

連結鋼管矢板を用いた廃棄物埋立護岸について

稲積真哉¹・木村 亮²・Jonah Kiptanui Arap Too³・西山嘉一⁴・
田村博邦⁵・萩原敏行⁶・嘉門雅史⁷

¹ 正会員 工博 京都大学 助手 工学研究科 都市社会工学専攻 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

² 正会員 工博 京都大学 助教授 工学研究科 都市社会工学専攻 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

³ 学会員 京都大学 博士課程 工学研究科 土木工学専攻 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

⁴ 正会員 (株)データ・トゥ (〒105-0012 東京都港区芝大門1-6-9)

⁵ 正会員 (株)竹中土木 技術本部 (〒104-8234 東京都中央区銀座8-21-1)

⁶ 正会員 工博 西松建設(株) 技術研究所 技術研究部 (〒243-0303 神奈川県愛甲郡愛川町中津4054)

⁷ フェロー 工博 京都大学 教授 地球環境学堂 地球観測技術学廊 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

継手箇所における低い剛性、施工性、および遮水性の問題は、鋼管矢板を適用する上で解決しなければならない急務の課題であり、筆者らは単純であるが革新的な技術として、2本の鋼管がH鋼であらかじめ溶接された部材である「連結鋼管矢板」を開発している。さらに、2つのH鋼を用いた「H-H継手」による連結鋼管矢板端部の継手性能の向上技術も提案している。本論文では、連結鋼管矢板ならびに提案するH-H継手のポテンシャルを、廃棄物埋立護岸を対象に議論するものである。その結果、現場における連結鋼管矢板の打設性能および現場継手性能を明らかにしたとともに、H-H継手を施した連結鋼管矢板が既往の鋼管矢板護岸に比べ、2オーダーの高い遮水性を発揮することを確認した。

キーワード： 連結鋼管矢板，H-H継手，廃棄物埋立護岸，遮水性能，打設性能，現場継手性能

1. はじめに

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。廃棄物埋立護岸は、地震や波浪、高潮、および津波など海上特有の諸条件に対して十分安全であるとともに、廃棄物からの浸出水が海域へ流出することのない構造でなければならない。近年では、大水深施工が可能な鋼管矢板が、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管理型の海面埋立処分場を中心に広く用いられている。

海面処分場における鋼管矢板護岸の設計では、想定される海上特有の諸条件に対して、鋼管矢板ならびに継手箇所の力学・水理学特性を定量的に評価しなければならない。特に、継手箇所における低い剛性、施工性、および遮水性の問題は、鋼管矢板を適用する上で解決しなければならない急務の課題であり、筆者らは革新的な技術の一つとして、2本の鋼管がH鋼であらかじめ溶接された部材である「連結鋼管矢板」¹⁾を開発している。さらに、連結鋼管矢板の開発に係わる技術として、2つのH鋼を用いた「H-H継手」による連結鋼管矢板端部の継手性能の

向上を提案するとともに、より安全で信頼性の高い海面処分場技術の構築を目的として、H-H継手で介する連結鋼管矢板を用いた廃棄物埋立護岸の構築を検討している。本研究では、従来型継手を有する鋼管矢板の問題点を明らかにするとともに、廃棄物埋立護岸としての連結鋼管矢板およびH-H継手の有効性を遮水性の観点から述べる。さらに、連結鋼管矢板を実際に建設するために検証しなければならない打設性能、および現場継手性能を評価するため、実大規模の現場施工試験ならびに現場継手部の曲げ試験を実施した。

2. 従来型継手を持つ鋼管矢板護岸の問題点

(1) 打設に伴う継手嵌合状態

継手を介して構築された鋼管矢板構造物が所要の力学的・水理学的安定性を確保するためには、高い精度で的確な鋼管矢板の打設管理²⁾が必要となる。よって、鋼管矢板の打設では鋼管矢板の位置、傾斜、回転、および継手間隔などに留意し、必要な施工精度を確保しなければならない。特に、継手箇所の抵抗は施工時間に大きく影響するため、継手嵌合の管理は入念に行う必要がある。一般的に、既成鋼管杭の打設施工ではスパイラル管の打設のため、少々の回転はやむを得ない。しかしながら、鋼管矢板に施された従来型継手の存在は鋼管矢板の回転を許さないため、結果的に鋼管矢板継手箇所においてせり合い等が生じる。また、継手で嵌合する鋼管矢板の打

設管理において統一的な打設管理基準は示されていない。一方、既成鋼管杭の打設施工では、打込み完了後の杭頭の水平方向のずれが、設置位置より $D/4$ (D : 杭径)、かつ、100 mm 以内、さらに杭の傾斜が $1/100$ 以内で管理される³⁾。杭基礎の打設管理を矢板に適用した場合、 $1/100$ の杭傾斜とは、10 m の打設深度において鋼管杭底部で 100 mm の打設誤差を許容することを意味する。ここで、図-1 に示すとおり従来型継手として代表される P-P 継手のパイプ径は 165.2 mm、および 30 ± 5 mm の切口である。すなわち、100 mm の許容誤差では P-P 継手が完全に嵌合することは困難であり、現場ではねじれ、ずれ、剥離、および座屈によって、図-1 で示される P-P 継手の理想的な形状を留めることはできない。よって、従来型継手を持つ鋼管矢板では、鋼管矢板の打設に伴い、既に継手箇所においてせり合いや押し引き等が発生し、深度方向に対して健全な状態の継手形状を維持しているとは言い難い。打設に伴う継手嵌合の健全性は、回転や傾斜に対して剛な鋼管矢板ユニット（例えば、連結鋼管矢板）の打設によって確保されると考える。

