

海面処分場における鋼（管）矢板を用いた遮水工について

Cut-off Wall Using Steel (Pipe) Sheet Piles for Landfill in Coastal Area

木 下 雅 敬 (きのした まさのり)

鋼管杭協会 技術委員

岡 由 剛 (おか よしたけ)

鋼管杭協会 技術委員

喜 田 浩 (きた ひろし)

鋼管杭協会 技術委員

吉 田 節 (よしだ みさお)

鋼管杭協会 技術委員

1. はじめに

鋼矢板および鋼管矢板は、止水機能を有する壁体として、従来から河川・港湾等の分野で広く利用されている。廃棄物処分の分野でも、その施工性および経済性から、管理型の海面処分場を中心に、鉛直遮水工として広く用いられている。平成12年に海面処分場を対象とした「管理型廃棄物埋立護岸 設計・施工・管理マニュアル¹⁾」が発刊されるに前後して、その調査研究も進み、遮水性能等についても明らかにされてきている²⁾。

本文では、鋼矢板および鋼管矢板遮水壁の遮水工としての性能について、最近の調査研究より明らかにするとともに、さらにその性能や信頼性の向上を目指した技術開発の動向について紹介するものである。

2. 鋼（管）矢板遮水工の概要

海面処分場における鋼（管）矢板遮水工の形式としては、重力式護岸等の背面に独立した鋼（管）矢板遮水壁を設ける形式と、矢板式護岸に用いられる構造要素としての矢板を遮水工と兼用させる形式がある。鋼矢板と鋼管矢板では、その構造性能や施工性から、一般に、水深が浅く施工深度の小さい場合には鋼矢板を、大水深で施工深度の大きな場合には鋼管矢板が用いられる。鋼（管）矢板遮水工においては、鋼材自体は不透水であるので、漏水経路は矢板同士の継ぎ手に限定されるため、継ぎ手形状に応じた以下の方法にて一般に遮水処理がなされている。

2.1 鋼矢板の遮水方法

鋼矢板は、現在では一般には図-1に示すU形の形状でラッゼン型と呼ばれる嵌合継ぎ手を有する。この継ぎ手の止水方法は、特殊ポリウレタン樹脂からなる吸水膨張性止水材を、鋼矢板の打込み前に塗布し、数時間から1日程度養生し硬化させた後、鋼矢板を嵌合打設する。止水材は水中にて吸水膨張するため、継ぎ手の空隙が膨張した止水材により埋められることにより継ぎ手の遮水性を確保するものである（口絵写真-36）。

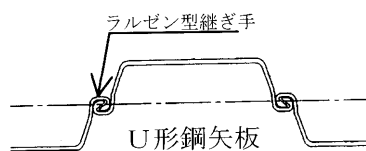


図-1 鋼矢板の継ぎ手

2.2 鋼管矢板の遮水方法

鋼管矢板は、図-2のように鋼管本体の側面に継ぎ手を溶接したものであり、継ぎ手形式には主に三つの形態がある。遮水方法としては、鋼管矢板を嵌合打設した後、継ぎ手内に侵入した土砂をウォータージェット等を用いて排除し、継ぎ手空間に止水用のモルタルを充填する（口絵写真-37）。なお、海底面以浅部では充填モルタルは、継ぎ手のスリットからの漏れ防止のため、ナイロン製の細長い袋（モルタルジャケット）を差込み、その中にポンプで圧入される。

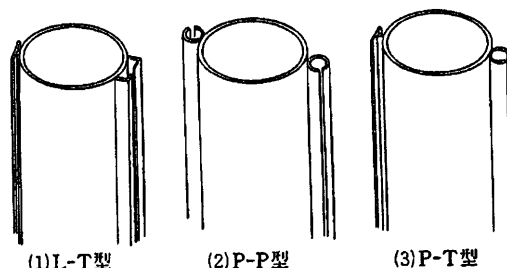


図-2 鋼管矢板の継ぎ手

3. 鋼（管）矢板壁の遮水性能の評価

鋼管矢板壁等の遮水性能の表記については、他の遮水工との比較を容易にするために、継ぎ手からの漏水量 Q から、Darcy 則 $q = k \cdot i$ (q : 単位面積当たりの流速, k : 透水係数, i : 動水勾配) に準じて、下式により鋼管矢板壁を厚さ50 cmの均一な透水層として換算した換算透水係数 ke を用いている。

$$Q/B = ke \cdot (\Delta h/T) \quad \dots\dots\dots (1)$$

Q : 継ぎ手からの時間当たりの漏水量 (単位長さ当たり)

