

廃棄物埋立護岸における連結鋼管矢板の止水性

京都大学大学院工学研究科
京都大学大学院工学研究科
(株) データ・トゥ
日本化学塗料 (株)
京都大学大学院地球環境学堂

稲積真哉
木村 亮
西山嘉一
小林賢勝
嘉門雅史

キーワード：連結鋼管矢板；H-H 鋼継手；遮水処理；水膨潤性塗料

1. 緒 論

我が国では、土地利用および周辺住民との合意形成に関わる問題等により新規の内陸処分場建設が困難な現状である。そのため、都市部の港湾域に大規模で展開する海面埋立処分場が果たす役割はますます大きくなっている。海面埋立処分場における廃棄物埋立護岸は、廃棄物、建設発生土、および浚渫土砂の海面埋立処分に対応して、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のものである¹⁾。廃棄物埋立護岸は、波浪、高潮、津波などに十分安全であるとともに、保有水などが海域へ流出することがない遮水工としての構造でなければならない。よって、廃棄物埋立護岸には十分な遮水性が求められる。従来、大水深施工が可能な鋼管矢板は、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管理型の海面埋立処分場を中心に広く用いられている²⁾。遮水工としての鋼管矢板は鋼材自体が不透水であるため、漏水経路が矢板同士の継手箇所に限定される。そのため、継手箇所には遮水処理を施さなければならない。すなわち、鋼管矢板を廃棄物埋立護岸として適用するためには、その構造的安定性のみならず継手箇所における遮水性が重要な検討項目となる。しかしながら、鋼管矢板の継手箇所に対する遮水性能を評価した既往の研究例は、力学的安定性を評価した研究例と比べ数少ない。嘉門ら³⁾は、廃棄物埋立護岸に二重鋼管矢板を適用した海面埋立処分場における有害物質の移流分散経路を検討し、廃棄物埋立護岸として必要とされる鋼管矢板の遮水性能を議論している。鋼管矢板のみで遮水を行う場合、鋼管矢板自体の透水係数は 10^{-8} cm/s を維持する必要がある。またその条件に相当する鋼管矢板の継手箇所は、透水係数 10^{-7} cm/s オーダーの遮水処理が行われなければならない³⁾。本研究では遮水性がより発揮される廃棄物埋立護岸の技術開発を目的として、“連結鋼管矢板”を提案する。さらに、“新連結鋼管矢板”として開発された H-H 鋼継手箇所の遮水性を、開発した止水性試験から議論する。止水性試験では、H-H 鋼継手へ鋼矢板用止水材として用いられる水膨潤性止水材を改良した塗料を塗布し、水膨潤性塗料が塗布された H-H 鋼継手箇所の漏水に対する最大抵抗圧力を検証している。

2. 連結鋼管矢板の埋立護岸への可能性

海面埋立処分場における廃棄物埋立護岸では、図-1 に示される従来型継手（継手形状により P-P 型継手、P-T 型継手、および L-T 型継手）を有する鋼管矢板が、互いに継手を介して連続的に打設される。鋼管矢板が打設される際、従来型継手（図-1）には遊間が多いため、継手部分における遮水処理が必要となる。一般的に鋼管矢板の従来型継手箇所には、止水用のモルタルや薬液等を充填することで遮水処理が施される。しかしながら、遮水処理に伴う処理材（モルタルや薬液）の流出に伴う周辺海域の水質汚染が懸念される。そこで著者らは、従来型継手を有する鋼管矢板の遮水性の課題を克服するため、図-2 に示す“連結鋼管矢板”の廃棄物埋立護岸としての適用を提案している。連結鋼管矢板（図-2）とは、「施工前に 2 本の鋼管矢板を H 鋼継手で溶接することにより、施工性・経済性の優れた鋼管矢板として利用する」という新たな発想により開発され、高耐力・完全止水という特性を有する。

