

ポケット付遮水鋼製壁「J ポケットパイル®」の 陸域への適用拡大

Application Expansion to Land Area of the “J-Pocket Pile,” Leak-Proof Cut-off Steel Sheet Pile with Sealed Joints

松井 良典 MATSUI Yoshinori JFE スチール 建材センター建材開発部 主任部員 (副課長)
岡 由剛 OKA Yoshitake JFE スチール 建材センター建材開発部 主任部員 (課長)
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)

要旨

主に海面処分場向けとして開発された遮水鋼製壁「J ポケットパイル®」の陸域での適用性向上を目的に、広幅鋼矢板と組合せることにより鋼材重量を削減するとともに、新たな止水材料の追加を行なった。適用にあたり、継手部の形状改良、現地打設性能試験および遮水性能試験を実施し、従来とほぼ同程度の性能が確保できることを確認した。

Abstract:

“J-Pocket Pile,” which was developed especially for cut-off walls at sea area waste disposal sites, has been improved in order to expand its applicability at land area. As a result, weight reduction was obtained by combining with the wide-width steel sheet pile, and a new type sealing material was additionally applied. By applying improved shapes of the joint portion, and by conducting an on-site installation test and a water shielding performance test, it was confirmed that it ensures the performance nearly equivalent level to the conventional type.

1. はじめに

「J ポケットパイル®」は、写真 1 に示すように、熱間圧延時に、継手部の爪底部に $\Phi 10$ mm 程度の窪み (以下、ポケット部) を持たせた JFE スチールのオンリーワンの遮水鋼矢板である。ポケット部に止水材を設置することにより、打設時の損傷を避け信頼性の高い遮水工を構築できることが、「J ポケットパイル®」の大きな特徴である¹⁾。

主に海面処分場での鉛直遮水壁として開発され²⁾、4WS・5WS の 2 つ型式で商品化されているが、2010 年に改正された土壌汚染対策法や東日本大震災により、封じ込め工や遮

水工といった陸域でのニーズも高まってきている。しかし、海面処分場向けに開発された「J ポケットパイル®」を、大きな土圧が作用しない陸域での封じ込め工や遮水工などに適用した場合、断面性能に余力が発生するケースが多い。

そこで、陸域への適用拡大を目指し、図 1 に示すように従来の広幅鋼矢板と「J ポケットパイル®」を交互に組み合わせ、断面性能の最適化を図るとともに、従来のシリコーン樹脂に替わる止水材料としてペントナイトの適用を試みた



写真 1 「J ポケットパイル®」
Photo 1 “J-Pocket Pile”

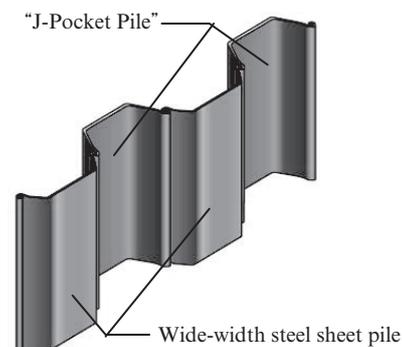


図 1 陸域向け「J ポケットパイル®」の構成図
Fig. 1 Schematic figure of “J-Pocket Pile” for land area

陸域向け「J ポケットパイル[®]」を検討することとした³⁾。

本論文では、陸域向け「J ポケットパイル[®]」の概要を述べ、広幅鋼矢板と組合せるために行なった継手形状の改良、陸域での適用にあたって実施した現地打設性能試験および遮水性試験の概要とその結果について紹介する。

2. 陸域向け「J ポケットパイル[®]」の概要

2.1 検討の背景と目的

これまで、鋼矢板を用いた遮水工には、継手部に止水性樹脂を塗布する方法が一般的に用いられてきた。しかし、打設時に地盤や嵌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可能性が示唆されていた⁴⁾ほか、止水性樹脂の塗りムラなどによる遮水性能の問題が懸念されていた。そこで、熱間圧延時に、継手部にΦ10 mm程度のポケット部を設け、そのポケット部に止水材を設置することで、遮水性能の信頼性を飛躍的に向上させた商品が「J ポケットパイル[®]」である。