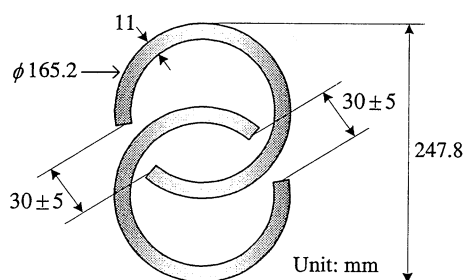


図-1 P-P 継手の形状寸法

(2) 継手箇所における遮水処理

海面埋立処分場における廃棄物埋立護岸では、図-2 に示される従来型継手（P-P、P-T、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、従来型継手には遊間が多いため、継手部分における遮水処理（一般的にモルタル充填処理）が必要となる。例えば木下ら⁴⁾は、P-T 継手の遮水性を向上させるため、モルタル充填に加え、漏洩防止板ゴムを取り付け、スリット入り鋼管を用いた改良型 P-T 継手を

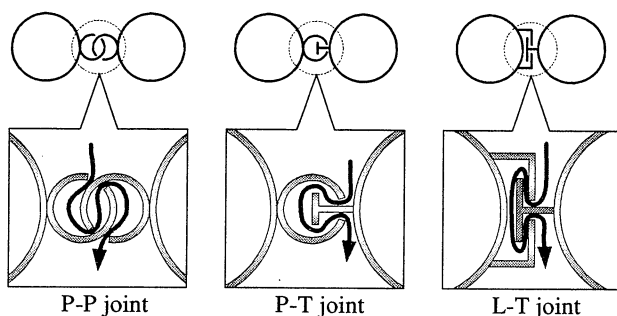


図-2 従来型継手と漏水経路

提案し、モルタルを充填した従来型 P-T 継手と改良型 P-T 継手の遮水特性を比較検討している（図-3 参照）。その結果では、従来型 P-T 継手の透水係数が 10^{-6} cm/s オーダーであるのに対し、改良型 P-T 継手は 10^{-8} cm/s オーダー以下の高い遮水特性を発揮できると述べている⁴⁾。しかしながら、漏洩防止板ゴムを取り付けた状態での打設施工は困難であり、遮水処理に係わるコストが増大すると危惧される。すなわち、図面通りの断面形状が期待できない従来型継手構造に対する遮水処理では、(1) 施工時における継手構造の破損、(2) 充填材の流出に伴う周辺海域の汚染、(3) 継手内に形成される曲面空間への遮水処理、および(4) それらに伴う遮水処理レベルに課題がある。継手部における遮水処理問題は、施工性に優れた剛な継手構造、例えば H-H 継手を介した連結鋼管矢板の開発によって克服され则认为る。

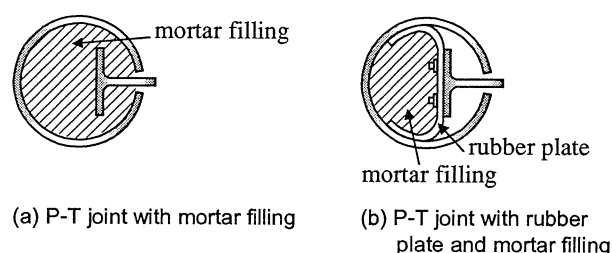


図-3 P-T 継手に対する遮水処理

3. 連結鋼管矢板の埋立護岸への可能性

(1) 連結鋼管矢板の開発・提案

筆者らは、開発した「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-4）とは、「施工前に 2 本の鋼管を H 鋼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。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使用鋼材料の縮減および施工時間の短縮が見込まれる。高い水平抵抗特性は、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-5）からも確認している^{5), 6)}。さらに連結鋼管矢板は、施工前に 2 本の鋼管を H 鋼により剛結するため、H 鋼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

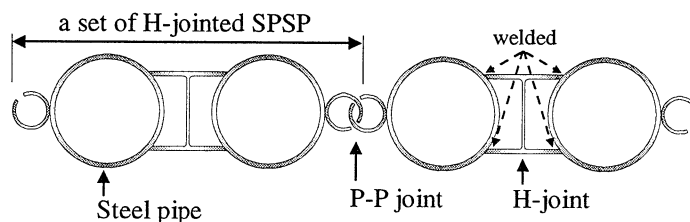


図-4 開発した連結鋼管矢板の概要

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。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。以上、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) 施工期間の短縮
- (2) 施工精度の向上
- (3) 止水処理（材）の削減
- (4) 使用鋼材の縮減

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、筆者らは図-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「H-H継手を介した連結鋼管矢板」をさらに提案している。H-H継手を介した連結鋼管矢板は、連結鋼管矢板の特性を維持しており、両端のH-H継手には水膨潤性シートを接着することで、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継手により改良すれば、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。

(2) H-H継手を介した連結鋼管矢板の遮水性

H-H継手を介した連結鋼管矢板を廃棄物埋立護岸として適用するためには、それぞれの部材の遮水性を高めることが必須の課題となる。2本の鋼管がH鋼によって完全溶接される連結鋼管矢板は完全止水が確保される。一方、H-H継手箇所は、互いのH鋼の接触面に8~11 mmの間隙（平面空間）が形成され、その接触面に対して遮水処理を実施しなければならない。そこで、H-H継手の遮水処理は、打設前にあらかじめ膨張性シートを接触面に接着することで実施され、モルタル充填（従来継手における遮水処理）による遮水効果を期待する必要がある。

