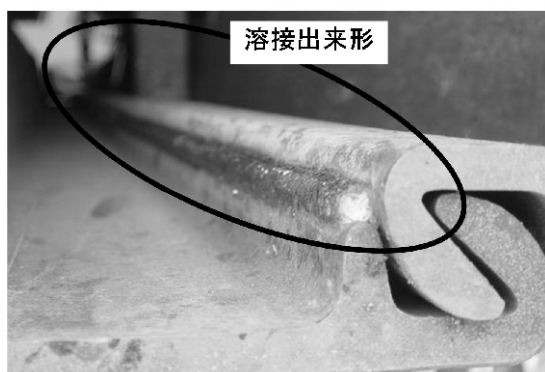


図2.3.31 溶接出来形状況

本実験で使用した溶接機器は、2トン車で他の所要資材を含めて十分に陸上輸送可能であり、本実海域実験では、陸上運送後、クレーン船で海上の足場に設置した。

本研究実施時点では、溶接機器が改良途上であり、溶接機走行時にレールを必要とする構造であったため、個々の継手部において走行用レールの付け替え作業が必要であった。しかし、本実験終了後に、溶接機の改良を行い、箱形断面をそのまま自動溶接機のガイドとして用いる構造に変更した。この結果、レール付け替え作業については省略できるようになった。また、この改良後の溶接機については、別途行った試験で、図2.2.8に示すような最小断面となる箱形鋼矢板においても継手溶接に成功している。

また、本実験の施工直後の漏水検査において、漏水部が1箇所発見された。しかし、発見後直ちに修理溶接を行い、その後1年以上にわたり修理部位から漏水することはなかった。このことから、施工後にカメラを用いた確実な目視確認は必要かつ有用であると言える。

#### (5) 遮水性能の確認方法

実験構造物の遮水性能を確認するため、継手溶接終了後に箱形断面の内部空間に水を張り、水位を外水位より高く設定した後、図2.3.25に示す遮水壁の内外に設置した水位計を用いて、内外水位差を経時的に計測した。

#### (6) 変形付与実験の方法

本実験においては、図2.3.32に示すように腹起しを付けた実験構造物を設置後、水位計測をおよそ1年半にわたって続けた。その後、腹起しを切断撤去して実験構造物に変形を与え、変形後の水位計測を継続して行った。腹起しの切断位置を図2.3.33に示す。なお、変形付与後の遮水性能についても、変形前と同様に水張り試験によって評価した。

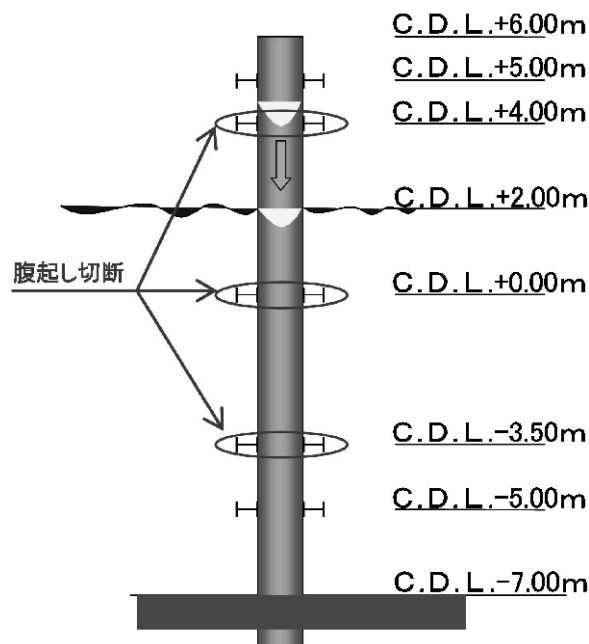


図2.3.32 腹起し位置

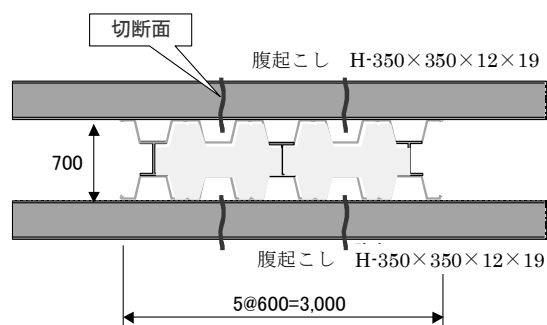


図2.3.33 腹起し切断位置

### 2.3.6 遮水材塗布鋼矢板壁

#### (1) 実験構造物の概要

鋼矢板の実験構造物も、他の実験構造物と同様に廃棄物海面処分場の鉛直遮水壁を想定しており、底面からの漏水を評価対象としないため、土質系遮水材により底面遮水を施した。現地は軟弱地盤で鋼矢板壁を支持するため、図2.3.34に示すように二列に並べた鋼矢板壁の両端に基盤層まで達するコラムを配置した。コラムには半割りにした鋼矢板をあらかじめ完全溶込み溶接により取付けてあり、コラムと鋼矢板の取付け部で漏水は発生しない構造とした。なお、実験構造物設置面積および使用部材を節約する目的と、波浪に対する実験構造物の安定を考慮して、コラムは溝付き継手鋼矢板実験構造物と共用とし、図2.3.35に示すように全体で長方形をなす配置とした。各実験構造物で囲まれる中央の長方形内の水位は、コラムの一部に通水孔を設けて潮位と一致するようにし

た。鋼矢板壁とコラムで囲まれた空間の海底面から、厚さ2~3mにわたって土質系遮水材を打設し、海底面付近の粘土と合せて底面からの漏水を極力抑える構造とした。また、上面はシートで覆い、雨水の侵入と水面からの蒸発を防いだ。水圧作用時の過度のはらみ出し防止と、鋼矢板の沈下防止のためC.D.L.+5.0m, C.D.L.+1.0m, C.D.L.-7.0mの位置に腹起しを設置し、鋼矢板およびコラムと溶接した。なお、コラムおよび鋼矢板のうち、全体の長方形の外周に面する部分の天端より7mの範囲において、防錆と美観の観点からノンターレエポキシ塗装を施した。

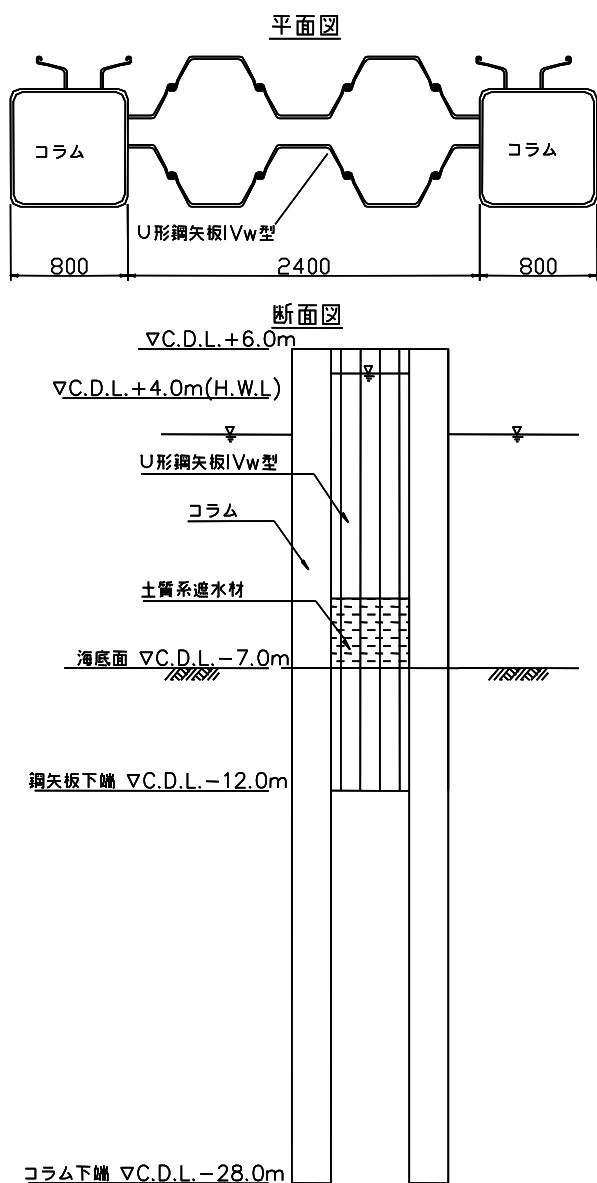


図2.3.34 実験構造物平面図および断面図

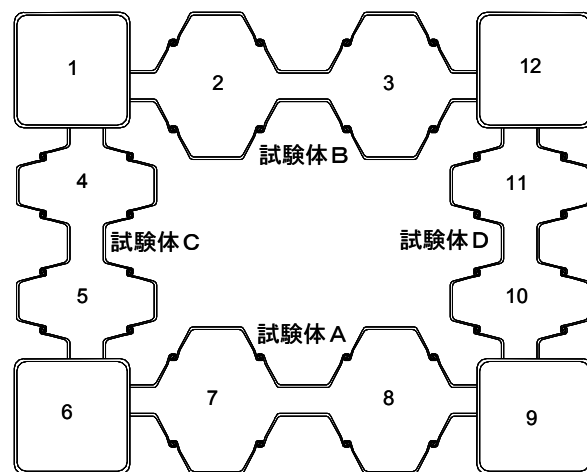


図2.3.35 実験構造物配置および打設順

鋼矢板にはU形鋼矢板IVw型を使用し、継手部に膨潤性遮水材を塗布した。膨潤性遮水材は、湿気硬化型と二液硬化型の二種類を別々の実験構造物に使用した。湿気硬化型の膨潤性遮水材は、吸水膨張機能を付与する親水性ポリオールとイソシアネートを反応させて生成するウレタンプレポリマーで、分子末端のNCO基と空気中の水分が反応してウレタン結合をなし硬化する。二液硬化型の膨潤性遮水材は、主剤を親水性ポリオール、硬化剤をポリイソシアネートとしたもので、主剤分子の末端中にあるNCO基と硬化剤中の-OH基が反応してウレタン結合をなし硬化する。いずれも淡黄色透明のゴム弾性を持つ硬化樹脂を形成する。湿気硬化型遮水材を塗布した実験構造物を試験体A、二液硬化型遮水材を塗布した実験構造物を試験体Bとして区別する。各実験構造物の配置を図2.3.35に示した。

#### (2) 実験構造物の施工方法

実験構造物の設置は、図2.3.35に打設順を番号で示すように、左上のコラムを最初に打設し、試験体Bを設置した後、反時計回りに各実験構造物を設置し、最後に右上のコラムを打設して閉合した。試験体Bを設置してから閉合するまで約2日間あり、その間に試験体Bの遮水材が完全に膨潤してしまうことが懸念されたため、対策として打設前に継手内に発泡ウレタンを充填した。継手外側に塗布された遮水材の膨潤は防ぐことはできないが、継手内の遮水材は短期間であれば発泡ウレタンにより水が遮断されるため膨潤が抑えられる。対向する継手が嵌合されるとき、継手内の発泡ウレタンは継手により削られるので遮水材に水が供給され、膨潤が始まることを想定しており、陸域での試験ではその効果が確認されている<sup>43)</sup>。図2.3.36に施工フローを示す。

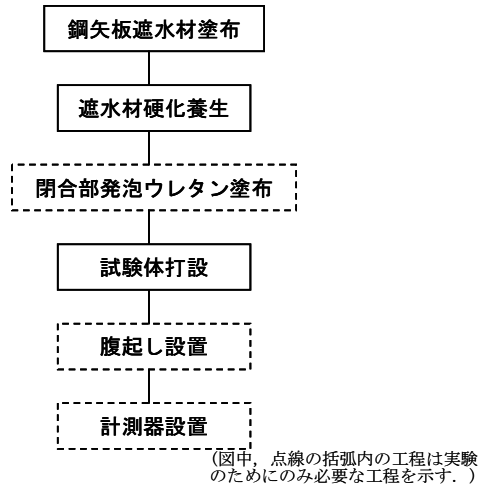


図2.3.36 遮水材塗布鋼矢板壁の施工フロー

### (3) 実験構造物の施工状況

コラムの打設に先行して打設位置で基盤層深度を実測したところ、岸壁側から沖側に向かって急傾斜で落ち込んでおり、鋼矢板実験構造物の位置では当初の計画より浅いことが確認されたため、コラムの下端を1.3m～2.1mの範囲で切断した。しかし基盤層が固いこともあり、コラムは0.5～1.0m程度高止まりした。

鋼矢板の設置は当初電動式バイプロハンマ60kWを使用して打設する予定であったが、地盤が軟弱で、遮水材を塗布したことによる継手抵抗の増加も予想されたほどではなかったため、鋼矢板の自重とバイプロハンマの重量のみで所定深度まで貫入できた。隣接する鋼矢板の沈下防止のため、打設済み鋼矢板継手部の天端付近を溶接してから次の鋼矢板を設置した。膨潤性遮水材を塗布した鋼矢板の打設では、継手の隙間に収まりきらなかった膨潤性遮水材が剥離し、継手の天端部や隙間からこぼれ落ちてくることもあるが、本実験構造物の施工においては膨潤性遮水材の剥離はほとんど観察されなかった。継手の塗布厚のばらつきが比較的小さく、かつ継手抵抗が小さくバイプロハンマを作動させなかったためと思われる。

最終閉合部分のコラムの打設は、2方向4箇所継手を同時に嵌合する必要があったため、建て込みに時間がかかったものの、海底面付近の地盤が軟弱なこともありバイプロハンマによる貫入は他のコラムと同様に順調に進み、所定深度まで問題なく貫入できた。試験体Bの端部は、打設後海水中で2日間放置され、閉合部のコラムの継手と強く押し付けられた状態で嵌合されたため、他の継手に比べ厳しい条件にさらされた。コラム打設直前に、海面から観察した限りは、発泡ウレタンにより継手内の遮水材の膨潤は抑えられているように見えたが、コラム打設時には剥離した発泡ウレタンが邪魔にな

り、継手内の遮水材が剥離したかどうかについては確認できなかった。

その後、腹起しを設置し、歩廊などの付帯設備を施工し、水位計などの計測器を設置した。水位計の設置は2003年6月上旬に完了したが、近接して設置される他の試験体の施工の影響を受けて試験体内の水位が変動するため、内水位をC.D.L.+3.5m程度に保って遮水材を膨潤状態に保持しておき、全ての実験構造物の施工が完了した8月上旬から本格的な計測を開始した。

### (4) 遮水性能の確認方法

各実験構造物の遮水性能は、コラムと鋼矢板で囲まれる空間内に海水を注水し、内部の水位を潮位よりも高くなった状態で水位の変化を計測して評価した。外水位を2ヶ所、各実験構造物毎に内水位を1ヶ所、それぞれ計測した。また、試験体Aにおいて、蒸発量、気温、海水温を測定した。水位は、圧力測定方式の水位センサーにより測定し、水位センサーは鋼矢板天端部から吊り下げた。水位センサーの設置位置は、鋼矢板天端部の標高と鋼矢板天端までのケーブル長から求めている。なお、外水位の測定では、ケーブル保護と波浪の影響排除のため、あらかじめ鋼矢板に取り付けたL-90×90mmの山形鋼の内側に水位センサーを設置した。蒸発量は、鋼矢板に取り付けたL-90×90×3000mmの底蓋付山形鋼の内部に水を入れ、山形鋼内の水位を水位センサーで計測して換算した。また、外気温および海水温は、端子箱つきシース型熱電対を使用して測定した。外気温はC.D.L.+5m、海水温はC.D.L.-2mで計測した。以上のセンサーからの出力は、データロガーのインターバル自動計測機能により30分毎に5秒間隔で24回計測し、その平均値を30分毎のデータとして整理、記録した。

### (5) 変形付与実験の方法

鋼矢板実験構造物は、非常に軟弱な地盤中に5m程度しか根入れされておらず、頭部に強制変位を与えても鋼矢板壁全体が傾斜するだけで、継手の遮水処理の変形追従性能を評価する実験にはなり難い。そこで深度方向に三段設置した腹起しのうち、中央のC.D.L.+1.0mのものを切断し、内外水位差によるはらみだし量を増加させた。一般に、鋼矢板壁を打設後、周囲を陸地化するまでの間、波浪等により鋼矢板壁が繰返し変形する。本実験の大きな目的の一つは繰返し変形を受ける間に遮水性能が著しく低下しないことを確認することにある。腹起し切断後に挿入式傾斜計で変位量を測定したところ、はらみだし量の最大値は56mmであった。

### 2.3.7 溝付き継手鋼矢板壁

#### (1) 実験構造物の概要

溝付き継手鋼矢板の実験構造物は、鋼矢板実験構造物と構造は同じである。ただし、継手箇所数は同じであるが、使用した溝付き継手鋼矢板の有効幅が400mmであることから、コラム間の間隔は1600mmとなっている（図2.3.37）。

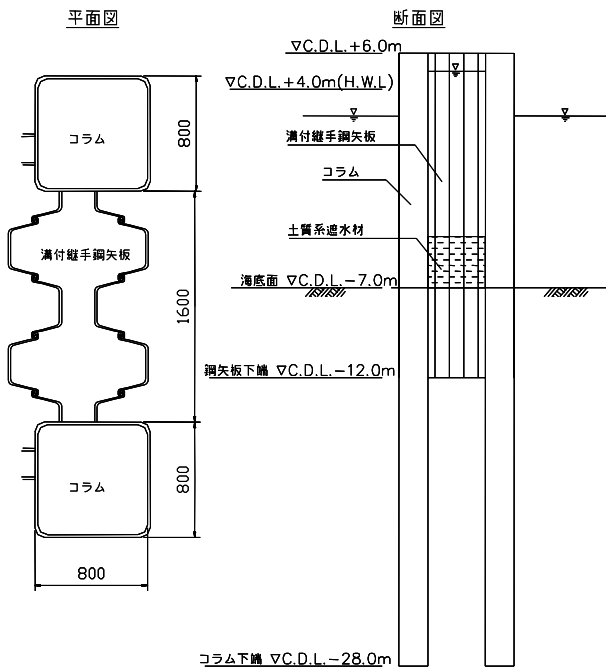


図2.3.37 実験構造物平面図および断面図

溝付き継手鋼矢板は、実験用にU形鋼矢板IVA型相当の断面剛性を有するものを試作し、継手部に二種類の遮水処理を施した。試験体Cは、打設前に継手の全長に膨潤性ゴムを取り付けている。試験体Dは、中央部の溝付き継手鋼矢板の継手およびコラムに溶接された溝付き継手鋼矢板の継手には全長にわたり膨潤性ゴムを取り付け、その他の溝付き継手鋼矢板の継手には海底面以深の5mのみ膨潤性ゴムを取り付けた。この継手の海底面以浅については、溝付き継手鋼矢板打設後に、シリコン樹脂を注入した（図2.3.38）。

膨潤性ゴムは、天然ゴムをベースとし、吸水膨張性のあるウレタン樹脂が練り込まれている。シリコン樹脂は一成分室温硬化型で、周囲の水分と反応して硬化する。

#### (2) 実験構造物の施工方法

実験構造物の設置は、既に述べたように左上のコラムを最初に打設し、試験体Bを設置した後、反時計回りに各実験構造物を設置し、最後に右上のコラムを打設して閉合した。施工フローを図2.3.39に示す。

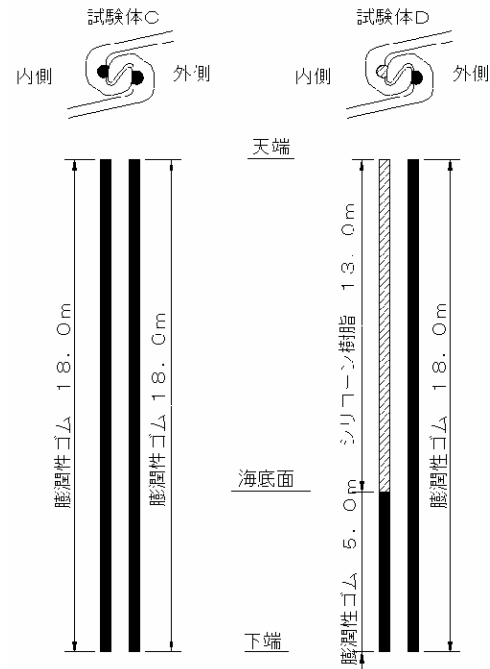
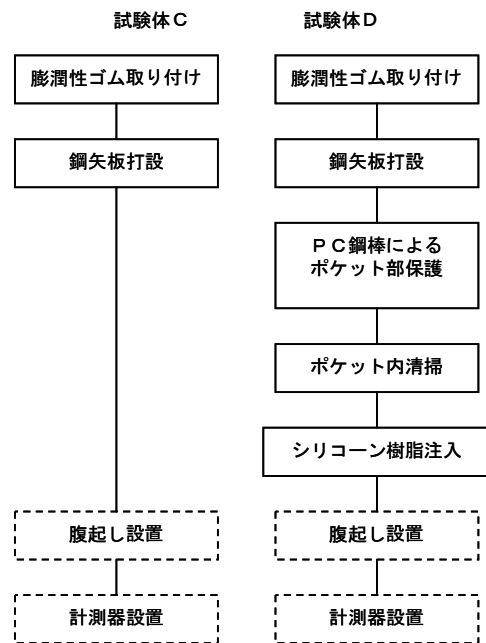


図2.3.38 実験構造物遮水仕様



注) 図中破線で囲んであるのは本試験において必要となった項目であり、常に必要というわけではない。

図2.3.39 溝付き継手鋼矢板壁の施工フロー

#### (3) 実験構造物の施工状況

図2.3.35に示した左上のコラムに試験体Cの溝付き継手鋼矢板を建て込んだところ、鋼矢板試験体と比較して継手抵抗が大きく、鋼矢板の自重と電動式バイブロハンマ60kWの重量では建て込みができなかった。バイブロハンマを運転し振動を与えることで打設は行えたが、海上



部分で角コラムに溶接した継手に取り付けた膨潤性ゴムの一部が離脱するのが観察された。このような事態を解決するため、以後は継手摩擦を軽減する目的で膨潤性ゴムの表面に水溶性グリースを塗布して打設を行った。その後、一般部においては、試験体Dを含め打設中に膨潤性ゴムが離脱する現象は見られなかったが、最終閉合部のコラム打設時に、やはりコラムに溶接した継手に取り付けた膨潤性ゴムの一部が離脱するのが観察された。

鋼矢板打設後、他の実験構造物設置の工程との関係から1.5ヶ月程度放置期間があるため、ポケット内に土砂や生物が侵入し塞がれることがないように、直径9mmのPC鋼棒を挿入した。シリコン樹脂注入の直前に、クレーンでPC鋼棒を引抜き、ポンプで注水しながらポケット内の清掃を行った。シリコン樹脂は、専用ポンプで注入管を引抜きながらポケット内に充填し、継手の隙間からはみでてきている状況をダイバーが目視で確認し、連続して充填されていることを確認した。

#### (4) 遮水性能の確認方法および変形付与実験方法

遮水性能の確認方法および変形付与実験方法は、遮水材塗布鋼矢板壁と全く同様である。

### 3. 実験結果

#### 3.1 遮水性能の評価方法

現地で構築した遮水構造の遮水性能は、遮水壁単体の性能で決まるものではなく、遮水壁と現地盤の連続性や施工精度、潮位や波浪等の外力など多くの要素の影響を受けた総合的な結果として決定される。実際の状況を踏まえた遮水性能を評価することを目的とすれば、本実験における遮水性能の評価は、遮水構造物全体としての性能が評価されていなければならない。

そこで、構造物全体としての遮水性能を評価するために、遮水構造物の内水位をいったん高くし、その後の内水位の経時変化を観測する水張り試験を行うことにした。換算透水係数は、水張り試験によって得られる内水位の経時変化と、遮水構造物をモデル化することにより求めた内水位の数値計算結果とを比較することにより推定した。

