

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

稲 積 真 哉* 木 村 亮**
葛 拓 造*** 若 月 正***

Experimental Study on Impermeable Properties of H-jointed SPSPs with H-H Joints under Soil Coexistence

by

Shinya INAZUMI*, Makoto KIMURA**,
Takuzo KUZU*** and Tadashi WAKATSUKI***

This paper shows impermeable properties of H-jointed steel pipe sheet piles (SPSPs) with H-H joints under soil coexistence on impermeable walls used in coastal landfills. The authors have developed a number of technologies such as developing the H-jointed SPSPs and H-H joints for SPSP joint sections aimed at improving performance and widening application areas of SPSPs. Equivalent hydraulic conductivity of the H-jointed SPSPs with H-H joints under several soil coexistences was evaluated by experimental studies and it was clarified experimentally that H-jointed SPSPs with H-H joints can demonstrate the equivalent hydraulic conductivity of the 1×10^{-8} cm/s order. This is because the coexistence soil particles are covered by the swelling of swellable waterproof materials inside the H-H joints.

Key words: Coastal landfill, H-H joint, H-jointed SPSP, Hydraulic conductivity, Soil coexistence, Swellable waterproof material

1 緒 言

廃棄物、建設発生土および浚渫土砂の埋立処分する場合、海面埋立処分場では港湾保全との整合を図りつつ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 (Fig. 1 参照)。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、廃棄物からの浸出水が海域へ流出することのない処分場遮水工としての機能が要求される¹⁾。このため、近年では大水深施工が可能な鋼管矢板が、廃棄物埋立護岸として海面埋立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”と略称する。ただし、鋼管矢板遮水壁は継手を有しており、継手箇所における遮水性等は鋼管矢板遮水壁を構築する上で解決しなければならない急務の課題である¹⁾。

鋼管矢板遮水壁としての H-H 継手を施した連結鋼管矢板 (Fig. 2 参照) は、H-H 継手に膨潤性止水材を塗布・接着することで高い遮水性が期待できる^{2), 3)}。ここで、連結鋼管矢板ならびに H-H 継手は、鋼管矢板技術の一つ

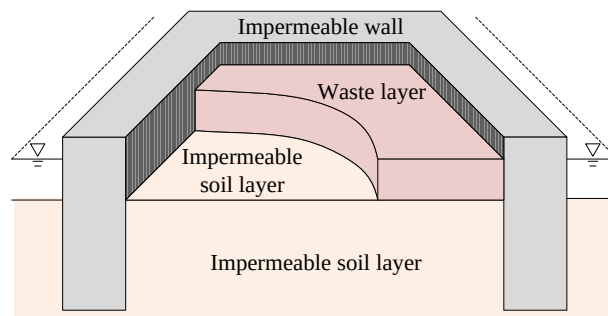


Fig. 1 Impermeable walls constructed in coastal landfill sites.

として 2000 年、開発に着手した鋼管矢板ならびに鋼管矢板継手である。連結鋼管矢板は、2 本の鋼管と H 型鋼が工場にて予め溶接されることで鋼管-H 型鋼-鋼管が一体化した鋼管矢板部材であり、H-H 継手は規格寸法の異なる 2 つの H 型鋼を嵌合することで形成される鋼管矢板継手である (Fig. 2 参照)。

膨潤性止水材を接着した H-H 継手を施した連結鋼管矢板遮水壁の遮水性に関しては、これまで実規模室内透

+ 原稿受理 平成 年 月 日 Received

* 正 会 員 京都大学大学院工学研究科 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C クラスター, Grad. Sch. of Engineering, Kyoto Univ., Nishikyo-ku, Kyoto, 615-8540

** 非 会 員 京都大学産官学連携センター 〒615-8520 京都市西京区京都大学桂ローム記念館, Innovative Collaboration Center, Kyoto Univ. Nishikyo-ku, Kyoto, 615-8520

