

【研究ノート】

海面廃棄物最終処分場における集排水機能を有する
鋼管矢板遮水壁の実験的検討

稲 積 真 哉*・木 村 亮*・葛 拓 造**・小 林 賢 勝***

【要 旨】 海面廃棄物最終処分場の環境安全性を建設段階から将来にわたって維持・保障した上で跡地利用を促すためには、水溶性廃棄物を含む保有水等の浸出を防止するとともに、廃棄物を効果的に浄化するシステムを構築することが重要である。

本研究は、H-H 継手の内部空間に種々の技術を適用した集排水機能を有する鋼管矢板部材を提案し、その実現性ならびに継手箇所における集排水特性を空間活用実証試験により追究する。その結果として、集排水機能を有する鋼管矢板部材として H-H 継手の内部空間を活用した諸技術は導入可能であること、また、接着・塗布する膨潤性止水材の厚さを調整することで H-H 継手のフランジ嵌合部における遮水性能（集排水特性）をコントロールできることが明らかとなった。

キーワード：H-H 継手、海面廃棄物最終処分場、鋼管矢板遮水壁、集排水機能

1. は じ め に

海面廃棄物最終処分場では、港湾の開発、利用および保全との整合を図りつつ廃棄物を埋立処分する空間を確保するため廃棄物埋立護岸が建設される。この廃棄物埋立護岸には地震、波浪、高潮および津波等の海域特有の諸外力から埋立地を護る護岸機能とともに、処分場内の保有水が海域へ浸出することを防ぐ遮水壁としての機能が要求される。近年では、大水深施工が可能な、継手を有する鋼管矢板が、その施工性および経済性の観点から廃棄物埋立護岸として海面廃棄物最終処分場を中心に広く用いられている¹⁾。以後では、鋼管矢板によって構築される廃棄物埋立護岸を「鋼管矢板遮水壁」と称する。

鋼管矢板が初めて矢板式岸壁に用いられた 1960 年代以来、処分場内に存在する水溶性廃棄物を含む保有水等

の浸出防止に多大な影響を及ぼす継手箇所の遮水性能については意欲的な取り組み^{2,3)}がなされてきたものの、廃棄物の埋立終了後の処分場の長期的な遮水性能ならびに跡地利用を考慮した鋼管矢板遮水壁の構築に関する議論は途上である。そこで、海面廃棄物最終処分場の建設から将来にわたる遮水性能および処分場の跡地利用までを考慮した場合には、処分場内に存在する水溶性廃棄物を含む保有水等の浸出を防止することに加え、埋め立てられた廃棄物の浄化についても検討する必要があると考えられる。

H-H 継手を施した連結鋼管矢板は、継手を介して嵌合する鋼管矢板であり、H 鋼で溶接された 2 本の鋼管矢板（連結鋼管矢板）の両端部に、大きさの異なる 2 つの H 鋼を用いた継手（H-H 継手）を施した鋼管矢板部材である⁴⁻⁶⁾。また、H-H 継手を施した連結鋼管矢板における H-H 継手（図 1 参照）は、種々の技術を導入することで集排水機能を有する鋼管矢板部材となり、処分場内の保有水等浸出防止に加え、埋め立てられた廃棄物の浄化をも期待できる鋼管矢板遮水壁の構築が期待できる⁷⁾。