遮水壁周辺の水の流れがダルシー則に従うものとして、内水位の経時変化を計算した。外水位を $h_0$ 、内水位を $h_1$ 、壁体の延長を $S$ 、内水位面積を $A$ とすると、透水係数 $k$ で壁厚 $L$ の均一な遮水壁で囲まれた内水位の単位時間 $\Delta t$ における変化量は、ダルシー則を用いて次式で表すことができる<sup>34)</sup>。

$$\Delta h_1 = \frac{k}{L} (h_0 - h_1) \frac{S(h_0 + h_1)}{2A} \Delta t \quad (2)$$

継手部の遮水性能は、より厳しい視点で評価されるべきであることを考慮して、底部からの透水は無視し、水位の変動はすべて継手に起因しているものとして評価した。

#### (1) 鋼管矢板遮水壁の遮水性能の評価方法

継手3個により囲まれた観測ポケット内に注水して、水位を外水位より高くし、水位低下量の経時変化により継手の遮水性能を評価した。海面処分場では、背後の地盤を含めて、便宜上、式(1)により壁厚0.5mの透水係数に換算した換算透水係数 $k_e$ を用いて遮水性能を評価する(2.1節参照)。

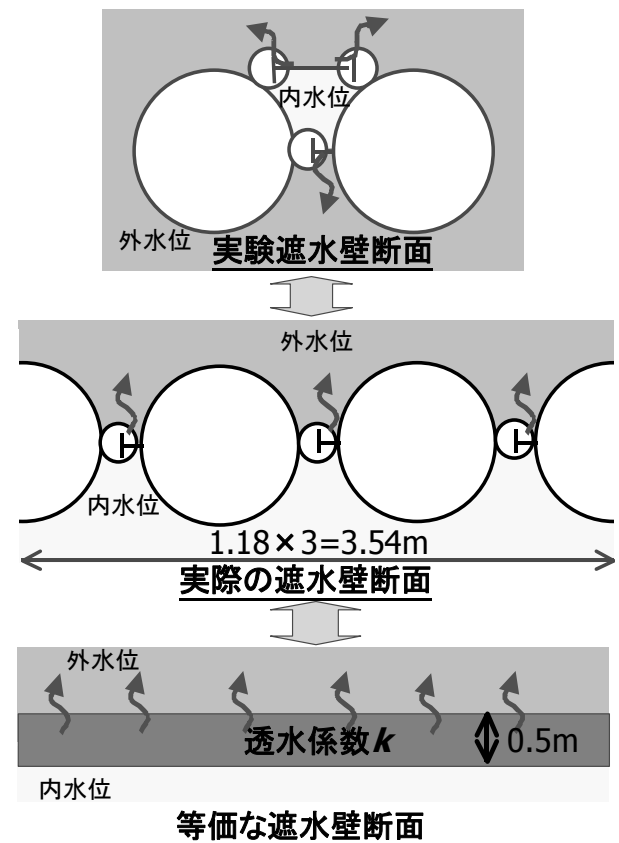


図3.1.1 鋼管矢板壁の遮水性能の評価方法の概念図

鋼管矢板遮水壁の換算透水係数の算定にあたり、一つの観測ポケットには継手が3つ存在することから、図3.1.1に示した概念に従って、漏水量が等価な遮水壁に展開し、鋼管矢板3本分の遮水壁幅(1.18m×3=3.54m)に換算した。鋼管矢板の実験構造物では、外水位の日単位の変化に連動した観測ポケットの水位変化はほとんど観察されなかったことから、外水位は平均潮位(C.D.L.+

2.0m)で一定であるとして遮水性能を評価した。実際、外水位の日変動を考慮した計算結果と、外水位を平均潮位(C.D.L.+2.0m)で一定とした計算結果にはほとんど差は無い<sup>34)</sup>。実際の遮水性能の評価では、いくつかの換算透水係数を仮定した観測ポケットの水位低下の計算結果と、実際の観測値を比較することで、換算透水係数 $k_e$ を評価した。

### (2) 土質材料充填箱形鋼矢板壁の遮水性能の評価方法

今回の実験では、土質系遮水材による遮水性能を評価することを目的としたため、実施工において塗布する膨潤性遮水材による継手処理は行わなかった。ただし、継手部からの土質系遮水材の漏れ止めとして砂と繊維材(麻糸)を詰めており、これによる透水性能の低下を事前に把握しておく必要があった。

そこで、箱形鋼矢板の隔壁に土質系遮水材料を充填する前に、潮位変動に伴う構造物内外水位の計測を行った。その結果、図3.1.2に示すように内外水位はほぼ一致しており、砂と繊維材を詰めただけの継手部の透水性は十分に高いことがわかった。微小な内外水位差をもとに透水性を評価すると、厚さ0.5mの換算透水係数 $k_e$ が $10^{-2}$ cm/sオーダーの均一な壁体と同程度となり、今回充填する遮水材の透水性に対して約 $10^4$ 倍もあり、遮水性能の評価に有意な影響を及ぼさないことが確認できた。

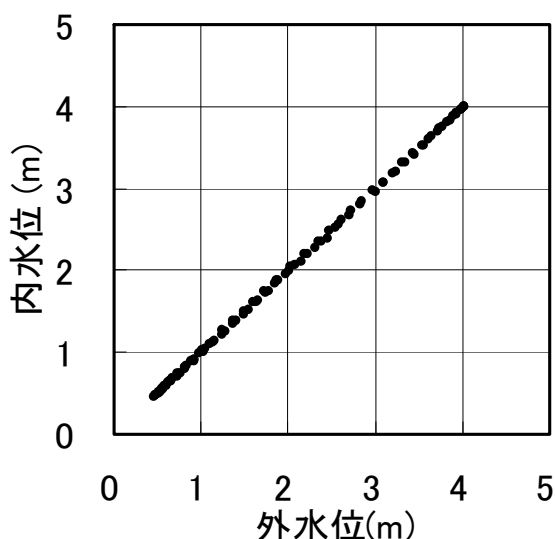


図3.1.2 遮水材料充填前の構造物内外水位の関係

図3.1.3に示すように水張り試験によって得られた内水位の経時変化は、初期水位からの著しい低下は見られず、平均的にはほぼ初期水位を保持しており、構造物の遮水性が高いことが確認できた。しかし、計測値には潮

位に連動した水位変動が見られたので、この現象について以下のように考察し、遮水性能の評価方法に反映した。

水張り試験においては、ほとんどの期間で内水位が外水位(潮位)に比べて高く、内から外に向かう水の流れが卓越する。しかし、図3.1.3に示したように外水位と連動した内水位変化が計測された。この内水位変化は外水位と同位相で変動していることから、この水位変化は内外水位差による矢板のはらみが主要要因であると考えられる。矢板の変形による内水位の低下をモデル化するにあたり、矢板の変形量は微小であり、これを測定して内水位低下量に反映することは難しい。そこで、図3.1.4に示すように、実測値を基にして内外水位差と基準水位からの水位変化量の関係を潮汐1サイクルごとに求め、この相関関係を用いて、計算値に対して矢板のはらみの影響量を補正した。

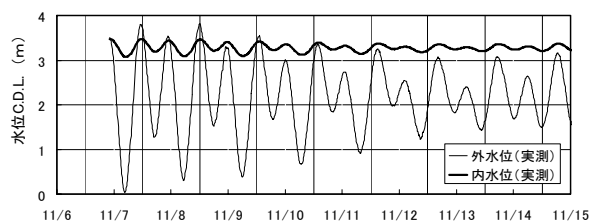


図3.1.3 内外水位の実測結果

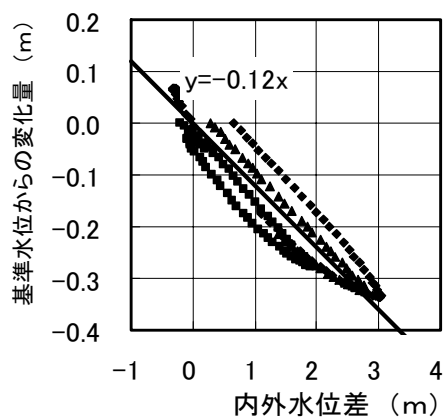


図3.1.4 矢板のはらみによる内水位変化量

実測した潮位変動を外水位として与え、壁厚 $D$ を0.5m、換算透水係数 $k_e$ を $1.0 \times 10^{-5}$ 、 $1.0 \times 10^{-6}$ 、 $1.0 \times 10^{-7}$ cm/sと変えた場合の内水位経時変化の計算結果を、計算値そのままの値と矢板のはらみの影響分を補正したものについて図3.1.5に示す。水張り試験の結果とこの計算結果を直接比較することで、遮水構造の遮水壁としての換算透水係数 $k_e$ を評価・推定した<sup>29)</sup>。

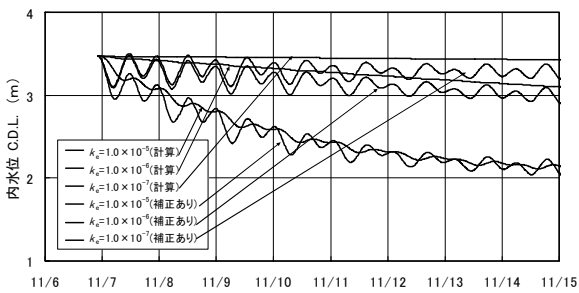


図3.1.5 内水位の計算結果

(3) 土質材料充填継手鋼管矢板壁の遮水性能の評価方法  
本構造においても4本の鋼管矢板により閉合された遮水壁の内側に水中ポンプで水を張り、図2.3.21に示す遮水壁の内外に設置した水位計で、その後の内水位低下量を測定する水張り試験を実施した。なお、これら水張り試験の実測データと、壁厚0.5mを想定した水張り試験の解析結果との比較により遮水性能を評価した。水張り試験の解析および遮水性能の評価方法は前述と同様である。なお、本構造においても遮水壁の内外水位差に連動し、鋼管矢板にひずみが生じて内水位が変動したため、解析ではこれらの現象を考慮して前述と同様な補正を行った。

(4) 溶接継手箱形鋼矢板の遮水性能評価方法

水張り試験を実施し、図3.1.6に示した位置で計測した水位低下結果に対して、幅1.2mの箱形断面を対象に二重の遮水壁としての換算透水係数により遮水性を評価した。なお、本遮水壁は溶接継手および腹起しによって剛性が高いことから、内外水位差に連動した内水位の変化は観察されなかった。

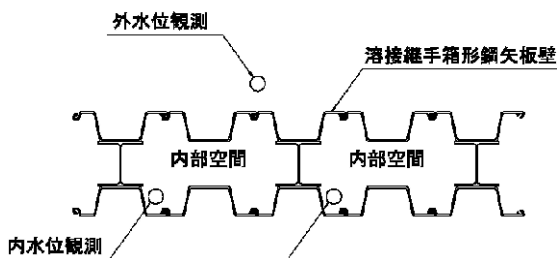


図3.1.6 実験構造物平面図

(5) 鋼矢板遮水壁の遮水性能の評価方法

鋼矢板壁の遮水性能も、図3.1.7のモデルにおいて、鋼矢板壁の換算透水係数を仮定して内水位の時間経過を予測し、内水位の実測値と比較することで評価した。実験構造物から漏水が発生する範囲は、内水位から土質系遮水材の先端標高までの高さ、幅2.4mの鋼矢板壁2列分の延長幅とした。内水位はC.D.L.+4.5m前後を初期値とし、

水位が下がった場合は適宜ポンプにより海水を注入して試験を再スタートすることにしたため、内水位の変化量は最大0.5m程度である。C.D.L.+5.0m位置には腹起しがあり、鋼矢板は腹起しに溶接して固定したため、水位測定対象区間での深度方向の断面積の変化については比較的小さかったと考えられる。

実際に計測を始めてみると、土質材料充填継手箱形鋼矢板壁と同様、潮位の変動にあわせて内水位が上下する現象が見られ、図3.1.8に示すように、その変動幅は0.4m以上になることもあった。

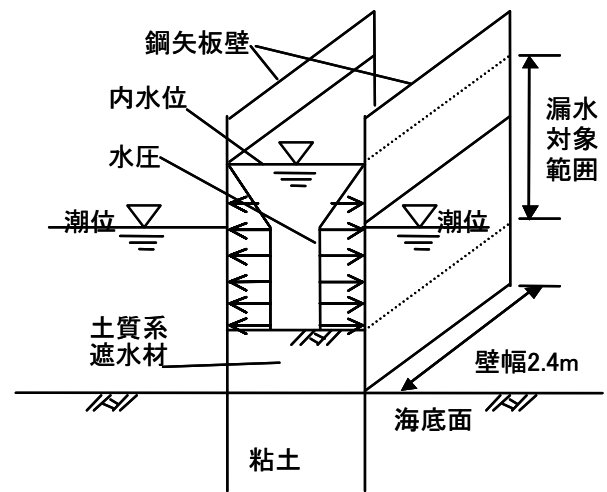


図3.1.7 実験構造物のモデル図

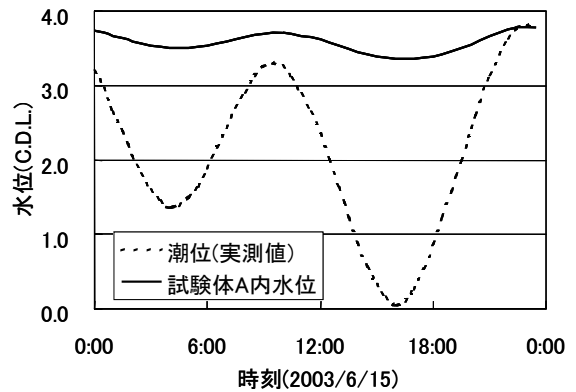


図3.1.8 潮位と実験構造物内水位の実測値の例

図3.1.9は大潮である2003年6月15日の潮位と試験体Aの内水位の計測値をプロットしたもので、ほぼ直線関係にあるといえる。そこで計算により得られた内水位の経時変化に対し、対象期間における潮位と内水位の関係を回帰分析し、内水位の予測値に対して補正を加えるもの

とした。図3.1.10に本計測を開始する前ではあるが、試験体Bの2003年6月18日から2週間の内水位の計測値と、潮位補正を加えた予測値を示す。内水位の計測値は、換算透水係数 $k_c=4.0 \times 10^{-7}$  cm/sの計算値と良く一致しており、この期間の試験体Bの換算透水係数 $k_c$ は $4.0 \times 10^{-7}$  cm/sに近い値であったと評価される。

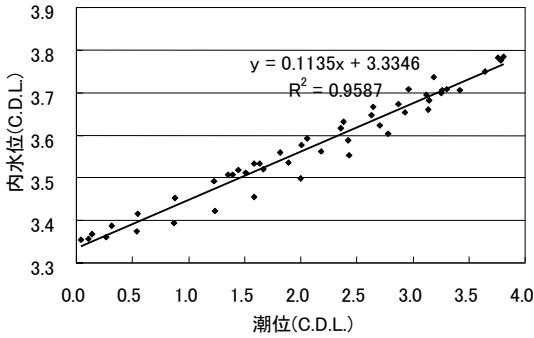


図 3.1.9 潮位と試験体 A 内水位の関係

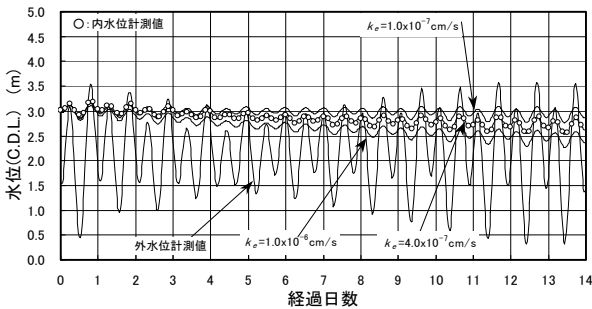


図 3.1.10 内水位の計測値と換算透水係数に対応し、潮位補正した計算値

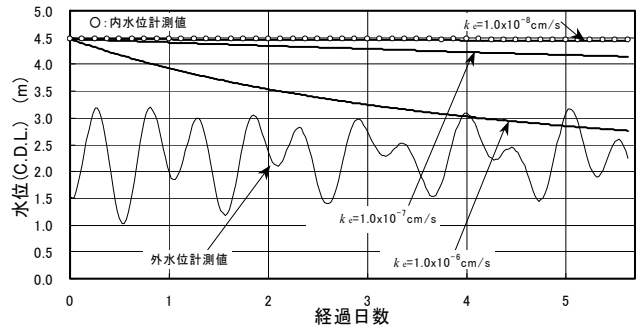
溝付き継手を有する鋼矢板壁についても、鋼矢板幅が0.4mであり壁幅が1.6mであることを除けば、実験構造物としては遮水材塗布鋼矢板壁とほぼ同様の構造であり、潮位変動にあわせて内水位が上下する現象が観察された。したがって、遮水材塗布鋼矢板壁と同様に、潮位補正を加えた予測結果と内水位の計測結果を比較することによって、遮水性能を評価した。

### 3.2 変形付与前の遮水性能の評価

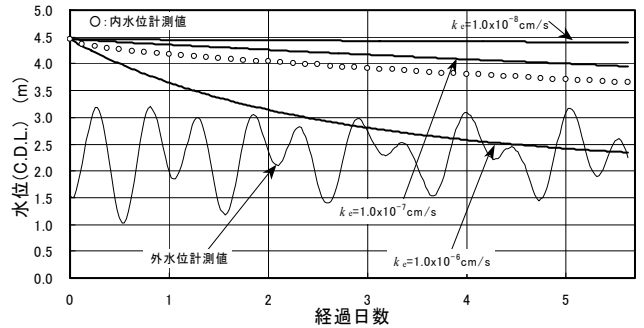
#### 3.2.1 ゴム板付き継手鋼管矢板壁

2003年9月中旬の136時間での計測結果をいくつかの透水係数を仮定した計算結果と比較して図3.2.1に示す。実験結果として得られた換算透水係数 $k_c$ は、いずれも基準

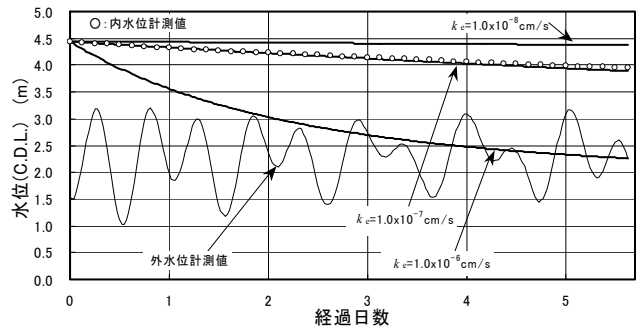
省令<sup>12)</sup>に示された構造基準に対応する $1.0 \times 10^{-6}$  cm/sよりも十分に小さいことを確認できる。



(a) 観測ポケットA



(b) 観測ポケットB

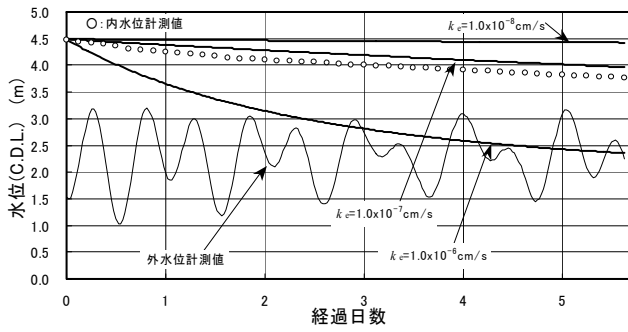


(c) 観測ポケットC

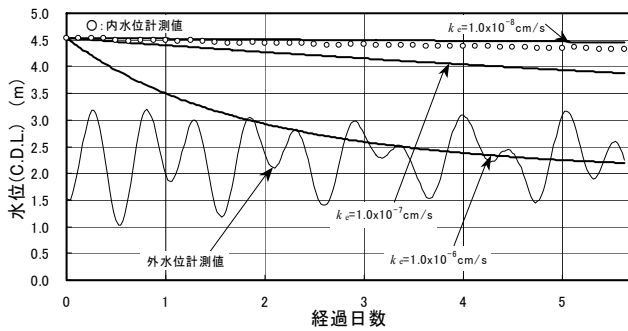
図3.2.1 ゴム板付き継手鋼管矢板壁の水位計測結果と透水係数を仮定した計算結果の比較 (観測期間：2003年9月18日～9月23日)

#### 3.2.2 アスファルト充填継手鋼管矢板壁

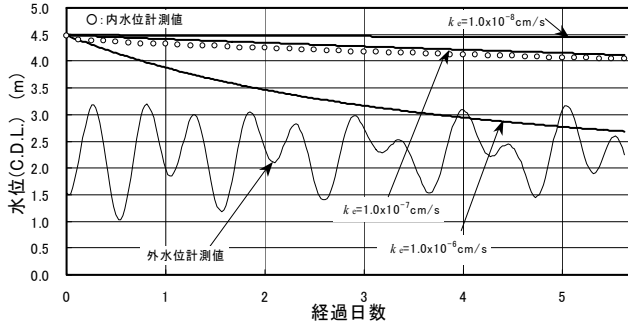
上記と同様に実験結果を整理し、3つのポケットの水位低下の計測結果を換算透水係数を仮定した計算結果と比較して図3.2.2に示す。実験結果に対応する換算透水係数 $k_c$ は十分に小さく、基準省令<sup>12)</sup>に示された構造基準を満足していることが確認できる。



(a) 観測ポケットA



(b) 観測ポケットB



(c) 観測ポケットC

図3.2.2 アスファルト充填継手鋼管矢板壁の水位計測結果と透水係数を仮定した計算結果の比較  
(観測期間2003年9月18日～9月23日)

### 3.2.3 土質材料充填継手箱形鋼矢板壁

内水位変化の実測値と計算値の比較を図3.2.3に示す。実測値は換算透水係数 $k_c$ が $1.0 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ の計算値とほぼ対応しており、遮水壁は十分な遮水性能を有していたことが確認される。また、潮位変動による継続的な矢板の変形に対しても遮水性能が維持されており、遮水材にある程度の変形追随性があることについても同時に確認できる。

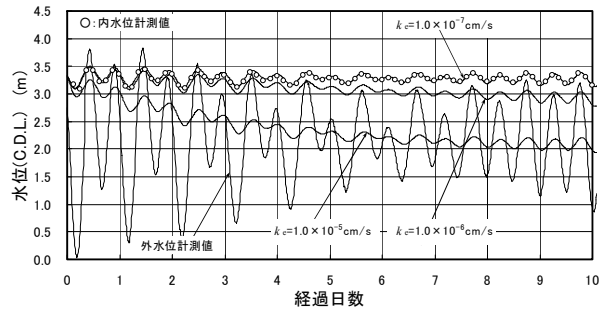


図 3.2.3 土質材料充填継手箱形鋼矢板壁の水位計測結果と透水係数を仮定した計算結果の比較  
(観測期間：2002年11月7日～16日)

### 3.2.4 土質材料充填継手鋼管矢板壁

図3.2.4に、本遮水壁の遮水性能に関する試験結果を示す。内水位の実測値は、換算透水係数 $k_c$ が $1.0 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ と $1.0 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ の内水位曲線の間であり、基準省令<sup>12)</sup>に示された構造基準を満足する遮水性を確認できる。

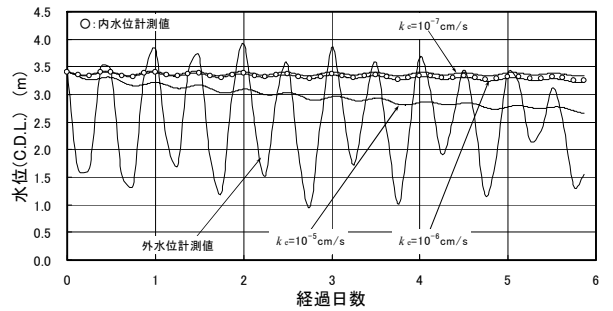


図3.2.4 土質材料充填継手鋼管矢板壁の水位計測結果と透水係数を仮定した計算結果の比較  
(観測期間：2003年10月11日～16日)