*** 非 会 員 連結鋼管矢板工法研究会 〒105-0012 東京都港区芝大門1-6-9, Assoc. for H-jointed SPSPs Methods, Minato-ku, Tokyo, 105-0012

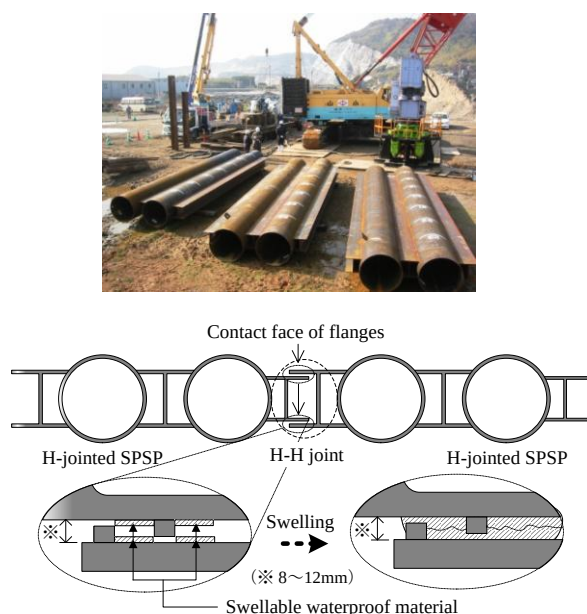


Fig. 2 H-jointed SPSPs with H-H joints.

水試験^{2), 3)}や現場遮水性試験⁴⁾等から定量的な検証を進めてきた。これにより、膨潤性止水材が接着されたH-H継手箇所が現場において打設・嵌合された場合、H-H継手フランジ嵌合面（Fig. 2 参照）において土砂等の混入が避けられないことが明らかとなった。このため、膨潤性止水材が接着されたH-H継手を施した連結鋼管矢板が高い遮水性を発揮できることを実務領域で保証するためには、土砂が存在する条件下において膨潤性止水材の膨潤特性ならびに膨潤性止水材が接着されたH-H継手を施した連結鋼管矢板の遮水性能を定量的に検証する必要がある。なお、膨潤性止水材は合成樹脂エラストマーを母材とし、高吸収性ポリマー、充填剤および溶剤等を配合した流動性ならびに自己修復性を有する止水材である^{2), 3)}。また、膨潤性止水材の乾燥塗膜から抽出された水は水道法に基づく水質基準を満たし、環境に適合するものである。現状において使用頻度の高い膨潤性止水材の組成では、淡水および海水に浸漬すると、24時間後に重量比でそれぞれ15~30倍および5~7倍に膨潤する^{2), 3)}。

本論文では、H-H継手フランジ嵌合面において膨潤性止水材および土砂が存在した状態におけるH-H継手を施した連結鋼管矢板の遮水性能ならびに膨潤性止水材の膨潤状況を実験的に評価する。

2 土砂混在場における膨潤性止水材を接着したH-H継手を施した連結鋼管矢板の遮水性能

2.1 試験概要

海面埋立処分場における鋼管矢板遮水壁の施工では、バイプロハンマーを用いて鋼管矢板を海底地盤中に振動打設することにより力学的安定を確保する。すなわち、鋼管矢板遮水壁の施工は打設地盤条件により海底地盤部、海中部および海上部に区分でき、鋼管矢板遮水壁が

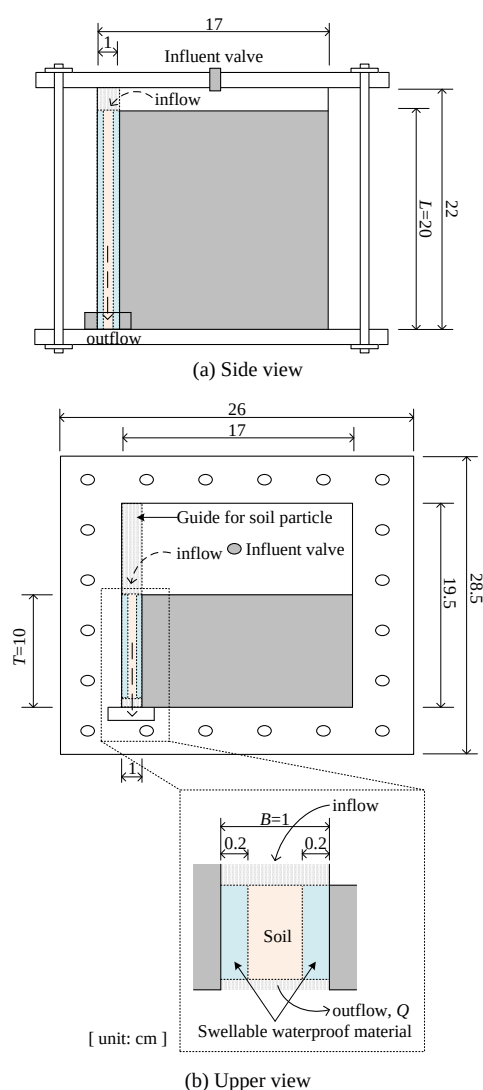


Fig. 3 Assembled testing apparatus for measuring hydraulic conductivity under soil coexistence.