本研究では、集排水機能を有する鋼管矢板遮水壁（部材）としての H-H 継手の有効性ならびに実現性を空間活用実証試験により評価する。

原稿受付 2011. 2. 15 原稿受理 2011. 11. 14

* 京都大学大学院工学研究科

** 新日本製鐵㈱

*** 日本化学塗料㈱

連絡先：〒 615-8540 京都市西京区京都大学桂 C1-2-234

京都大学大学院工学研究科 都市社会工学専攻 稲積 真哉

E-mail: inazumi.shinya.3c@kyoto-u.ac.jp

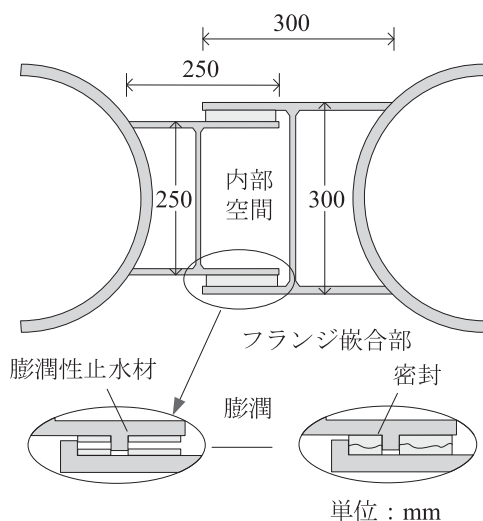
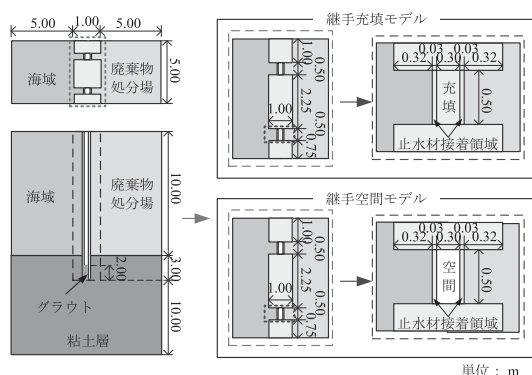


図1 H-H継手と膨潤性止水材を用いた遮水処理

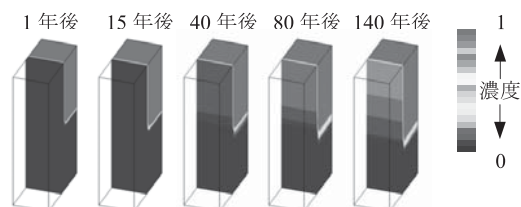
2. 集排水機能を有する鋼管矢板遮水壁に関する既往知見

水溶性廃棄物を含む保有水等が処分場内から鋼管矢板遮水壁を通過して処分場外へ浸出する場合、H-H継手内に形成された内部空間を必ず通過しなければならない(図1参照)。したがって、空洞であるH-H継手の内部空間を有効活用することで、集排水機能を有する鋼管矢板遮水壁を構築することが可能であると考えられる。

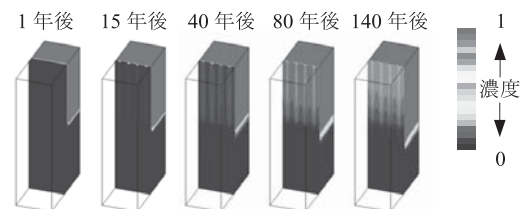
H-H 継手の内部空間において低水位環境を維持する方法を適用した場合、H-H 継手フランジ嵌合部の遮水性能に応じて内部空間への流入量が決まる。すなわち、フランジ嵌合部に接着・塗布された膨潤性止水材の透水性を調節することにより、継手箇所の集排水機能をコントロールすることが可能である。たとえば、H-H 継手内における処分場側フランジ嵌合部での通水性を海域側フランジ嵌合部と比較して高めておくことで、H-H 継手の内部空間における水溶性廃棄物を含む保有水等の流入量を増加させることができ、廃棄物の浄化を促進することが可能であるといえる。また、海面廃棄物最終処分場における H-H 継手の内部空間に集排水機能を担わせた場合の処分場内の浄化効果を明らかにすることが求められており⁷⁾、H-H 継手の内部空間にモルタル等を充填した場合を想定した「継手充填モデル」と、内部空間に低水位環境を形成して継手外部から内部への流入水が集排水される環境を模擬した「継手空洞モデル」について、3次元浸透・移流分散解析を実施することで処分場内の浄化効果を比較検討している。ここでは、鋼管矢板遮水



(a) 解析対象断面



(b) 継手充填モデル



(c) 継手空間モデル

図2 集排水機能を有する鋼管矢板遮水壁の浄化効果

壁の継手箇所「継手充填モデル」を適用した場合、鋼管矢板遮水壁の封じ込め効果によって処分場内における水溶性廃棄物を含む保有水等は除去されず、そのほとんどが処分場内に残留する。一方、鋼管矢板遮水壁に集排水機能を担わせた「継手空洞モデル」であれば、継手の内部空間へ流入する海水ならびに保有水を排水することによって、処分場内に埋め立てられた廃棄物が鋼管矢板遮水壁の近傍から徐々に浄化されると結論付けられている（図2参照）⁷⁾。