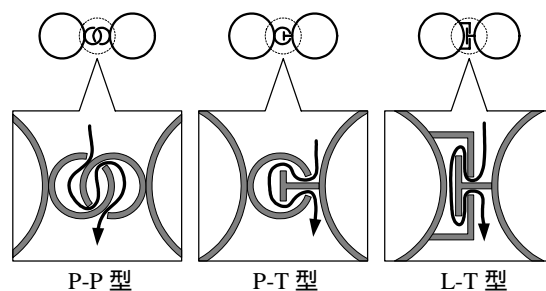


図-1 従来型継手を有する鋼管矢板

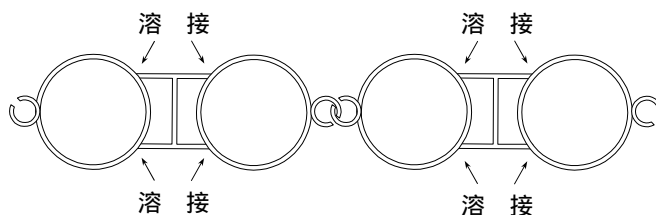


図-2 連結鋼管矢板

すなわち、連結鋼管矢板の廃棄物埋立護岸への適用は遮水性の確保のみならず、高い水平支持力が期待できるとともに鋼材料の削減が見込まれる。これは、図-3 に示すように従来型鋼管矢板と連結鋼管矢板をモデル化し、模型鋼管矢板基礎に対する遠心場での静的水平載荷実験の結果（図-4）からも確認される^{4), 5)}。さらに連結鋼管矢板は、施工前に2本の鋼管矢板をH鋼継手により溶接連結するため、H鋼継手箇所へのモルタル注入を行わずに止水することが可能であり遮水処理を施す必要はない。よって、単純に止水処理材（モルタルや薬液）の注入量を半減することができ、止水処理材の流出による周辺海域の水質汚染リスクを低減できる。木村らは、廃棄物埋立護岸として連結鋼管矢板を用いた場合、図-5および表-1のとおり止水処理材の注入量を従来型鋼管矢板の48%に削減できることを示している⁶⁾。従って、連結鋼管矢板は従来型鋼管矢板と比較して、環境負荷の低減に一層貢献し得る部材であるといえる。連結型鋼管矢板の特性は、その施工性、環境負荷、および水平耐力の観点から以下のように列挙することができる。

- (1) 2本同時打設が可能
- (2) 施工時の鉛直精度の向上
- (3) 止水処理材の削減
- (4) 単位長さ当りの曲げ剛性の増加
- (5) 任意の断面形状に閉合可能
- (6) 土砂流出の防止

廃棄物埋立護岸として連結鋼管矢板を連続打設する場合、連結鋼管矢板同士は従来型継手（P-P継手）によって繋がれる。換言すれば、完全止水が可能な連結鋼管矢板を連続して打設した場合、連結鋼管矢板間の従来型継手箇所から漏水の危険性が残される。そのため、著者らは図-6 に示すような連結鋼管矢板の両端の継手箇所に異なる大きさのH鋼による継手を使用する“新連結鋼管矢板”をさらに提案している。新連結鋼管矢板は、連結鋼管矢板の特性を維持しており、両端のH-H鋼継手には水膨潤性塗料を塗布することで、モルタル注入を施すことなく遮水することが可能である。すなわち、連結鋼管矢板の両端の継手箇所をH-H鋼継手により改良した新連結鋼管矢板は、連結鋼管矢板の遮水性をさらに高めることが可能となり得る。

3. H-H鋼継手の止水性試験

3.1 試験概要

新連結鋼管矢板に採用されるH-H鋼継手の遮水性は、異なる大きさのH鋼の継手接触面に塗布された水膨潤性塗料によって発揮される。H-H鋼継手の間隙は、塗布された水膨潤性塗料が鋼管矢板施工時に水中で膨潤することにより閉鎖する。水膨潤性塗料は、合成樹脂エラストマーを止水材ベースとし、これに高吸水性ポリマー、充填剤、溶剤などを配合した流動性のある止水材である⁷⁾。また、塗料の乾燥塗膜からの抽出水は食品衛生法に基づく水質基準を満足し、環境に適合するものである。図-7は止水性試験に用いた水膨潤性塗料の膨潤特性を示している。本試験に用いた水膨潤性塗料は水に浸漬すると1~2時間で膨潤