H-H継手に対する透水試験は、図-7に示す透水試験装置ならびに試験体を用いて実施した。膨張性シートは、図-7(b)に示される箇所（異なる大きさのH鋼の接触位置に形成される平面空間）に接着する。シート厚さは膨潤量ならびに膨潤圧に影響を与え、結果的にH-H継手の遮水性に関与するものと考えられる。よって、透水試験では、異なるシート厚さ（1, 2, および3 mm）で膨張性シートを接着したH-H継手の遮水性を検討している。ここで、各厚さの膨張性シートが接着された試験体に対して、流入水圧は

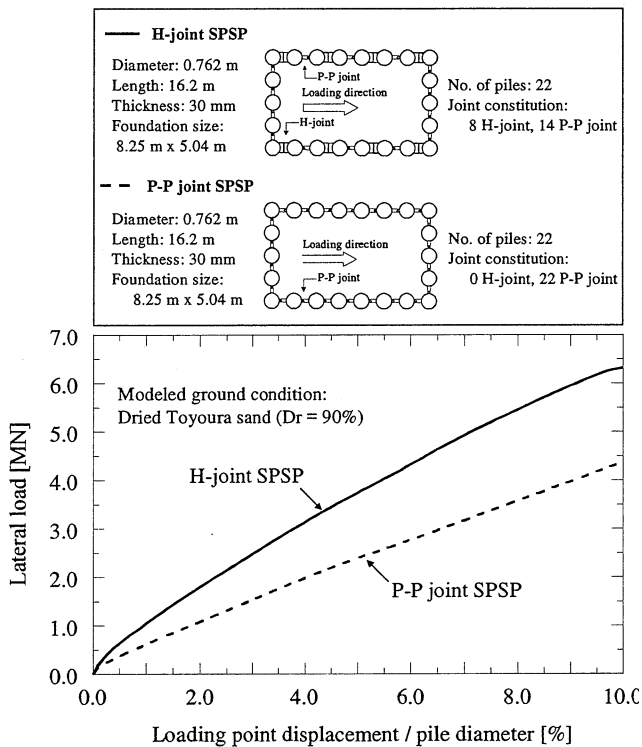


図-5 連結鋼管矢板基礎の水平抵抗特性（遠心模型実験）

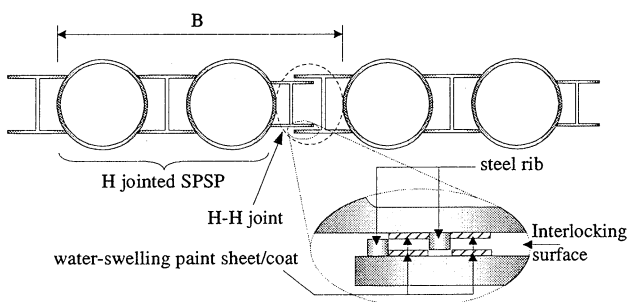
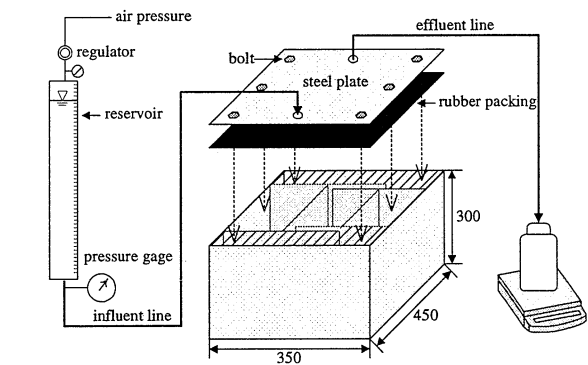
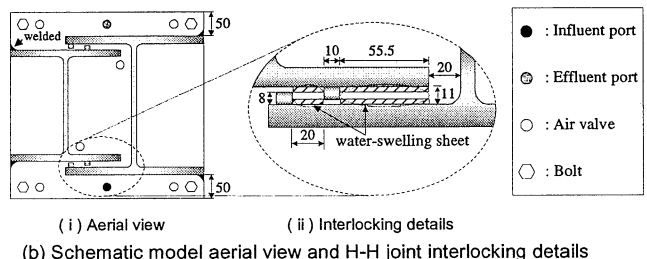


図-6 H-H継手を介した連結鋼管矢板の概要



(a) Schematic diagram of hydraulic conductivity test set-up (Unit: mm)



(b) Schematic model aerial view and H-H joint interlocking details

図-7 透水試験装置と膨張性シートの接着位置

0.02～0.5 MPa まで段階的に上昇させる。圧力の保持時間はそれぞれ6時間として、単位時間あたりの流入・流出水量の収支を確認するとともに、流入・流出流量を計測する。一般的に、継手を介する鋼管矢板の遮水性能は、継手箇所および鋼管を一体とみなし、鋼管矢板壁を厚さ50 cmの均一な透水層（遮水層）として換算した換算透水係数 k_e によって評価される⁷⁾。すなわち、漏水が起こる継手部と完全止水の鋼管を一体とみなす鋼管矢板護岸の遮水性評価では、単位面積あたりに占める鋼管の割合が大きいほど低透水性を示す。よって、単位面積あたりの鋼管が占める割合が、従来型の鋼管矢板と比べ単純に2倍以上となるH-H継手で嵌合した連結鋼管矢板の遮水壁としての有用性は明確である。本試験では、図-8に示すモデルを導き、H-H継手を介した連結鋼管矢板の換算透水係数 k_e を算出した。