一方、H-H継手の内部空間において高水位環境を形成する方法を導入する場合は、低水位環境を維持する方法を適用した場合と同様に、H-H継手フランジ嵌合部において発揮される遮水性能により、継手の内部空間に貯水された水の外部への流出量が定まる。すなわち、継手の内部空間において高水位環境を維持するためには外

表 1 膨潤性止水材を接着した H-H 継手の遮水性評価試験項目

試験方法	想定した条件・環境	パラメータ
透水試験	鋼管打設時の膨潤性止水材の欠損	欠損率
	海域特有の外力および地震力	せん断回数
	膨潤性止水材接触界面への異物混入	異物混入率
	海面の変動による膨潤性止水材の乾燥・湿潤	乾湿サイクル数
	膨潤性止水材の暴露水質	塩水濃度
膨潤率試験	膨潤性止水材の暴露環境	有機化合物 重金属 塩水濃度 水温 pH

部から内部空間へ水が供給（給水）されなければならないが、雨や蒸発等の影響を除けば、接着する膨潤性止水材の厚さを調整することでその給水頻度をコントロールすることができる。

ただし、上述したような H-H 継手空間を活用した集排水機能を有する鋼管矢板遮水壁を構築するためには、H-H 継手フランジ嵌合部において低水位あるいは高水位環境を形成・維持するための遮水性能を確保する必要がある。既往の研究^{4-6,8-10)}にて、種々の条件下（表 1 参照）における H-H 継手を施した連結鋼管矢板の遮水性能は明らかにされているものの、H-H 継手の内部空間を活用した諸技術に関する実証試験は実施されていない。そこで、本研究では、H-H 継手の内部空間に高水位環境を形成した場合を模擬した空間活用実証試験を実施し、H-H 継手の内部空間における低水位および高水位環境の形成・維持を議論するとともに、膨潤性止水材の遮水特性について言及する。

3. 集排水機能に関する H-H 継手の空間活用実証試験

3.1 試験概要

膨潤性止水材を接着した H-H 継手に対する室内ならびに現場透水試験は、膨潤性止水材の接着方法や養生水の水质等を変化させた条件下において実施されている^{4-6,8-10)}。ただし、これまでに実施された試験は H-H 継手フランジ嵌合部の遮水性能を追究してはいるものの、継手内部の空洞空間を有効活用した集排水技術については検証されていない。そこで、本研究で実施する空間活用実証試験では、H-H 継手内部の空洞空間を活用した諸技術の有効性および実現性を確認する。

本研究で実施する集排水機能に関する H-H 継手の空間活用実証試験は既往の室内透水試験方法を踏襲するものの、H-H 継手模型の規模を高さ 560 mm（通水箇所の高さ：500 mm）としており、より現実に即した試験

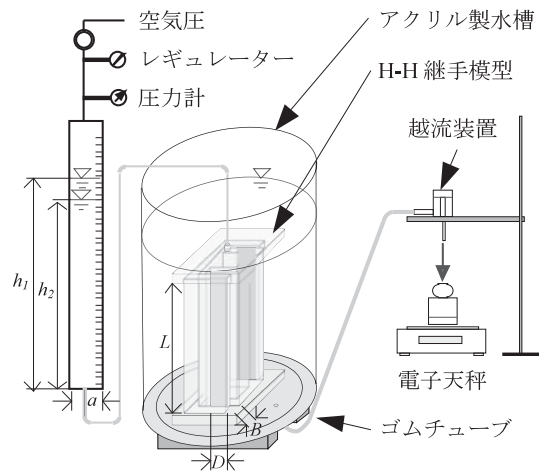


図 3 空間活用実証試験の装置概要

となっている（図 3 参照）。さらに、透明アクリル製プレートを用いて H-H 継手模型ならびに水槽を製作しており、H-H 継手の内部から外部への水の移流現象を視覚的に確認することができる。なお、海面廃棄物最終処分場では、常時における保有水等の漏出や異常時における保有水等の流出を防止するため管理水位が設けられている。既存の海面廃棄物最終処分場における事例では、管理水位は L.W.L（朔望平均干潮位）に対して最大でも 2 m の水位差に設定¹¹⁾されるが、干潮と大雨が重なる等の異常時において処分場内の残留水位が一時的に 5 m 程度 L.W.L を上回る事例もあったことが経験的に知られている。よって、海面廃棄物最終処分場における鋼管矢板遮水壁の一部材である H-H 継手の遮水性能は、5 m の水頭差に対して有効とされる透水係数で評価しなければならないと考えられる。

