

## 鋼管矢板遮水壁の遮水性評価と浄化促進遮水壁の技術提案

○稲積真哉<sup>1</sup>・木村 亮<sup>1</sup>・若月 正<sup>2</sup>・西山嘉一<sup>2</sup>・嘉門雅史<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>京都大学・<sup>2</sup>連結鋼管矢板工法研究会

### 1. はじめに

廃棄物処分場では、側面・底面遮水工(図-1 参照)による有害物質の封じ込めを半永久的に確保しなければならない。しかしながら、周辺住民や社会が不安視する「浸出水がいつか漏れるのではないか?」という環境リスクに対して、廃棄物処分場の封じ込め概念は廃棄物浸出水による周辺環境の汚染リスクを半永久的に残すことになる。よって、建設時から将来にわたって廃棄物処分場の環境安全性を持続ならびに保障するためには、処分場遮水工に対して、廃棄物浸出水の完全封じ込め環境における廃棄物の浄化促進機能を担わせることが有効であると考えられる。上記の観点において、鋼管矢板の一つである H-H 継手を施した連結鋼管矢板(図-2 参照)<sup>1),2),3)</sup> は形状的な優位性を有しており、高遮水ならびに浸出水集排水機能による廃棄物の浄化促進性能を併せ持つことができると考えている。

海面廃棄物処分場における側面遮水工として H-H 継手を施した連結鋼管矢板(図-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。なお、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に関しては、これまで実規模室内透水試験<sup>1),2)</sup> や現場遮水性試験<sup>3)</sup> 等から定量的な検証を進めてきた。ただし、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、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いて土砂等の混入が避けられない。よって、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発揮できる高い遮水性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 継手の遮水性能を定量的に検証する必要がある。

本研究では、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での H-H 継手を施した連結鋼管矢板の遮水性を実験的に評価する。さらに、海面廃棄物処分場・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において H-H 継手構造を有効活用することで、有害物質の封じ込め効果に加え、廃棄物の浄化促進効果まで期待できる浄化促進遮水壁(集排水機能を有する鋼管矢板遮水壁)を提案・紹介する。浄化促進遮水壁とは、H-H 継手内に形成される空洞空間へモルタル等の充填を行わず、その空洞空間内に漏出(滞留)した浸出水を揚水作業によって集排水するものである。すなわち、H-H 継手を施した連結鋼管矢板による浄化促進遮水壁構築の基本概念は、廃棄物浸出水の漏水に対して積極的に待ち受け、適切に廃棄物浸出水を管理・処理できる機構を鋼管矢板遮水壁内に備えることである。

### 2. H-H 継手を施した連結鋼管矢板の遮水性能

#### 2.1 基本的な遮水性能

H-H 継手を施した連結鋼管矢板遮水壁は、塗料もしくはシート状の膨潤性止水材を H-H 継手(フランジ嵌合面)に予め塗布もしくは接着することで遮水処理を実施し、H-H 継手は膨潤性止水材が水中にて膨潤することで閉鎖する(図-2 参照)。なお、膨潤性止水材の塗膜強度は淡水に比べ海水に曝された方が大きく、また時間経過に伴い塗膜強