Table 1 Testing conditions.

Thickness of swellable waterproof material	mm	2 (Both sides)
Time for swelling	days	3
Applied water pressure Δh	MPa	0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3
Measuring time	hrs	6
Type of soil		Toyoura sand, Silica sand

遮水工としての機能を満足するためには海底地盤部および海中部において高い遮水性を保持する必要がある。しかしながら、膨潤性止水材が予め接着されているH-H継手のフランジ嵌合面ではフランジ間隔が10mm程度であり（Fig. 2 参照）、且つ膨潤性止水材が存在しているため、フランジ嵌合面の土砂洗浄を確実に実施することは実務上困難である。よって、フランジ嵌合面には乱れた状態で土砂が混在していることが十分考えられ、土砂が混在する条件下においてもH-H継手を施した連結鋼管

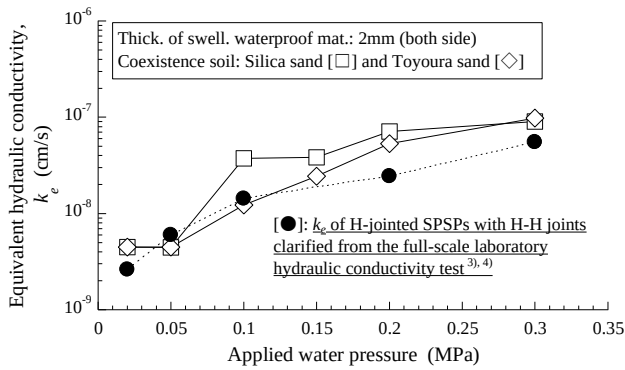


Fig. 4 Hydraulic conductivity of H-jointed SPSPs with H-H joints under soil coexistence.

矢板は十分な遮水性を発揮しなければならない。

そこで、フランジ嵌合面に土砂が混在した条件における H-H 継手を施した連結鋼管矢板の遮水性能を明らかにすることを目的とし、膨潤性止水材を接着した H-H 継手の土砂混在場透水試験を実施した。Fig. 3 および Table 1 は、組み立てた試験装置ならびに試験条件の概要を示している。また、試験手順は以下のとおりである。

- (1) フランジ嵌合面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) (1)で接着した膨潤性止水材間へ乾燥したケイ砂 5 号（平均粒径：0.52mm）もしくは豊浦砂（平均粒径：0.29mm）を自然落下によって混入する。なお、本試験では粘性土と比べて透水性の砂質土を対象とする。
- (3) 鋼鉄製プレートおよびゴムパッキンにより試験体を完全に密封する。
- (4) 流入側貯水槽、試験体内および流出側貯水槽を、淡水（水道水）で飽和する。なお、膨潤性止水材自体は淡水に比べ海水環境で膨潤率が若干低下する。ただし、本試験と類似の条件において、後述する H-H 継手を施した連結鋼管矢板の換算透水係数に対して浸漬水質の影響は小さいことを既に明らかにしている^{2),3)}。
- (5) 恒温（20℃）において 72 時間養生する。
- (6) 所定の流入水压を 6 時間作用させている間、1 時間あたりの流出流量を計測する。
- (7) 流入水压を 0.02～0.3MPa まで段階的に上昇させる。
- (8) (6)～(7)の操作を繰り返す。

本試験では、膨潤性止水材ならびに土砂が存在するフランジ嵌合面からの漏水量を測定することができる。そこで、測定された漏水量は H-H 継手を施した連結鋼管矢板からの漏水量と同等であると仮定し、H-H 継手を施した連結鋼管矢板を厚さ 50cm の均一な透水層とみなす換算透水係数 (k_e) によって評価する^{2),3)}。

2.2 結果と考察

Fig. 4 は、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を示している。これより、接着した膨潤性止水材の隙間全面においてケイ砂 5 号もしくは豊浦砂が混在した場合、作用水压が 0.05MPa 以下では 6 時

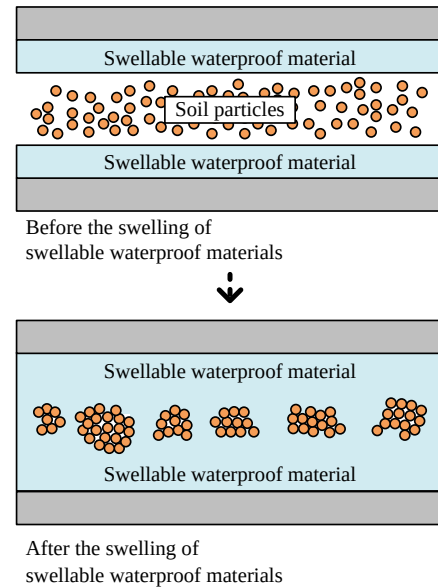


Fig. 5 Image of swelling characteristic of swellable waterproof material under soil coexistence.