3.2 試験方法

本研究では、H-H 継手内部の空洞空間を有効活用した諸技術の有効性、実現性を検討するため、アクリル製

の H-H 継手模型ならびに水槽を用いて集排水機能に関する H-H 継手の空間活用実証試験を実施する。

図 3 は空間活用実証試験装置の概要を示しており、試験方法は以下のとおりである。なお、本試験では漏水量の計測時間を 1 時間に設定している。これは、1 時間経過後の累積漏水量が確認されない場合は透水係数 $k \leq 7.8 \times 10^{-10}$ cm/s と考えられるためである。また、透水係数は式(1)より求めている。

$$k = \frac{a \cdot D}{B \cdot L \cdot t} \cdot \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right) \quad (1)$$

ここで、 a ：上流側タンクの断面積（78.5 cm²）、 D ：透水長（7 cm）、 B ：H-H 継手フランジ嵌合部の幅（1 cm）、 L ：H-H 継手フランジ嵌合部の長さ（50 cm）、 t ：測定時間（1 hour）、 h_1 および h_2 ：試験開始時および試験終了時の上流側タンクの水頭（cm）である。

集排水機能に関する H-H 継手の空間活用実証試験の手順は以下のとおりである。

- (1) H-H 継手模型においてフランジ嵌合部を模擬した箇所へ所定厚さの膨潤性止水材を接着する。
- (2) アクリル製プレートおよびゴムパッキンにより H-H 継手模型（高さ 500 mm）を完全に密封する。
- (3) H-H 継手模型を水道水で満たした水槽内（ $\phi 390$ mm、 $H=900$ mm）へ設置する。
- (4) 恒温で 24 時間養生する（接着した膨潤性止水材を膨潤させる）。
- (5) 膨潤性止水材の膨潤を確認後、H-H 継手模型の内部空間の水道水に着色剤（ウラニン）を混入する。
- (6) H-H 継手の内部空間と外部の水槽を所定の水頭差に設定し、空間活用実証試験を実施する。
- (7) 空間活用実証試験を開始してから 1 時間経過後の流出量を電子天秤を用いて測定する。

3.3 結果と考察

H-H 継手内部の空洞空間を有効活用した集排水技術に関しては、H-H 継手内部の空洞空間に低水位あるいは高水位環境を形成した場合の遮水機能（集排水機能）について議論を行う。また、接着する膨潤性止水材の厚みを 1, 2 および 3 mm とした場合の遮水性能から、H-H 継手内部の空洞空間における低水位および高水位環境形成の実現性について述べる。

図 4 は、水頭差を 5 m とした場合の試験開始から 1 時間経過後の試験装置の様子を示している。これより、膨潤性止水材の厚さを 2 mm とした場合、試験開始から