「J ポケットパイル[®]」は、当時需要が見込まれた海面処分場を主なターゲットとして開発されたことから、比較的長い矢板長での条件下で、施工中における波圧や供用期間中の土圧を考慮して断面形状が決められている。

また、止水材料としては水膨潤性止水ゴムとシリコン樹脂の2種類を用意している。水膨潤性止水ゴムは、セグメントシールの目地材として多数実績があることや耐久性に優れていること、安価であることなどから採用している。一方、シリコン樹脂は、膨潤反応が期待できない気中部などでの止水材料として用いる。ただし、単純に気中のみでの使用を想定するのではなく、海水中での使用も想定して材料選定したことから、充填時に継手外に流出しないようチクソ性を付与した比較的高価な専用のシリコンシーラントを用いている。

このように、「J ポケットパイル[®]」は海域での遮水壁としての適用性が高く、非常に優れた性能をもつことからその有用性が認められ、寒川(愛媛県)や水島(岡山県)、響灘(福岡県)での海面処分場で実績を重ねてきている。しかし、「J

ポケットパイル[®]」を大きな土圧が作用しない陸域にそのまま適用した場合、上記のような開発経緯から他工法と比較してコスト競争力が劣る。そこで、陸域においても「J ポケットパイル[®]」がもつ優れた技術を広くご利用していただくため、

- (1) 広幅鋼矢板と交互に組み合わせる。
 - (2) 気中部での止水材として安価なベントナイトをバリエーションに加える。
- の2点を実施することとした。

2.2 組み合わせによる鋼材使用量の削減効果

「J ポケットパイル[®]」4WSの断面性能は、広幅鋼矢板の4Wと同程度である。しかし、陸域での適用においては土留め構造としての機能が不要なことも多く、施工時の打設性能で必要断面剛性が決定され、2Wや3Wの断面性能で十分なことが多い。そこで、「J ポケットパイル[®]」4WSと3Wあるいは2Wとを交互に組み合わせることにより、鋼材重量の削減を図った。表1に継手効率による低減を考慮しない条件下での、壁1 mあたりの断面性能を示す。4WSと2Wの組み合わせでは3Wに近い断面性能が得られ、単位質量では4WS同士の組み合わせと比較して22%の削減となる。鋼材費の占める割合が大きい鋼矢板による鉛直遮水工法では、総工事費削減の期待効果も大きい。

2.3 陸域向け「J ポケットパイル[®]」の特長

陸域向け「J ポケットパイル[®]」は、従来の「J ポケットパイル[®]」が持つ特長をそのまま引き継いでいるが、ここでは陸域における他工法と比較した特長を以下に示す。

- (1) 建設残土が発生しない遮水壁工法
- (2) 多様な状態の地下水に適用が可能
- (3) 狭隘地での施工が可能
- (4) 工期の短縮が可能
- (5) 信頼性の高い遮水壁工法

陸域での鉛直遮水工のひとつに、現地土とセメントミルクとを攪拌混合させ固化遮水壁を構築するソイルセメント固化壁工法がある。一般に、この工法ではセメントなどを含

表1 断面性能の比較

Table1 Comparison of section performance

Case	Per meter of wall width			
	Sectional area ($\times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{m}$)	Geometrical moment of inertia ($\times 10^{-8} \text{ m}^4/\text{m}$)	Section modulus ($\times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{m}$)	Unit mass (kg/m^2)
4WS+4WS	234.8	57 000	2 720	184
2W	131.2	13 000	1 000	103
3W	173.2	32 400	1 800	136
4W	225.5	56 700	2 700	177
4WS+2W	183.0	29 900	1 630	144
4WS+3W	204.0	43 400	2 120	160

む余剰汚泥が発生し、基準不適合土壌で工事を行なった場合には、余剰汚泥に有害物質が含まれる可能性もある。しかし、鋼矢板を用いた遮水壁工法では余剰汚泥の発生がなく、残土処分費も不要となる。また、伏流水や被圧水といった地下水の状態や土質性状に影響を受けない工法でもある。そして、サイレントパイラーを用いることにより狭隘地での施工が可能であり、低振動や低騒音が要求される市街地でも適用が可能である。

