

ポケット付き鋼矢板「Jポケットパイル[®]」の開発と 廃棄物処分場向け遮水壁への適用

Development of “J pocket pile,” Steel Sheet Pile with a Groove in the Joints, and Application to the Cut-off Wall at Wasted Disposal Sites

宇佐美俊輔 USAMI Shunsuke JFE スチール スチール研究所 土木・建築研究部 主任研究員（係長）
東 悦男 HIGASHI Etsuo JFE スチール 西日本製鉄所（倉敷地区）条鋼部条鋼技術室 主任部員（副課長）
河野 謙治 KONO Kenji JFE スチール スチール研究所 土木・建築研究部 主任研究員（課長）

要旨

廃棄物処分場の鉛直遮水壁として、継手内にポケット部を設けて止水材を挿入し遮水性能の信頼性向上を図った「Jポケットパイル[®]」を開発した。止水材としては止水ゴムおよびシリコーン樹脂を使用し、室内・現場での遮水性能の確認と現場での施工性に問題がないことを実証した。これら各種性能試験の結果から、「Jポケットパイル[®]」はこれまで海面廃棄物処分場の鉛直遮水壁や陸上廃棄物処分場の遮水壁として適用され、採用実績を重ねている。

Abstract:

“J pocket pile,” which is the steel sheet pile with a groove in the joints, has been developed to apply to a cut-off wall at wasted disposal sites. Swelled natural rubber and silicone resin were applied as sealing materials and its impermeable performance has been confirmed through the laboratory and field tests. The installation of the sealing material has also been confirmed by various field tests. Based on these results, “J pocket pile” has been applied to cut-off walls at the coastal waste disposal sites and landfill sites.

1. はじめに

環境意識の高まりから山間部など陸域における廃棄物最終処分場の新設は認められ難くなり、海面を埋め立てて造成される海面型廃棄物最終処分場の建設が増えている。海面型廃棄物最終処分場の鉛直遮水工に鋼矢板壁を適用する場合、鋼矢板長が長く打設時に継手にかかる負担が大きくなることが多い。さらに鋼矢板打設後周辺地盤を埋め立てるまでの期間は、波浪や潮汐による影響で継手に繰り返し変形が生じ、従来の止水処理方法では十分な遮水性能

を発揮できないという懸念がある。そこで、写真1に示すように継手部に止水材を保護する窪みを設けた遮水鋼矢板「Jポケットパイル[®]」を開発し、継手部の止水性能や耐久性に関する評価実験および施工性確認試験を実施してその有効性を実証した。

本論文では、「Jポケットパイル[®]」の技術的特徴を述べるとともに、開発・商品化に当たって実施した各種性能確認試験の概要、および適用事例について紹介する。

2. 「Jポケットパイル[®]」の特徴

2.1 従来技術

廃棄物最終処分場の鉛直遮水工として、継手部に止水処理を施した鋼矢板壁が用いられる。継手部の止水処理方法としては、水膨潤率が3から10倍程度の特種ポリウレタン樹脂を写真2に示すように継手部に塗布するのが一般的である。鋼矢板打設後、周囲の水を吸収・膨潤し継手内の隙間を埋める特徴を有しているが、鋼矢板の打設時に、地盤やかん合する継手との摩擦により止水材の一部が剥離して遮水性が損なわれることが指摘されていた¹⁾。

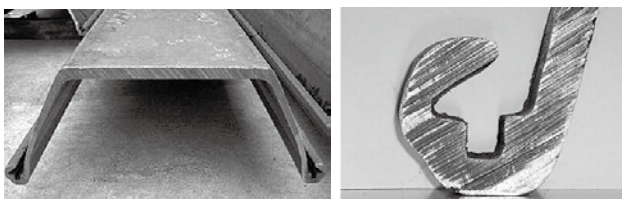


写真1 Jポケットパイル[®]