H-H継手の遮水性は、異なる大きさのH鋼の継手接触面に接着された膨張性シートの膨潤効果によって発揮される。H-H継手の間隙は、接着された膨張性シート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。膨張性シートは、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。また、シート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。H-H継手の透水試験に用いた膨張性シートは水に浸漬すると1～2時間で膨潤し始め、24時間後にはおよそ20倍に膨潤する。膨張性シートに対する透水試験では、膨張性シートが膨潤すること

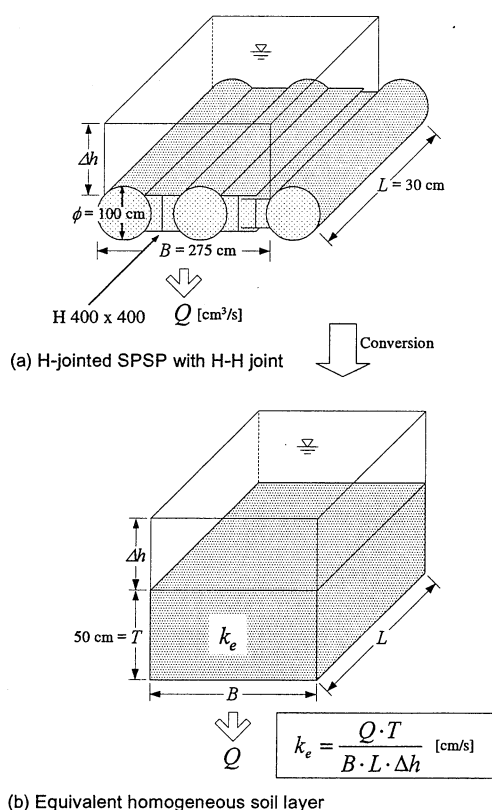


図-8 換算透水係数の考え方

によって 1.42×10^{-9} cm/s の透水係数を発揮できる。

図-9は、H-H継手で嵌合した連結鋼管矢板に作用する載荷水圧とH-H継手に膨張性シートが接着された連結鋼管矢板の換算透水係数の関係を示している。連結鋼管矢板の換算透水係数は、接着する膨張性シートの厚薄および連結鋼管矢板に作用する水圧差に依存して変化する。2 mm以上の厚さを持つ膨張性シートをH-H継手に接着した連結鋼管矢板では、0.5 MPa以下の水圧差において廃棄物埋立護岸に求められる遮水工構造基準 ($k_e \leq 10^{-6}$ cm/s)⁸⁾を満足する。一方、1 mm厚さの膨張性シートをH-H継手に接着した連結鋼管矢板では、水圧差0.4 MPa以下で遮水工構造基準を下回る換算透水係数が得られる。海面埋立処分場では、常時における保有水等の漏出防止や異常時（異常降雨、越波、および高潮等）における保有水等の流出防止のため、管理水位が設けられている。管理水位は、廃棄物埋立護岸の構造形式や処分場の立地環境によって異なるものの、最大でも2 mの水位差で管理される⁸⁾。一方、処分場内の残留水位が5 m程度、外洋水位を上回る例も報告されている。よって、廃棄物埋立護岸としてH-H鋼で嵌合した連結鋼管矢板の換算透水係数を評価する場合、0.05 MPaの水圧差に対して発揮される換算透水係数を適用することができる。図-9では0.05 MPaの作用水圧下、H-H継手で嵌合した連結鋼管矢板の換算透水係数は、1および2 mmのシート厚さで 10^{-8} cm/s オーダーの低透水性を示す。さらに、3 mmのシート厚さでは6時間の計測時間内において流入・流出水量が確認できず、 1×10^{-9} cm/s以下の換算透水係数である。

H-H継手で嵌合した連結鋼管矢板は、水圧差0.05 MPaが作用する下、モルタルジャケットの充填により遮水処理を施したP-T継手で嵌合した鋼管矢板の換算透水係数^{4), 9)}と比べ2オーダーの高い遮水性を発揮する。また、漏洩防止ゴム板とモルタル充填によって遮水処理が施されたP-T継手^{4), 9)}とは、同程度またはそれ以上の遮水性である（図-9参照）。ここで、上記した比較は室内レベルにおける検討である。実海域現場におけるH-H継手で嵌合した連結鋼管矢板の適用は、連結鋼管矢板およびH-H継手に関する

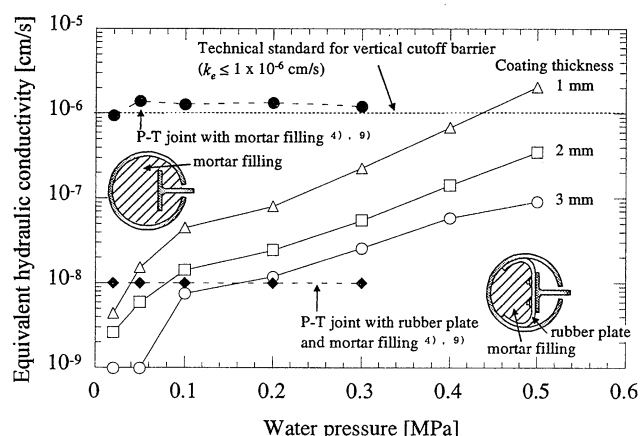


図-9 H-H継手を介した連結鋼管矢板の換算透水係数

遮水処理の特徴である(1) 施工時の高い鉛直打設精度、(2) 護岸構造としての安定性、(3) 単位面積あたりに占める完全止水箇所の割合、(4) 膨張性シートの打設前接着による品質管理、(5) 従来実施されるモルタル充填による不確実な遮水処理が不要、および(6) H-H継手内の平面空間における遮水処理を考慮すれば、既存の鋼管矢板護岸の遮水性能の向上に貢献することが明らかである。また本試験では、膨張性シートを接着することでH-H継手の遮水処理を試みたが、あらかじめH鋼へ膨張性塗料を塗布する処理方法もある。膨張性塗料を用いる効果は、塗膜とH鋼がより密実に合成し、鋼管矢板打設時における塗料のはく離等を防止できる。