一方、鋼矢板による鉛直遮水工としては、継手部に止水性樹脂を塗布する方法が一般的に用いられているが、2.1節で述べたように、遮水性能の観点でさまざまな問題がある。しかし、「Jポケットパイル®」を用いた遮水壁では、ポケット部を利用して止水材を設置するため信頼性の高い遮水性能が得られる。

このように、陸域向け「Jポケットパイル®」は、従来の「Jポケットパイル®」と同様、鋼矢板が持つ特性を活かしつつ、継手部の遮水性能と信頼性を向上させた、安全で安心な遮水壁工法であることが特長といえる。

2.4 陸域向け「Jポケットパイル®」の適用例

陸域向け「Jポケットパイル®」では、主に以下のような適用例を想定している。

2.4.1 封じ込め工としての適用例

封じ込め工は、**図2**のように汚染土壌が存在する範囲の側面を鉛直遮水壁で囲い込み、地下水を介して有害物質が拡散することを防止する工法である。2010年に改正された土壤汚染対策法では、一定の機会をとらえて特定有害物質の汚染状況の調査を行なわせているが、要措置区域に指定された場合には「原位置封じ込め」が一般的な措置としてとられている。陸域向け「Jポケットパイル®」は、このよ

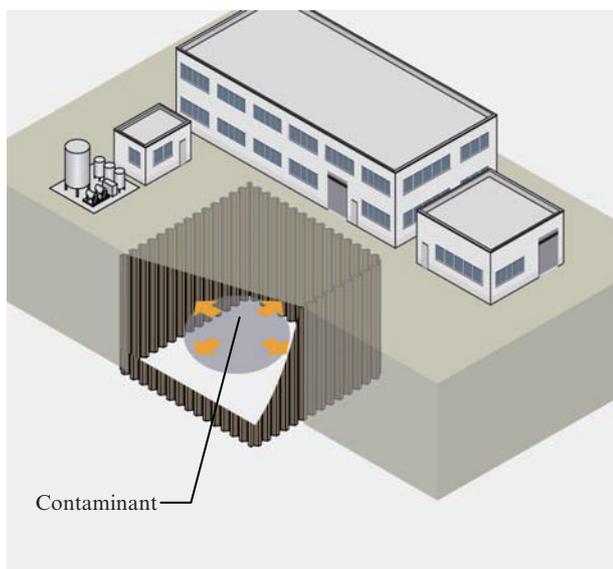


図2 封じ込め工の適用例

Fig. 2 Application example of containment work

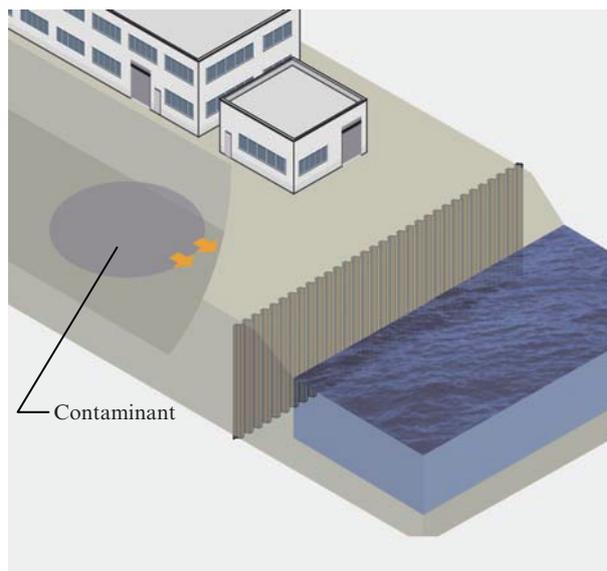


図3 遮水工の適用例

Fig. 3 Application example of cut-off sealing work

うな遮水性能に信頼性が要求される鉛直遮水工として最適である。土壤汚染対策法に基づく措置として「原位置封じ込め」を行なう場合は、基準不適合土壌の下にある不透水層(厚さが5m以上であり、かつ、透水係数が100nm/秒(岩盤にあってはルジオン値が1)以下である地層またはこれと同等以上の遮水の効力を有する地層をいう。)に根入れさせる必要がある。したがって、不透水層の深さが鋼矢板の打設可能深さ以下に存在していることを確認しておく必要がある。また、岩盤に根入れさせる場合は補助工法を要す。