### 3.2.5 溶接継手箱形鋼矢板壁

実験構造物設置初年度の夏から冬にかけて内水位と外水位とを比較することにより遮水性能を評価した。計測結果と換算透水係数 $k_c$ を仮定した計算結果を比較したものを図3.2.5に示す。溶接継手箱形鋼矢板壁の遮水性能は、換算透水係数 $k_c$ が $1.0 \times 10^{-8} \text{cm/s}$ 程度を示し、所要の遮水性能を十分に満足している。

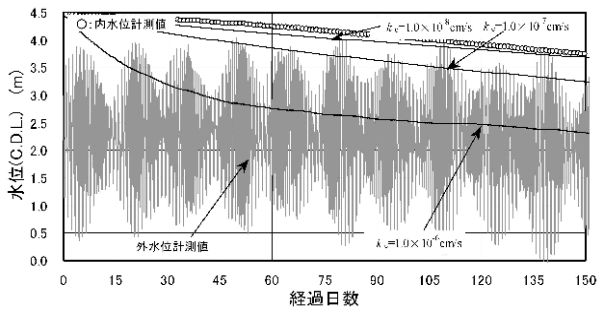


図3.2.5 継手部を溶接した箱形鋼矢板壁の水位計測結果と透水係数を仮定した計算結果の比較  
(観測期間：2003年8月8日～2004年2月6日)

### 3.2.6 遮水材塗布鋼矢板壁

代表的な計測結果として、計測開始から約2ヶ月後の2003年11月1日～14日の期間に得られた各実験構造物の内水位の実測値を潮位補正した予測値とともに図3.2.6および図3.2.7に示す。いずれの実験構造物も、内水位の実測値は潮位補正した予測値とほぼ一致しており、試験体Aは換算透水係数 $k_e$ が $1.0 \times 10^{-8}$ cm/sの予測値と、試験体Bは換算透水係数 $k_e$ が $1.0 \times 10^{-7}$ cm/sの予測値とそれぞれ同等の結果である。

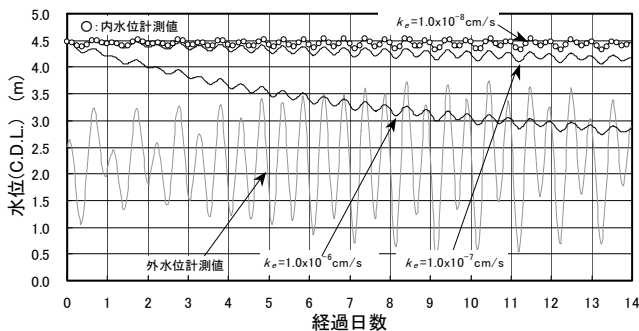


図3.2.6 遮水材塗布鋼矢板壁（試験体A）の水位計測結果と透水係数を仮定した計算結果の比較  
(観測期間：2003年11月1日～11月14日)

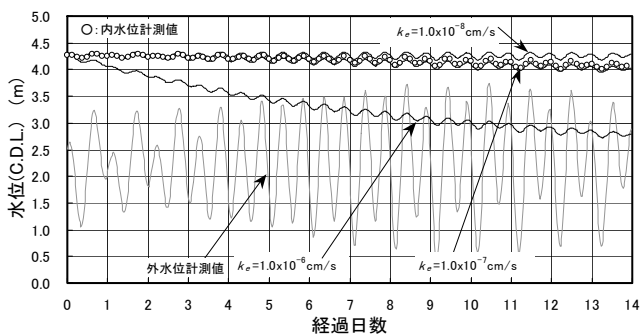


図3.2.7 遮水材塗布鋼矢板壁（試験体B）の水位計測結果と透水係数を仮定した計算結果の比較  
(観測期間：2003年11月1日～11月14日)

### 3.2.7 溝付き継手鋼矢板壁

遮水材塗布鋼矢板壁と同様に、代表的な観測結果として、計測開始から約2ヶ月後の2003年11月1日～14日の期間に得られた各実験構造物の内水位の実測値を潮位補正した予測値とともに図3.2.8および図3.2.9に示す。いずれの実験構造物も内水位の実測値は潮位補正した予測値とほぼ一致しており、試験体Cは換算透水係数 $k_e$ が $1.0 \times 10^{-8}$ cm/sの予測値と一致し、試験体Dは換算透水係数 $k_e$ が $1.0 \times 10^{-8}$ cm/sの予測値と $1.0 \times 10^{-7}$ cm/sの予測値の間に位置している。

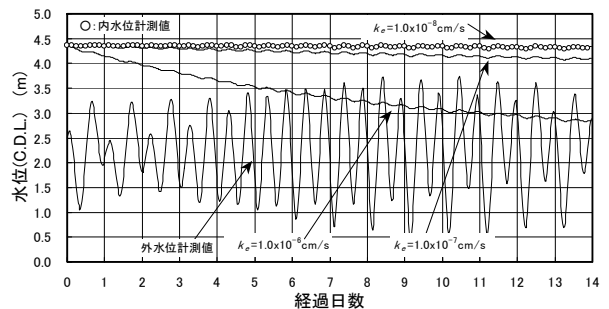


図3.2.8 溝付き継手鋼矢板壁（試験体C）の水位計測結果と透水係数を仮定した計算結果の比較  
(観測期間：2003年11月1日～11月14日)

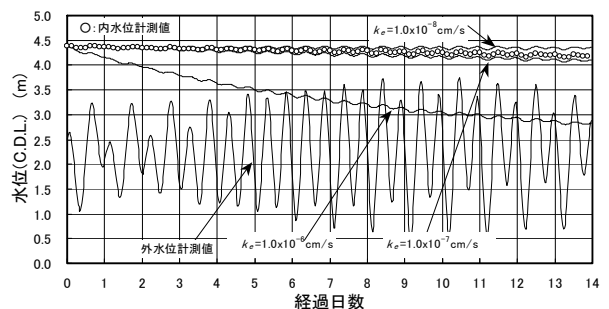


図3.2.9 溝付き継手鋼矢板壁（試験体D）の水位計測結果と透水係数を仮定した計算結果の比較  
(観測期間：2003年11月1日～11月14日)

### 3.3 変形を付与した実験構造物の遮水性能の評価

海面に建設される管理型廃棄物処分場の鉛直遮水工には、遮水機能のみならず、本来の護岸機能が要求される。このため、長期的に安定した遮水性能を担保できるような耐久性およびある程度の変形が生じても遮水性能が著しく低下しない変形追随性を付加する必要がある。本節では、鋼製遮水壁について、実験構造物築造から約1年経過した段階において、水張り試験を実施して遮水性能の経時変化の評価を行うとともに、さらに鋼製矢板壁に強制変位を与えることにより、変形にもなって遮水性能に変化が生じるかどうかを調査した結果について報告す

る。なお、ここで付与している変形のレベルは、地震により護岸が著しく変状するようなものではなく、護岸機能が損なわれない程度の軽微な変状を想定している。

### 3.3.1 実験工程と気象・海象

実験工程と実験期間中に現地に来襲した台風を表3.3.1に示す。水位計測期間中だけでも7回の台風に襲われ、特に2004年9月7日の台風18号は、警戒値を超える高潮をひき起こし、広島地方周辺に多くの被害を及ぼした。

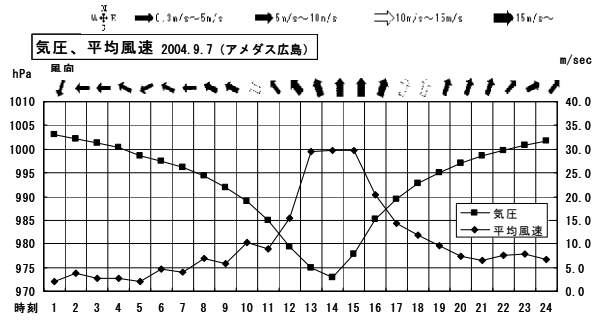
表3.3.1 実験工程と気象

年	2003年												2004年							
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
実験工程	実験構造物体築造												水位計測(遮水性評価)				変形付与試験			
遮水評価(負荷試験)	初期評価(3.2節)												長期評価				変形追随性評価			
台風	10 14												10 15 16				18 21 22 23			

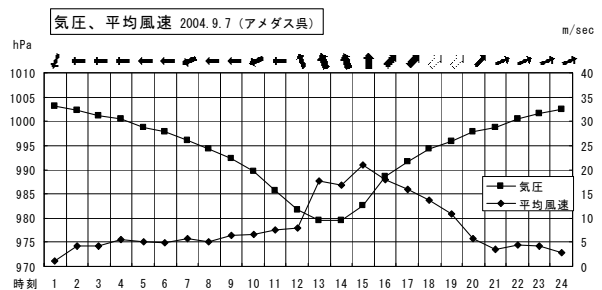
(注：台風欄の四角内の数字は、来襲した台風の号数を示す。)

ここで、この台風18号を例にとって実験構造物にどの程度の波浪や潮位が作用したかを検討しておく。観測値による検討が望ましいが、波浪については近隣に波浪観測拠点がないたため、気象データをもとに推定することにした。潮位については、実験施設での観測値と呉港の潮位記録がある。

まず、台風通過時の状況を把握するため、風速および気圧の経時変化を図3.3.1に示す。データは実験構造物近隣のアメダス観測地点である広島地点および呉地点のものである<sup>44)</sup>。台風が最接近した9月7日14時ごろには広島地点で過去最高クラスの風速30m/sが観測された。呉地点での風速は、広島地点より小さいものの20m/s程度の値が観測されており、実験構造物周辺でも強風が吹いていたことがわかる。広島地点では風速のピークの継続時間が比較的長いことが特徴であり、呉においてもその傾向がみられる。



(a) 広島地点



(b) 呉地点

図3.3.1 気圧と平均風速の経時変化(アメダス, 2004年9月7日)

また、図3.3.2には呉港の潮位観測記録と実験構造物で観測された潮位を示している。図中には、呉港の計算潮位および実測潮位から計算潮位を差し引いた潮位偏差もあわせて示している。呉港のデータをみると台風通過時と満潮が重なり、また気圧の低下による吸い上げと強い南風が継続したことから、高潮による潮位偏差が1.8mに達し、潮位は4.5mもの異常値を記録している。実験施設でもほぼ同じ潮位が観測されている。

実験構造物に来襲した波浪については、アメダスの呉地点での風速・風向の観測記録を基にして、SMB法<sup>45)</sup>により推定した。その結果、港外での有義波高は1.7~2.0mであった。呉沿岸壁の30年確率波が2.1mであるので、設計波クラスの高波浪が来襲していたことになる。

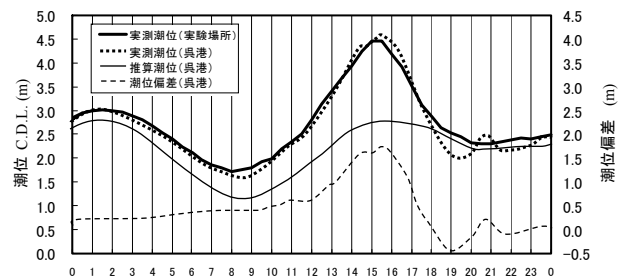


図3.3.2 潮位と潮位偏差の経時変化(2004年9月7日)(呉港および実験実施地点)

実験構造物は阿賀マリノポリス港内に位置するので、港内静穏度解析によって防波堤の影響を求め、実験構造物に直接作用した波高を推定すると0.6~0.7mの有義波高となった。この値は、波高自体はそれほど大きくないが、実験構造物が仮設のような状態であり、本実験構造物のように遮水構造物が護岸に保護されておらず、波浪が直接作用したことを考えると、波浪の影響は小さいものではなかったと考えられる。

### 3.3.2 ゴム板付き継手鋼管矢板壁

#### (1) 1年経過後の遮水性能

実験構造物設置から1年経過後の水位計測結果と換算透水係数 $k_e$ に対応する計算結果を併記したグラフを図3.3.3に示す。観測ポケットは3箇所あり、ここでは代表的なデータとして観測ポケットCの結果を示す。1年経過後も、換算透水係数 $k_e$ が $1.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ の高い遮水性能を保ち、基準省令<sup>12)</sup>に示された構造基準の値( $1.0 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 以下)を十分満足していることが確認できる。

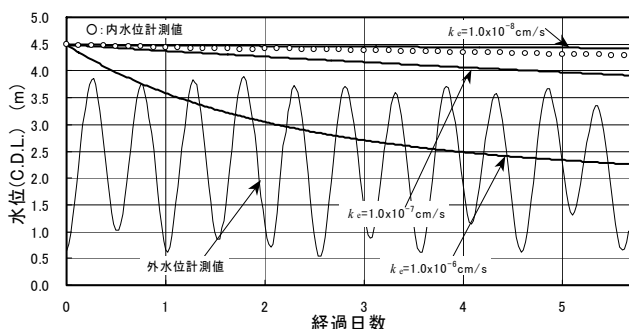


図3.3.3 1年経過後のゴム板付き継手鋼管矢板壁の水位計測結果と透水係数を仮定した計算結果の比較（観測期間：2004年9月27日～10月3日）

#### (2) 変形付与後の遮水性能

最大変位(約125mm)付与後の水位計測結果と換算透水係数 $k_e$ に対応する計算結果を併記したグラフを図3.3.4に示す。変位を与えても遮水性能に大きな変化はなく、換算透水係数 $k_e$ が $1.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ の高い遮水性能を保っていることが確認できる。

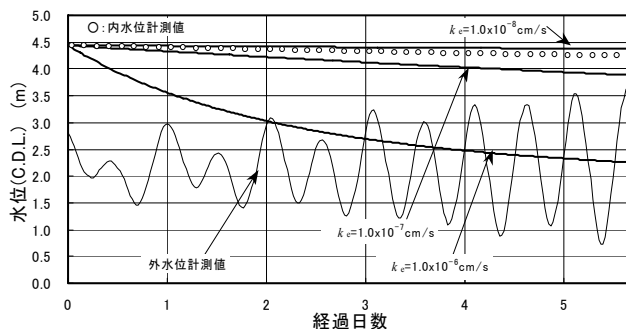


図3.3.4 変形付与実験後のゴム板付き継手鋼管矢板壁の水位計測結果と透水係数を仮定した計算結果の比較（観測期間：2004年11月5日～11月11日）

### 3.3.3 アスファルト充填継手鋼管矢板壁

#### (1) 1年経過後の遮水性能

実験構造物設置から1年経過後の水位計測結果と換算透水係数 $k_e$ に対応する計算結果を併記したグラフを図3.3.5に示す。ゴム板付き継手の場合と同様に、観測ポケットは3箇所あるが、代表的なデータとして観測ポケットCの結果を示す。1年経過後も遮水性能に大きな変化はなく、換算透水係数 $k_e$ は $1.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ のレベルにあり、基準省令<sup>12)</sup>に示された構造基準の値( $1.0 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 以下)を十分満足していることが確認できる。

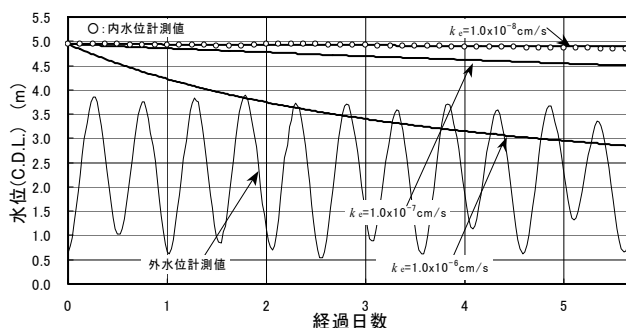


図3.3.5 1年経過後のアスファルト充填継手鋼管矢板壁の水位計測結果と透水係数を仮定した計算結果の比較（観測期間：2004年9月27日～10月3日）

#### (2) 変形付与後の遮水性能

最大変位(約125mm)付与後の水位計測結果と換算透水係数 $k_e$ に対応した計算結果を併記したグラフを図3.3.6に示す。変位を与えた後も換算透水係数 $k_e$ の大きな変化はなく、 $1.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ の遮水性能を保っていることが確認できる。



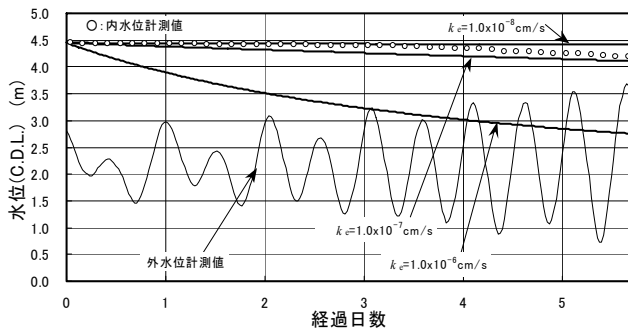


図3.3.6 変形付与実験後のアスファルト充填継手鋼管矢板壁の水位計測結果と透水係数を仮定した計算結果の比較（観測期間：2004年11月5日～11月11日）

### 3.3.4 土質材料充填継手箱形鋼矢板壁

#### (1) 1年経過後の遮水性能

実験構造物設置から約1年後の水位計測結果ならびに計算結果を図3.3.7に示す<sup>40)</sup>。遮水構造物で計測された内水位変動は $1.0 \times 10^{-6}$ cm/sの計算結果とほぼ等しい水位変動であることがわかる。

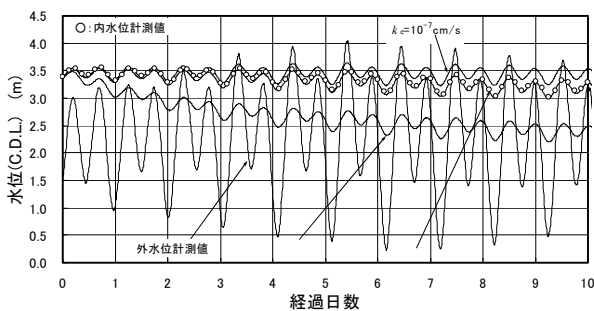


図3.3.7 1年経過後の土質材料充填箱形鋼矢板壁の水位計測結果と透水係数を仮定した計算結果の比較（観測期間：2003年7月8日～17日）

前節で示した遮水性能の評価では、遮水構造物の換算透水係数 $k_e$ は $1.0 \times 10^{-7}$ cm/sであった。ここで示した結果の値は遮水性能が低下しているが、これは、3.4に後述するように、矢板隔壁内に充填した遮水材の品質確認のために行ったサンプリングで、ウォッシュボーリング時に遮水材が大きく乱されたことによるものと考えられる。しかしながら、遮水材が乱された後でも基準省令<sup>12)</sup>に示された構造基準を満足していることから、遮水壁として十分な性能を有しているといえる。

このように本遮水構造は、矢板継手爪部が未遮水処理で、かつ、遮水材料を乱した後にも関わらず、実海域において1年以上にわたり遮水性能として基準値を満足しており、1年以上の期間にわたって遮水性能が保持される

ことについて確認がなされたといえる。

#### (2) 変形付与後の遮水性能

図3.3.8に実験状況を示すように、スクリージャッキにより遮水壁を押し拡げて変形させた。変形量は、箱形鋼矢板天端で水平方向に約100mmである。図3.3.9に変形後の水位計測結果を示す。変形前の水位観測結果は図3.3.7であるが、これと比較すれば変形後も遮水性能に変化が見られないことから、遮水壁としての変形追随性を十分に期待できることが確認できた。

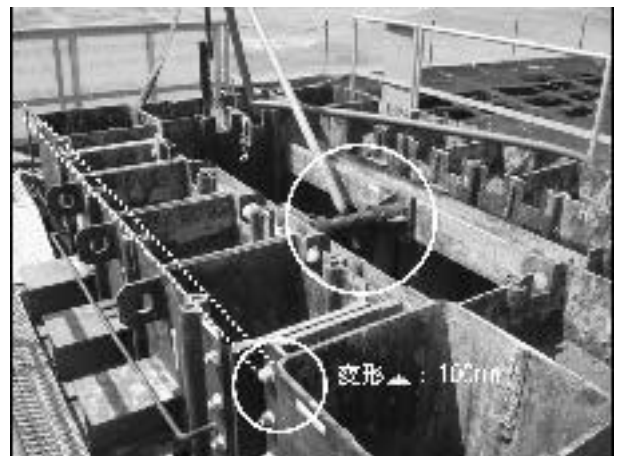


図3.3.8 遮水構造の変形状況

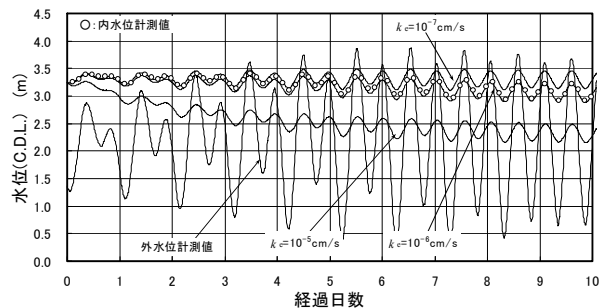


図3.3.9 変形付与実験後の土質材料充填箱形鋼矢板壁の水位計測結果と透水係数を仮定した計算値（観測期間：2003年8月22日～31日）

### 3.3.5 土質材料充填継手鋼管矢板壁

#### (1) 1年経過後の遮水性能

図3.3.10は、設置1年後での水位計測結果である<sup>41)</sup>。前節で示したほぼ1年前の水位観測記録と同様に実測値は、換算透水係数 $k_e$ が $1.0 \times 10^{-6}$ cm/sと $1.0 \times 10^{-7}$ cm/sの計算値の間に位置している。このことから、1年以上の実験期間中に遮水性能が保持されていたことを確認できる。

#### (2) 変形付与後の遮水性能

本実験構造物については、変形付与実験は行っていない。

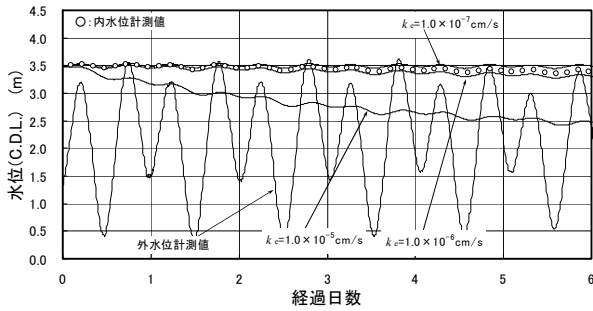


図3.3.10 1年経過後の土質材料充填継手鋼管板壁の水位計測結果と透水係数を仮定した計算結果の比較（観測期間：2004年11月26日～12月1日）

### 3.3.6 溶接継手箱形鋼矢板壁

#### (1) 1年経過後の遮水性能

実験構造物築造から約1年経過後の水位計測結果と換算透水係数 $k_e$ を仮定した計算結果を比較したものを図3.3.11に示す。実験構造物築造から約1年経過後においても壁厚0.5mの換算透水係数 $k_e$ は $1.0 \times 10^{-7}$ cm/s以下であり、基準省令<sup>12)</sup>に示された構造基準を十分満足していることがわかる。