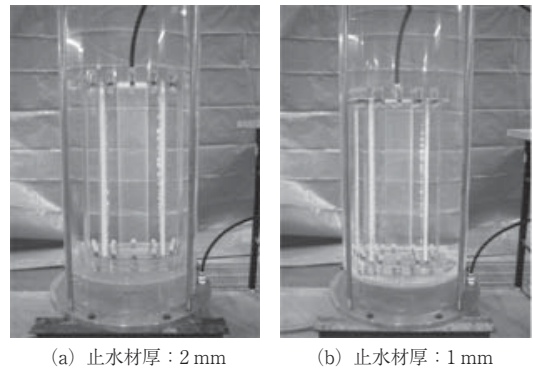


図 4 空間活用実証試験開始から 1 時間経過後の流出状況

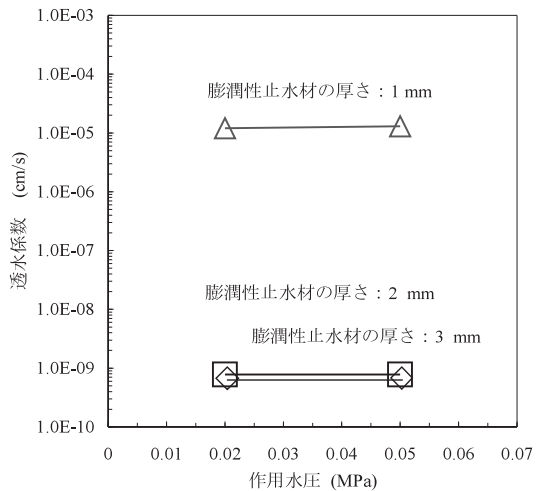


図 5 空間活用実証試験における作用水圧と透水係数の関係

1 時間経過後において、継手模型外部の水は染色されておらず、継手内部空間の着色水の外部への流出は発生していないことがわかる。この傾向は、膨潤性止水材の厚さを 3 mm とした場合でも同様である。一方、膨潤性止水材の厚さを 1 mm とした場合、試験開始から 1 時間経過後において継手模型内部の着色水の流出が発生し、それに伴って継手模型外部の水が染色されている。すなわち、水頭の高い方から低い方への水の流れが生じており、継手内部空間において低水位環境を保った場合には外部から内部へ、高水位環境を維持した場合には内部から外部への流れ場が形成される。よって、低水位および高水位環境を保持するいずれの方法においても、継手の内部空間を適切に管理することで、継手箇所からの水溶性廃棄物を含む保有水等の浸出を防止することができるといえる。

図 5 は膨潤性止水材の厚さを 1～3 mm、水頭差を 2

m および 5 m とした場合の空間活用実証試験結果を示している。これより、膨潤性止水材の厚さが 2 mm あるいは 3 mm の場合、水頭差が 2 m および 5 m のいずれにおいても H-H 継手を施した連結鋼管矢板は遮水工基準である $k_e \leq 1 \times 10^{-6}$ cm/s を満足する。具体的には、膨潤性止水材の厚さが 2 mm および 3 mm の場合、水頭差が 2 m および 5 m では試験開始から 1 時間経過後において試験体内部からの流出は発生せず、高い遮水性能を有するといえる。一方、膨潤性止水材の厚さを 1 mm とした場合には試験体内部からの流出が生じ、2 m ならびに 5 m の水頭差で $k=1 \times 10^{-5}$ cm/s 程度と透水性が比較的高い。よって、2 mm および 3 mm の厚さを有する膨潤性止水材を接着・塗布することで、継手の内部空間に低水位あるいは高水位環境を形成・維持することが可能である。さらに、接着・塗布する膨潤性止水材の厚さを調整することによって、フランジ嵌合部の遮水性能をコントロールすることもできるため、低水位もしくは高水位環境を形成した場合の集排水または給水頻度を管理することができる。

以上のことから、2 mm および 3 mm の厚さを有する膨潤性止水材を接着・塗布することで、低水位あるいは高水位環境を形成するために必要なフランジ嵌合部での遮水性能が確保される。また、継手の内部空間を適正に維持管理することで継手箇所における遮水機能が確保される。さらに、接着・塗布する膨潤性止水材の厚さを調節することで、低水位環境を維持した場合の継手の内部空間における集水量、あるいは高水位環境を形成した場合の継手の内部空間から外部への流出量を管理できることが明らかとなった。

4. お わ り に

本研究では、H-H 継手内部の空洞空間を活用した集排水機能の有効性ならびにその実現性を、アクリル製の H-H 継手模型および水槽を用いた H-H 継手の空間活用実証試験によって証明した。得られた知見は以下のとおりである。

- (1) H-H 継手内部の空洞空間に低水位および高水位環境を維持することによって、継手箇所からの水溶性廃棄物を含む保有水等の浸出を防止することができる。これは、移流が水頭の高い方から低い方へと発生するメカニズムを利用したものであり、H-H 継手内部の空洞空間に低水位環境を維持した場合には継手外部から内部へ、高水位環境を形成した場合は継手内部から外部へ移流が発生するためである。

- (2) 2 mm および 3 mm の厚さを有する膨潤性止水材を H-H 継手フランジ嵌合部に接着・塗布することで、低水位あるいは高水位環境を維持するために必要なフランジ嵌合部での遮水性能が確保される。

- (3) 接着・塗布する膨潤性止水材の厚さを調節することで、低水位環境を保持した場合の継手内部の空洞空間への流入量、あるいは高水位環境を維持した場合の継手内部の空洞空間から外部への流出量を管理できる。

本研究では、H-H 継手を活用した集排水機能を有する鋼管矢板遮水壁を提案・紹介した。ただし、海面廃棄物最終処分場の浄化性能に多大な影響を及ぼすと考えられる集排水機能を有する鋼管矢板部材の配置については未だ検討されていない。よって、今後は集排水機能を導入した鋼管矢板部材の効果的な設置について追究することが重要である。