2.4.2 遮水工としての適用例

遮水工は、**図3**のように汚染された地下水が動水勾配を持っている場合などに、敷地境界線上に鉛直遮水壁を設置するものである。特に、河川の水際線や潮の干満の影響を受ける海岸線では水頭差が生じやすく、地下水を介して河川や海洋へ汚染物質が拡散されることが想定される。このような場合、要求する遮水性能により、陸域向け「Jポケットパイル®」の適用が考えられる。ただし、汚染範囲に対する設置延長は十分検討を行なう必要がある。

3. 継手形状の改良

「Jポケットパイル®」と広幅鋼矢板の組合せは、単純に実現するものではなく、互いの嵌合性を事前に充分検討する必要がある。本章では、「Jポケットパイル®」4WSの継手形状を改良したので、その概要を記す。

3.1 広幅鋼矢板との嵌合上の課題

「Jポケットパイル®」4WSと広幅鋼矢板の嵌合性調査を、実製品を用いて行なった。調査では、打設性に影響を及ぼす開口幅や回転角、遮水性に影響を及ぼす圧縮嵌合隙間に

ついて測定を行なった。その結果、4WSと3Wの嵌合において圧縮嵌合隙間の値が、既往の知見⁵⁾から大きいと判断されたため、継手形状を改良し、嵌合性改善を行なうこととした。

3.2 継手形状の改良とその結果

広幅鋼矢板は、鉛直遮水工のみならず、一般的な土留め工法としても広く活用されていることから、継手形状の改良対象外とし、4WSのみの継手形状を変更し遮水性を改良することとした。ただし、改良にあたっては、4WS同士の嵌合性を従来から損ねることがないように、継手内部の余裕を単純に狭くするのではなく、爪同士の掛かり方および、圧縮方向での爪部抜け出しの抑制を行なう観点で爪部の高さ・角度およびフランジ部の角度について変更を行なった。

その結果、広幅鋼矢板との嵌合性としては、満足のできる圧縮嵌合隙間を確保することができた。また、施工する上で重要となる回転角も若干小さくはなったが、2W、3W、4W共に施工性を阻害するような小角度にはなっていないことが確認でき、遮水性および施工性両面において良好な結果が得られた。

4. 施工試験

「J ポケットパイル®」4WSの継手形状の改良は、(1) 鋼矢板の打設性、(2) 継手止水処理工の施工性、(3) 継手間の遮水性能に影響する。また、継手形状の改良に合わせて汚染土壌の封じ込めなど、鋼矢板が地盤中にある場合を対象として、従来のシリコーン樹脂に替わる止水材料としてベントナイトの適用を試みた。これらの変更による影響を明らかにするため、実際に継手形状を改良した4WSを用いて施工し、ベントナイトにより継手間の止水処理を施して遮水性能を検証した。

4.1 試験概要

長さ12.5mの鋼矢板試験体を、広幅鋼矢板用油圧式圧入機(サイレントパイラー)を用いて直線状に一列に打設した。鋼矢板試験体は、「J ポケットパイル®」4WSと広幅鋼矢板3W、2Wの3種類である。なお、継手の組合せは、4WS-

4WS、4WS-3W、4WS-2Wの3ケースとした。図4に割付平面図を示す。地盤条件はN値5程度のシルト層で、中間に最大N値15の砂層が存在する。また、地下水位は地表面から5.4mの深さである。継手間の止水処理方法は、水膨潤性止水ゴムをあらかじめ継手内に取り付けたタイプと、ベントナイトペーストを鋼矢板打設後に充填するタイプの2タイプとした。廃棄物海面処分場では鋼矢板が海水中にある場合も想定し、止水材が継手外に流出しないようにチクソ性を付与した専用のシリコーン・シーラントを継手内に充填する方法を用いている。一方、陸域における施工では、鋼矢板の周囲に土砂が存在することから、最終処分場の遮水工などで実績のあるベントナイトの適用を検討した。なお、ベントナイトはシリコーン樹脂と同様に、ペースト状にしたものを高圧ポンプで圧送し、継手内に充填するものとした。鋼矢板の打設と止水材の充填完了後、鋼矢板壁近傍を布掘りし、地表面から1mの深度で継手部分を切り出して採取した試験体と、継手がずれないように鋼矢板同士を固定して2枚組でパイロハンマにより引き抜いた後、地表面から10mの深度に位置した箇所を切り出した試験体を用いて、漏水量測定試験を実施し換算透水係数を求めた。