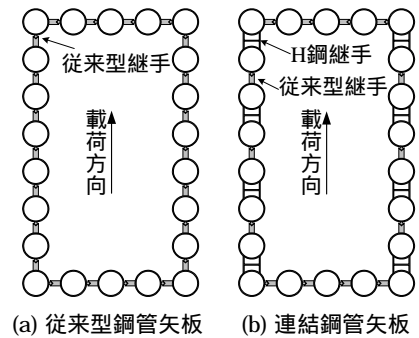


図-3 模型鋼管矢板基礎（遠心模型実験）

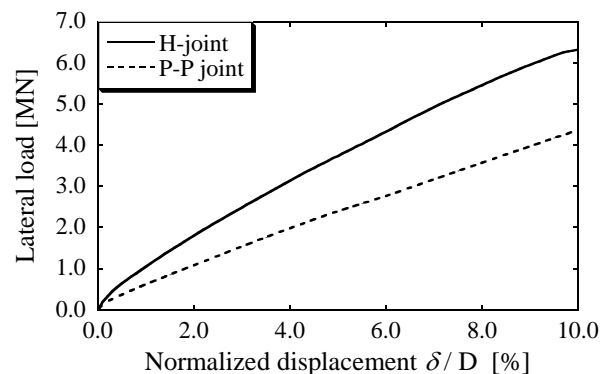


図-4 荷重 - 変位曲線（遠心模型実験）

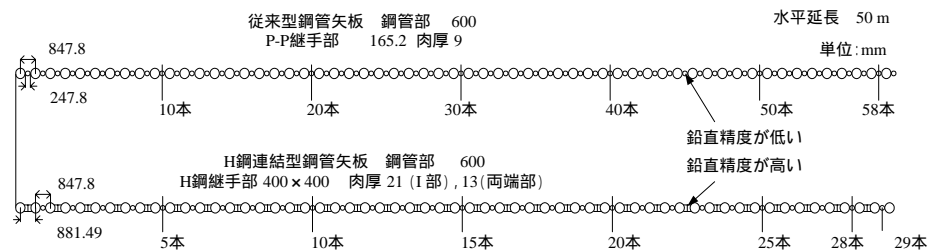


図-5 従来型鋼管矢板と連結鋼管矢板の施工性比較

表-1 施工手間と止水処理材の低減率

	形状	止水処理	打設手間	壁長1m当りの曲げ剛性 EI
従来型鋼管矢板	600×9 mm 継手 (P-P 165.2×9mm)	58ヶ所	59本	9.47×10^4 (kN・m ² /m)
H鋼連結型鋼管矢板	600×9 mm 継手 (H 400×400mm)	28ヶ所	29本	1.35×10^5 (kN・m ² /m)
従来型を100%としたときのH鋼連結型の比率		48%	49%	143%

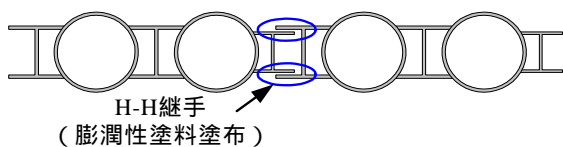


図-6 新連結鋼管矢板 (H-H 鋼継手)

し始め、24 時間後にはおよそ 20 倍に膨潤する。

本試験は、H-H 鋼継手の遮水性を把握することが目的である。そのため、図-8 に示すような H-H 鋼継手箇所のみを対象とした試験体を用いている。水膨潤性塗料は、図-8 に示される箇所 (異なる大きさの H 鋼の接触位置) に塗布する。塗料の塗布厚さは膨潤量ならびに膨潤圧に影響を与え、H-H 鋼継手の遮水性に關与する一要素である。よって、止水性試験は、異なる塗布厚さの H-H 鋼継手に対して実施している。塗布厚さの管理は、塗布面積を一定に保ち、材料の重量を計測することにより行う。

3.2 試験方法

試験体の作製方法および試験手順を以下に示す。

- (1) H-H 鋼継手の接触面に所定の量の水膨潤性塗料を塗布し、24 時間自然乾燥を実施する (自然乾燥により水膨潤性塗料は弾性のある固い塗膜と変質する)。
- (2) ゴムパッキンおよび鋼鉄製プレートを用いて試験体の上下部を挟み、ボルトによりゴムパッキン、鋼鉄製プレート、および試験体との間に間隙が生じないように固定する。
- (3) (2) で作製された試験体を 20 度の恒温水槽中で 3 日間浸漬し、塗布した塗料を完全に膨潤させる。
- (4) 鋼鉄製プレート中央に開いた空気圧注入口にエアコンプレッサーを接続する。
- (5) エアコンプレッサーを開き、H-H 鋼継手内部に空気圧を送り込む。この際、空気圧の調節は圧力計で行う。調節方法は、1 分毎に 0.1 MPa 増加させ、空気漏れが起こるまで圧力を増加させる。また、空気漏れが発生した時点の空気圧を最大抵抗圧力とする。