B : 鋼（管）矢板壁の継ぎ手間隔, ke : 換算透水係数
 Δh : 水頭差, T : 換算透水層厚さ (ここでは50 cmとした)

3.1 鋼矢板壁の遮水性能の評価

吸水膨張性止水材を塗布した継ぎ手の遮水性能についての知見を表-1に示す。表中のすべての報告において、換算透水係数が 10^{-6} cm/s 以下となっている。表中の調査のうち3例が実際に現場にて打設した壁体の継ぎ手の遮水性能を調査したものである。また、1例は室内の

表一 吸水膨張性止水材を塗布した鋼矢板の遮水性能^{2)~6)}

No.	矢板の種類	調査方法	換算透水係数 $ke(\text{cm/s})$	調査者・出典
1	IIIw型	現場切出し試験：地中に打設した鋼矢板を引き抜き、試験片を切り出して耐水圧試験を実施。	1.0×10^{-8} 以下	新日本製鐵(株) 第35回地盤工学会研究発表会, 2000.6.
2	ARBED L2N型	原位置漏水試験：鋼矢板に囲われた試験ピット内から、継ぎ手に水圧を作用させて漏水量を測定。	1.0×10^{-8} 程度以下	Delft Geotechnics Journal of Geotech. Engr., 1995.2.
3	II型	室内模型試験：実験水槽の中に鋼矢板を設置し、前背面に水位差を生じさせて漏水量を測定。その際、矢板にたわみ、ねじり、繰返したわみを与えている。	1.0×10^{-6} 以下	国土交通省中部地方整備局 第56回土木学会年次学術講演会, 2001.10.
4	IIIw型	現場切出し試験：地中に打設した鋼矢板を引き抜き、試験片を切り出して耐水圧試験を実施。	1.0×10^{-8} 以下	鋼管杭協会 第57回土木学会年次学術講演会, 2002.9.

模型試験ではあるが、実大の鋼矢板を用い、たわみやねじりを加えるなど実際の使用条件に則した調査を行ったものである。

3.2 鋼管矢板の遮水性能の評価

鋼管矢板の継ぎ手の遮水性能を評価した既往の実験等は比較的乏しく、筆者らが最近実施した試験結果を、表一2に示す。1例は、実験室にて作成した継ぎ手に設計上想定される曲げ変形を加えた後の遮水性能を評価したものであり、もう1例は、実際に現場にて打設し、遮水処理を行った継ぎ手について遮水性を評価している。試験によれば⁷⁾、鋼管矢板の継ぎ手の漏水経路は継ぎ手鋼材とモルタル等の充填材との界面であることが明らかにされており、モルタルジャケットを用いた継ぎ手はこの界面にナイロン製の袋が存在するため、遮水性能が劣る。一方で、この部位を改良することで、遮水性能が改善できると考えられることから、口絵写真一38に示すような漏洩防止ゴム板付き継ぎ手が提案されている。漏洩防止ゴム板付き継ぎ手は、試験結果も良好で、大幅な遮水性能の向上が確認されている。

表一2 鋼管矢板のモルタル充填継ぎ手の遮水性能^{7),8)}

No	調査方法	継ぎ手の種類	換算透水係数 $ke(\text{cm/s})$	調査者・出展
1	継ぎ手模型試験：長さ2.5mの継ぎ手模型に、設計上想定される曲げひずみを与えた後、試験片を切り出し耐水圧試験を実施	P-T継ぎ手	1.0×10^{-9} 以下	鋼管杭協会 第36回地盤工学会研究発表会, 2001.6.
		P-T継ぎ手 (モルタルジャケット)	$1 \sim 2 \times 10^{-6}$ 程度	
		P-T継ぎ手 (漏洩防止板付き)	1.0×10^{-8} 以下	
2	現場切出し試験：地中に打設した鋼矢板を引き抜き、試験片を切り出して耐水圧試験を実施。	P-T継ぎ手 (漏洩防止板付き)	1.0×10^{-7} 以下	鋼管杭協会 第57回土木学会年次学術講演会, 2002.9.