4.2 打設性能試験

写真2に鋼矢板の打設状況を示す。打設に要した時間は1枚当たり9分、圧入機の移動を含めたサイクルタイムは



写真2 鋼矢板の打設状況
Photo 2 Piling by silent piler

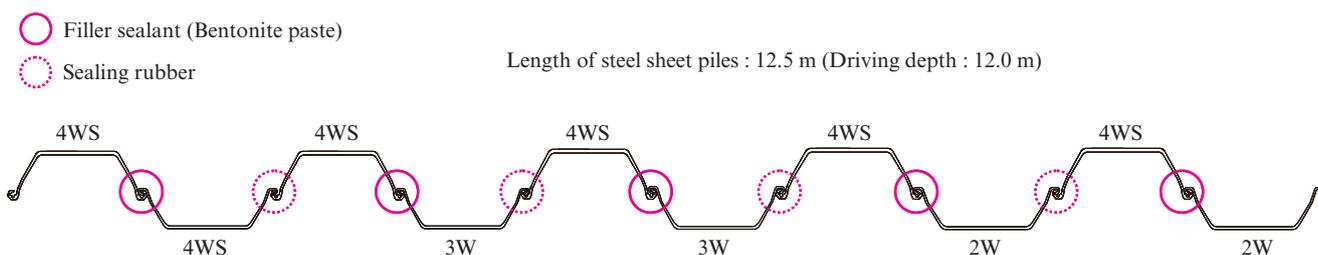


図4 鋼矢板割付および止水処理方法
Fig. 4 Arrangement of test specimen and sealing method

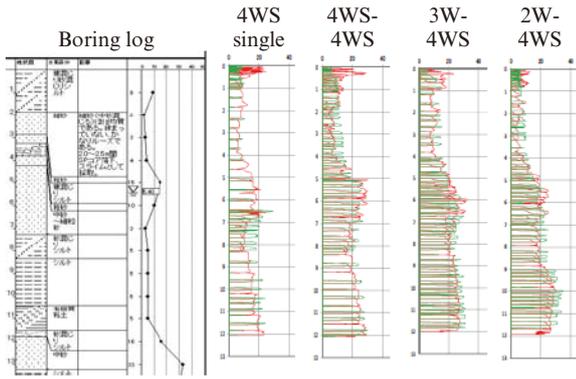


図5 ボーリング柱状図と圧入力結果

Fig. 5 Boring log and press-in force of silent piler

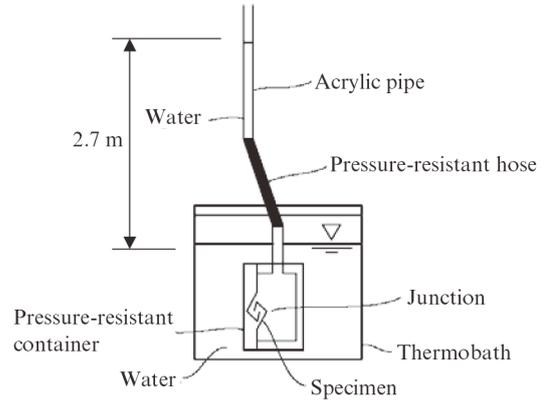


図6 漏水量測定試験装置

Fig. 6 Overview of leakage measuring instrument



写真3 4WSと2Wの嵌合状態

Photo 3 Fitting condition between 4WS and 2W

12~15分であり、鋼矢板の種類による違いは見られなかった。圧入力も鋼矢板の種類による違いは小さく、おおむね鋼矢板の断面積に比例しており、継手抵抗が問題になることはなかった。図5に土質柱状図と、4WS単独、4WS同士、3Wに4WSを嵌合した場合、2Wに4WSを嵌合した場合の深度別の圧入力を示す。また、写真3は、4WSと広幅鋼矢板2Wとの嵌合状態である。ベントナイトペーストの充填作業も、継手の組合せによる違いは生じなかった。充填後、地表面付近を布掘りしたところ、ベントナイトペーストが連続的に継手の隙間からはみ出しているのが観察され、想定通り充填されていることを確認した。