図-9 は用いた止水性試験装置の詳細を示す。さらに、試験体の諸元および塗量の塗布厚さの詳細は表-2 に示している。

3.3 結果と考察

表-3 および図-10 は、H-H 鋼継手に塗布する水膨潤性塗料の塗布厚さと H-H 鋼継手の最大抵抗圧力の関係を示している。これより、水膨潤性塗料の塗布厚さが薄くなることに伴い、H-H 鋼継手の最大抵抗圧力は低下し、1 mm の塗布厚さでは 0.25 MPa である。これは、水深に換算すれば 25 m に相当する。しかしながら、塗料の塗布厚さが 2 mm および 3 mm の場合、H-H 鋼継手は水深 50 m での水圧に相当する 0.5 MPa 以上の最大抵抗圧力を示すことができる。すなわち、H-H 鋼継手に対して水膨潤性塗料を 2 mm 以上の厚さで塗布することによって、新連結鋼管矢板は実現場においても十分に遮水性を発揮し得ると判断できる。一方、H-H 鋼継手の遮水性に影響を及ぼす因子として、H-H 鋼継手内の間隙 (10 mm) に塗布された水膨潤性塗料の膨潤程度が考えられる。ここで述べる膨潤程度とは、H-H 鋼継手内の両側から膨潤した水膨潤性塗料間の接触面における膨潤応力であり、塗料間の接触面における膨潤応力は

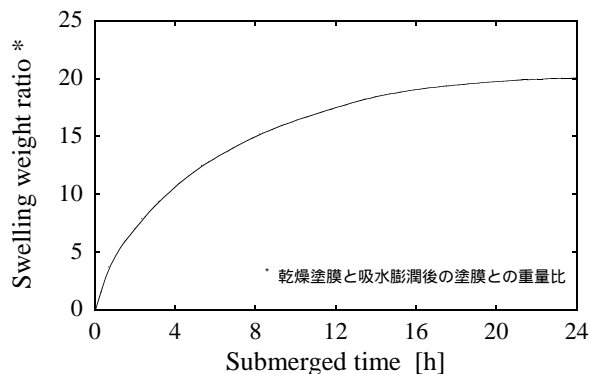


図-7 水膨潤性塗量の膨潤性

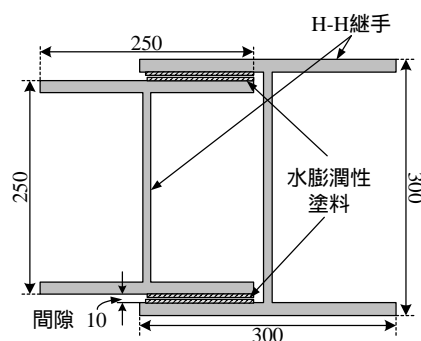


図-8 H-H 鋼継手の試験体 (止水性試験)

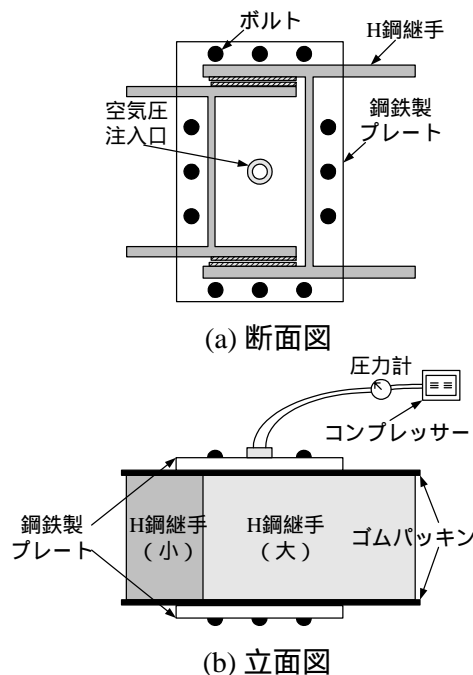


図-9 止水性試験装置

塗布厚さの増大に伴って増加するものと予測する。本試験では、水膨潤性塗料の塗布厚さが H-H 鋼継手の抵抗可能な水圧に影響を与えることを明らかにし、適切な厚さで塗料を塗布することで鋼管矢板の施工ならびに廃棄物埋立護岸として受ける水圧に耐え得ることが確認された。

4. 結 論

海面埋立処分場における廃棄物埋立護岸として連結鋼管矢板ならびに新連結鋼管矢板の適用を提案し、新連結鋼管矢板として開発された H-H 鋼継手箇所の遮水性を検証した。得られた成果は以下のとおりである。