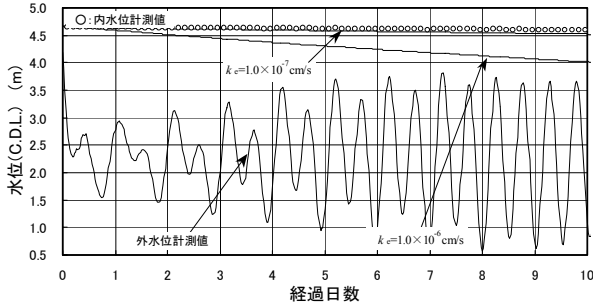


図3.3.11 1年経過後の溶接継手箱形鋼矢板壁の水位計測結果と透水係数を仮定した計算結果の比較（観測期間：2004年9月7日～2004年9月16日）

#### (2) 変形付与後の遮水性能

実験構造物の長期安定を目的として設置した腹起し（H形鋼）を切断し、内外水位差による鋼矢板壁のはらみ出し量を増加させることで、強制的に変形を発生させた。しかしながら、本構造の断面剛性の高さから、はらみ出し量の増加はわずかであった。変形付与後の遮水性能評価について図3.3.12に示す。この図から、変形付与後においても壁厚0.5mとした換算透水係数 $k_e$ は $1.0 \times 10^{-7}$ cm/s以下であり、基準省令<sup>12)</sup>に示された構造基準の値を十分満足していることがわかる。

以上から、本遮水構造の場合、剛性の高さが継手変形

を抑制し、大きな外力を受けても遮水性能を維持できるという本構造の特徴を示す結果が得られた。

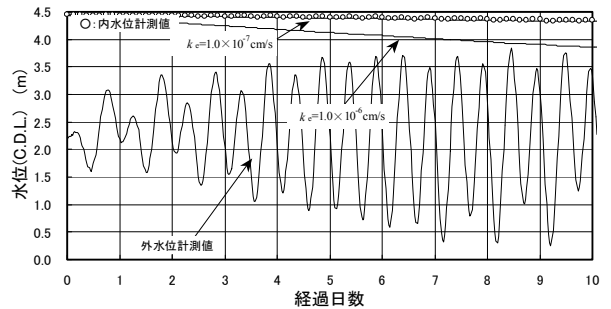


図3.3.12 変形付与実験後の溶接継手箱形鋼矢板壁の水位計測結果と透水係数を仮定した計算結果の比較（観測期間：2004年10月8日～2004年10月17日）

### 3.3.7 遮水材塗布鋼矢板壁

#### (1) 1年経過後の遮水性能

実験構造物設置から1年経過後の水位計測結果と換算透水係数 $k_e$ の計算結果を併記したグラフを図3.3.13と図3.3.14に示す。試験体A、Bともに換算透水係数 $k_e$ が $1.0 \times 10^{-8}$ cm/sの計算値とほぼ一致しており、1年経過後も遮水性能の低下は見られず、基準省令<sup>12)</sup>に示された構造基準を十分満足していることが確認できた。

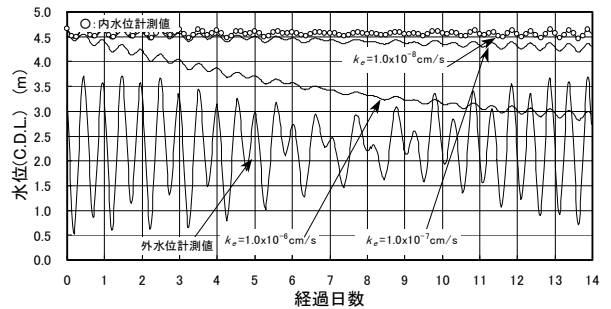


図3.3.13 1年経過後の遮水材塗布鋼矢板壁（試験体A）の水位計測結果と透水係数を仮定した計算結果の比較（観測期間：2004年9月30日～10月13日）

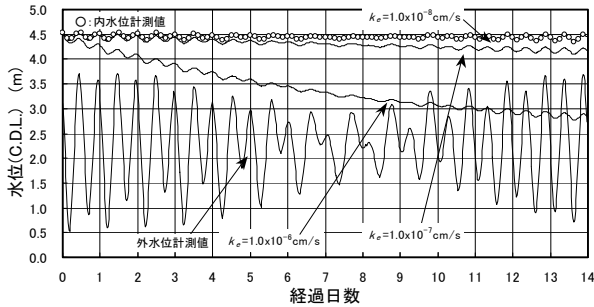


図3.3.14 1年経過後の遮水材塗布鋼矢板壁(試験体B)の水位計測結果と透水係数を仮定した計算結果の比較(観測期間:2004年9月30日~10月13日)

(2) 変形付与後の遮水性能

腹起し切断から約2週間後(2004年11月4日~10日)に実施した水張り試験の結果として、各実験構造物の内水位の実測値と潮位補正した計算値を図3.3.15および図3.3.16に示す。いずれの実験構造物も内水位の実測値は潮位補正した換算透水係数 $k_e$ が $1.0 \times 10^{-8}$  cm/sの計算値とほぼ一致している。この値は腹起し切断前とほぼ同じであり、はらみだし量の増加による遮水性能の低下は見られなかった。

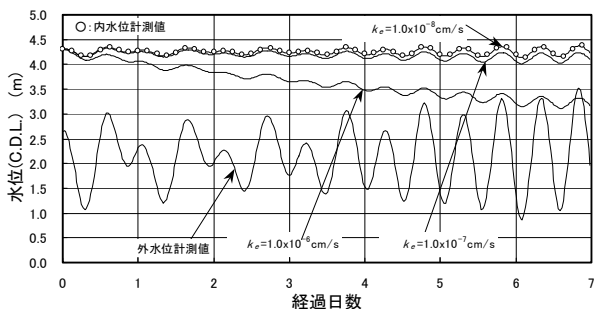


図3.3.15 変形付与実験後の遮水材塗布鋼矢板壁(試験体A)の水位計測結果と透水係数を仮定した計算結果の比較(観測期間:2004年11月4日~11月10日)

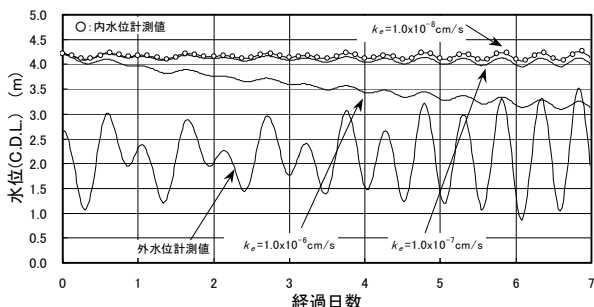


図3.3.16 変形付与実験後の遮水材塗布鋼矢板壁(試験体B)の水位計測結果と透水係数を仮定した計算結果の比較(観測期間:2004年11月4日~11月10日)

3.3.8 溝付き継手鋼矢板壁

(1) 1年間経過後の遮水性能

実験構造物設置から1年経過後の水位計測結果と換算透水係数の計算結果を併記したグラフを図3.3.17と図3.3.18に示す。試験体Cの計測結果は換算透水係数 $k_e$ が $1.0 \times 10^{-8}$  cm/sの計算値と $1.0 \times 10^{-7}$  cm/sの計算値の間にあり、試験体Dは換算透水係数 $k_e$ が $1.0 \times 10^{-8}$  cm/sの計算値とほぼ一致している。いずれも $1.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-7}$  cm/sのレベルにあり、1年経過後も遮水性能の低下は見られず、基準省令<sup>12)</sup>に示された構造基準を十分満足していることが確認できた。

(2) 変形付与後の遮水性能

溝付き継手鋼矢板壁においても、三段の腹起しの中段のみ切断し、たわみ量を増加させた。試験体Cは、遮水材塗布鋼矢板壁同様、実施工において、周囲を陸地化して鋼矢板壁が波浪等により動揺しなくなるまでに、継手の遮水性能が大幅に低下しないことを確認することが目的である。

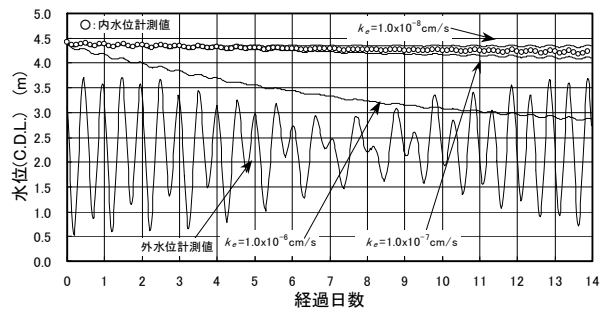


図3.3.17 1年経過後の溝付き継手鋼矢板壁(試験体C)の水位計測結果と透水係数を仮定した計算結果の比較(観測期間:2004年9月30日~10月13日)

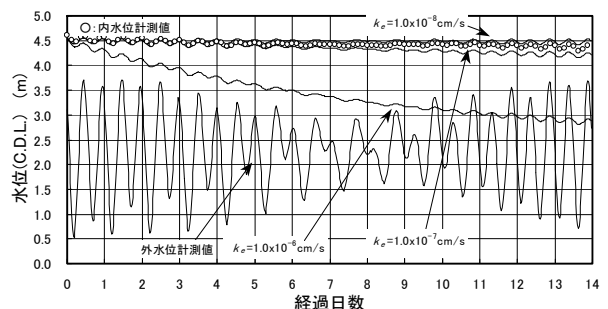


図3.3.18 1年経過後の溝付き継手鋼矢板壁(試験体D)の水位計測結果と透水係数を仮定した計算結果の比較(観測期間:2004年9月30日~10月13日)

一方、試験体Dのシリコン樹脂注入による遮水処理方法は、周囲を陸地化し波浪等の影響がなくなってから遮水処理することを想定しているため、本来、変形は受

けないことを前提としている。しかしながら、想定外の状況、すなわち、地震等による災害時には変形が生じることも考えられ、変形追随性を確認することには十分価値があると思われる。

遮水材塗布鋼矢板壁と同様に、腹起し切断から約2週間後（2004年11月4日～10日）に実施した水張り試験の結果として、各実験構造物の内水位の実測値と潮位補正した計算値を図3.3.19および図3.3.20に示す。両実験構造物ともに換算透水係数 $k_e$ が $1.0 \times 10^{-7}$ cm/sの計算値とほぼ一致している。

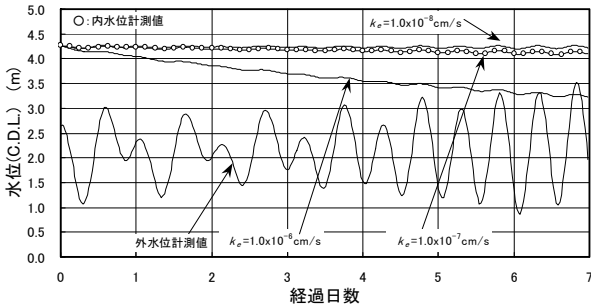


図3.3.19 変形付と実験後の溝付き継手鋼矢板壁（試験体C）の水位計測結果と透水係数を仮定した計算結果の比較（観測期間：2004年11月4日～11月10日）

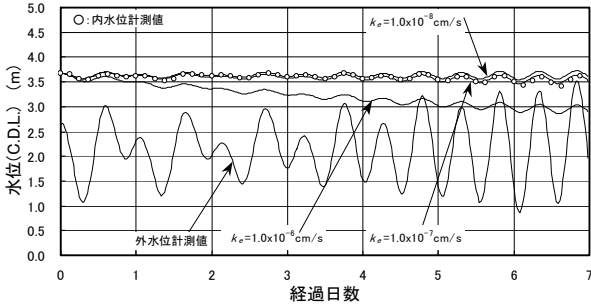


図3.3.20 変形付と実験後の溝付き継手鋼矢板壁（試験体D）の水位計測結果と透水係数を仮定した計算結果の比較（観測期間：2004年11月4日～11月10日）

### 3.4 実海域における基本性能等の確認試験

本節では、実海域にて施工された継手遮水工について、その品質確認のために実施された各種試験・調査について記述する。土質材料充填継手については、現位置で充填された遮水材のサンプリング等を実施して、その品質について検討しているほか、溶接継手箱形鋼矢板については、継手溶接部を保持したまま解体し、溶接部の断面のマクロ写真を撮ることで品質の検討をした。しかしながら、鋼管矢板実験構造物および鋼矢板実験構造物につ

いては、継手のサイズが小さく、嵌合状態のままの継手充填材の調査ができないこと、また、継手の嵌合状態を保持したまま引き抜くには、大規模な重機が必要となるとともに、仮固定に手間がかかるなどの制約から解体時に継手の状態を維持することは難しく、これらに対する調査は行っていない。

#### 3.4.1 土質材料充填継手箱形鋼矢板壁

実験開始から約5ヶ月後、土質系遮水材の充填性を調査するために、図3.4.1に示すコラムAおよび矢板隔壁No.3、No.5においてサウンディングならびにサンプリングを行った<sup>40)</sup>。

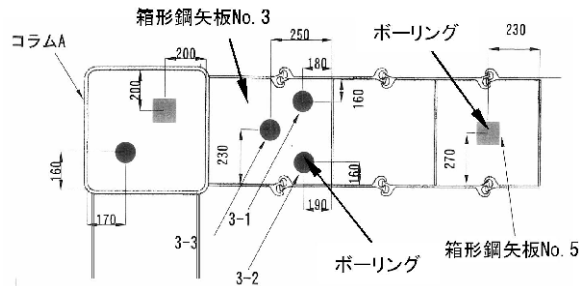


図3.4.1 サウンディングおよびサンプリング試験位置図（図2.1.4の左上部分）

##### (1) サウンディング（三成分コーン貫入試験）

試験は地盤工学会基準（JGS1435-1995）「電気式静的コーン貫入試験方法」に準じて実施し、C.D.L.-15.0mまで貫入した。試験箇所は図3.4.1に●印で示したコラムA内の1箇所および矢板隔壁No.3内の3-1、3-2、3-3の3箇所の計4箇所である。

図3.4.2に先端抵抗 $q_t$ の深度分布を示す。土質系遮水材を充填したC.D.L.+5.0m～-7.0mの範囲において、4箇所いずれも深度とともに先端抵抗は一樣もしくは増加する傾向にあり、土質系遮水材が一樣に充填されていることがうかがえる。コラムAは先端抵抗値が箱形鋼矢板内の3箇所と比較して低い傾向にあるが、コラムAに充填された土質系遮水材の圧密排水条件を考慮すれば、排水距離が長い分だけ圧密進行が遅いことに対応した妥当な結果である。なお、この傾向は後述する含水比分布およびペーセン断強さ分布においても同様である。また、箱形鋼矢板隔壁内の3箇所を比較すると、3-1が最も先端抵抗が大きく、3-3が最も小さくなっていることは興味深い。箱形鋼矢板の継手部を排水境界と見なせば、3-1が最も排水距離が短く、3-3が最も排水距離が長くなることから、圧密度に差が生じたと考えられる。原地盤以深では、4箇所

とも値は著しく変化しているが、矢板打設時の地盤の乱れや砂礫の混入による影響と考えられる。

また、室内ベーンせん断試験の $\tau_v$ を用いて $\tau_v = (q_t - \sigma_{v0}) / N_{kt}$ の関係より得られるコーン係数 $N_{kt}$ は22程度であった。ここで、 $\sigma_{v0}$ は土被り圧である。

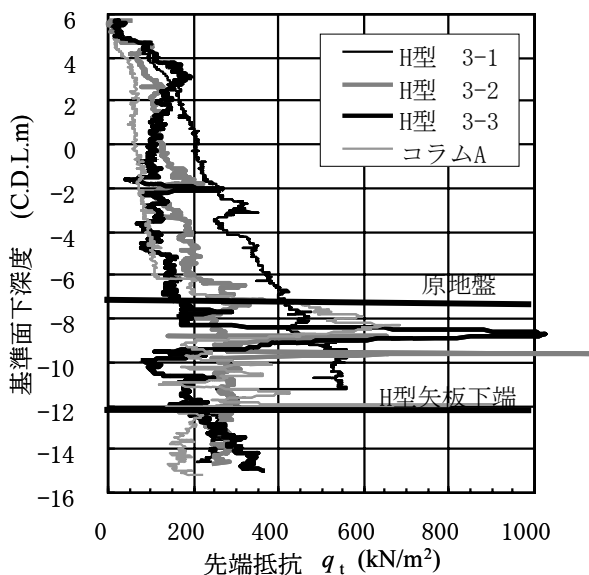


図3.4.2 先端抵抗の深度分布

(2) サンプリング

サンプリングは固定ピストン式シンウォールサンプラーを用い、ケーシング内の排土・掘進はウォッシュボーリングにより行った。天端からC.D.L.-11.0mまで1m毎に試料を採取し、そのうち半数(1本おき)は現地にてドライアイスを用いて凍結させた。凍結試料は試験室にて切り出し、その断面の充填状況を目視にて確認するとともに、走査型電子顕微鏡(Scanning Electron Microscope: SEM)により微視的構造を観察した。その他の試料については室内ベーンせん断試験および含水比試験を実施した。サンプリング箇所は図3.4.1に■印で示したコラムA内と箱形鋼矢板No.5隔壁内の計2箇所である。

図3.4.3に室内ベーンせん断強さの深度分布、図3.4.4に含水比の深度分布を示す。ベーンせん断強さ、含水比ともに土質系遮水材を打設したC.D.L.+5.0~-7.0mの範囲においては、均一な充填状況にあることが確認できる。また、箱形鋼矢板内の方がコラムAより含水比が小さく、かつ、せん断強さが大きい状況は、サウンディング結果でも述べたように、コラムAと箱形鋼矢板内とで、圧密排水距離の差による圧密度の違いが現れたといえる。

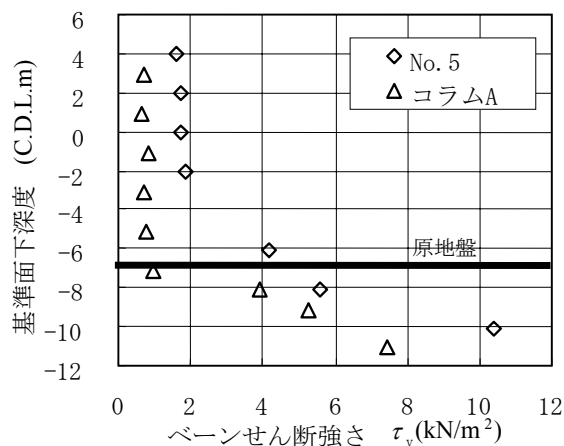


図3.4.3 ベーンせん断強度の深度分布

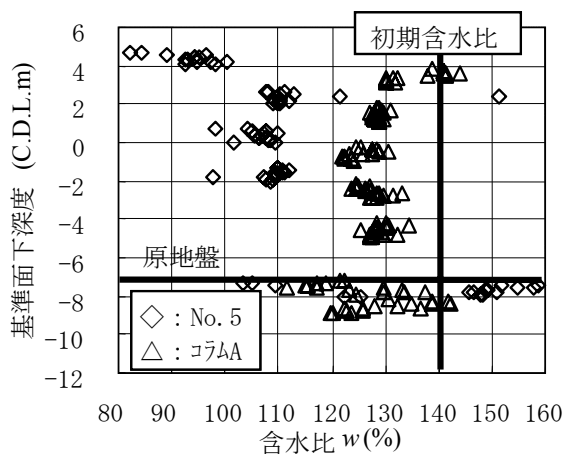


図3.4.4 含水比の深度分布

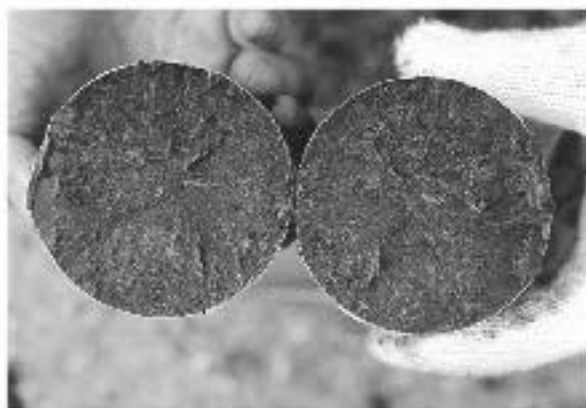


図3.4.5 コラムA試料断面 (C.D.L.-2.0m)

図3.4.5にコラムA (C.D.L.-2.0m付近) の凍結試料断面写真を示す。写真より、空隙が無く、均質に充填されている様子が確認できる。また、図3.4.6、図3.4.7はコラムAの凍結試料の微視的構造を観察したSEM画像である。これらの資料の含水比は、図3.4.4より120~130%の範囲であると推定される。一方、図3.4.8は9.8kN/m<sup>2</sup>で予圧密された原料土(含水比115%)のSEM画像である。図3.4.8の原料土と図3.4.6、図3.4.7の土質系遮水材を比較すると、原料土の方が含水比が低いにも関わらず3~5μm程度の間隙が多く見られるのに対し、原料土にベントナイトを添加した土質系遮水材では、含水比が高いにも関わらず、原料土中に見られる間隙がほとんど見られない。

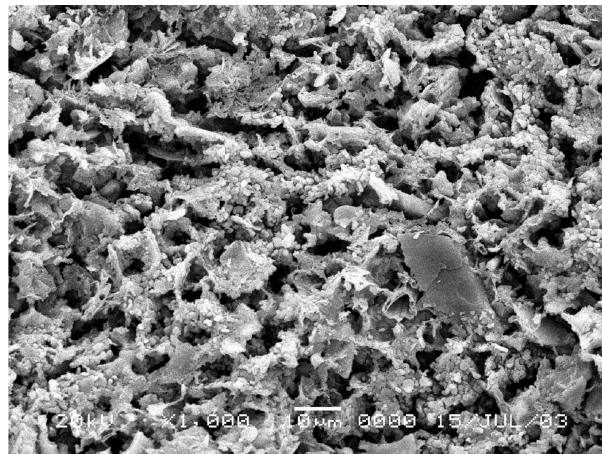


図3.4.8 原料土 (w=115%) のSEM画像

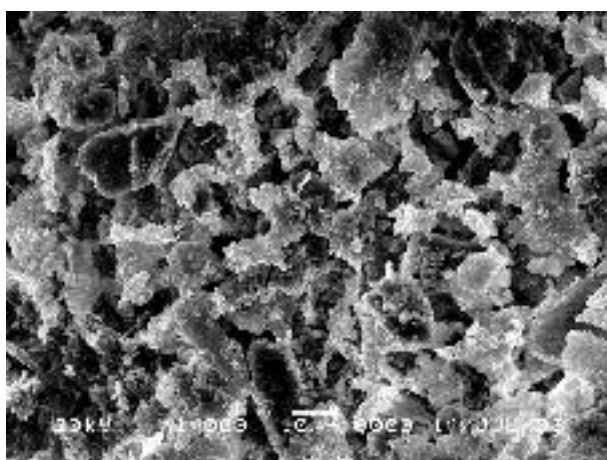


図3.4.6 コラムA採取試料のSEM画像 (C.D.L.+3.4m)

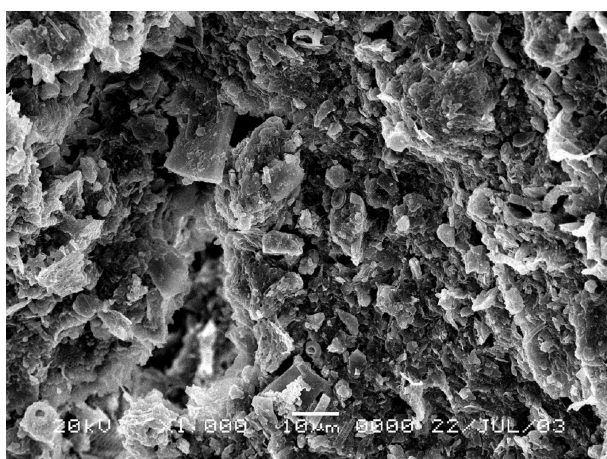


図3.4.7 コラムA採取試料のSEM画像 (C.D.L.-1.6m)

### 3.4.2 土質材料充填継手鋼管矢板壁

実験構造物の遮水性能を調べる水張り試験終了後、土質系遮水材の性状を調べるために、遮水用隔壁内に充填した同材料を天端から海底地盤を含むC.D.L.-9.0mまで固定ピストン式シンウォールサンプラーにより採取し、含水比試験およびベーンせん断試験を実施した<sup>40)</sup>。なお、サンプリングに伴うケーシング内の掘進・排泥にはウォッシュボーリングを採用した。