Photo 1 J pocket pile

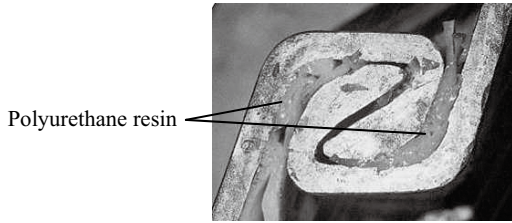


写真2 従来の鋼矢板継手の止水処理方法

Photo 2 Previous waterproofing of steel sheet pile joints

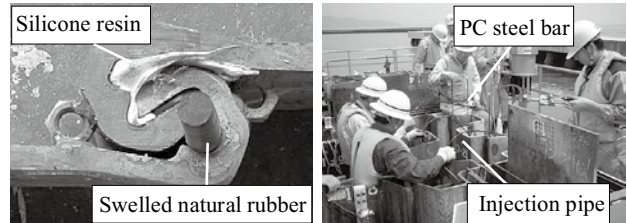


写真4 シリコーン樹脂の外観と注入状況

Photo 4 Picture and injection of silicone resin

2.2 「Jポケットパイル[®]」について

「Jポケットパイル[®]」は、熱間圧延時に、継手部の爪底に長手方向に連続する幅と深さがともに10mm程度の窪み（以下、ポケット部）を設け、そのポケット部に止水材を充填させる遮水鋼矢板である。その特長を以下に述べる。

(1) 信頼性の高い止水性

- ・ ポケット部にシールドトンネル用セグメントの継手などで実績がある止水ゴムを装着することにより、打設時の損傷を避け信頼性の高い遮水工が構築可能
- ・ 打設後に注入管を挿入し充填材（シリコーン樹脂）を注入する方法も選択可能

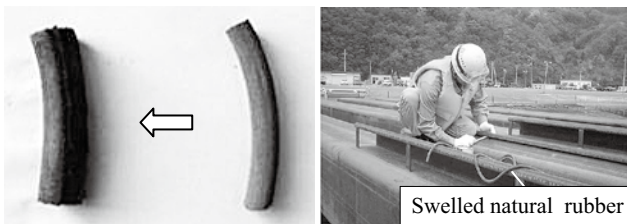
(2) 安定した品質

- ・ JIS認定工場生産する熱間圧延製品であるため、品質のばらつきが少なく安定した品質を確保

(3) 優れた施工性

- ・ ポケット部以外は従来の鋼矢板と同等の性能を有するため、優れた経済性と施工性を発揮

「Jポケットパイル[®]」の止水材としては、特長(1)で述べたように、止水ゴムとシリコーン樹脂の2種類を選択することができる。写真3に止水ゴムの外観とポケット部への装着状況を示す。止水ゴムは水膨潤性を有しており、水に触れることで元外径12mmから18.5mmまで膨張し、ポケット部を完全に埋めることができる。施工時は、ポケット部にあらかじめ止水ゴムを装着しておき、鋼矢板とともに打設を行う。写真4にシリコーン樹脂の外観とポケット部への注入状況を示す。施工時は、土砂の浸入を防ぐために、ポケッ



After swelling φ18.5 mm Before swelling φ12 mm

写真3 止水ゴムの外観と装着状況

Photo 3 Picture and installation of swelled natural rubber

ト部にPC鋼棒（PC：Prestressed concrete）を設置する。鋼矢板打設後、シリコーン樹脂の注入時にPC鋼棒を引き抜き、ポケット部を洗浄した後に、頭部から注入管を挿入し、注入管を引き抜きながら高圧ポンプを用いて注入作業を行う。

止水材はさまざまな条件に応じて、材料を組み合わせることができる。地下水位が深では水膨潤性を有する止水ゴムを使用し、地下水位が浅ではシリコーン樹脂を注入する組み合わせも可能であるし、写真4のように止水ゴムとシリコーン樹脂を組み合わせることもできる。

3. 遮水性能確認試験の概要

遮水鋼矢板「Jポケットパイル[®]」の開発・商品化に当たっては、管理型処分場遮水工に要求される遮水性能を満足しつつ、実現場に適応可能な施工法の確立を目標とした。以下にその検討内容を記す。