- (1) 連結鋼管矢板は、施工前に 2 本の鋼管を H 鋼継手により連結するため、H 鋼継手箇所へのモルタル注入を行わずに止水することが可能であり遮水処理を施す必要はない。よって、単純に止水処理材（モルタルや薬液）の注入量を半減することができ、止水処理材の流出による周辺海域の水質汚染リスクを低減できる。
- (2) 新連結鋼管矢板は、連結鋼管矢板の特性を維持しており、両端の H-H 鋼継手には水膨潤性塗料を塗布することで、モルタル注入を施すことなく遮水することが可能である。
- (3) H-H 鋼継手内に塗布された水膨潤性塗料の膨潤程度は、H-H 鋼継手の遮水性に影響を及ぼす。H-H 鋼継手内の両側から膨潤した水膨潤性塗料間の接触面における膨潤応力は、塗布厚さの増大に伴って増加する。
- (4) 適切な厚さで水膨潤性塗料を塗布することで、新連結鋼管矢板の施工ならびに廃棄物埋立護岸として受ける水圧に耐え得る。

現在、本稿で報告した止水性試験を耐水圧型透水試験に改良することで新連結鋼管矢板における H-H 鋼継手箇所の遮水性能をより詳細に検討している。さらに、H-H 鋼継手箇所の課題として挙げられる引張方向への抵抗力を改善するため、H-H 鋼継手内へ突起部の設置を検討している。突起部を設けた H-H 鋼継手に対しては、引張試験を実施し、継手箇所の引張剛性を評価する予定である。

本研究の実施にあたりご協力頂いた京都大学大学院 Arap Too Kiptanui 氏、および磯部公一氏に感謝致します。

【参考文献】

- 1) 運輸省港湾局 (2000): 管理型廃棄物埋立護岸設計・施工・管理マニュアル, 財団法人 港湾空間高度化センター.
- 2) 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, 地盤工学会, Vol. 51, No. 8, pp. 34-36.
- 3) 嘉門雅史・勝見 武・遠藤和人・伊藤圭二郎・土居 亮 (2001): 矢板式遮水構造を有する海面埋立処分場の性能評価, 第 4 回環境地盤工学シンポジウム論文集, 地盤工学会, pp. 279-284.
- 4) 木村 亮・磯部公一・Too, A.J.K.・西山嘉一 (2003): 連結鋼管矢板を用いた鋼管矢板基礎の水平支持力特性の把握, 第 58 回土木学会年次学術講演会概要集, 土木学会, pp. 591-592.
- 5) 木村 亮・磯部公一・Too, A.J.K.・西山嘉一 (2003): 連結鋼管矢板を用いた鋼管矢板基礎の水平抵抗特性, 第 38 回地盤工学研究発表会講演概要集, 地盤工学会, pp. 1611-1612.
- 6) 木村 亮・磯部公一・Too, A.J.K.・西山嘉一・川端規之 (2002): 連結鋼管矢板の継手特性, 第 37 回地盤工学研究発表会講演概要集, 地盤工学会, pp. 1407-1408.
- 7) (株) 総合土木研究所 (1996): 基礎工, Vol. 24, No. 3, p. 61.

表-2 試験体の諸元と試験ケース

	Case-1	Case-2	Case-3
H鋼継手	250 × 250 mm 300 × 300 mm		
間隙 b	10 mm		
塗布厚さ	3 mm	2 mm	1 mm
塗布面	両面		

表-3 各ケースにおける最大抵抗圧力

	Case-1	Case-2	Case-3
最大抵抗圧力 (MPa)	0.7	0.5	0.25

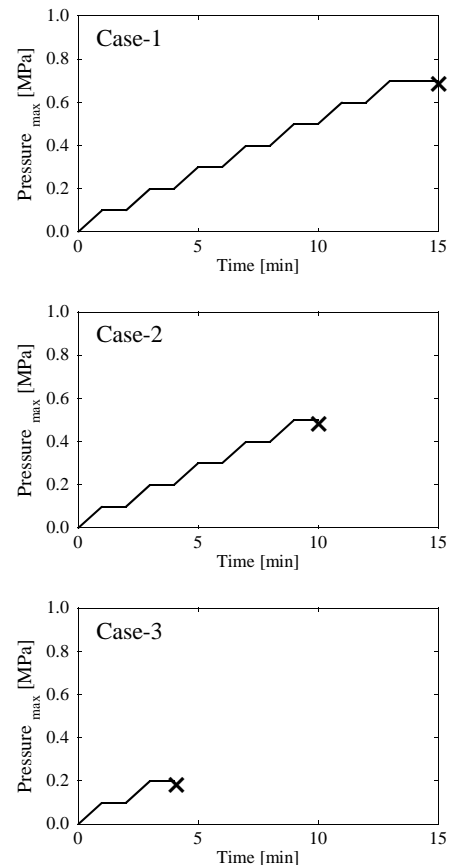


図-10 各ケースにおける止水性試験結果