4. 連結鋼管矢板の現場施工性試験

(1) 目的

本章では、2本の鋼管および中間H鋼を同時に打設できる連結鋼管矢板の打設施工の可能性を評価するため、実現場において施工性試験を実施した。詳細には、連結鋼管矢板が実現場において打設可能であるか判断するとともに、従来型継手（L-T継手）で嵌合される連結鋼管矢板の打設精度および継手の嵌合状態を評価している。

(2) 試験方法

従来型継手（L-T型継手）で嵌合される連結鋼管矢板の鉛直打設性能を評価するため、実大規模の現場施工性試験を実施した。連結鋼管矢板の打設には、バイプロハンマ（型式：MR-200EH，最大起振力：150 kW）工法，ウォータージェット併用バイプロハンマ工法，および外掘工法を適用した。実験に用いたバイプロハンマは，連結鋼管矢板の打設を可能にするため，標準シングルヘッド型に対してダブルヘッド型のアタッチメントを装着した（図-10 参照）。打設した連結鋼管矢板の諸元は，図-11 に示している。施工性実験では，連結鋼管矢板を図-12 に示される N 値が 10～20 の砂質土層内へ打ち込み，支持層（ $N > 50$ ）に到達する深度 12 m まで貫入させた際に生じる矢板頭頂部での水平変位量をトランシットにより直角 2 方向から測定している。また，現場打設に伴う連結鋼管矢板の鉛直傾斜は，連結鋼管矢板の打設後，中間 H 鋼に取り付けられたガイド内へ傾斜計を挿入することで測定した。

(3) 結果と考察

表-1 は，L-T 継手を介して連続的に 2 セット打設された連結鋼管矢板頭部における水平変位量と傾斜角を示している。これより，1 セット目および L-T 継手で嵌合される 2 セット目の連結鋼管矢板はともに，1/100 で管理される杭基礎の傾斜角と比べて高い鉛直精度で打設できる。また，連結鋼管矢板の矢板頭部では ± 3 mm 以内の水平変位量に抑制される。よって，連結鋼管矢板の打設では，継手を有する鋼管矢板の回転防止および所定位置への打設を補助する

ための仮設ガイドレール（従来型の鋼管矢板では ± 25 mm の隔たりで設置）に頼らず施工できる（図-13 参照）。ここで，連結鋼管矢板の高い打設精度は，2本の鋼管と中間 H 鋼が溶接によって剛結されていることに起因する。すなわち，連結鋼管矢板の打設で

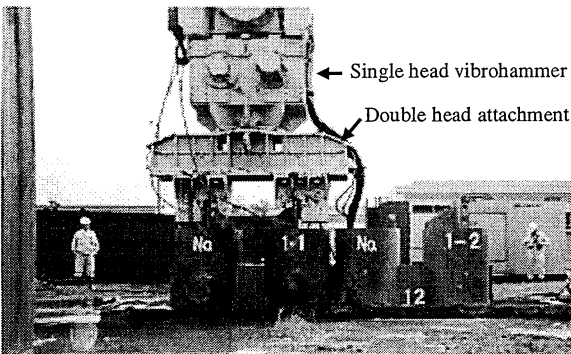


図-10 ダブルヘッドを装着したバイプロハンマ

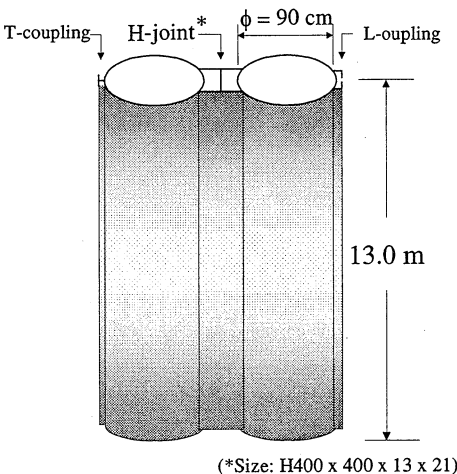


図-11 打設に用いた連結鋼管矢板の諸元

(m)	Type of soil	N-values					
		0	10	20	30	40	50 60
1	Residual sand						
2							
3	Fine sand						
4							
5	Silty sand						
6							
7							
8	Fine sand						
9							
10	Clay with Gravel						
11	Fine sand						
12	Coarse sand with gravel						
13							
14	Gravel						
15							