3.1 継手模型による漏水量測定試験

継手の止水性能の評価方法として、透水係数が一般的に用いられている。廃棄物最終処分場の構造を定める1998年6月の総理府・厚生省共同命令では、遮水壁は厚さ50cm以上で透水係数が $1.0 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 以下とされている。そこで、図1に示す装置で透水試験を行い、漏水量の経時変化を把握し、透水係数の評価を行った。鋼矢板継手部を切り出して作成した幅100mmの試験体を耐圧容器にセットし、水温を30℃に設定した恒温水槽中に置いて、常時おおむね0.1MPaの水圧が作用するようにして水位管の水位降下量を6ヶ月間計測した。試験体は、市販の水膨潤性止水材を塗布したもの（以下、試験体A）と、鋼矢板継手部を加工し内径17mmの鋼管を溶接したものに外径18mmの止水ゴムを組み込んだ、「Jポケットパイル[®]」を模擬したもの（以下、試験体B）を用意した。図2に試験結果を示す。各試験体ともに試験開始後、漏水量はほぼ一定の値を保つが、試験体Aは3週間後、試験体Bは2ヶ月後に漏水量が急に減少し一定の値に落ち着く。これは、試験開始直後は止水材間あるいは止水材と鋼材の間の微小な隙間が水みちになっていたが、止水材の膨潤圧の上昇にともない水みちが塞がれるた

表 2 換算透水係数
Table 2 Hydraulic conductivity

Case		Hydraulic conductivity (cm/s)					Remarks
		Joint 1, 2	Joint 3, 4	Joint 5, 6	Joint 7, 8	All	
1	Before vibration	—	—	—	—	—	
	After vibration	—	—	—	—	—	
2	Before vibration	—	—	—	—	—	
	After vibration	3.68×10^{-7}	1.51×10^{-7}	—	4.53×10^{-7}	2.29×10^{-7}	
3	Before vibration	—	1.76×10^{-5}	1.82×10^{-5}	3.09×10^{-6}	5.03×10^{-6}	Swelled natural rubber (only one side)
	After vibration	—	1.99×10^{-5}	9.06×10^{-5}	2.50×10^{-6}	3.19×10^{-5}	Swelled natural rubber (only one side)
	Before vibration	—	—	—	—	—	
	After vibration	4.92×10^{-10}	—	—	—	9.68×10^{-8}	After injection of silicon resin

能を評価した結果、換算透水係数は、透水層厚 $t=50$ cm で換算した場合 $1.0 \times 10^{-7} \sim 10^{-8}$ cm/s 以下となり、目標要求性能である 1.0×10^{-6} cm/s を満足した。

3.3 実海域での遮水性能確認試験

3.1, 3.2 節では遮水鋼矢板の室内実験による遮水性能の確認試験とその結果について述べた。本節では、遮水鋼矢板を実海域で使用した場合の施工性と遮水性能の確認試験について述べる。実証実験は、広島県呉市阿賀地区のマリノポリス埋立地内の水深 7.0 m 地点で、2003 年 4 月より 2004 年 12 月まで実施した³⁾。試験体は、**図 4** に示すように 2 列の鋼矢板壁の両端に角コラムを配置して支持構造とした。鋼矢板壁と角コラムで囲まれた空間を処分場とみなして基本水準面 (C. D. L.) + 4 m まで海水を注入し、その水位を 30 分ごとに計測した。鋼矢板試験体は、両方のポケット部に全長に止水ゴムを鋼矢板打設前に取付けたもの（以下、止水ゴムタイプ）と、止水ゴムを片側のみに取付け、鋼矢板打設後残る一方に止水材としてシリコン樹脂を充填したもの（以下、注入タイプ）の 2 種類とした。注入タイプのシリコン注入は海底面より浅い部分のみを対象とし、海