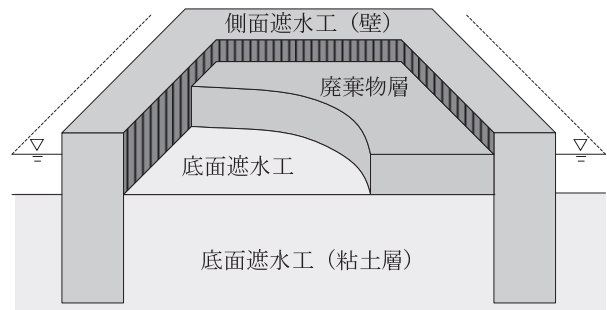


図-1 廃棄物処分場における側面・底面遮水工

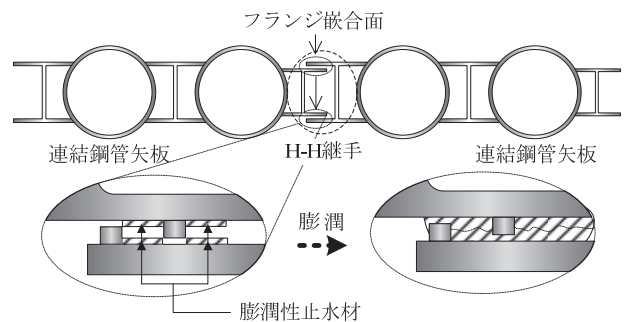


図-2 H-H 継手を施した連結鋼管矢板と遮水処理

度は安定傾向を示しており、安定傾向を示した塗膜強度では海面廃棄物処分場において十分な耐圧力を有している<sup>1),4)</sup>。

H-H継手を施した連結鋼管矢板遮水壁は、H-H継手（フランジ嵌合面）に接着する膨潤性止水材の接着厚さを調節することで所定の遮水性能を発揮することができる。例えば、2mm以上の厚さを持つ膨潤性止水材をH-H継手に接着した連結鋼管矢板遮水壁は、淡水および海水環境において0.4MPa以下の水圧差で遮水工基準として示される透水係数( $k_e \leq 1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ )を満足する。さらに、作用水圧0.05MPa以下において、膨潤性止水材を1mm以上の厚さで接着したH-H継手を施した連結鋼管矢板遮水壁は、人口海水および淡水の環境において $1 \times 10^{-8} \text{cm/s}$ 以下の透水係数である（図-3参照<sup>1)</sup>）。このように、H-H継手を施した連結鋼管矢板遮水壁は、各海面廃棄物処分場で要求される遮水性能に対して、H-H継手のフランジ嵌合面に事前接着する膨潤性止水材の厚さを調整することで柔軟に対応できる。なお、上記した遮水特性は、H-H継手を施した連結鋼管矢板が浄化促進遮水壁へ発想に至る一助となっている。

## 2.2 土砂混在場における遮水性能

膨潤性止水材が接着されたH-H継手（フランジ嵌合面）における土砂の混入は、実務上避けることが困難である。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。図-4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。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土砂を自然落下によって混入する。
- (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。
- (5) 恒温で72時間放置する。
- (6) 所定の流入水圧を6時間作用させ、単位時間あたりの流出流量を計測する。
- (7) 流入水圧を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<sup>1),2)</sup>。

図-5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。なお、図-5は膨潤性止水材が接着されたフランジ嵌合面においてケイ砂が混在した試験条件である。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が混在した場合、作用水圧が0.05MPa以下では6時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以上の水圧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