図-12 打設地盤の性状

表-1 連結鋼管矢板の打設における水平変位量，傾斜角，および施工時間

Methods	Vibrohammer		Vibrohammer with jetting		Outer excavation	
Pile No.	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd
Deformation [mm]						
in X-direction	2.7	-0.8	0.1	-1.2	1.2	0.2
in Y-direction	1.5	1.5	-1.2	-1.5	1.9	-1.0
Inclination						
in X-direction	-1/240	1/820	1/1150	1/1310	-1/550	1/1350
in Y-direction	-1/280	-1/250	1/380	1/310	-1/810	1/1440
Time taken [min]						
upto bearing layer	19	14	20	16	-	-
into bearing layer	10	11	6	6	-	-

Pile deformation directions

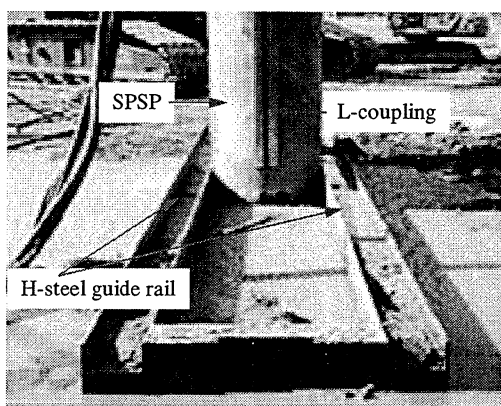
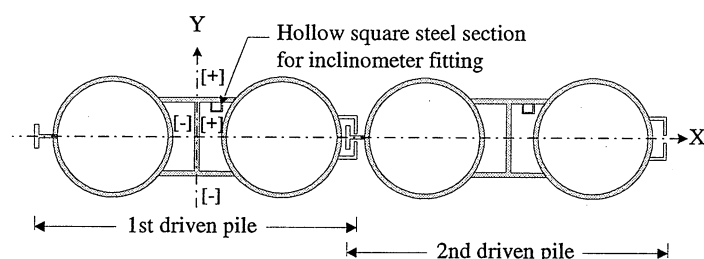


図-13 打設補助用のガイドレール

は，中間 H 鋼の存在により 2 本の鋼管の間にずれが起こらず，高い剛性を持ったまま施工が実施できる．連結鋼管矢板は，ユニットとして高精度で打設できる結果，打設時における連結鋼管矢板間の継手のせり合い等を抑制でき，継手は健全な状態で嵌合される．また，2 本の鋼管と中間 H 鋼の剛結効果によって得られる連結鋼管矢板の打設精度は，土留め壁など鋼管矢板を長く打ち込む場合，従来型継手を有する鋼管矢板と比較してより効果的に発揮される．一方，連結鋼管矢板の打設施工では，バイブロハンマを用いた打設工法が外堀工法と比較して同程度の鉛直・水平精度で確実に打設できる．すなわち，連結鋼管矢板の打設においてバイブロハンマ工法は，ダブルヘッド型のアタッチメントを装着することで適用可能となる．また表-1 では，バイブロハンマ工法を用いて連結鋼管矢板が深さ 12 m の支持層まで打設されるために要した時間も示している．1 セットの連結鋼管矢板を支持層内まで打設するためには，最長でも 30 分以内で施工が完了する．ここで，1 セ

ットの連結鋼管矢板は，従来型鋼管矢板に換算して 2 本に相当する．なお，鋼管矢板基礎は打設施工が完了した後，上部の余分な鋼管矢板を切断する必要がある．連結鋼管矢板を切断するための切断機械の開発は既に完了している．

5. 連結鋼管矢板の曲げ試験

(1) 目的

連結鋼管矢板に施される現場継手は，全断面の溶接ができないために，現場継手方法の検討が必要である．そこで，連結鋼管矢板の本管のみ全周溶接を行い，中間 H 鋼の箇所には添接板を介してフランジ部のみを溶接した現場継手工法を検討する（図-14 参照）．本章では，本現場継手の曲げ耐力の確認を目的とした実大曲げ試験を実施した．

(2) 試験方法

試験体は，直径 600 mm と 900 mm の鋼管を主体とする 2 種類の連結鋼管矢板を対象とした．各々の鋼管径に対して，(a) 現場継手のない試験体，および(b) 中央部で現場溶接を実施した現場継手ありの試験体を比較した．試験体の諸元を表-2 に示す．

連結鋼管矢板の現場継手は，先に鋼管部のみを現場で円周溶接を行い，H 鋼部はフランジ部に添接板をすみ肉溶接にて接続する構造である．本構造は，以下の考えに基づき設計するものとした．

- (1) 鋼管同士の現場継手は全周溶接とし，鋼管の耐力を確保する．
- (2) 中間 H 鋼箇所の現場継手は，添接板の塑性断面係数が H 鋼の塑性断面係数を上回るように設計する．
- (3) 添接板の取付けは，すみ肉溶接により添接板の全強の耐力を確保する．

試験体に対しては、2点荷重の曲げせん断試験として実施した。試験体の純曲げ区間は、直径600mmの連結鋼管矢板（Case 1-1, 1-2）で2.1m、直径900mmの連結鋼管矢板（Case 2-1, 2-2）で2.7mとし、せん断区間長は鋼管径の4.5倍とした（図-15参照）。曲げ試験では、降伏荷重まで単調荷重の後、一旦除荷を行い、その後、試験体の破壊に至るまで単調荷重を実施した。荷重試験時には、下記の項目の計測を行った。