4. 鋼（管）矢板遮水工の耐久性について

4.1 鋼材の耐久性について

廃棄物からの溶出物などに応じて検討する必要があるが、東京都港湾局が行ったごみ埋立地での鋼材の腐食についての調査⁹⁾によれば、表一3のような平均腐食速度が得られている。

特に、硫化物や硫化水素、その他腐食性の分解生成物の発生に留意する必要があるものの、廃棄物と直接接触

表一3 ごみ埋立地盤中の鋼材の腐食速度の調査結果⁹⁾

暴露環境	調査位置	10年間の平均腐食速度
大気中	陸上大気中	0.011 mm/year
ガス中	地下水・ガス採取孔の中	0.042 mm/year
浸出水中	浸出水貯留池中	0.026 mm/year

することが無いように配慮すれば、適切な腐食代の設定により十分な耐久性を確保できるものと考えられる。

4.2 止水材の耐久性について

止水材、特に鋼矢板に用いる吸水膨張性止水材については、一般になじみも薄く、従来よりその耐久性に疑問を呈する指摘が多くあった。これに対し、耐熱性、耐酸・耐アルカリ性、耐薬品性、凍結融解耐久性、乾湿繰返し耐久性、加水分解性について調査し、実用上十分な耐久性を有することが確認されている²⁾。

また一方で筆者らは、高温促進試験により、遮水性能が発揮される寿命を推定する試みも現在行っている。まだ試験継続中の段階ではあるが、常温においては100年以上の寿命を有する（遮水性能が保持される）ことが明らかになりつつある。以下にこの試験について簡単に報告する。

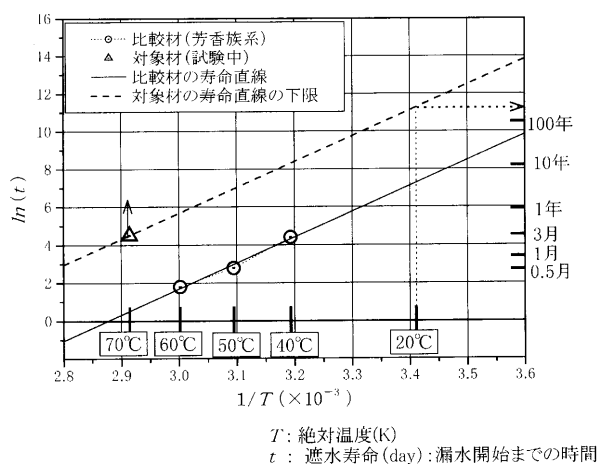
試験方法は、止水材を鋼矢板の継ぎ手に塗布し、継ぎ手同士を嵌合した状態で一定温度に保持した温水槽に水浸し、継ぎ手部に10 mの水頭をかけた状態で、漏水量を測定している。このとき、温度水準を3水準程度設定し、漏水量が急激に増加する時間を遮水寿命として各温度にて測定する。この結果から、アレニウスの式¹⁰⁾が成立するものとして、常温時の寿命を推定するものである。

今回の試験に使用した吸水膨張性止水材は、加水分解されにくい脂肪族系イソシアネイトを用いたウレタンポリマーであり、現在多く使用されているものである。一方で、比較材として加水分解されやすい芳香族系イソシアネイトによるウレタンポリマーを用いた高温促進試験も実施している。

比較材の試験結果等の検討によれば、吸水膨張性止水材の経年劣化による漏水発生のメカニズムとして以下が推定される。すなわち、止水材の一部が継ぎ手周囲の地下水等により長期的に加水分解されて徐々に強度が低下し、強度の低下に伴って水圧の作用により一部の止水材が押し出され、水みちが形成されることで漏水量が急激に増加する。

図一3は、現在進行中の高温促進試験の結果のアレニウスプロットの一部を示すものである。図中にて、○印のプロットが加水分解されやすい比較材の試験結果をプロットしたもので、実線がその寿命推定直線である。一方、加水分解されにくい脂肪族系イソシアネイトによるウレタンポリマーである吸水膨張性止水材（以下、対象材と呼ぶ）を用いた試験では、試験開始から3カ月経過した現在において、試験温度を70℃に設定した試験についてもいまだ漏水は発生していない。したがって、正確な寿命推定はできないが、少なくとも70℃、3カ月を示す△印を切片とする寿命推定直線（図中破線）より

論 文



図—3 高温促進試験による寿命推定

上方に寿命推定直線があると推定できる。このとき、別途試験により対象材と比較材の強度劣化特性は、アレニウスプロットにおける勾配が等しいことを確認していることから、遮水寿命の推定直線の勾配も比較材のものと同じになるものと仮定している。この結果より、対象材では、常温時（約20℃）において100年以上の寿命があるものと推定できる。