また、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、そこから充填した土質系遮水材が漏れ出すことが懸念されたため、遮水用隔壁を形成するU形鋼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、土質系遮水材が漏れ出すかどうかについて目視により確認した。

#### (1) サンプリング

サンプリングした土質系遮水材の試料は、シンウォールチューブから100mm毎に押し出しながら、含水比およびベーンせん断強さを測定した。図3.4.9に含水比の深度分布、図3.4.10にベーンせん断強さの深度分布を示す。図3.4.9には、土質系遮水材を遮水用隔壁に打設した時の初期含水比 ( $w_0=128\%$ ) と打設後の同遮水材の圧密度  $U$  が60%および100%に達した時の含水比の計算値も示してある。ここで、グラウトジャケットを装填した3箇所のパイプ継手については、土質系遮水材の漏れ出しを止めているだけで、遮水性はないとした。すなわち、圧密圧力は、平均水位 (C.D.L.+2.0m) 以深には土質系遮水材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た。また、パイプ継手の部分を排水境界とした。この条件で圧密に要する時間を求めると、圧密度  $U=80\%$  で34日、 $U=90\%$  で51日となる。

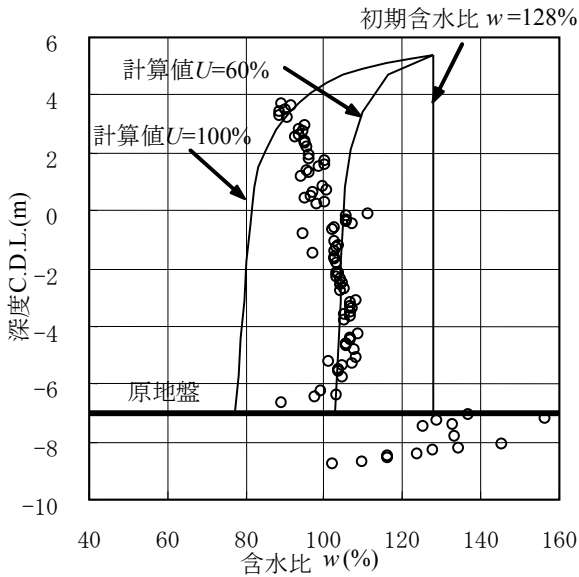


図3.4.9 含水比の深度分布

図3.4.9を見ると、土質系遮水材の含水比は、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。それ以深では、含水比100%前後でほぼ一様に分布しており、これは圧密度 $U=60\%$ 前後の含水比に相当する。試料をサンプリングした時期は、土質系遮水材の打設から15ヶ月以上経っており、圧密計算上は、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3.4.10のベーンせん断強さの深度分布を見ると、C.D.L.+2.0～+4.0mでは $4.0\sim 7.0\text{ kN/m}^2$ となっているが、それ以深では、 $2.0\sim 4.0\text{ kN/m}^2$ の範囲で比較的一様な分布となっている。このことから、ベーンせん断強さの分布は含水比分布と良く対応した結果となっていることがわかる。

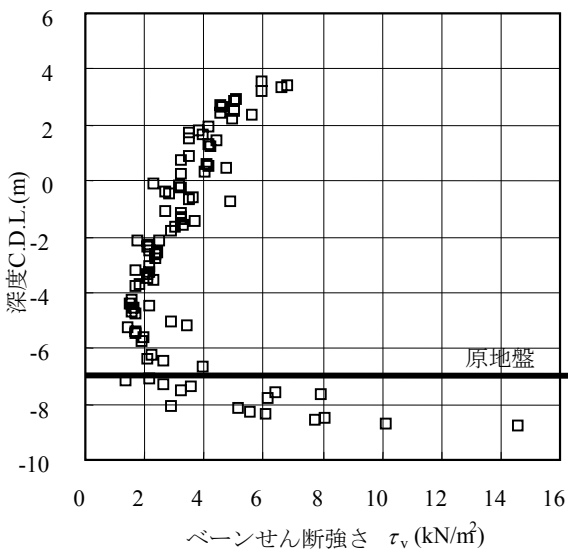


図3.4.10 ベーンせん断強さの深度分布

このような分布になる理由の一つとして、土質系遮水材と鋼管矢板およびU形鋼矢板との周面摩擦により圧密に寄与する有効応力が減って圧密が抑制されたことが考えられる。縦方向に細長い空間に粘性のあるものを充填した場合、壁面に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形鋼矢板で囲まれた細長い遮水隔壁内に充填した土質系遮水材と鋼材とが付着し、アーチ作用によって有効応力が低減して圧密が抑制され、含水比がさほど低下せず、せん断強さも増加しなかったと考えられる。しかしながら、土質系遮水材の粘着力は圧密度、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、周面摩擦による圧密の抑制量を定量的に評価することは難しい。

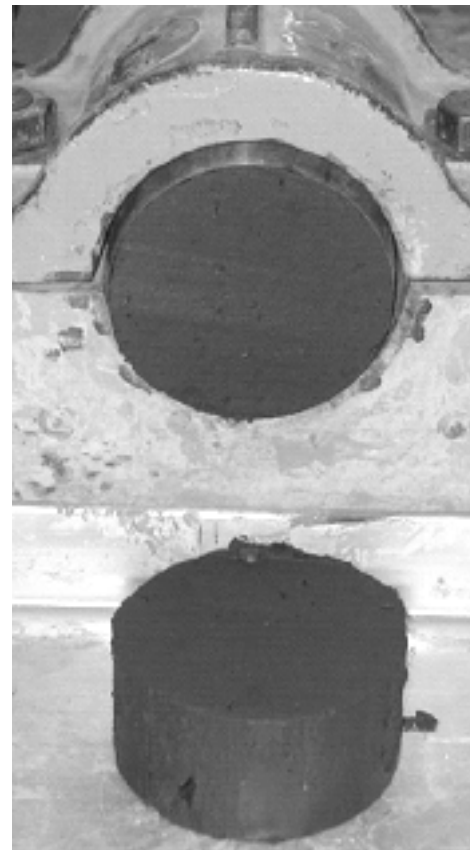


図3.4.11 試料の押し出し状況

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図3.4.11に示す。目立った空隙は見られず、密実に土質系遮水材が充填されている様子が見える。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、土質系遮水材の天端表面から0.3m程度の深さまで、乾燥によると思われるひび割れが認められたが、0.3m以深については空隙やひび割れはなく、すべて図3.4.11と同様に密実な状態

であった。

(2) 土質系遮水材の漏れ出し確認

図3.4.12はU形鋼矢板側面の平均水位 (C.D.L.+2.0m) 付近に開けた直径80mmの孔の状況である。孔は直径10mmから段階的に様子を見ながら直径80mmまで拡げていったが、遮水用隔壁内から土質系遮水材が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直径80mmもの孔が開くことはほとんどないが、仮に本遮水構造を適用した現場で矢板に孔が開いたとしても、本実験と同様に土質系遮水材が漏れ出すことはないと考えられる。なお、このとき孔から土質系遮水材を採取して測定した含水比は、 $w=105\%$ で、図3.4.9に示す含水比分布とほぼ一致する結果が得られた。



図3.4.12 U形鋼矢板に孔を開けた状況

3.4.3 溶接継手箱形鋼矢板壁

図3.4.13に、箱形鋼矢板の海側箱部の継手溶接部の切り出し部位 (幅約10cm) 上下端を撮影したマクロ写真を左右に並べて示す。気中部ならびに水中部の写真からは、良好な溶接状態であったことがわかる。干満帯の写真は見かけ上良好な溶接状態といえないが、遮水性能上は全く問題ないものであった。

以上の観察結果より、溶接施工速度100mm/minを基本として施工した本実験では、溶け込み幅、溶接金属厚とも適切な状態であったと考えられる。なお、溶け込み幅、溶接金属厚については、溶接施工速度を変化させることでコントロール可能である。

錆については、干満による発生錆の影響を溶接金属も受けたと考えられる。そのため、実施工では、箱形鋼矢板打設後早めに溶接施工を行うことはもちろんのこと、溶接部にも適用可能な市販の錆止め塗料を塗布することが有効な対策として考えられる。

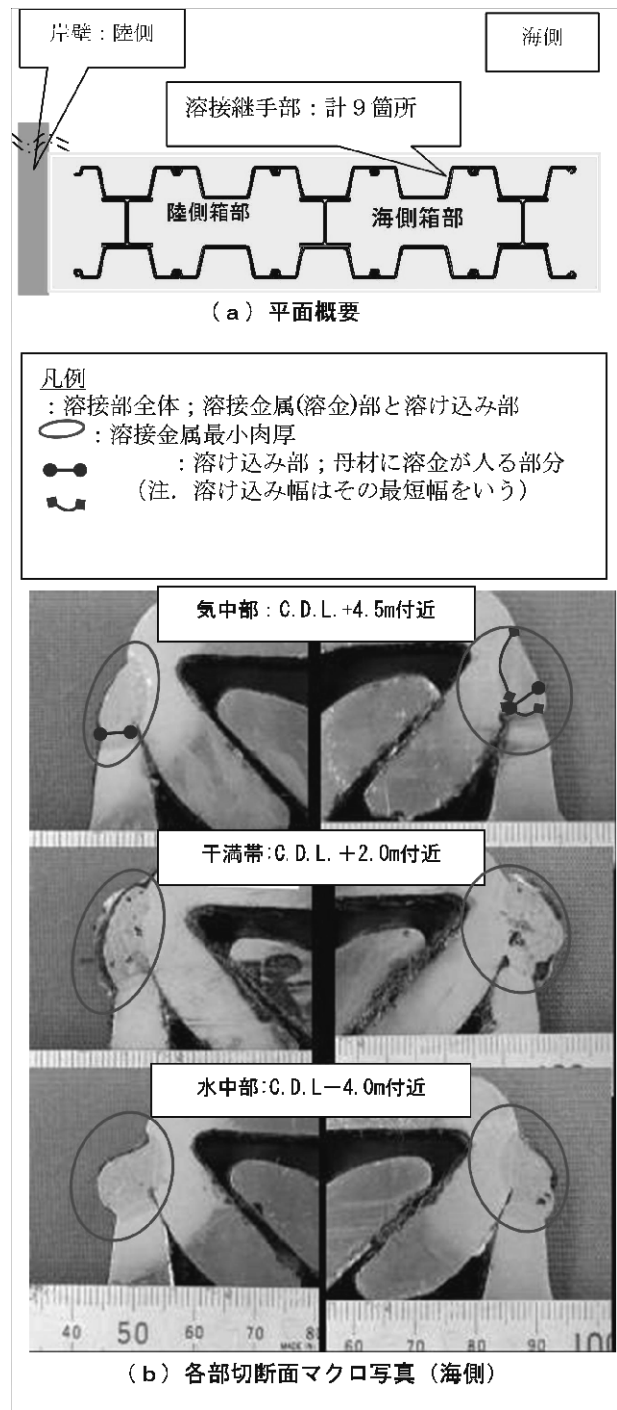


図3.4.13 溶接部切断面の表裏のマクロ写真

4. 適用性に関する考察

4.1 検討項目

本研究では、種々の遮水継手 (全7種類) について、実海域にて実物大の実験構造物を築造し、実際の海域環境での施工性の評価や遮水性能の評価を行ってきた。各遮水工は、使用している鋼材、遮水材料、施工方法も多岐



にわたる。したがって、地盤等の条件や、要求される性能に応じて、より適切な遮水工が選択されることになる。本章では、実海域実験で評価した遮水工の特徴をまとめ、諸条件に対する適用性を考察するとともに、本研究で対象としている遮水継手を活用して、フェイルセーフ機能を有する遮水構造について提案する。

鋼製遮水壁の適用性について整理するにあたり、ここでは以下の3つの視点から検討することとした。

#### ①遮水継手の適用性

本実験において用いられた各継手について、開発段階における課題とその解決の方向性に関する思想をまとめた上で、その適用性を以下の点に関して整理する。

- ・適用部位（海底面以浅，海底面以深，水深等）
- ・施工性（鋼製遮水壁の打設時に着目して，鋼矢板，鋼管矢板，箱形鋼矢板の3つのグループに分けて整理）
- ・コスト（鋼矢板，鋼管矢板，箱形鋼矢板の3つのグループに分けて整理）
- ・遮水性能
- ・変形への対応（施工時における波浪，完成時における地震等に起因した地盤変形への追従性）
- ・施工管理と維持管理

#### ②遮水材の適用性

各遮水壁に用いた遮水材について，遮水処理の施工工程（事前処理か後施工か），充填空間の大きさといった観点から選定されることを明確にした上で，その適用性を以下の点に関して整理する。

- ・変形追従性
- ・耐久性
- ・耐薬品性
- ・施工性

#### ③鉛直遮水構造の評価と適用性

フェイルセーフを考慮した構造を提案するにあたり，各社遮水継手工法の評価とはせず，各構造形式の適用性を下記のフェイルセーフ機能の観点から考察する。

- ・漏水経路上の遮水機構の数（二重遮水以上，組合せの考え方）
- ・検査およびモニタリング機能
- ・補修方法

## 4.2 遮水継手の適用性

### 4.2.1 鋼製遮水壁継手の課題と解決の方向性

実際の海域で実施した一連の遮水性能実験において検討した各遮水継手工法は，既往の鋼製遮水壁の適用性に関する課題を独自に解決しようとしたものである。以下

において，その「課題」を整理し，各継手がこれらに対してどのように対処・解決しようとしているのかについてとりまとめる。

まず，各工法の施工性や適用性が大きく異なる海底面以浅と以深とに分けてとりまとめる。鋼製遮水壁に関する現状の課題と，各工法が目指す解決の方向性について整理したものを表4.2.1に示す。

#### ①海底面以浅における課題

これまで，鋼矢板系の継手に対する一般的な遮水処理は，事前に膨潤性遮水材を塗布した上で海面上から打設する方法であった。また，鋼管矢板の継手に対する遮水処理は，護岸構築後に継手にモルタルを充填（グラウトジャケットを使用）することで遮水処理を行う方法であった。このような遮水処理方法の場合，以下に示すような遮水性能への懸念が課題として挙げられる。

課題1：施工途上に受ける波浪などの影響により，鋼矢板壁が動揺して継手に繰返すれ変形が生じ，これにより海底面以浅での遮水材が損傷を受けるのではないかと懸念がある（港湾空間高度化センター発刊の「管理型廃棄物埋立護岸設計・施工・管理マニュアル」<sup>35)</sup>では陸地化した後に矢板を打設することが推奨されている）。

課題2：地震等による地盤変形に対する追従性に関して，特にグラウトジャケットを用いた鋼管矢板の継手部の変形追従性が小さいことが懸念される（室内試験で，変形後の継手には遮水性能の低下傾向が見られた<sup>21)</sup>）。本研究の遮水性能実験において検討した遮水継手は，これらの課題に対して，以下のような検討と解決の方向性を提案している。

まず課題1の波浪による動揺に対して，膨潤性遮水材により遮水を施した鋼矢板については，実際の海域で実施した1年以上にわたる計測により，波浪の影響による損傷程度を評価した。一方で，溝付き継手を有する矢板では，矢板周辺の埋立てが完了して波浪の影響がなくなってから，シリコーンを後充填処理することで，波浪による遮水工への影響を回避する方法を提案している。また，溶接継手箱形鋼矢板では，矢板壁の変形時に継手のずれが少ないハット形状の土留め鋼材を用いるとともに，溶接により確実な遮水を目指し，継手部のずれを許さずに遮水壁の曲げ剛性を高くして変形を抑える提案となっている。鋼管矢板壁の場合には，断面剛性の高い鋼管を用いることにより矢板壁自体の変形を小さくすることや，曲げ変形の中立位置に継手を位置させて，ずれ変形を小さくするとともに，継手の処理を後施工としている。

次に，課題2の変形追従性に対しては，いずれも変形

追随性の高い遮水（充填）材を用いることで対応することを基本とし、1年以上の期間にわたって遮水性能を評価した後に実施した変形付与実験によりこれを評価した。一方で、鋼管矢板壁や箱形鋼矢板壁とすることで、遮水壁の曲げ剛性を高め、矢板壁自体の変形や、継手のずれ変形を小さくするとともに、ゴム弾性を利用した継手構造としたり（ゴム板付き継手）、変形追随性や自己充填性に優れた遮水充填材を用いたりすることで（土質材料充填継手、アスファルト充填継手）、遮水工の変形追随性を向上させる提案となっている。

②海底面以深における課題

海底面以深の部分では、従来から用いられている一般的な工法として、鋼矢板の場合には、事前に膨潤性遮水材を塗布し海面上から打設する方法が、また、鋼管矢板の場合には、護岸構築後に継手内にモルタルを充填することで遮水処理する方法が挙げられる。これらの処理方法では、以下に示すような遮水性能への懸念が課題となる。

課題1：鋼管矢板等の継手部の洗浄時に底部の原地盤を乱してしまったり、充填が不十分となってしまうりして、品質確保が難しいことへの懸念。

課題2：埋立に伴う側方流動や地震等による地盤変形へ

の追随性が十分であるかどうかの懸念。

本研究で実施した遮水性能実験において検討した遮水継手は、これらの課題に対して以下のような解決の方向を提案している。

課題1への対応としては、遮水材を塗布した鋼矢板やアスファルト充填継手鋼管矢板の場合、海底面以浅とは逆に継手部を事前処理とすることで、遮水材の品質確保を図り、事前に遮水材を塗布・装着・充填した鋼管継手を嵌合する方法を提案している。

また、土質系遮水材を用いた工法では、遮水材を後充填する継手空間を大きくすることで、継手内の洗浄状況の確認を通じた品質管理を可能にする構造となっている。

課題2への対応は、海底面以浅の場合と同様に、変形追随性の高い遮水（充填）材を用いることで対応することを基本として、変形付与実験によりその効果を評価した。また、曲げ剛性の高い鋼管矢板壁や箱形鋼矢板壁とすることで、矢板壁自体の変形や継手のずれを小さくするとともに、変形追随性を高めた継手構造としたり（ゴム板付き継手）、変形追随性や自己充填性に優れた遮水充填材を用いたり（土質材料充填継手、アスファルト充填継手）することで、変形追随性を向上させる工夫をしている。

表4.2.1 鋼製遮水壁の課題と解決の方向性

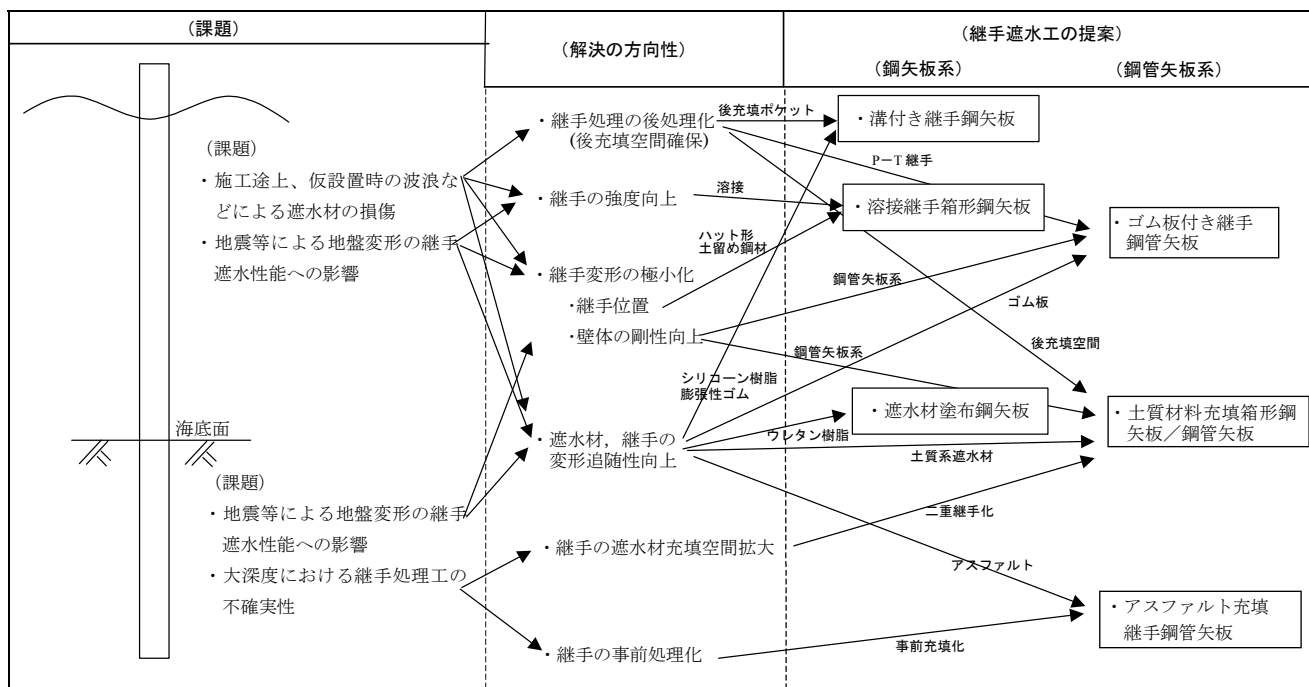


表4.2.2 鋼製遮水壁継手の適用性

継手種類	遮水材塗布継手	溝付き継手	ゴム板付き継手	アスファルト充填継手	土質材料充填継手		溶接継手
矢板種類	鋼矢板	鋼矢板	鋼管矢板	鋼管矢板	鋼管矢板	箱形鋼矢板	箱形鋼矢板
遮水材料	膨潤性遮水材	シリコン樹脂, 膨潤性ゴム	モルタルおよびゴム板	特殊アスファルト	土質系遮水材		溶接金属
継手の遮水処理の時期	事前処理(現地塗布)	事前処理(膨潤性ゴム), 後施工(シリコン注入)	後施工(モルタル充填)ただし, ゴム板は工場取付	事前処理(アスファルト充填)	後施工		後施工
適応部位	海底面以浅と海底面以深の両方に適用.	海底面以浅と海底面以深の両方に適用. ただし, シリコン樹脂は海底面以浅での適用が原則.	海底面以浅(海底面以深はゴム板なしでモルタル充填).	海底面以浅と海底面以深の両方に適用.	海底面以浅と海底面以深の両方に適用(海底面以深では掘削・排土が必要).		海底面以浅と海底面以深の両方に適用(海底面以深では掘削・排土が必要).
施工性(適応深度等)	一般鋼矢板に準じる <sup>46),47)</sup> . (最大矢板長さは20~30m)		一般鋼管矢板に準じる <sup>36)</sup> . (最大矢板長さは40~60m)			箱形鋼矢板の最大矢板長さは20~40m	
コスト(矢板長さとコストレンジは別図参照)	20~60千円/m <sup>2</sup>		40~120千円/m <sup>2</sup>			40~120千円/m <sup>2</sup>	
遮水性能	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実際の海域において, 10<sup>-7</sup>cm/sオーダーあるいはそれ以下の換算透水係数となり, 基準省令<sup>12)</sup>に示された構造基準を満足する遮水性を確認.</li> <li>・別途行われた室内試験では換算透水係数10<sup>-8</sup>cm/sオーダーの遮水性を確認<sup>11),48)</sup>.</li> <li>・過去に実大試験の実績があり, 換算透水係数10<sup>-7</sup>cm/sオーダーの遮水性を確認<sup>11),48)</sup>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実際の海域において, 10<sup>-7</sup>cm/sオーダーあるいはそれ以下の換算透水係数となり, 基準省令<sup>12)</sup>に示された構造基準を満足する遮水性を確認.</li> <li>・別途行われた室内試験では換算透水係数10<sup>-8</sup>cm/sオーダーの遮水性を確認<sup>10)</sup>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実際の海域において, 10<sup>-7</sup>cm/sオーダーあるいはそれ以下の換算透水係数となり, 基準省令<sup>12)</sup>に示された構造基準を満足する遮水性を確認.</li> <li>・別途行われた室内試験では換算透水係数10<sup>-8</sup>cm/sオーダーの遮水性を確認<sup>21),22),23)</sup>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実際の海域において, 10<sup>-7</sup>cm/sオーダーあるいはそれ以下の換算透水係数となり, 基準省令<sup>12)</sup>に示された構造基準を満足する遮水性を確認.</li> <li>・別途行われた室内試験では透水係数10<sup>-8</sup>cm/sオーダーの遮水性を確認<sup>21),36)</sup>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実際の海域において, 10<sup>-7</sup>cm/sオーダーあるいはそれ以下の換算透水係数となり, 基準省令<sup>12)</sup>に示された構造基準を満足する遮水性を確認.</li> <li>・遮水材単独での透水係数は10<sup>-7</sup>cm/sオーダー.</li> <li>・遮水材が乱されても自己修復により基準省令<sup>12)</sup>に示された構造基準を満足することを確認.</li> <li>・箱形鋼矢板および鋼管矢板の継手遮水と併用により二重あるいは三重の遮水が可能.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実際の海域において, 10<sup>-7</sup>cm/sオーダーあるいはそれ以下の換算透水係数となり, 基準省令<sup>12)</sup>に示された構造基準を満足する遮水性を確認.</li> </ul>	