4.3 遮水性能試験

施工試験で止水処理を施した継手部を切り出し、漏水量測定試験を実施した。漏水量測定試験は、継手部試験体を組み込んだ耐圧容器にホースとアクリル管を接続し、アクリル管内に所定の水位まで注水後、水位の低下量から漏水量を測定するものである。図6に装置の概念図を示す。なお気温の変化による水位変化の影響を極力排除するため、耐圧容器は40℃に設定した恒温水槽中に設置した。また、水圧変化による影響を小さくするため、10cm程度の低下を目

表2 換算透水係数

Table 2 Converted permeability coefficient

	Cut-off sealing material	Combination	Depth (m)	Converted permeability coefficient (cm/s)
Case 1	Bentonite	4WS-4WS	1	2.64×10^{-9}
Case 2	Bentonite	4WS-4WS	8	7.49×10^{-8}
Case 3	Sealing rubber	4WS-4WS	1	—
Case 4	Bentonite	4WS-3W	1	—
Case 5	Sealing rubber	4WS-3W	10	1.12×10^{-7}
Case 6	Bentonite	4WS-3W	1	7.99×10^{-9}
Case 7	Sealing rubber	4WS-3W	10	5.89×10^{-8}
Case 8	Bentonite	4WS-2W	1	7.99×10^{-9}
Case 9	Sealing rubber	4WS-2W	10	2.64×10^{-9}
Case 10	Bentonite	4WS-2W	1	2.64×10^{-9}

安として水を継ぎ足し、おおむね一定の水圧が保たれるようにし、定水位として透水係数を求めている。

5日間の累積漏水量から算定した鋼矢板壁としての50cm厚さ換算透水係数を表2に示す。ケース3と4は試験体加工時のトラブルにより測定ができなかったものの、その他のケースにおいてはすべて 1.0×10^{-7} cm/s以下となり、性能の目安となる 1.0×10^{-6} cm/sを充分満足する結果となった。

ベントナイト試験体は、過去に実施したシリコン樹脂試験体と同程度の遮水性能を示していることから、シリコン樹脂の代替材料として、ベントナイトを適用できることが確認できた。

5. おわりに

「J ポケットパイル®」は、信頼性の高い鉛直遮水壁であり、安全・安心な街づくりに貢献できる商品である。本論文では、その「J ポケットパイル®」の適用範囲を合理的な仕様で陸域にも広げるため、広幅鋼矢板と組み合わせ、止水材とし

てベントナイトを用いた陸域向け「J ポケットパイル®」の紹介を行なった。そして、適用にあたって実施した継手形状の改良、現地打設性能試験および遮水性能試験の結果から、従来とほぼ同程度の性能が確保できることを確認した。

今後も、遮水鋼製壁として信頼性の高い「J ポケットパイル®」の普及を図るため、よりさまざまな施工条件で施工試験を行ない、さらなる技術の向上に努めていく。

本論文内での施工試験は、日本基礎技術株式会社との共同研究によって実施されたことを付記し、関係各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 宇佐美俊輔, 東悦男, 河野謙治. 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. JFE 技報. 2010-08, no. 26, p. 17-23.
- 2) 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.

- 3) 岡由剛, 松井良典. ポケット付継手を有する遮水用鋼矢板の陸域適用. 第 47 回地盤工学研究発表会. 2012-07, p. 1905-1906.
- 4) 山口昭, 野路正浩, 沖健, 鳥崎肇一, 吉野久能. 水膨潤性遮水材を塗布した鋼矢板の施工確認試験. 土木学会第 56 回年次学術講演会. 2001.
- 5) 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.



松井 良典



岡 由剛



東 悦男