- (1) 荷重荷重：荷重荷重をロードセルにより計測する。
- (2) たわみ量：試験体の鉛直たわみ量を鋼管部および

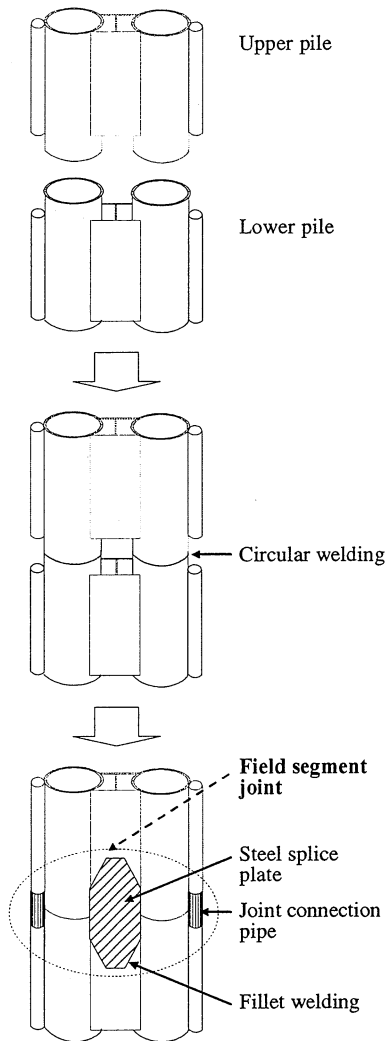


図-14 連結鋼管矢板の現場継手工法

表-2 試験体の諸元

	Steel pipe [mm]	H-steel [mm]	Length [m]	Joint
Case 1-1	$\phi = 600$, $t = 9$	H350x350x12x19	8.3	No joint
Case 1-2	$\phi = 600$, $t = 9$	H350x350x12x19	8.3	With joint
Case 2-1	$\phi = 900$, $t = 11$	H400x400x13x21	12.0	No joint
Case 2-2	$\phi = 900$, $t = 11$	H400x400x13x21	12.0	With joint

びH鋼部で変位計により計測する。

- (3) ひずみ：鋼管継手部の荷重伝達状況の把握を目的として、鋼管およびH鋼のひずみをひずみゲージにより測定する。

(3) 結果と考察

a) 耐力の比較

図-16 は、実施した全試験体に対する荷重・変形関係を示している。また、表-3 は各算定耐力と実験における最大耐力との関係を示している。表-3 における規格降伏荷重 P_{dy} および規格全塑性荷重 P_{du} は、鋼管およびH鋼の降伏強度を 235 N/mm^2 として算定した耐力値であり、実強度降伏荷重 P_{ry} および実強度

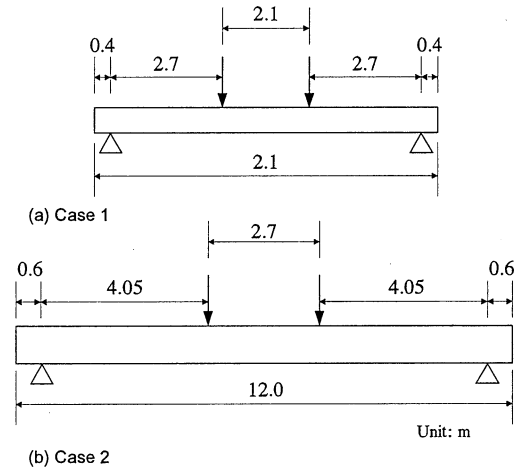


図-15 曲げ試験の概略

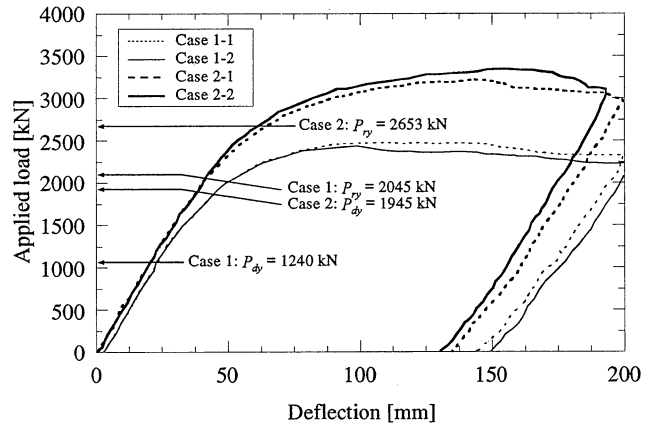


図-16 現場継手の有無に対する荷重－変形関係

表-3 耐力に対する実験値と算定値の比較

Model	P_{dy} [kN]	P_{du} [kN]	P_{ry} [kN]	P_{ru} [kN]	P_m [kN]
Case 1-1	1240	1579	2045	2613	2524
Case 1-2	1240	1579	2045	2613	2465
Joint part	1318	1593	1673	2040	2465
Case 2-1	1945	2484	2653	3388	3258
Case 2-2	1945	2484	2653	3388	3390
Joint part	2032	2511	2651	3297	3390

where, P_{dy} : Design yield strength, P_{du} : Design plastic strength, P_{ry} : Actual yield strength, P_{ru} : Actual plastic strength, and P_m : Experimental maximum strength