底面以下はあらかじめ止水ゴムを取付けて注入孔に土砂が侵入しないようにしている。なお、シリコン樹脂は鋼矢板打設後、天端部から凹溝内に注入管を挿入し、海底面付近から天端部に向かって注入管を引き抜きながら高圧ポンプを用いて充填した。**図 5** に 8 月と 11 月の一日の平均水位の変化を示す。いずれの試験体もほぼ直線的に水位が低下しており、漏水速度は安定している。**表 3** に、止水ゴムタイプと注入タイプの **図 5** に示す期間の換算透水係数を示す。いずれのケースでも換算透水係数は 10^{-8} cm/s オーダーであり、海域においても「Jポケットパイル[®]」を使用した遮水壁が遮水工の要求性能を満足することが確認された。

4. 遮水鋼矢板の施工試験

鋼矢板打設時の止水材への影響を評価するためには、軟弱地盤や海面施工より、厳しい地盤条件での施工性を確認する必要があった⁴⁾。そこで、本節では打設試験について紹介する。

4.1 長尺鋼矢板打設

鋼矢板としては長尺である 26 m の「Jポケットパイル[®]」の打設を行った。**図 6** に示すように、地盤は 17 m 程度まで軟弱な埋土が続き、それ以深は N 値 50 以上の硬質地盤で構成されている。施工にはバイプロハンマ (120 kW) を使用し、継手部の止水処理方法には止水ゴムを採用した。

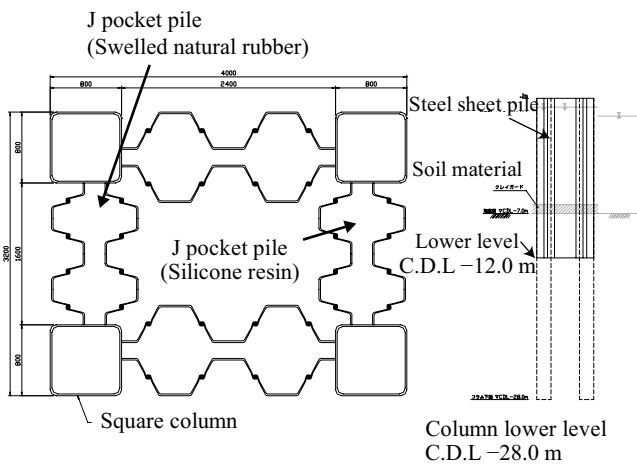


図 4 試験体平面図および断面図
Fig. 4 Apparatus of specimen

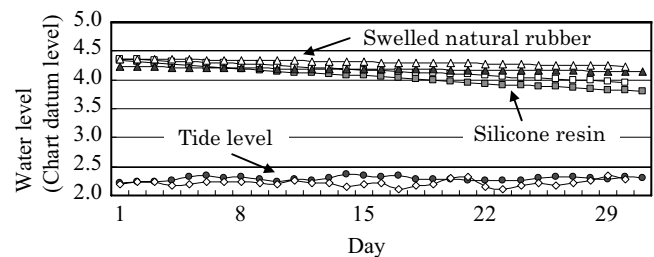


図 5 平均水位の変化
Fig. 5 Variation of average water level

表3 換算透水係数

Table 3 Hydraulic conductivity of specimens

	Average water level C. D. L.	Average tide level C. D. L.	Average water level difference (cm)	Variation of water level (m/d)	Hydraulic conductivity (cm/s)
Silicone resin	4.05	2.29	176	-1.76×10^{-2}	9.62×10^{-8}
	4.17		188	-1.41×10^{-2}	7.16×10^{-8}
Swelled natural rubber	4.18	2.21	197	-2.76×10^{-2}	1.40×10^{-8}
	4.30		209	-4.40×10^{-2}	2.08×10^{-8}

Upper row: Data of August
Lower row: Data of November
C. D. L.: Chart datum level

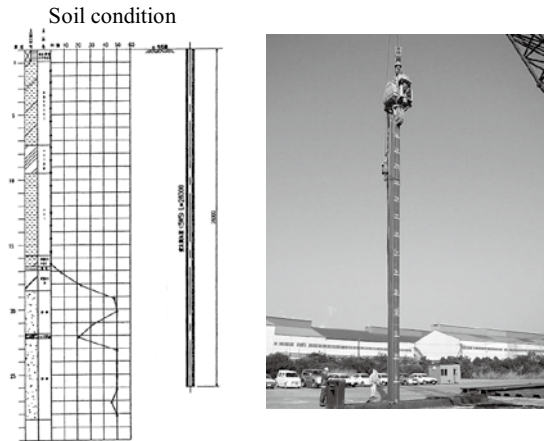


図6 長尺Jポケットパイル[®]の打設
Fig. 6 Installation of long "J pocket pile"