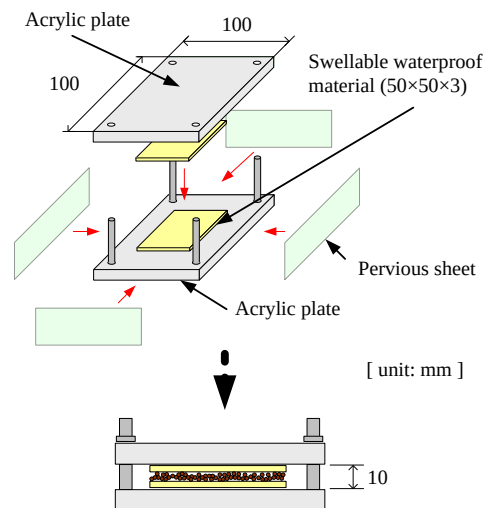


Fig. 6 Assembled testing apparatus to take a swelling property with micro-focus camera.

間の計測において漏水量が確認されず、すなわち、 $k_e \leq 5 \times 10^{-9} \text{ cm/s}$ である。一方、0.1MPa 以上の水压が作用した場合には 6 時間の計測時間内において微量の漏水が確認され、 $k_e = 1 \times 10^{-8} \sim 1 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ であった。すなわち、H-H 継手を施した連結鋼管矢板は、作用水压の増大に伴い透水係数が上昇する傾向にある。ただし、この特性は既に実施した実規模室内透水試験^{2),3)}から明らかにした遮水特性と同様であり、海面埋立処分場等において考慮される最大の作用水压（0.05MPa を想定）¹⁾では十分な遮水性能が期待できる。さらに、土砂混在場における H-H 継手を施した連結鋼管矢板の換算透水係数は、作用水压 0.3MPa において $k_e \leq 1 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ 以下であり、これは土砂が混在しない条件（既往に実施した実規模室内透水試験^{2),3)}）と同レベルの遮水性能である。よって、こ

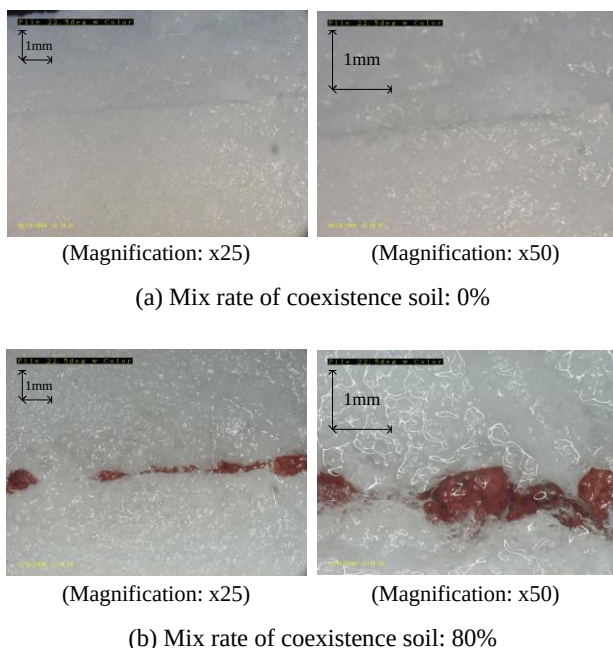


Fig. 7 Swelling characteristic of swellable waterproof material under soil coexistence.