全塑性荷重 P_u は、鋼管および H 鋼の材料要素試験より得られた降伏荷重を用いて算定した値である。現場継手の曲げ試験では、全ての試験体が鋼管の局部座屈により最大耐力に至り、現場継手部の大きな損傷は認められなかった。また、現場継手の有無に依らず、両試験体の最大耐力および残留耐力はほぼ同等であり、最大荷重 P_m は、連結鋼管矢板一般部の規格降伏荷重 P_{ϕ} の約 1.7~2.0 倍、実降伏荷重 P_y の約 1.2 倍の耐力を示している。これらは、通常の鋼管単体の曲げ試験における耐力と同等であり、本現場継手構造は十分な耐力を有していると判断できる。

b) 曲げ剛性の比較

図-17 に全試験体に対して得られた曲げモーメントー曲率関係を示す。また、表-4 に各試験の降伏荷重時の値より算定した曲げ剛性値を示す。なお、図中および表中には断面諸量より算定した剛性算定値を示している。直径 600 mm の連結鋼管矢板 (Case 1-1, 1-2) に対する実験値の曲げ剛性 EI_y は、算定値 EI より若干大きな値を示しているものの、直径 900 mm の連結鋼管矢板 (Case 2-1, 2-2) ではほぼ算定値と同等の剛性値を示している。また、現場継手の有無に関わらず、ほぼ同様の曲げ剛性を示した。以上のことより、本継手構造は一般部と同等の曲げ剛性を有していると考えられる。

6. おわりに

本研究では、より安全で信頼性の高い海面処分場技術の構築を目的として、筆者らが開発・提案した「H-H 継手を介した連結鋼管矢板」を用いた廃棄物埋立護岸の構築を議論した。本研究より得られた成果は以下のとおりである。

- (1) 連結鋼管矢板を鋼管矢板構造物として利用することにより、従来型鋼管矢板と比較して鋼材の縮減と工期の短縮が期待できる。
- (2) H-H 継手を嵌合した連結鋼管矢板の換算透水係数は、膨張性シートの接着により作用水圧 0.05 MPa において 10^{-8} cm/s オーダーの低透水性を示し、モルタル充填により遮水処理が施された従来型鋼管矢板の換算透水係数と比べ 2 オーダーの高い遮水性が発揮される。
- (3) 連結鋼管矢板は、パイプロハンマにダブルヘッド型のアタッチメントを装着することで、N=25 程度の砂質地盤において打設可能である。また、2 本の鋼管および中間 H 鋼を同時に打設できる高剛性の連結鋼管矢板は、矢板頭部における水平変位量が ± 3 mm 以内および鉛直傾斜角が 1/240 以内で打設可能であることを示した。
- (4) 連結鋼管矢板の最大耐力および残留耐力は、現場継手の有無に係わらずほぼ同等であり、本継手構造は十分な耐力を発揮できる。また、連結鋼管矢板における現場継手部は、連結鋼管矢板一般部と同等の曲げ剛性を有している。

今後は、本研究で得られた成果、ならびに既に実

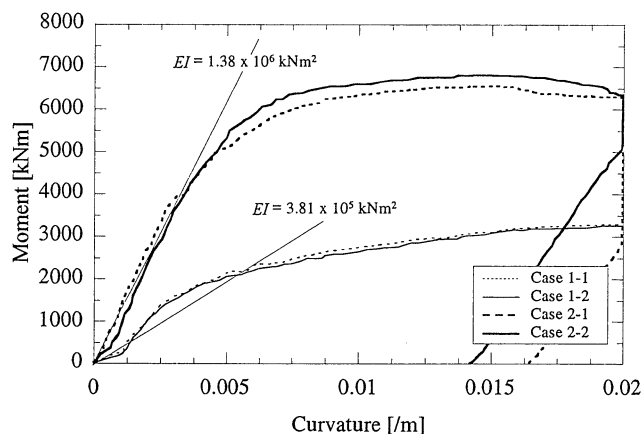


図-17 現場継手の有無に対するモーメントー曲率関係

表-4 曲げ剛性に対する実験値と算定値の比較

Model	M_y [kNm]	ϕ_y [1/m]	EI_y [kNm ²]	EI [kNm ²]
Case 1-1	1666.7	0.00327	5.10×10^5	3.81×10^5
Case 1-2	1667.7	0.00336	4.96×10^5	3.81×10^5
Case 2-1	3937.0	0.00324	1.22×10^6	1.38×10^6
Case 2-2	3943.9	0.00351	1.12×10^6	1.36×10^6

where, M_y : Yield moments, ϕ_y : Curvature at yield, EI_y : Flexural rigidity, and EI : Calculated rigidity

施している H-H 継手の力学的特性を考慮した上で、連結鋼管矢板および H-H 継手を廃棄物埋立護岸に用いるための設計要領の作成を行う予定である。

【参考文献】

- 1) 木村 亮, 磯部公一, Too, A.J.K., 西山嘉一: 連結鋼管矢板の継手特性, 第 37 回地盤工学研究発表会概要集, pp.1407-1408, 2002.
- 2) 富澤幸一: 長尺鋼管杭および長尺鋼管矢板の現場管理試験に基づく鉛直支持機構の検証, 第 48 回地盤工学シンポジウム平成 15 年度論文集, pp.141-148, 2003.
- 3) 社団法人公共建築協会: 建築工事監理指針, 建築出版センター, 2001.
- 4) 木下雅敬, 岡 由剛, 喜田 浩, 吉田 節: 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, Vol.51, No.8, pp.34-36, 2003.
- 5) 木村 亮, 磯部公一, Too, A.J.K., 西山嘉一: 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, pp.591-592, 2003.
- 6) 木村 亮, 磯部公一, Too, A.J.K., 西山嘉一: 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概要集, pp.1611-1612, 2003.
- 7) 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, No.701/III-58, pp.1-15, 2002.
- 8) 運輸省港湾局: 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, 2000.
- 9) 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発表論文集, pp.53-58, 2003.