<p>変形への対応 (施工時における波浪の影響)</p>	<p>・遮水材の弾性と膨潤性により繰返し変形に対応(実海域での1年以上にわたる計測において、台風の来襲に対しても高い遮水性を維持).</p>	<p>・シリコン樹脂は原則として周囲を陸地化後に後施工するため、波浪の影響はなし。 ・継手溝部に装填された膨潤性ゴムの弾性により繰返し変形に対応(実海域での1年以上にわたる計測において、台風の来襲に対しても高い遮水性を維持).</p>	<p>・遮水壁周辺を陸地化後に遮水継手を後施工するため、波浪による矢板変形の遮水継手への影響はなし。</p>	<p>・鋼管矢板の剛性により変形量を抑制。 ・充填アスファルトの弾性と中長期的には自己修復性により対応(実海域での1年以上にわたる計測において、台風の来襲に対しても高い遮水性を維持).</p>	<p>・遮水壁周辺を陸地化後に遮水材を後施工するため、波浪による矢板変形の影響はなし。</p>	<p>・箱形鋼矢板の剛性により変形量を抑制。</p>
<p>変形への対応 (完成後における地震や地盤変形の影響)</p>	<p>・遮水材の弾性と膨潤性により繰返し変形に対応(変形付与実験により確認). ・遮水材の膨潤性により、継手の変形で生じた隙間を再充填可能.</p>	<p>・シリコン樹脂の弾性により対応(変形付与実験により確認) ・継手間隔の変化には膨潤性ゴムの弾性と水膨張により対応(変形付与実験により確認). ・膨潤性ゴムは継手のせん断ずれに耐えるのに十分な強度を保有.</p>	<p>・鋼管矢板の高い剛性により変形を抑止。 ・漏洩防止ゴムの弾性により対応(変形付与実験により確認).</p>	<p>・充填アスファルトの変形追随性により対応(変形付与実験により確認). ・アスファルトの流動性により中長期的には自己修復(別途行われた室内試験で確認).</p>	<p>・土質系遮水材の変形追随性により対応(変形付与実験により確認). ・遮水材料が多少乱された後でも、自己充填性により遮水性回復.</p>	<p>・箱形鋼矢板の高い曲げ剛性により変形を抑止。 ・ハット形の土留め鋼材では変形時の継手ずれ力の発生が小さく、溶接部の破断を抑止.</p>
<p>施工管理と維持管理</p>	<p>・鋼矢板打設までの保管中に塗布部の養生環境(特に雨水や夜露による水濡れ)に注意が必要。 ・運搬時や打設時に塗布した遮水材がなるべく損傷しないよう配慮が必要.</p>	<p>・シリコン樹脂の圧送性と過剰な流動防止を両立させるため、特殊なポンプと正確な流量管理が必要。 ・シリコン樹脂注入前の継手溝部を利用して、膨潤性ゴムの遮水性能検査が可能。またシリコン樹脂を注入しない場合は、モニタリング孔および補修孔として利用可能.</p>	<p>・保管時やハンドリング時にゴムへの損傷を避ける配慮が必要.</p>	<p>・アスファルトの継手スリットからの漏洩に対する漏洩防止工(水中部)が必要。 ・施工後一定期間、遮水材天端面の低下がある(施工時にできた空隙が充填されることによる)ため、アスファルトの補充が必要。 ・遮水材天端の高さを確認することで構造的な欠陥の有無をモニタリング(漏れ出しによる遮水材天端面の沈下の把握).</p>	<p>・遮水材天端の保水管理が必要(上部工によるキヤッピング等により対応可能). ・モニタリング孔の設置により、遮水性能のモニタリングが可能。 ・遮水材天端の高さを確認することで構造的な欠陥の有無をモニタリング(漏れ出しによる遮水材天端面の沈下の把握).</p>	<p>・箱形鋼矢板隔壁内排水後に気中溶接するため、一次止水処理が必要。 ・溶接施工はトーチのウイーピングと溶接速度により溶接金属厚と溶け込み幅を管理。 ・箱形鋼矢板隔壁内で気中溶接するため、溶接時に漏水チェック可能。 ・箱形鋼矢板隔壁単位で水張り試験が可能であり、漏水があった場合はその場所を特定でき、再溶接による対処も容易。 ・CCDカメラにより、溶接出来形と漏水の有無を確認.</p>

## 4.2.2 鋼製遮水壁継手の適用性

4.2.1にて論じた各工法の課題解決への方向性を踏まえ、各遮水継手の適用性について表4.2.2に整理した。各項目について以下に記述する。

①事前処理／後施工ならびに海底面以浅／以深に関する適用性

継手の遮水処理を、事前処理するか後施工するかによって、各工法の適用性は大きく異なる。

事前処理とするものとして、鋼矢板を用いた工法では、膨潤性遮水材を塗布しておく方法、膨潤性ゴムを予め装着しておく方法（溝付き継手鋼矢板＋膨潤性ゴム）が、また、鋼管矢板を用いた遮水壁では、アスファルト充填継手鋼管矢板が挙げられる。

一方、継手の遮水を後施工とするものとして、鋼矢板を用いた遮水壁では、溝付き継手鋼矢板（シリコーン注入タイプ）が、鋼管矢板を用いた遮水壁では、ゴム板付き継手鋼管矢板や土質材料充填継手鋼管矢板が、また、箱形鋼矢板を用いた遮水壁では、土質材料充填箱形鋼矢板や溶接継手箱形鋼矢板が挙げられる。

後施工により遮水処理を行う継手については、海底面以浅部のみへの適用を対象としたものと、土質材料充填継手鋼管矢板および箱形鋼矢板のように海底面以深への適用も可能なものがある。

各遮水工の適用部位（海底面以浅／以深）と遮水継手部の事前処理か後施工かによって遮水継手を分類・整理すると表4.2.3のようにまとめられる。

表4.2.3 各遮水工の適用性（継手処理の時期と適用部位）

	遮水継手の事前処理	遮水継手の後施工
海底面以浅	遮水材塗布鋼矢板 溝付き継手鋼矢板（膨潤性ゴムタイプ） アスファルト充填継手鋼管矢板	溝付き継手鋼矢板（シリコーン注入タイプ） ゴム板付き継手鋼管矢板 土質材料充填継手鋼管矢板・箱形鋼矢板 溶接継手箱形鋼矢板
海底面以深	遮水材塗布鋼矢板 溝付き継手鋼矢板（膨潤性ゴムタイプ） アスファルト充填継手鋼管矢板	（モルタル充填継手鋼管矢板） 土質材料充填継手箱形鋼矢板・鋼管矢板

\*ただし、アスファルト充填継手鋼管矢板は、基本的に事前処理ではあるが、水中部がある場合は、アスファルト漏洩防止対策工が、後施工として必要となる。

\*土質材料充填継手箱形鋼矢板・鋼管矢板では、海底面以深部分への適用に当たっては、箱形鋼矢板および鋼管矢板の遮水材充填空間内部の土砂の排土洗浄が必要である。

上記4.2.1にて述べたように、事前処理を行う遮水継手については、波浪による動揺で特に海底面以浅での遮水材の損傷に注意を払う必要がある。この点については、

膨潤性遮水材および膨潤性ゴムを用いた実験における1年以上にわたる計測で、数回の大型台風来襲等の極めて厳しい条件下に置かれても、実験期間において遮水性能が維持されていたことを確認できており、遮水工としての適用性がある程度実証されたといえる。しかし、実験構造物は切梁による変形拘束条件下であったことを考慮すると、何らかの変形軽減対策との組み合わせが望ましい。このことは、矢板壁の変形のみならず、矢板壁自体の安定性の観点からも強く主張すべき点である。アスファルト充填継手では、鋼管矢板自体の剛性が高く、そもそも変形量は小さいが、1年以上にわたる遮水性能実験後に強制変位を与えた後でも高い遮水性能が維持されることを実証できた。また、アスファルトの変形追従性に加えて、流動性による自己充填性もあり、大幅なリスク低減が期待できる。

遮水処理を後施工とする工法では、品質確保に十分注意を払う必要がある。海底面以浅を対象とした工法のうち、溝付き継手鋼矢板（シリコーン注入タイプ）では、シリコーン樹脂の圧送性とタレ防止を両立させるため、特殊なフローポンプを用いることにより、正確な流量管理ができ、所要の継手品質の確保が可能であった。

ゴム板付き継手鋼管矢板では、モルタル打設時の表面沈下により、継手内漏出経路の有無のチェックが可能となり、施工時における品質管理がある程度可能である。

溶接継手箱形鋼矢板では、箱形鋼矢板内の隔壁空間を排水した状態で気中溶接することにより、カメラ撮影による溶接品質チェックと同時に漏水の有無を直接チェックすることによって、目視による品質管理が可能であることが、本工法の特徴であるといえる。

海底面以深にも適用できる工法として、遮水材充填空間を設けた鋼管矢板または箱形鋼矢板に土質系遮水材を充填する工法を提案しているが、充填空間が拡大されていること、さらには、充填空間の容積を精度良く把握できることから、充填量管理により確実な施工が可能である。

上記のいずれの工法も、1年間以上にわたる安定した遮水性能と変形追従性について、遮水性能実験および変形付与実験などによって実証されたといえる。

### ②適用可能深度とコストレンジ

鋼製遮水壁は、使用する鋼製矢板部材により適用深度に限界がある。地盤条件にもよるが、一般に、鋼矢板系の遮水壁は安価であるが適用深度の限界が浅く、鋼管矢板系の遮水壁の方が打設限界深度が深くなる。矢板長さとおよそのコストレンジについての概念図を図4.2.1に示す。ここでは、海底に遮水層と見なせる自然堆積粘土

地盤が存在している場合に海上施工するケースを想定してコストを算出している。砂層の下に遮水層があるために根入れが長くなったり、陸化後となるために土中への打設長が長くなったり、気象・波浪条件が厳しかったり、施工可能な時期等に制約があったりする場合には、コストレンジが上昇することもあり得るので注意が必要である。また、ここで示したコストレンジには、施工上のトラブルが生じたり、検査の結果十分な遮水性が無いと判断されたりした場合に、地盤改良等により補修を施して遮水性を確保するためのコストは含まれていない。

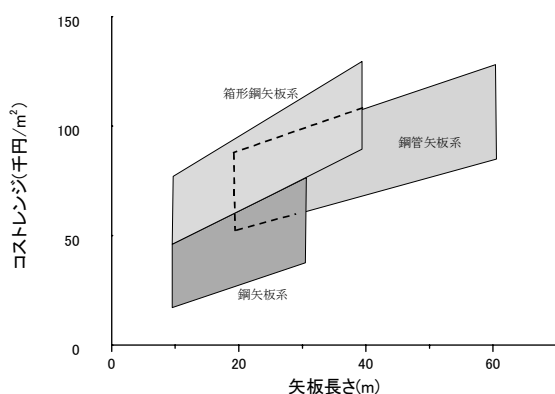


図4.2.1 各鋼製遮水壁の矢板長さと概略コストレンジ

各遮水工の適用性について、一般に、以下のように取りまとめられる。

- ・ 鋼製遮水壁単位面積あたりの建設費用は、鋼矢板を用いたものの方が鋼管矢板を用いたものよりも低い。
- ・ 箱形鋼矢板の適用深度は、鋼管矢板並みの曲げ剛性を確保できることから、鋼矢板よりも適用可能深度は深い。嵌合継手が二重にあるため施工がやや難しく、鋼管矢板よりも適用可能深度は浅い。
- ・ 箱形鋼矢板の建設費用は、単位面積あたりでは高めになるが、継手が二重になっているなど、後に議論するフェイルセーフ構造の構築という観点からは有用な面もあり、単純な初期費用の比較は意味がない場合もある。

### 4.3 遮水材の適用性

各遮水継手工法の遮水処理に用いられる遮水材について、表4.3.1にその適用性を整理した。

#### (1) 適用範囲と変形追従性

##### ① 矢板継手の遮水材

矢板の嵌合継手の数ミリメートルの隙間への充填材となるため、完成時には主に弾性的なゴム状の性質になる

遮水材を用いている。膨潤性のある材料を予め塗布したり、装着したりして継手を嵌合させ、水中での材料膨張により着実に隙間に充填するもの（膨潤性遮水材、膨潤性ゴム）や、硬化前に高い粘性を有する材料を高圧で注入し、着実に隙間に充填するもの（シリコン樹脂）など、高機能で遮水材料の使用量が少なく済む分、比較的高価な材料が適用されている。

変形追従性については、ゴム状の性質を有する材料の弾性変形により実現している。膨潤性を有する遮水材では、遮水材と鋼材の間のズレがあった場合でも、遮水材の膨張圧により鋼材と遮水材が密着し、水みちを塞ぐことができるので、かなり大きな変形にも追従できる。

##### ② 鋼管矢板継手の遮水材

継手の遮水材充填空間の隙間が百数十ミリメートルとなり、矢板継手より著しく大きくなることから、比較的安価で建設材料として多用されるモルタルやアスファルト等を用いている。

モルタルは、混練時には流動性が高く、施工性・充填性が良好であり、鋼管矢板打設後に後施工によって継手空間を確実に充填することができる。その一方で、硬化後は鋼材との剥離やひび割れのなどの恐れがあり、変形追従性は高くない。これを改善するため、漏洩防止ゴム板を鋼材とモルタルの間に挟むことにより、ゴムの弾性変形により変形追従性を高めている。

アスファルトは、高温では流動性が高いが、水中では冷却されて流動性が低下することから、鋼管矢板継手の空間への後施工での充填には不適である。そのため、アスファルトを予め継手空間に充填しておく方法が採用されている。アスファルト材料には十分な変形追従性があり、かつ、長期的な流動性に基づく自己修復性により、大きな変形にも対応できる。

##### ③ 箱形鋼矢板の充填遮水材（土質系遮水材）

充填空間が数百ミリメートルの大空間となり、充填に必要な遮水材の量が多くなるため、建設費用を抑えられる安価な材料が選択される。また、充填空間が大きく、モルタルより粘性の高い材料であっても充填できることなどから、海成粘土を主体とする材料を用いている。材料投入後の自重圧密により、多少の性能変化はあるものの、固化材料のように打設時の材料物性が経時的に著しく変化することなく、打設時の材料の品質がそのまま遮水工の性能に直結するという明快さがある。固化材を用いないため、ひび割れや鋼材との界面剥離などの懸念がなく、変形追従性に優れ、流動性による自己修復性も期待でき、大きな変形にも対応できる。

表 4.3.1 遮水材の適用性

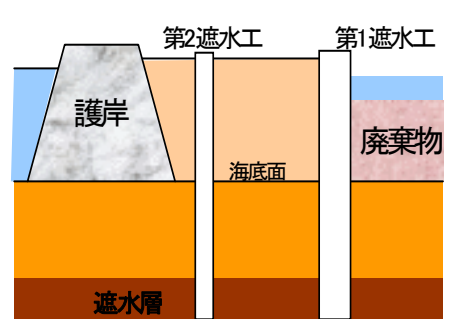
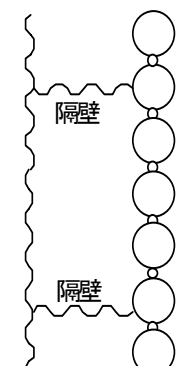
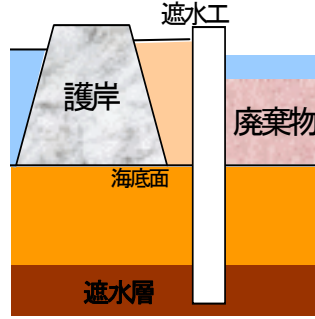
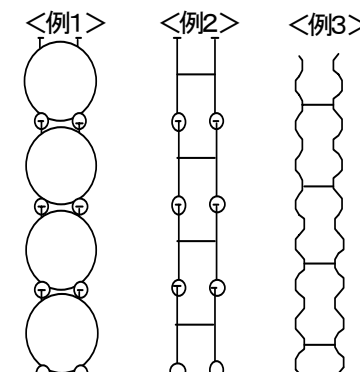
遮水材	事前処理	後施工	充填空間の大きさ※	適用遮水壁	特徴・特性				
					①変形追随性	②耐久性	③耐薬品性	④施工性	⑤その他
土質系遮水材	×	○	大	箱形鋼矢板、鋼管矢板（遮水用隔室を設けたもの）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・セメントなどの固化材を使用しないため、高い変形追随性。ひび割れや空隙発生を抑制。</li> <li>・変形追随性は主材料である粘土のコンシステンシーに期待。</li> <li>・せん断ひずみ20%までは遮水性能の低下がないことを三軸透水試験により確認<sup>49)</sup>。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・主材料の浚渫粘土およびこれに添加するベントナイトは劣化しにくい自然材料であり、長期耐久性に期待。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・管理型処分場の管理基準範囲（pH=5～9）の薬品であれば、遮水性能に影響なし。</li> <li>・pH=4～11（pH=4：硫酸水溶液、pH=7：水道水、pH=11：水酸化ナトリウム水溶液）の範囲では遮水材料の透水係数および微視構造に影響がないことを1年間以上にわたる透水試験、電子顕微鏡による観察で確認<sup>50)</sup>。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ポンプ圧送、トレミー打設など軟質土を対象とした通常の固化処理工法の設備・方法で施工が可能。水中作業の必要なし。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<math>10^{-7}</math>cm/sオーダーの透水係数に調整可能。</li> </ul>
アスファルト	○ (鋼管矢板継手の場合)	×	中～大	鋼管矢板	<ul style="list-style-type: none"> <li>・主に材料の粘性変形により対応。常温では粘弾性体で、変形性能に優れ、変形してもひび割れや空隙の発生なし。鋼材との密着性も良好。ただし、極低温では要注意。</li> <li>・粘度<math>6 \times 10^3</math> mPa·s (20℃)</li> <li>・スチフネス係数 <math>S=90</math> N/m<sup>2</sup> (20℃, 水中, 載荷時間30日)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・紫外線の作用のない環境では優れた耐久性。現位置において30年経っても材料劣化がないことを確認<sup>51)</sup>。水中溶存酸素による劣化促進試験では50年で物性変化なし(6mm程度薄膜)。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アスファルト種類に拘らず好ましい範囲pH=5～11(動燃評価試験<sup>52)</sup>)。</li> <li>・管理型処分場の管理基準範囲（pH=5～9）の薬品であれば、遮水性能に影響なし。ただし、ガソリンやトリクロロエチレン等の石油系有機溶剤には溶解するため不適<sup>53)</sup>。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・充填されたアスファルトは振動や衝撃に対する抵抗性が小さく、振動工法や打撃工法により、通常の鋼管矢板と同等の施工性。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アスファルトは温度により変形係数や流動性が変化する。寒冷地や高温地域ではアスファルト材料の配合調整で対応。</li> </ul>
モルタルとゴムの組み合わせ (ゴムは事前取付)	△ (ゴム)	○ (モルタル)	中～大	鋼管矢板 (海底面より上)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・漏洩防止ゴムによる弾性変形に対応。</li> <li>・モルタル自体の変形追随性は期待できず、ひび割れ・剥離抵抗性が小さいが、鋼材との界面にある漏洩防止ゴムの弾性変形により変形追随性を向上。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鉄筋を含まないモルタルは中性化、塩害、電食の問題がなく高い耐久性を期待。</li> <li>・ゴムに対して紫外線作用のない環境では、常温時で100年以上の寿命を期待（促進試験にて確認）。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・管理型処分場の管理基準範囲（pH=5～9）の薬品であれば、遮水性能に影響なし。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・打設時は通常の鋼管矢板と同等の施工性。継手処理の施工性も通常の鋼管矢板とほぼ同程度。</li> </ul>	
シリコーン樹脂	×	○	小	溝付き継手鋼管矢板	<ul style="list-style-type: none"> <li>・樹脂の弾性変形範囲で変形に対応。</li> <li>・周囲を陸化後に施工するなど、変形が終了してから施工。</li> <li>・デュロメータ硬さA30</li> <li>・引張強さ1.0MPa</li> <li>・切断時伸び150%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・紫外線、オゾン、日光などに対して劣化が少なく、物性が安定しており、長期間の繰り返し疲労にも優れた耐久性。</li> <li>・耐候性促進試験では10,000時間(約30年相当)経過後も性状にほとんど変化なし。</li> <li>・熱劣化促進試験結果に</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・シリコーン樹脂の基本骨格は結合エネルギーが大きいため、常温では濃度が10%以下の酸やアルカリの影響を受けにくく、物性にほとんど変化なし。</li> <li>・ガソリン、トルエンなどの有機溶剤に対しては注意が必要。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・シリコーン樹脂の圧送性と過剰な流動防止を両立させるため、特殊なポンプと正確な流量管理が必要。</li> </ul>	