〔謝 辞〕

本研究は、公益財団法人鉄鋼環境基金より鉄鋼業環境保全技術開発基金 2010 年度研究助成として資金援助を受け、実施したものである。ここに記して謝意を表す次第である。

参 考 文 献

- 1) 嘉門雅史, 乾 徹: 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, 第 701/III-58 号, pp. 1-15 (2002)
- 2) 木下雅敏, 沖 健, 岩倉 肇, 麻生川学, 野路正浩, 鳥崎肇一, 吉野久能: 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発表論文集, pp. 2535-2536 (2001)
- 3) 沖 健, 鳥崎肇一, 喜田 浩, 吉田 節, 坂口裕司, 吉野久能: 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論文集, pp. 53-58 (2003)
- 4) M. Kimura, S. Inazumi, A. J. K. Too, K. Isobe, Y. Mitsuda and Y. Nishiyama: Development and Application of H-joint Steel Pipe Sheet Piles in Construction of Foundations for Structures, Soils and Foundations, Vol. 47, No. 2, pp. 237-251 (2007)
- 5) 稲積真哉, 木村 亮, 山村和弘, 西山嘉一, 嘉門雅史: 連結鋼管矢板による鉛直遮水壁の施工技術, 材料, 第 54 巻, 第 11 号, pp. 1105-1110 (2005)
- 6) 稲積真哉, 木村 亮, 三津田祐基, 山村和弘, 西山嘉一, 嘉門雅史: 廃棄物埋立護岸における H-H 継手を施した連結鋼管矢板の開発と適用性評価, 土木学会論文集 C, 第 62 巻, 第 2 号, pp. 390-403 (2006)
- 7) 稲積真哉, 大津宏康: 海面処分場における鋼管矢板遮

- 水壁のリスク評価手法, 建設マネジメント研究論文集, 第15巻, pp.13-22 (2008)
- 8) 山村和弘, 田村博邦, 西山嘉一, 稲積真哉, 木村 亮: H-H継手を施した連結鋼管矢板の現場適用に関する実証試験, 土木学会論文集C, 第64巻, 第2号, pp.316-326 (2008)
- 9) 稲積真哉, 木村 亮, 葛 拓造, 若月 正: 土砂混在場におけるH-H継手を施した連結鋼管矢板の遮水性能に関する実験的検討, 材料, 第59巻, 第1号, pp.74-77 (2010)
- 10) S. Inazumi, T. Wakatsuki, M. Kobayashi and M. Kimura: Material Properties of Water-swelling Material Used as a Water Cut off Treatment Material at Waste Landfill Sites, Journal of Material Cycles and Waste Management, Vol.12, No.1, pp.50-56 (2010)
- 11) 勸港湾空間高度化センター: 管理型廃棄物埋立護岸設計, 施工, 管理マニュアル (改訂版), 港湾, 海域環境研究所 (2008)

Steel Pipe Sheet Pile Cutoff Walls with Leachate Collection System at Coastal Waste Landfill Sites

Shinya Inazumi*, Makoto Kimura*, Takuzo Kuzu**
and Masakatsu Kobayashi***

* Kyoto University, Graduate school of Engineering

** Nippon Steel Corporation

*** Nippon Chemical Paint

[†] Correspondence should be addressed to Shinya Inazumi:
Kyoto University, Graduate school of Engineering
(C1-2-234, Kyoto-Daigaku-Katsura, Nishikyo-ku, Kyoto 615-8540 Japan)

Abstract

This paper shows the need for steel pile sheet pipes with seepage and clarification functions on vertical cutoff walls used in coastal landfills from a long-term perspective. In addition, the possibility of using H-jointed SPSPs with H-H joints and seepage and clarification functions installed in the inner spaces of H-joints is considered, and their hydraulic conductivity was evaluated by laboratory hydraulic conductivity tests. The H-jointed SPSPs with H-H joints and seepage and clarification functions installed in the inner spaces of H-joints were demonstrated to be a feasible technology. Moreover, the water-shielding capability of H-joints was controlled by coordinating the thicknesses of the water-swelling sheets.

Keywords: H-H joint, coastal waste landfill site, steel pipe sheet pile cutoff wall, leachate collection