れまでに報告してきた H-H 継手を施した連結鋼管矢板の遮水性能は、土砂混在場においても満足できる。

3 土砂混在場における膨潤性止水材の可視化

3.1 試験概要

H-H 継手のフランジ嵌合面に接着された膨潤性止水材の隙間全面における土砂の混在は H-H 継手を施した連結鋼管矢板の換算透水係数に大きな影響を与えず、すなわち、膨潤性止水材は混在する土粒子の間隙において十分に膨潤していることが推測される (Fig. 5 参照)。そこで、土砂混在場での膨潤性止水材の膨潤状況を確認するため、マイクロフォーカスを用いた膨潤状況の可視化を試みる。Fig. 6 は、組み立てた試験装置の概要を示している。また、試験手順は以下のとおりである。

- (1) 下部アクリル板の周囲に透水性シートを貼り付け、アクリル板中央に厚さ 3mm の膨潤性止水材を設置する。
- (2) (1)で設置した膨潤性止水材の上部へケイ砂 5 号を 0% (土砂混在無し) および 80% の充填率で敷設する。
- (3) 所定の充填率で敷設されたケイ砂 5 号の上部へ更に膨潤性止水材を設置する。
- (4) 上部アクリル板を固定する (下部アクリル板との間隔 10mm)。
- (5) “膨潤性止水材-ケイ砂 5 号-膨潤性止水材” で構成された試験体を 72 時間水浸 (水道水) させた後、試験体を水槽から取り出し、上部アクリル板を外す。
- (6) “膨潤性止水材-ケイ砂 5 号-膨潤性止水材” の断面において供試体をカッターナイフで切断し、当該断面をマイクロフォーカスカメラで撮影する。

なお、充填率とは膨潤性止水材の膨潤可能な空間体積する混在する土の体積比率である。

3.2 結果と考察

Fig. 7 は、膨潤性止水材の膨潤可能な空間 (膨潤空間) において充填率 0 および 80% でケイ砂 5 号が混入した場合の供試体断面を示している。これより、膨潤性止水材の接触界面にケイ砂 5 号が存在しない場合 (充填率 0%)、膨潤性止水材の膨潤接触界面に局所的なくぼみ等が確認されず、膨潤接触界面は線形状に広がっている。すなわち、膨潤性止水材の膨潤接触界面を局所的に捉えた場合、膨潤性止水材の膨潤はほぼ均一に生じていると考えられる。また、膨潤性止水材の膨潤接触界面には間隙が存在せず、膨潤性止水材で完全に充填されていることが確認できる。一方、互いの膨潤性止水材の間にケイ砂 5 号が混在する場合 (充填率 80%)、互いの膨潤性止水材は土粒子を取り囲むように膨潤する。すなわち、互いの膨潤性止水材が混在する土粒子を覆うように膨潤し、他方の膨潤性止水材と膨潤接触界面を形成することで隣り合う土粒子間に生じた間隙を完全に充填する。また、膨潤性止水材の膨潤可能な空間 (膨潤空間) における土砂の混在は膨潤空間の減少をもたらす、膨潤性止水材の膨潤圧は結果的に増加することも期待できる。

以上より、膨潤性止水材の膨潤可能な空間 (膨潤空間) における土砂の混在有無は、膨潤性止水材が接着された H-H 継手を施した連結鋼管矢板の遮水性能に大きな影響を及ぼさないことが明らかである。

5 結 言

本論文において得られた成果は以下のとおりである。

- (1) 膨潤性止水材が接着された H-H 継手フランジ嵌合面における土砂の混在は、H-H 継手を施した連結鋼管矢板の遮水性能に大きな影響を及ぼさない。
- (2) 膨潤性止水材は混在した土粒子の間隙において膨潤し、結果的に土粒子は膨潤した膨潤性止水材で覆われる。

今後は、実現場において H-H 継手を施した連結鋼管矢板の土砂混在場遮水性能を実証する必要がある。

参 考 文 献

- 1) Kamon, M. and Inui, T., “Geotechnical problems and solutions of controlled waste disposal sites”, JSCE J. of Geotech. Eng., No.701/III-58, pp.1-15 (2002).
- 2) Inazumi, S., Kimura, M., Yamamura, K., Nishiyama, Y. and Kamon, M., “Construction of vertical cutoff barrier using H-jointed steel pipe sheet piles with H-H joints”, J. of The Society of Materials Science, Vol.54, No.11, pp.1105-1110 (2005).
- 3) Inazumi, S., Kimura, M., Kamon, M. and Nishiyama, Y., “Impermeable properties of H-jointed steel pipe sheet piles with H-H joints”, J. of The Society of Materials Science, Vol.57, No.1, pp.50-55 (2008).
- 4) Inazumi, S. and Kimura, M., “On-site verification for installation and permeability of H-jointed SPSPs with H-H joints”, Proc. of the 17th Int. Conf. on Soil Mech. and Geotech. Eng., Accepted for Publication (2009).