打設状況について、深度20m付近から打設速度が低下するものの、トラブルなく打設が完了した。打設後、鋼矢板を引き抜いて止水ゴムを観察したところ、鋼矢板下端部の1~2m部分に軽微な損傷が見られたものの、それ以外の部分はほぼ無傷の状態であった。

4.2 レキ地盤へのウォータージェット併用打設

地盤が固く鋼矢板打設に時間がかかる場合、止水ゴムへの影響が大きくなることが予想される。そこで、8~13mの「Jポケットパイル[®]」を、表土を除きN値50以上のレキ層(レキ径φ5~15cm)が続く地盤に、電動バイプロハンマ(90kW)を使用しウォータージェット併用で打設した。

各試験体ともに深度4~5m程度で打設速度が一時的に低下するが、その後は順調に打設が進んだ。打設後、鋼矢板を引き抜いて止水ゴムを観察したところ、下端部に引っかかり傷が見られたものの止水性能に影響を与えるほどではない程度であり、それ以外の部分はほぼ無傷の状態であった。

4.3 圧入打設

市街地での鋼矢板の打設には写真5に示すような低騒音・低振動でコンパクトな油圧式圧入機が用いられることが多い。しかしながら、バイプロハンマ工法とは、その貫入方法



写真5 圧入工法による打設
Photo 5 Installation by silent pier

の違いから継手に対する負荷も異なると考えられるため、圧入工法による施工試験を実施した⁵⁾。施工地盤はN値が10~15程度の粘土層で、長さ13.0mの「Jポケットパイル[®]」を使用し、継手部の止水処理方法には止水ゴムとシリコン樹脂の両方を採用した。圧入を行った結果、通常のU形鋼矢板と同じ圧入条件で打設できることを確認した。

5. 適用事例

5.1 寒川東部臨海土地造成工事

「Jポケットパイル[®]」が、愛媛県四国中央市の寒川東部臨海土地造成工事において、管理型廃棄物最終処分場の鉛直遮水壁として、処分場を囲う500×219.5mの外周護岸に採用された。外周護岸の構造の一例を図7に示す。幅15.0mの鋼矢板二重壁であり、内側の鋼矢板壁が処分場の

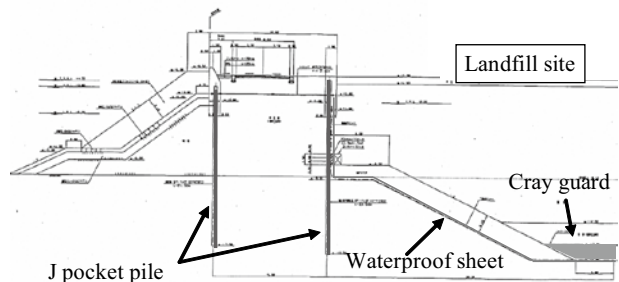


図7 外周護岸の構造断面図
Fig. 7 Cross section of seawall

表4 Jポケットパイル[®]の仕様

Table 4 Outline of J pocket pile

Length	Quantity	Weight	Waterproof method of joints
23-28 m	1 800	6 350 t	Swelled natural rubber and silicone resin



写真6 Jポケットパイル[®]の打設

Photo 6 Installation of J pocket pile

側面遮水工を兼ねている。処分場の底面は海成粘土を主材料として間隙調整材やゲル化材を添加混合した土質系変形追随遮水材料で、底面と側面をつなぐ法面は二重遮水シートで覆う構造となっている。