5. 新しい技術開発の動向

既往の遮水方法は、鋼矢板の場合は止水材を事前に塗布する方法であり、鋼管矢板の場合は打設後に継ぎ手処理を行う方法が用いられている。しかし、鋼矢板は部材剛性が低いこともあり、施工中の台風等の波浪により矢板があおられ、継ぎ手内の止水材が損傷を受けることが懸念されている。一方、鋼管矢板の場合は、大水深で施工深度が深い場合に用いられるにもかかわらず、打設後に継ぎ手の洗浄等の処理を大深度まで施さなければならず、その品質に対する懸念も指摘されている。そこで、止水材を打設後に充填することが可能な鋼矢板工法や、逆に止水材をあらかじめ継ぎ手に充填しておく鋼管矢板工法の開発が行われている。一方で、嵌合継ぎ手自体の遮水性能を上げるよりも、難透水性の土質材料等を組み合わせることで遮水性能を確保しようとする方法や、水中溶接により確実に遮水する工法等も開発が進行中である。

(1) 遮水用途特殊形状鋼矢板

止水材の充填ポケットを有する新しい形状の嵌合継ぎ手を有する鋼矢板が開発されている（口絵写真—39）。この充填ポケットに水膨潤性の止水ゴム等を装着することで、打設時の止水材の損傷を避けることが出来る。また、矢板打設後適切な時期に止水材を後充填する方法を取ることも可能で、施工法の開発も行われている。

(2) アスファルト事前充填鋼管矢板継ぎ手

鋼管矢板の雌継ぎ手にあらかじめ特殊なアスファルトコンパウンドが充填された止水継ぎ手が開発されている（口絵写真—40）。このアスファルトコンパウンドは振動工法や打撃工法による施工時には大きな打設抵抗とはな

らず、一方で、アスファルトの変形追従性や長期的な流動性により深部においても高い遮水品質を確保することができる。

(3) 難透水性の土質材料との組合せ工法¹¹⁾

この方法は、海成粘土を用いた難透水性の止水材料を、H形状やその他、2重爪の鋼製矢板により構成される空間に充填することで、所定の厚さを有する難透水性の土質材料による鉛直遮水壁を構築する工法である（口絵写真—41）。このほか、鋼管矢板の背面に遮水材を充填する空間を別途設ける形式や、止水材としてアスファルトマスチックを用いる方法も提案されている。

(4) 水中溶接法

水中ガスシールド溶接、またはプラズマ溶接により鋼矢板の継ぎ手を溶接することで遮水性を確保する方法である。上記と同様に、2重爪の鋼製矢板を利用することで、その内部空間を利用して、溶接施工空間を確保し、さらに内部空間に止水材等を充填せず、モニタリングや補修作業を行うことも提案されている。

6. おわりに

本報にて述べた新しい遮水壁工法も含めて、種々の鋼（管）矢板を用いた遮水工について、実海域での実証試験が（独）港湾空港技術研究所を中心として進行中である。これらの技術開発により、種々の要求性能や現地条件に適合した工法の選択が可能となるものと期待される。

参 考 文 献

- 1) 勸港湾空間高度化センター 港湾・海域環境研究所：管理型廃棄物埋立護岸設計・施工・管理マニュアル，2000.
- 2) ㈱日本埋立浚渫協会：廃棄物海面処分場の施工要領（案），pp. 2-1～2-76，2001.
- 3) 中山ほか：吸水膨張性止水材を塗布した鋼矢板の止水性能評価試験，第35回地盤工学研究発表会，pp. 1559～1560，2000.
- 4) Sellmeijer, J. B. et al.: Hydraulic resistance of steel sheet pile joints, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 121 No. 2, pp. 105～110, 1995.
- 5) 小泉ほか：鋼矢板継手部における透水量に関する実験と考察，第56回土木学会年次学術講演会，pp. 38～39，2001.
- 6) 鳥崎ほか：廃棄物最終処分場向け鋼矢板の遮水性能確認試験，第57回土木学会年次学術講演会，pp. 275～276，2002.
- 7) 木下ほか：鋼管矢板継手の遮水性能評価実験，第36回地盤工学研究発表会，pp. 2535～2536，2001.
- 8) 岡ほか：廃棄物最終処分場向け鋼管矢板継手の施工性確認試験，第57回土木学会年次学術講演会，pp. 277～278，2002.
- 9) 清水ほか：東京湾におけるゴミ埋立地盤の土質工学的研究（その18）—ゴミ埋立地盤と金属腐食—，第32回土質工学研究発表会，pp. 119～120，1997.
- 10) 例えば，喜多英明：化学入門としての基礎物理化学，学術図書出版社，1977.
- 11) 羽田ほか：海面における管理型廃棄物処分場の遮水工法の開発，その2（変形追従性の確認），第57回土木学会年次学術講演会，pp. 273～274，2002.

（原稿受理 2003.4.1）