						よれば、常温では50年以上ゴム弾性を維持。			
膨潤性遮水材 (不定形材)	○	×	小	鋼矢板	<ul style="list-style-type: none"> <li>・微小な変形に対しては遮水材のゴム弾性で、大きな変形に対しては膨潤により対応。</li> <li>・市販品の性状例： <ul style="list-style-type: none"> <li>・体積膨張率3～6倍</li> <li>・デュロメータ硬さA28</li> <li>・引張強さ4.0MPa</li> <li>・切断時伸び1000% (継手の変形量と遮水性能の定量的関係についてはデータなし)</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鋼矢板継手内のような閉鎖環境では十分な耐久性。</li> <li>・耐熱性については160℃まで安定。</li> <li>・凍結融解に対して引張強さに変化なし。</li> <li>・乾湿繰返しに対して引張強さに変化なし。</li> <li>・ウレタン結合の加水分解による引張強度低下の可能性。ただし常温では十分な耐久性<sup>54)</sup>。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・管理型処分場の保有水で想定される酸やアルカリ(pH=5～9)、化学物質に対し安定。</li> <li>・pHが12を超える強アルカリ水に対しては、樹脂の引張強さが低下。</li> <li>・廃棄物受入基準に示される物質のうち、トリクロロエチレン、ジクロロメタン、四塩化炭素を除く物質に対してポリウレタンは化学的に安定。上記3物質に対しても、受入基準の濃度であれば、十分な耐久性。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・比較的容易に塗布が可能。鋼矢板打設までの保管中に塗布部の養生環境(特に雨水や夜露による水濡れ)に注意が必要。</li> <li>・運搬時や打設時に塗布した遮水材がなるべく損傷しないよう配慮が必要。</li> <li>・塗布時の環境条件により、遮水材硬化物の品質が左右されるため、注意が必要。</li> </ul>	
膨潤性ゴム (定形材)	○	×	小	溝付き継手 鋼矢板	<ul style="list-style-type: none"> <li>・微小な変形に対してはゴム弾性で、大きな変形に対しては水膨潤により対応。沈下や大地震など継手の大幅なずれに対しては、ゴムと鋼材間のすべりに対応。</li> <li>・体積膨張率 約3倍</li> <li>・デュロメータ硬さA38</li> <li>・引張強さ7.8MPa</li> <li>・切断時伸び760% (継手の変形量と遮水性能の定量的関係についてはデータなし)。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・シールドトンネルのセグメント間遮水にも用いられており、常温で100年以上の寿命を期待。</li> <li>・0.3MPaの水圧で15年間遮水性能を維持(室内試験で確認)。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ゴム系基本材料である天然ゴムは塩やアルカリに対して高い抵抗性。吸水性材料であるウレタン樹脂も水質の影響が少ない性質。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・定形材のため仕上がりは小さなばらつき。打設までの水濡れや、打設時の損傷に注意が必要。</li> </ul>	
溶接金属	×	○	小	箱形鋼矢板	<ul style="list-style-type: none"> <li>・溶接によりずれを生じさせないことで対応。</li> <li>・ハット形状の土留め鋼材を用いるため、変形時の継手ずれ力は小さい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・本体構造である鋼材とほぼ同等。</li> <li>・東京湾埋立地において公表されている浸出水中の腐食速度0.026mm/yearを参考に溶接肉厚を設定。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・本体鋼製壁とほぼ同等。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・溶接施工はトーチのウィービングと溶接速度により溶接金属厚と溶け込み幅を管理。</li> <li>・CCDカメラによる施工管理により溶接不良を防止。</li> <li>・溶接による補修が可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・打設後、長期間にわたり溶接しない場合は干満帯に溶接可能防錆塗装が必要。</li> </ul>

※充填空間 大：数百ミリメートル以上の充填空間 中：百ミリメートル以上の充填空間 小：数ミリメートルから数十ミリメートルの矢板間の隙間

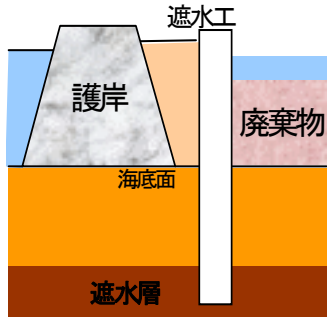


表4.4.1 鉛直遮水壁構造とフェイルセーフ機能

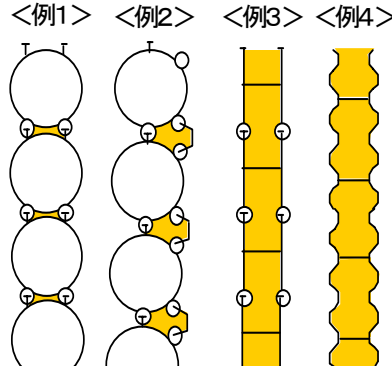
	遮水工の構造（複数の遮水機構）、護岸本体との一体化も可	特徴	漏水の検査・モニタリング	補修
二重矢板壁	<p>(遮水工断面例)</p>  <p>(遮水工平面例)</p>  <p>二重矢板壁によるフェイルセーフ構造</p>	<p>■独立した鉛直遮水工を二重に設置する工法。</p> <p>【長所】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>二つの遮水工が独立しているため、護岸の変形を伴うような異常時でも同時損傷する可能性は低く、リスク低減に期待。</li> </ul> <p>【短所】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>遮水工のモニタリングおよび補修には工夫が必要。</li> </ul>	<p>【検査】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○二重の矢板に挟まれた空間に透水性のある材料を投入し、内部にモニタリング孔を設置することにより、水位計測を通じて遮水壁全体としての検査は可能である。</li> <li>△一つ一つの継手の検査は不可能。</li> <li>△隔壁の設置間隔を狭めることにより、漏水位置の絞り込みはある程度可能。しかし、隔壁内での漏水位置の特定は困難。</li> <li>△遮水隔壁の施工は、実施方法の検討が必要（事前処置も必要）。</li> </ul> <p>【モニタリング】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○漏水検査と同様の方法にてモニタリングが可能。</li> </ul>	<p>△漏水継手位置の特定後、高圧噴射や低圧注入による地盤改良で継手近傍の土質を難透水性に改良。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○モニタリング孔を引き続き利用し、改良効果を確認。</li> </ul>
二重継手矢板壁	<p>(遮水工断面例)</p>  <p>(遮水工平面例)</p>  <p>二重継手矢板壁によるフェイルセーフ構造</p>	<p>■二重の継手を有する鋼製矢板を設置し、その継手に囲まれた狭い空間を、検査・モニタリングや補修用のスペースとして活用する工法。</p> <p>【長所】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>二重継手により囲まれた空間の水位計測により、一つ一つの継手部のモニタリングが可能であり、施工後の検査やモニタリングおよび補修が比較的容易。</li> </ul> <p>【短所】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>護岸の変形を伴うような異常時において、二重の遮水工が同時に損傷を受ける可能性。</li> <li>二重継手を同時に嵌合させる施工が必要であり、製品の製作および打設施工に高い精度が必要。</li> </ul>	<p>【検査】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○二重継手隔壁内の空間を空洞のまま、もしくは透水性の高い材料を投入して、水位計測により遮水性能の検査が可能。</li> <li>○継手隔壁空間一つ一つの水位計測ができるため、漏水位置の特定が可能。</li> </ul> <p>【モニタリング】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>△継手空間一つ一つで水位計測するとモニタリング井の数が膨大となる。労力やコストの面から、長期的なモニタリングには工夫が必要。モニタリング井の連結等の工夫により、モニタリング井の数を減らすことは可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○モニタリング空間への遮水材の充填により補修が可能。</li> <li>△遮水材の充填による補修後のモニタリングについては、別途モニタリング孔の設置が必要。</li> </ul>

遮水材を充填した二重継手矢板壁

(遮水工断面例)



(遮水工平面例)



遮水材を充填した二重継手矢板壁によるフェイルセーフ構造

■二重の継手を有する鋼製矢板を設置し、その継手に囲まれた空間に変形追随性のある遮水材を充填する工法。

【長所】

- 二重の継手機構と充填遮水材により、三重の遮水機構を一重の矢板において構築でき、漏水リスクを低減。
- 矢板継手の遮水機構と充填遮水材といった異種の遮水工の組合せとなっていることにより、種々の損傷要因への対応性が向上。

【短所】

- 護岸の変形を伴うような異常時において、三重の遮水機構が同時に損傷を受ける可能性。ただし、二重継手の場合よりも充填された遮水材の分だけ小さなリスク。
- 二重継手を同時に嵌合させる施工が必要であり、製品の製作および打設施工に高い精度が必要。

【検査】

△検査孔の設置に工夫が必要。また、継手隔壁内の空間一つ一つに検査孔を設置する必要があり、数量と手間が膨大。

【モニタリング】

○検査孔をモニタリング孔として利用可能。

△モニタリング井の数が膨大となることを避けるため、長期的なモニタリングには工夫が必要。モニタリング井の連結等の工夫をすれば、モニタリング井の数を減らすことが可能。

△遮水材によるモニタリング孔の閉塞等の懸念。

△漏水継手位置の特定後、高圧噴射や低圧注入による地盤改良で継手近傍の土質を難透水性に改良。

○遮水材料の機能が保持されている状態であれば、漏水速度の抑制により浸透時間が確保され、損傷から補修までの時間に余裕。

(表中で、○は長所を表す一方で、△は留意や工夫が必要な事項を表す。)

## (2) 耐久性

耐久性については、廃棄物処分場の耐用年数や重要性を考慮して、いずれも長期的な安定性に優れた材料が選定されている。土質系遮水材は元来が自然由来の安定した材料であり、優れた長期耐久性が期待できる。また、アスファルト、合成ゴム、ウレタン樹脂等の有機材料についても、鋼矢板や鋼管矢板内に充填された状態で使用されることから、紫外線や熱の影響が極めて小さく、長期の安定性が期待できる。いずれの材料も各々の使用条件に応じた劣化促進試験などにより、50年から100年以上の耐久性、すなわち、材料物性の変化がほとんどないことを期待できることが確認されている。

## (3) 耐薬品性

耐久性の観点からも、化学的に安定な材料が選定されており、いずれの遮水材も管理型廃棄物最終処分場の保有水で想定される酸、アルカリ (pH=5~9)、化学物質に対し安定であることが各種試験により確認されている。各遮水材について、注意を要する化学物質などを表4.3.1にまとめているが、いずれも化学物質の濃度が非常に高い場合に限って影響があるものの、管理型廃棄物処分場において問題となることは少ないと考えられる。

## 4.4 鉛直遮水構造の新しい概念とその適用性

### 4.4.1 まえがき

前節までは、実際の海域にて実験した鋼製遮水壁の継手単体としての性能および適用性について整理してきた。本節では、これらの遮水矢板および遮水継手を組み合わせることにより構築されるフェイルセーフ機能を備えた遮水壁構造について想定し、継手の適用性のみならず、遮水機能を有する構造体としての適用性について検討する。

基準省令<sup>12)</sup>に明示されているように、遮水シートを用いた底面遮水工の場合には、二重の遮水構造とすることが義務付けられるなど、二重遮水を基本とする遮水工の概念<sup>55),56)</sup>が導入されている。遮水工におけるフェイルセーフ機能としては、次に挙げる機能が考えられる<sup>2)</sup>。

- ・複数の遮水工を組み合わせた構成とすることで、一つの遮水工が機能不全となった場合でも、他方の遮水工が廃棄物の漏出を遮断することに期待するバックアップ機能
- ・遮水工が健全に機能していることを確認するための検査・モニタリング機能
- ・廃棄物の漏出が検出された場合に、その漏出を防止する対策工が用意されている補修機能

今後の廃棄物処分場の遮水工には、上記いずれかのフ

ェイルセーフ機能が備えられていることが期待される。以下では、上記のフェイルセーフ機能を有する鉛直遮水工を実現する構造を例示し、それぞれの構造がどのような仕組みでそれを実現しているのかを取りまとめる。

(表4.4.1参照)

### 4.4.2 フェイルセーフ機能を有する鉛直遮水構造

フェイルセーフ機能を有する鋼製鉛直遮水壁として、以下に挙げる3つの構造形式が考えられる。

#### ①二重矢板壁

独立した鉛直遮水工を二重に設置する構造。長所としては、二つの遮水工が独立しているため、設計時の想定を上まわる外力を受けて護岸に変状を来すような異常時にも、同時に損傷することは少ない。このため、一方は損傷しても他方は機能することが期待できるなど、バックアップ機能によるリスク低減という明快なコンセプトを有する。一方で、二重の矢板壁の内側の空間が広く、遮水機能の検査、モニタリングおよび補修には、工夫を要するという課題もある。

#### ②二重継手矢板壁

二重の継手を有する鋼製矢板を設置し、その継手に囲まれた狭い空間を、モニタリングや補修スペースとして活用する工法。継手により囲まれた空間の水位計測により、継手部の一つ一つについてモニタリングが可能であり、施工後の検査、モニタリングおよび補修が比較的容易にできるという利点を有する。一方で、設計時の想定を上まわる外力を受けて、護岸に変状を来すような異常時に、二重の遮水機構が同時に損傷を受ける可能性があり、バックアップ機能の面では完全な二重の遮水工とは言いがたい面もある。

#### ③遮水材を充填した二重継手矢板壁

二重の継手を有する鋼製矢板を設置し、その継手に囲まれた空間に変形追随性のある遮水材を充填する工法。二重の継手および充填遮水材によって、三重の遮水機構を一つの矢板壁において構築することができるため、漏水リスクがさらに低減される。一方で、二重継手矢板の場合と同様に、護岸の変形を伴うような異常時において、三重の遮水機構が同時に損傷を受ける可能性もある。ただし、継手の遮水機構と充填遮水材といった異種の遮水工の組合せとなっているため、バックアップ機能における漏水リスクは二重継手矢板壁の場合よりも少ないことが期待できる。

### 4.4.3 検査・モニタリング機能

二重矢板壁構造では、二重の矢板に挟まれた空間に透

水性のある材料を投入し、内部に計測孔を設置して、水位計測により遮水壁全体としての検査・モニタリングを行うことは可能であるが、空間が広いために感度が極めて悪い。また、全体的な評価となってしまう、一つ一つの継手の状態を把握することは難しく、異常があった場合に、漏水位置の特定は困難である。漏水位置を特定するためには、さらに細かく隔壁を設置することが必要となるが、隔壁を設置したとしても、やはり隔壁内での漏水位置の特定は難しい。また、遮水護岸構築後における隔壁の施工は、実施方法の詳細な検討が必要であり、事前処置も必要となることが想定される。二重継手矢板では、二重継手内の狭い空間（空洞のまま、もしくは透水性材料を投入）を利用し、水位計測により完成後の継手の遮水機能の検査が可能となる。継手空間ごとに水位計測するため、どの継手が漏水しているかの特定ができるといった長所がある。一方で、継手空間ごとに水位計測するためモニタリング井の数が膨大となり、長期的なモニタリングには工夫を要する。例えば複数のモニタリング井を連結する等の工夫をすれば、モニタリング数を減らすことは可能である。フェイルセーフの観点からすると、継手の全数を対象として精度良く検査・モニタリングができることは、明快な利点であるといえる。

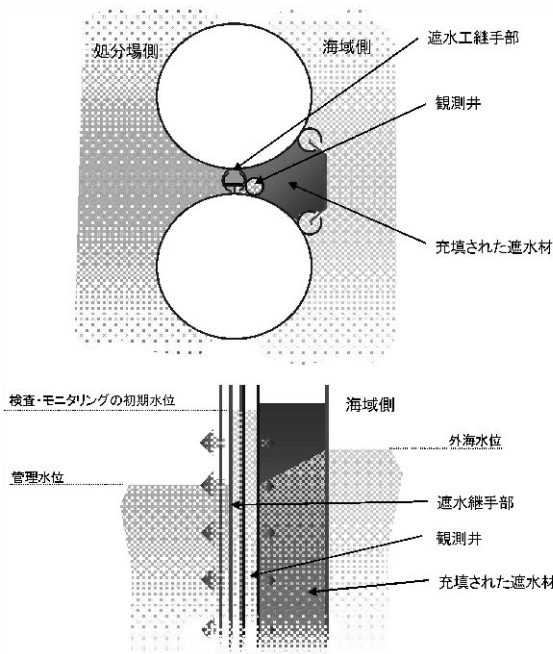


図4.4.1 遮水材を充填した二重継手矢板壁の場合のモニタリング孔の設置案

遮水材を充填した二重継手矢板壁については、二重継手内の空間に遮水材を充填してしまうため、検査・モニ

タリングを行うためには、別途モニタリング孔を設置する等の工夫を要する。図4.4.1に示すようなモニタリング孔の設置も一つの有効な方法として提案する。ただし、遮水材によるモニタリング孔の閉塞等の懸念もあり、モニタリング孔の設置にあたっては注意を要する。また、継手ごとにモニタリング孔を設置する必要があり、遮水護岸全体では数が膨大となるばかりか、設置の際に手間がかかることも考えられる。また、二重継手矢板壁の場合と同様に、継手空間ごとに水位計測することからモニタリング井の数が膨大となるため、複数のモニタリング井を連結する等の工夫により、モニタリング井の数を減らすことも可能である。一方で、遮水材を充填した二重継手矢板壁は、遮水材の充填前の状態は二重継手矢板壁と同じである。したがって、遮水材充填前の段階で、二重継手内の空間の水位計測により、継手の遮水性能の検査を行い、その確認が出来た後に遮水材を充填するという手順をとることで、遮水性の検査を実施することができる。

#### 4.4.4 補修方法

二重矢板壁構造では、漏水継手位置の特定後、高圧噴射や低圧注入による地盤改良で継手近傍の土質を難透水性に改良する補修方法が想定される。上でも述べたようにモニタリング孔による漏水位置の特定は極めて困難ではあるが、設置したモニタリング孔を補修後も利用することにより、引き続き改良効果を確認・モニタリングすることができる。

二重継手矢板壁では、モニタリング空間への遮水材の充填により補修が可能と考えられる。その際、補修後のモニタリングについては別途モニタリング孔の設置が必要である。モニタリング孔の設置については、上記の遮水材を充填した二重継手矢板壁の場合と同様の方法(図4.4.1)が有効であると考えられる。

一方で、溶接継手の場合には、モニタリング空間を利用して補修溶接を行い、その空間をモニタリング空間として継続利用できる。

遮水材を充填した二重継手矢板壁については、すでに継手空間が遮水材料によって閉鎖されているため、継手の漏水位置を特定後、高圧噴射や低圧注入による地盤改良で継手近傍の土質を難透水性に改良する方法の適用が想定される。また、遮水材料の機能が保持されている状態であれば、漏水速度の抑制、浸透時間の確保が可能であるので、損傷から補修までに時間の余裕があるといった利点も考えられる。

#### 4.4.5 あとがき

本節では、フェイルセーフ機能を有する遮水壁構造について、バックアップ機能、検査・モニタリング機能、補修機能の観点からとりまとめた。当然のことではあるが、各構造には長所短所があり、事業者がどのようなフェイルセーフ機能を重視するかどうかも、コスト面からの検討により、さまざまな構造が選択され得るものと考えられる。鋼矢板の種類や継手の種類も、地盤や水深などの建設条件により選択される。

また、上記で検討した三つの遮水構造を必要に応じて組み合わせる方法も有効であると考えられる。例えば、遮水壁の築造時は二重継手矢板壁にて構成し、各継手について水張り試験によって遮水性能検査を行い、所定の遮水性能が得られないものについてのみ継手空間に遮水材を充填するなどである。また、今後は、既に築造された遮水工にフェイルセーフ機能を付加するような改修も想定される。そのような場合には、二重矢板壁構造も有効な工法として検討されることになる。

#### 5. まとめ

本研究では、鋼矢板や鋼管矢板により構築された鋼製遮水壁の継手部の遮水性能を従来よりさらに高め、より信頼性の高い廃棄物埋立護岸を実現することを目的に開発された7種類の工法について、その施工性や遮水性能を確認するため、実際の海域(呉港)において実証実験を実施した。

各遮水工について、所要の性能を有するかどうか評価するための施設を設計・施工し、水張り試験を実施することによって、継手部の遮水性能を評価した。その結果、今回の実証実験に供された各遮水継手は、実海域においても基準省令<sup>12)</sup>に示された構造基準を十分に満足する遮水性能を実現できることが確認できた。また、各遮水工は1年間以上にわたり、時に厳しい自然環境に晒される同海域に存置して、遮水性能の経時的な変化を評価した。この間、高潮や高波により同海域周辺において甚大なる被害をもたらした2004年9月7日の台風18号など、度重なる台風の襲来にもかかわらず、1年経過後もその高い遮水性能を維持したことも確認できた。

さらに、地震時や施工時の地盤の変形に伴って遮水壁が変形することによる遮水性能への影響を評価することを目的として、鋼製矢板壁に油圧ジャッキなどにより強制変形を与えたり、腹起しの撤去により水圧差による変形を許したりして、実験施設において可能な範囲で遮水壁に強制変形を与え、遮水性能が変化するかどうかについて実験した。その結果、遮水性能に大きな変化はなく、

遮水工に求められる変形追随性についても十分な性能を有することが確認できた。

実際の海域におけるこれらの実験を通じて、現実に近い環境で実際に遮水工を施工して、十分な遮水性能を実現できることを確認した。また、施工性などの観点から、いくつかの課題が挙げられたが、いずれも解決策を見出しており、各工法とも実用に供することができる技術レベルに到達していることが確認できた。

以下に、各工法にて今回の実験により得られた知見をまとめる。

##### (1) ゴム板付き継手鋼管矢板壁

本遮水構造は、鋼管矢板のモルタル充填タイプの継手処理のうち、海底面以浅部分に一般的に用いられるグラウトジャケットに代わり、T継手に取り付けられたゴム板をP継手内面とモルタルの界面に挟むことで、遮水性能の向上を図ったものである。1年間の実験期間にわたって、遮水性能は基準省令<sup>12)</sup>に示された構造基準を十分満足することが確認できており、また、強制変形を与えた状態でも、十分な遮水性能を確保できていることが確認できた。

施工面では、ゴム板が露出しているため、保管時やハンドリング時に損傷してしまわないように注意を要するものの、吊り金具を用いたり、ゴム板の付いていない部分にワイヤを掛けたりすることにより、損傷を与えることなく施工できること、ゴム板下端を事前に斜めにカットすることによりスムーズに嵌合できること、ゴム板による摩擦抵抗は軽微であり、地盤への打込み性は、通常の鋼管矢板とほぼ同等であることなどが確認できた。

ただし、実験施設の海底地盤が軟弱であったこともあり、ウォータージェットによる継手内洗浄時に海底面付近の地盤が乱され、一部の継手では、継手内のモルタルが下部から漏れ出して打ち上がらなかったために、ゴム板に囲まれた空間にさらにグラウトジャケットを併用してモルタル打設を行った。これらの継手に囲まれた観測ポケットにおいても十分な遮水性能が確認できたことから、グラウトジャケット併用の施工法を採用したとしても、必要な遮水性能を確保できることが確認できたことは、有益な知見であるといえる。

##### (2) アスファルト充填継手鋼管矢板壁

本遮水構造は、鋼管矢板のP-T継手のP継手内部に工場であらかじめアスファルトを充填させておくことで、後処理による継手の遮水処理を省略することができ、深部を含む継手全長の遮水性能の向上を図った工法である。本継手においてもゴム板付き継手と同様に、1年間の実験

期間にわたって、遮水性能は基準省令<sup>12)</sup>に示された構造基準を十分に満足することが確認できた。また、強制変形を与えた状態でも、十分な遮水性能を確保できていることが確認できた。

施工面では、アスファルト充填継手が施工上の抵抗となることなく、スムーズに施工できており、地盤への打込み性は、通常の鋼管矢板とほぼ同等であることなどが確認できた。一方で、保管時に直射日光によって鋼管矢板が高温となり、目張りの粘着テープが剥がれ、アスファルトが一部漏洩するトラブルがあった。また、打設後にP継手のスリットよりアスファルトが軟弱地盤内に想定以上に漏れ出すといった現象も発生した。保管時にシートで覆うなどして温度管理をしたり、漏洩防止の粘着テープを耐熱性のものにしたしる必要があること、矢板打設後のアスファルト漏洩防止工を、地盤内への漏洩も考慮して施す必要があることなど、実施工に向けて有用な知見が得られたといえる。

本継手では、施工直後から遮水性能が発揮されているため、本実験では、土質系遮水材による底面遮水を施す前に、潮汐に伴う動水勾配によって海底面の軟弱地盤に水みちができてしまった。その漏水を止めるために試行錯誤的に様々な手法を試みた。最終的には、逸泥防止材を混入した加重泥水を利用することで、漏水を止めることができた。このことから、鋼製矢板の根入れ部に水みちができることについても十分に配慮することの重要性を再認識させられた。一方で、今回用いた加重泥水による補修方法は、二重継手矢板壁の漏水時の補修等にも適用可能であると考えられ、類似施設の補修方法として有益な知見が得られたといえる。

### (3) 土質材料充填継手箱形鋼矢板壁

本遮水構造は、箱形鋼矢板壁の隔壁内に浚渫粘土を原料土とする土質系遮水材を充填したものである。今回の実証実験の計測結果から、箱形鋼矢板継手部に遮水処理をしていないにも拘らず、実験をした1年以上の期間にわたり基準省令<sup>12)</sup>に示された構造基準を十分に満足する遮水性能を実現できることが確認できた。