本工事で使用された「Jポケットパイル[®]」の仕様を表4に、打設状況を写真6に示す。止水処理方法には、管理水位以深に止水ゴム、管理水位以浅にシリコン樹脂注入の組み合わせを採用した。「Jポケットパイル[®]」の長さは23.0～28.0 mと長尺であり、また本現場はN値50以上のレキ地盤であったため、電動バイプロハンマ(120 kW)にウォータージェットを併用した方法を採用することで、スムーズに打設を行うことができた。

5.2 山川町馬見尾処分場適性閉鎖工事

5.1節では海面処分場における採用事例を述べたが、「Jポケットパイル[®]」は陸上処分場の遮水壁や汚染地盤の封じ込めなどへも適用可能である。本節では徳島県吉野川市の一般廃棄物最終処分場適正閉鎖工事での採用事例を紹介する。

当処分場では、保有水および雨水などの埋立地からの浸出を鋼矢板遮水壁で防止する方法が採用され、鋼矢板に「Jポケットパイル[®]」が使用された。「Jポケットパイル[®]」が採用となった理由としては、現地が写真7に示すように急斜面であり、施工に大型機械を使用するソイルセメント地中壁を構築することが困難であったことと、通常の水膨潤性止水材を塗する方法では、打設中に止水材の剥離が懸念されることが挙げられる。本工事で使用された「Jポケットパイル[®]」の仕様を表5に示す。

陸上施工での適用にあたっては、「Jポケットパイル[®]」打設時に継手内に土砂が侵入し、ポケット内にシリコン樹脂を充填するための注入管を挿入することができなくなるので



写真7 施工現場状況

Photo 7 Condition of construction

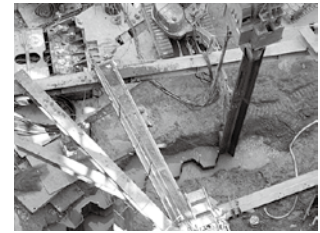


表5 Jポケットパイル[®]の仕様

Table 5 Outline of J pocket pile

Length	Quantity	Weight	Waterproof method of joints
9-24 m	130	290 t	Swelled natural rubber and silicone resin

はという懸念があったが、この問題については、打設時にPC鋼棒でポケット部を保護し、止水材の注入直前にPC鋼棒を引き抜くことで対応した。また、本現場は、地盤の大部分が岩盤で構成されており、そのままでは鋼矢板の打設が不可能なため、ダウンザホールハンマで削削した後にバイプロハンマで貫入した。その結果、一部、鋼矢板の高止まりが生じたものの、止水材の注入は問題なく実施することができた。

6. おわりに

本論文では、「Jポケットパイル[®]」の特徴と、開発・商品化に当たって実施した各種性能確認試験の概要、および適用事例について紹介した。

- (1) 遮水性能は、室内での漏水量測定試験と実海域での遮水性能確認試験を行い、管理型処分場遮水工に要求される透水係数値 $1.0 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ をクリアし、遮水性能を満足することを確認した。
- (2) 施工性は、バイプロハンマ工法を用いた長尺鋼矢板の打設、レキ地盤への打設と圧入機による打設による施工性の実証確認を行い、「Jポケットパイル[®]」が問題なく打設できることを確認した。
- (3) 施工実績として、環境の異なる海面処分場と陸上処分場での「Jポケットパイル[®]」の適用事例を紹介した。今後も遮水壁として遮水信頼性の高い「Jポケットパイル[®]」の普及を図っていく。

参考文献

- 1) 岡由剛, 沖健. 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. 2003-07, p. 45-48.
- 2) 沖健, 岡由剛. 継手底部に窪みを有する鋼矢板を用いた透水量に関する水槽試験結果と考察. 土木学会第58回年次学術講演会講演概要集. 2003-09, p. 299-300.
 - 3) 岡由剛, 沖健, 小澄省三, 渡部要一. 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. 2004-07, p. 2285-2286.
 - 4) 岡由剛, 沖健, 小澄省三, 吉原弘栄. 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平成17年度発表講演集. 2005-07, p. 2591-2592.
 - 5) 岡由剛, 沖健, 小澄省三. 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概要集. 2005-09, p. 457-458.



宇佐美俊輔



東 悦男



河野 謙治