実験期間中には、実海域で施工した土質系遮水材の充填性や材料特性を確認するため、隔壁内に打設された土質系遮水材のサウンディングやサンプリングを行った。サンプリングでは、掘進した際にウォッシュボーリングにより遮水材料の一部が噴き上がるなど、乱れを与える時があったにも拘らず、初期の遮水性能より若干は低下したものの、基準省令<sup>12)</sup>に示された構造基準を十分に満足する遮水性能が保持されていた。また、遮水壁に強制変形を付与した後にも、遮水性能の低下は見られなかつ

た。このようなことから、土質系遮水材を用いた本構造が、十分な変形追随性を確保した優れた遮水構造であることが確認できたといえる。

本実験では、土質系遮水材による遮水効果を評価することが目的であったため、箱形鋼矢板継手部は未処理であったが、実際の施工においては膨潤性遮水材により継手に遮水処理を施すことになるので、さらに高い遮水性能が実現できると考えられる。

今回の実験では、遮水性能や施工性の確認だけでなく、前述のサンプリング等により土質系遮水材の品質についても確認した。施工は、一般的な施工機械を用いて行ったが、特に問題は発生せず、遮水材の品質も十分に確保できていたことが確認できた。

### (4) 土質材料充填継手鋼管矢板壁

本遮水構造は、鋼管矢板の継手部にU形鋼矢板を取り付けることでできる空間に土質系遮水材を充填する遮水構造であり、土質系遮水材で遮水性能を確保する点では、前述の土質材料充填継手箱形鋼矢板壁と同様である。

1年間の実験期間にわたって、遮水性能は基準省令<sup>12)</sup>に示された構造基準を十分に満足することが確認できた。前述の土質材料充填継手箱形鋼矢板壁と同様に十分な遮水性能を実現できるといえる。

しかしながら、施工中に、グラウトジャケットの根入れ不足が原因となって、潮汐に伴う内外水位差により原地盤がヒービングを起こして底面の軟弱層に水みちが発生するというトラブルが生じた。今回の実験では注入系の地盤改良によって根入れ部の補修を行い、所要の遮水性を実現することができた。

今回のトラブルの原因は、グラウトジャケットの根入れ不足と、潮汐に伴い内外水位差が生じてしまったことである。遮水基盤の状況を考慮して、十分な根入れ長の確保や施工方法を検討すること、ならびに施工中の内外水位差を極力低減させるために護岸に開口部を確保しておくことが重要であることを認識した。このような事項の重要性を再認識したことに加え、根入れ部周辺の遮水基盤の補修に注入系の地盤改良が有効であることを確認できたことは有益であった。

### (5) 溶接継手箱形鋼矢板壁

本遮水構造は、箱形鋼矢板に一次止水を施して内部空間内を排水し、気中状態において継手を遮水溶接する工法であり、実海域においても施工可能であることが示された。また、溶接機に取り付けられたCCDカメラにより、溶接時ならびに溶接終了時の溶接状況を確認することが可能である。この工法の大きな特徴として、内部に空間を有することによって成立する工法であることが挙げら

れる。この内部の空間を遮水性能の検査・モニタリングに利用することや、内部空間に遮水材を充填することで、フェイルセーフ機能を付加することも可能である。

実験構造物築造後、約1年半にわたり遮水性能の評価を行った結果、基準省令<sup>12)</sup>に示された遮水壁に要求される構造基準を十分満足することを確認できた。また、実験の最終段階において、矢板壁に強制的に変形を付与することによって、変形追随性の評価を試みたが、本遮水構造の剛性が高いため、大きな変形は発生せず、その結果、変形付与前後で遮水性能の変化は見られなかった。剛性の高さが継手変形を抑制し、大きな外力を受けても遮水性能を維持できるといった本構造の特徴を示す結果が得られた。

#### (6) 遮水材塗布鋼矢板壁

本遮水構造は、U形鋼矢板の継手部に特殊ポリウレタン樹脂の膨潤性遮水材を塗布することにより、鋼矢板壁の遮水性能の向上を図ったものである。1年間の実験期間において、遮水性能は基準省令<sup>12)</sup>に示された構造基準を満足することが確認できた。また、腹起しの一部を撤去して潮汐に伴う変形量を増大させた状態でも、十分な遮水性能が維持されることが確認できた。

施工面では、実験施設近傍の海底地盤が軟弱であったこともあり、硬い地盤の場合に打設時に強い振動を与えることによって懸念されるような、継手同士が擦れて遮水材を損傷してしまうことが遮水性能に与える影響については評価できなかった。一方、瀬戸内海の特徴である大きな潮汐による繰返し変形に対しては、遮水性能の低下は見られず、また度々見舞われた台風による波浪に対しても遮水性能の低下がないことが確認できた。実海域による実大実験を実施したことによって、遮水性能を評価できたことの意義は大きいといえる。

#### (7) 溝付き継手鋼矢板壁

本遮水構造は、U形鋼矢板の爪底部に溝（ポケット部）を設け、打設前に膨潤性ゴムを取り付けるか、打設後にシリコン樹脂を注入することにより、鋼矢板壁の遮水性能の向上を図ったものである。1年間の実験期間にわたって、遮水性能は基準省令<sup>12)</sup>に示された構造基準を満足することが確認できた。また、実験の最終段階において腹起しの一部を撤去し、変形量を増大させた状態でも、十分な遮水性能を確保できることが確認できた。

施工面では、遮水材塗布鋼矢板に比べると建て込み時の継手抵抗がやや大きく、強引に嵌合させると膨潤性ゴムの一部が損傷したり、溝部から脱落したりする問題が発生した。しかし鋼矢板を精度良く鉛直にして建て込み、グリースで抵抗を減らす等の工夫を施すことにより、問

題なく施工できることを確認できた。またシリコン樹脂充填においては、鋼矢板打設から注入作業までの期間に、ポケット部が錆や生物付着により塞がれる事が懸念された。このため、溝部にPC鋼棒を挿入しておき、シリコン樹脂注入直前にこれを引き抜くことを試みたが、この方法により問題なく施工できることを確認できた。シリコン樹脂の注入は、時間当たりの吐出量をコントロールして充填量を管理することにより、隙間を生じさせることなく、密実に継手内に充填できることを実証できた。

これらの実験結果を踏まえて、各遮水工の適用性について整理した。各遮水工の適用部位（海底面以浅か海底面以深か）や遮水処理を施す時期（事前処理か後施工か）による分類、さらには適用深度とコストレンジを明らかにするとともに、変形追随性への対処方法を明確にすることで、各遮水工の特性を明確にした。また、各遮水工に用いられている遮水材について、変形追随性、耐久性、耐薬品性、施工性、その他注意事項を整理してとりまとめた。これらの資料が、地盤条件や環境条件に対応した遮水工の選定のために役立つことを期待する。

基準省令<sup>12)</sup>に示された構造基準を満足するだけの最小限必要な遮水機能にとどまらず、バックアップ機能、検査・モニタリング機能、補修機能といったフェイルセーフ機能などを考えたときに、各遮水継手を組み合わせ、どのような構造を選定したら何が実現できるのかなどについて、検討を加えた。二重矢板壁、二重継手矢板壁、さらには継手空間内に遮水材料を充填した二重継手矢板壁について、検査・モニタリング・補修などの観点から、実現できる遮水性能を整理した。これらの資料についても、地盤条件や環境条件を考慮して、事業者としてどのようなフェイルセーフ機能を取り入れた遮水護岸を構築すべきなのか、護岸構造の形式選定のための一助となることを期待する。

## 6. おわりに

陸水の流れを考えたとき、最下流に位置する海面処分場は地下水汚染の可能性が極めて低い。しかし、広大な海による希釈効果に頼るのではなく、遮水と浄化・安定化といった、処分場として要求される機能を備えるべきである。本文では、海面処分場の鋼製遮水壁の現状とその課題を明確にした上で、課題を解決しうる新しい鋼製矢板の継手の遮水技術について、実海域での実証実験結果について報告した。

安全性の高い処分場建設に対する期待が高まっており、

実海域実験により実証された確かな技術を開発・提案していくことは、技術者の使命でもある。今回の実証実験に供された各遮水継手は、実海域においても基準省令<sup>12)</sup>に示された構造基準を十分満足するものであり、施工性などの観点からいづれも実用に供することができることを確認した。

これらの遮水継手は、基準省令<sup>12)</sup>に示された構造基準を満足するという点で、遮水工としては十分な性能であるとも考えられるが、一重の遮水継手では、施工時に遮水性能の検査をしにくい。また、万一、遮水工が被災・損傷した場合に、一度失われた自然環境を取り戻すには膨大な費用と時間が必要になる。このような事態を避けるため、被災時にも被害を最小限に食い止める工夫も必要である。そこで、構造基準を単に満足するだけの最小限必要な遮水機能にとどまらず、検査・補修、さらにはフェイルセーフなどを考えたときに、各遮水継手を組み合わせ、どのような構造を選定したら何が実現できるのかなどについて、本文にて検討した。二重に継手部を設けることにより、遮水性能の検査やモニタリングできる点では他に優るメリットがある。しかしながら、被災時を想定したフェイルセーフを導入して二重の遮水を謳う場合には、標準断面図上では一重の遮水工であるが継手が二重に設けられている構造よりも、二重の遮水矢板とするなど標準断面図上でも二重の遮水構造となっている方が、「二重」が同時に損傷する可能性が低くなることになる。どういったフェイルセーフ機能に重点を置くか、また現地の条件、コストや施工性の観点からも、多様な選択肢が想定される。本文では、あくまで今回の実証実験に供された工法をベースとして検討を加えているが、遮水シートや地盤改良などの組み合わせも考えるとその選択肢はさらに広がる。このように幅広い工法上の選択肢を考えておくことは、処分場建設に必要な不可欠な関係者間の合意を形成する上で重要である。本文における検討が、これらの合意形成の一助となれば幸いである。

海面処分場の設計に当たっては、1998年に改正命令が示された総理府・厚生省令「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」（環境省の基準省令<sup>12)</sup>）に従うとともに、港湾施設の一部であることから、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」<sup>45)</sup>に基づいた施設になっていなければならない。「管理型廃棄物埋立護岸設計・施工・管理マニュアル」<sup>35)</sup>は、基準省令<sup>12)</sup>と港湾基準<sup>45)</sup>について、管理型廃棄物埋立護岸に関連した事項についてわかりやすく解説したマニュアル書となっている。なお、同基準ならびに同マニュアルは、本稿を執筆している現在、ほぼ同時進行にて改訂

作業中であり、近く、改訂版が刊行される予定となっている。

法的拘束力のある部分は「基準」だけであって、技術の開発や品質管理の余地はまだまだ技術者に対して課題として残されている。このことは、現在の技術が不十分であることを意味しているのではない。安全で信頼性の高い処分場を建設コストを縮減しながら達成するためには、すなわち、納税者の負担を軽減しながら環境保全に努めるためには、技術者の弛まぬ努力（技術開発と品質管理）が必要である。本文における研究成果の実務への反映とともに、さらなる研究・技術開発にも努力していきたい。そのことが、2000年に改正された港湾法の目的のひとつである「環境保全への配慮」へと繋がるものと信じている。

(2006年6月16日受付)

## 謝辞

今回の実海域における実証実験を実施するに当たっては、多くの方の支援や助言なしには完遂することはできなかった。本研究に関わったすべての方に感謝するとともに、そのご努力に敬意を表したい。特に、下記の方々には多大なる支援および助言をいただいた。

広島大学大学院土田 孝教授（前地盤・構造部土質研究室長）には、前職にて実海域での実験の必要性を主張され、同教授のご指導により今回の実験を開始するに至った。また実験の開始にあたっての種々の準備に奔走いただいた。その後、広島大学大学院に異動後も、実験の進捗の節目にて様々なご助言をいただいた。

国土交通省中国地方整備局および呉市港湾局の関係者の方々には、実験を実施した阿賀マリノポリス埋立工事中の海域を約2年間の長期にわたり使用することに対して、多大なる便宜を図っていただいた。

今回の実験は、港湾空港技術研究所および鋼管杭協会と民間4社（五洋建設、JFEスチール、住友金属工業、新日本製鐵）の共同研究により実施したものである。

五洋建設・大林組・大新土木JVの横山所長、山下所員はじめとする工事事務所の方々、ならびに五洋建設中国支店大原課長には実験施設の設計・施工の全般について種々のご助言やご提案・ご支援をいただいた。

鳥崎氏、池田氏（前鋼管杭協会技術委員）は、鋼管杭協会の技術委員として、実験の計画から施工管理、さらに実験結果の評価に至るまで多大なるご尽力をいただいた。



## 参考文献

- 1) 渡部要一・土田 孝・山田耕一・鶴飼亮行 (2003) : 海面処分場の特徴と変形追従性遮水材の開発, 土と基礎, Vol.51, No.8. pp.32-33.
- 2) 渡部要一 (2005) : 港湾地域における廃棄物処分施設の自然災害対策, 自然災害科学24-3, pp.221-226.
- 3) 石黒 健・白石基雄・海輪博之(1982) : 鋼矢板工法(上), 山海堂, 1982, pp.7-11.
- 4) 石黒 健・白石基雄・海輪博之(1982) : 鋼矢板工法(上), 山海堂, 1982, pp.389-395.
- 5) 荘司喜博・桑田政治・富田幸晴 (1982) : 鋼矢板壁の透水実験, 港湾技術研究所報告, 第21巻, 第4号, 1982, pp.41-82.
- 6) 山村和也・藤山忠彦・犬束昌生・二馬健次郎 (1964) : 鋼矢板の止水性に関する実験, 土木研究所報告, Vol.123, No.3, pp.53-66.
- 7) 久保浩一・村上 守 (1963) : 鋼矢板壁の透水性に関する一つの実験, 土と基礎, Vol.11, No.2, pp.25-31.
- 8) 古土井光昭・片山猛雄 (1971) : 残留水位測定調査, 港湾技研資料, No.155.
- 9) 福島徳良・近藤 茂 (1979) : 海面処分場とその水処理 中央防波堤外側処分場廃水処理場の実施計画例について, 都市と廃棄物, Vol.9, No.3, pp.37-45.
- 10) 岡 由剛・沖 健 (2003) : 鉛直遮水壁に用いる遮水鋼矢板継手部止水性の評価, 第5回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, pp.45-48.
- 11) 沖 健・鳥崎肇一・喜田 浩・吉田 節・坂口裕司・吉野久能 (2003) : 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発表論文集, pp.53-58.
- 12) 総理府・厚生省令 (1998) : 一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分に係る技術上の基準を定める命令, 1998改正.
- 13) 土屋正幸・島津晃臣 (1997) : 鋼管矢板工法の誕生と発展, 基礎工, Vol.25, No.1, pp.76-80.
- 14) 鋼管杭協会 (2002) : 鋼管矢板基礎 —その設計と施工—, pp.1-3.
- 15) 脇黒和彦・富永眞生・新村和規 (1970) : 鋼管矢板ウェル工法の溶鋸炉基礎への実施例, 川崎製鉄技報 Vol.2, No.3, pp.84-91.
- 16) 瀬渡哲朗 (1990) : 鋼製止水壁の施工例, 基礎工, Vol.18, No.11, pp.57-61.
- 17) 鶴味一松 (1993) : 南本牧埋立工事における大径鋼管矢板の設計と施工, 基礎工, Vol.21, No.11, pp.106-113.
- 18) 佐々木俊祐・藤山三千夫 (1979) : 東京港中央防波堤外側廃棄物処理場護岸の施工, 建設の機械化, pp.27-33.
- 19) 中村修吾・高橋道夫 (1978) : 鋼管矢板締切りによる基礎コンクリートの施工 九州横断自動車道・東大川橋, 基礎工, Vol.6, No.9, pp.52-61.
- 20) 小粥康夫・斎藤 恂・尾崎 明・源波修一郎 (1972) : 仮締切り兼用鋼管矢板井筒工法の施工 (支保工事, 止水, 切断) 実験, 土木学会第27回年次学術講演会講演集, III, pp.433-436.
- 21) 木下雅敬・沖 健・岩倉 肇・麻川川学・鳥崎肇一・吉野久能 (2001) : 鋼管矢板継ぎ手の遮水性能評価実験, 第36回地盤工学研究発表会講演集, pp.2535-2536.
- 22) 斎藤 勲・吉田 節・岡 由剛・木下雅敬・野路正浩・吉野久能 (2001) : 鋼管矢板継手の遮水性能評価試験, 土木学会第56回年次学術講演会講演集, V, pp.926-927.
- 23) 岡 由剛・斎藤 勲・吉田 節・木下雅敬・喜田 浩・坂口裕司・吉野久能 (2002) : 廃棄物最終処分場向け鋼管矢板継手の施工性確認試験, 土木学会第57回年次学術講演会講演集, VII, pp.277-278.
- 24) 稲積真哉・木村 亮・嘉門雅史・三津田祐基・田村博邦・萩原敏行 (2005) : 「H-H継手を施した連結鋼管矢板の遮水性能—海水環境における透水試験—, 第40回地盤工学研究発表会講演集, pp.2549-2550.
- 25) 木下雅敬・岡 由剛・喜田 浩・吉田 節 (2003) : 海面処分場における鋼(管)矢板を用いた遮水工について, 土と基礎, Vol.51, No.8, pp.34-36.
- 26) 渡部要一・山田耕一・吉野久能・柿本龍二・鳥崎肇一・沖 健・喜田 浩 (2004) : 鋼(管)矢板による管理型廃棄物埋立護岸の鉛直遮水工に関する実証実験, 第6回環境地盤工学シンポジウム論文集, pp.235-242.
- 27) 鳥崎肇一・岡 由剛・喜田 浩・柿本龍二・渡部要一 (2004) : 漏洩防止ゴム板付き継手を持つ鋼管矢板壁の実海域遮水性能確認試験, 第39回地盤工学研究発表会講演集, pp.2289-2290.
- 28) 木下雅敬・鳥崎肇一・瀬尾 彰・渡部要一 (2004) : アスファルトを充填した鋼管矢板継手の実海域遮水性能確認試験, 第39回地盤工学研究発表会講演集, pp.2293-2294.
- 29) 山田耕一・鶴飼亮行・伊野 同・土田 孝・渡部要一 (2003) : 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.
- 30) 上田正樹・伊野 同・山田耕一・吉野久能・渡部要

- 一 (2004) : 土質系遮水材を用いた鋼管矢板継手の実海域遮水性能確認試験, 第39回地盤工学研究発表会講演集, pp.2295-2296.
- 31) 池田昌弘・喜田 浩・渡部要一 (2004) : 継手部に溶接を用いたBOX型鋼矢板壁の実海域遮水性能確認試験, 第39回地盤工学研究発表会講演集, pp.2291-2292.
- 32) 沖 健・木下雅敬・池田昌弘・渡部要一 (2004) : 継手部に水膨潤性遮水材を塗布した鋼矢板壁の実海域性能確認試験, 第39回地盤工学研究発表会講演集, pp.2287-2288.
- 33) 岡 由剛・沖 健・小澄省三・渡部要一 (2004) : ポケット付き継手を有する遮水用鋼矢板壁の実海域遮水性能確認試験, 第39回地盤工学研究発表会講演集, pp.2285-2286.
- 34) 渡部要一・鵜飼亮行・伊野 同 (2003) : 管理型廃棄物埋立処分場の遮水性能, 土木学会第58回年次学術講演会講演集, VII, pp.329-330.
- 35) 港湾空間高度化センター (2000) : 管理型廃棄物埋立護岸設計・施工・管理マニュアル, 運輸省港湾局監修.
- 36) 木下雅敬・大貫博史・赤司有三・鳥崎肇一・山本正弘 (2003) : アスファルトを事前充填した鋼管矢板の遮水継手, 第38回地盤工学研究発表会講演集, pp.2385-2386.
- 37) 上野一彦・山田耕一・羽田 晃・土田 孝・渡部要一・長江泰史・桑江蒸二 (2000) : 海面における管理型廃棄物の遮水工法の開発 その1 (変形追随遮水材料の開発), 第37回地盤工学研究発表会講演集, pp.2427-2428.
- 38) 羽田 晃・山田耕一・上野一彦・土田 孝・渡部要一・阿部勝久 (2002) : 海面における管理型廃棄物の遮水工法の開発 その2 (変形追随性の確認), 第57回年次学術講演会講演集, VII, pp.273-274.
- 39) 渡部要一・土田 孝・斉藤邦夫・山田耕一・上野一彦 (2002) : 粘土系遮水材料における微視構造と透水係数の関係, 第47回地盤工学シンポジウム論文集, pp.381-388.
- 40) 上野一彦・山田耕一・伊野 同・渡部要一 (2004) : 変形追随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.
- 41) 上野一彦・山田耕一・上田正樹・渡部要一 (2005) : 変形追随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), 海洋開発論文集, Vol.21, pp.855-860.
- 42) (社) 日本埋立浚渫協会 (2001) : 廃棄物海面処分場の施工要領 (案), pp.2-12~2-18.
- 43) (社) 日本埋立浚渫協会 (2001) : 廃棄物海面処分場の施工要領 (案), pp.2-26~2-27.
- 44) 気象庁 : 気象統計情報, 気象観測 (電子閲覧室), <http://www.data.kishou.go.jp/etm/index.html>
- 45) 日本港湾協会(1999) : 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 運輸省港湾局監修.
- 46) 岡 由剛・沖 健・小澄省三・吉原弘栄 (2005) : ポケット付継手を有する遮水用鋼矢板のレキ地盤への適用, 第40回地盤工学研究発表会講演集, pp.2591-2592.
- 47) 岡 由剛・沖 健・小澄省三 (2006) : ポケット付継手を有する遮水用鋼矢板の圧入工法による打設, 土木学会第61回年次学術講演会講演集, (投稿中).
- 48) (社) 日本埋立浚渫協会 (2001) : 廃棄物海面処分場の施工要領 (案), pp.2-22~2-23.
- 49) 上田正樹, 今井五郎 (2005) : 三軸透水試験による粘土系遮水材料とセメント系固化処理土の遮水性能比較, 第40回地盤工学研究発表会講演集, pp.2557-2558.
- 50) 上野一彦, 椎名貴彦, 渡部要一, 仁井克明, 上田正樹 (2004) : 粘土系遮水材料の化学物質耐久性, 第39回地盤工学研究発表会講演集, pp.2315-2316.
- 51) 浜田敏明・北山 斉・岡 良・中井 章・若杉利彦 (2001) : 海水中における摩擦増大用アスファルトマットの長期耐久性 (30年) について, 海岸工学論文集, 第48巻, pp.1001-1005.
- 52) 星野忠也・山本正男・宮尾英彦・水野隆吉・佐々木実・岩崎泰三 (1973) : 放射性廃棄物のアスファルト固化処理アスファルト固化体の安全性評価試験, 動力炉・核燃料開発事業団公開資料TN-841-72-17.
- 53) (社) 日本埋立浚渫協会 (2001) : 廃棄物界面処分場の施工要領 (案), pp.2-19~2-20.
- 54) 岡 由剛・鳥崎肇一・喜田 浩 (2004) : 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回年次学術講演会講演集, VII, pp.623-624.
- 55) 嘉門雅史・乾 徹・遠藤和人・伊藤圭二郎・勝見 武 (2001) : 遮水シートの損傷を考慮した廃棄物処分場遮水工の性能評価, 第4回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, pp.273-278.
- 56) 嘉門雅史・乾 徹 (2002) : 管理型廃棄物処分場の地盤工学的問題と対策, 土木学会論文集, No.701/III-58, pp.1-15.

港湾空港技術研究所資料 No. 1142

2006. 9

編集兼発行人 独立行政法人港湾空港技術研究所

発行所 独立行政法人港湾空港技術研究所  
横須賀市長瀬3丁目1番1号  
TEL. 046(844)5040 URL. <http://www.pari.go.jp/>

印刷所 昭和情報プロセス株式会社

Copyright © (2006) by PARI

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of PARI.

この資料は、港湾空港技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は港湾空港技術研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。