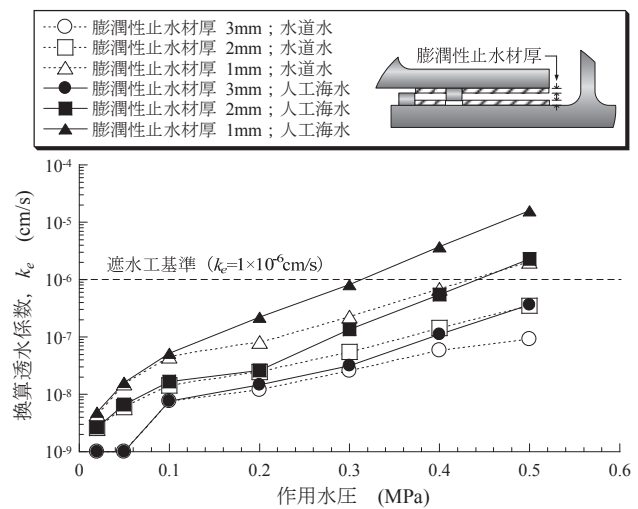


図-3 H-H継手を施した連結鋼管矢板の遮水性能<sup>1),2)</sup>

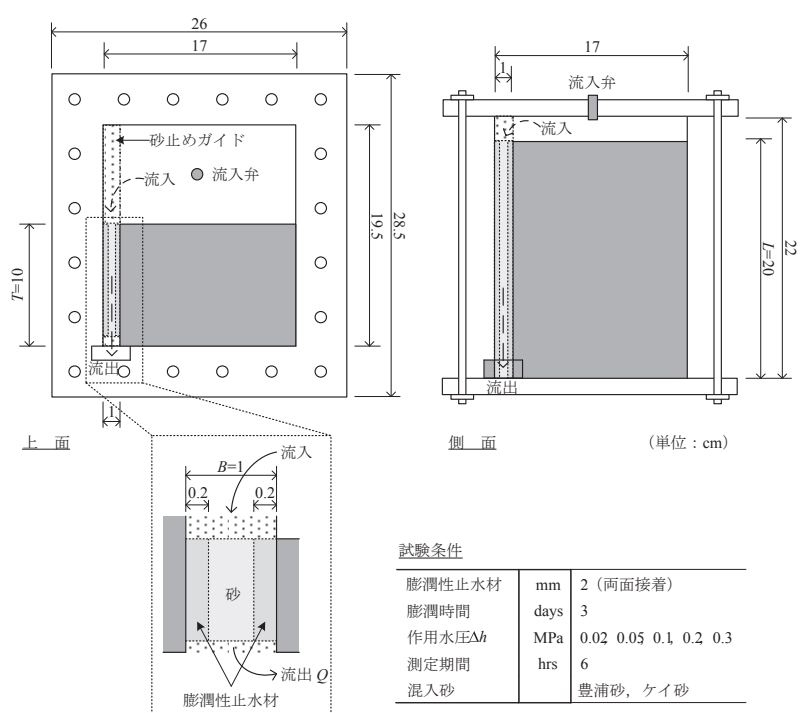


図-4 組み立てた試験装置ならびに試験条件の概要

は、作用水圧の増大に伴い透水係数が上昇する傾向にある。ただし、この特性は既往に実施した実規模室内透水試験<sup>1)</sup>、<sup>2)</sup>によって明らかにした遮水特性と同様であり、海面廃棄物処分場等において考慮される最大の作用水圧（0.05MPaを想定）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、作用水圧 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と同レベルの遮水性能である。よって、こ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することができる。なお、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特性は、土砂として豊浦砂が混在した条件においても同様であった。

上記の要因として、接着された膨潤性止水材の隙間全面に土砂の混在は H-H 継手を施した連結鋼管矢板の換算透水係数に影響を与えず、膨潤性止水材は混在した土砂の間隙において膨潤し、結果的に土砂粒子は膨潤した膨潤性止水材で覆われることが考えられる（図-6 参照）。さらに、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し、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。

### 3. H-H 継手を有効活用した浄化促進遮水壁の提案

H-H 継手を施した連結鋼管矢板遮水壁では、膨潤性止水材が接着される H-H 継手内に 30cm×30cm 程度の空洞空間（図-7 参照）が形成され、2. で述べた H-H 継手（フランジ嵌合面）の遮水特性に依存して空洞空間内へ浸出水が漏出・滞留する。

H-H 継手を施した連結鉄鋼管矢板の遮水処理に関する既往の方針では、事前に接着・塗布される膨潤性止水材は仮止水用として捉え、形成される空洞空間内へモルタルを充填して本遮水を行うことも可能である。一方、有害物質を含んだ浸出水が処分場内から H-H 継手を施した連結鋼管矢板遮水壁を通過して処分場外に漏出する場合、浸出水は H-H 継手内に形成された空洞空間を必ず通過しなければならない。従って、H-H 継手内の空洞空間をモルタル等の充填によって塞ぐことは、モルタル内もしくはモルタル-鋼の界面において漏水を誘発する可能性がある。そこで、空洞空間内に存在する水を完全に排除すれば（空洞空間をドライな状況に維持すれば）、H-H 継手内における浸出水漏水経路の一つを完全に遮断することができる。実務的には、図-7 で示すように H-H 継手内の空洞空間に滞留した廃棄物からの浸出水を揚水ポンプ等によって集排水することで、浸出水の漏水経路はほぼ完全に遮断される。なお、膨潤性止水材が接着・塗布された H-H 継手を施した連結鋼管矢板打設後の H-H 継手内空洞空間の土砂洗浄は、確実に実施できていることを既往の知見から実証されている<sup>3)</sup>。

海面廃棄物処分場において、H-H 継手の空洞空間内水位が処分場内外の水位よりも低位置にある状態（図-8(b)参照）では、処分場内外から H-H 継手の空洞空間内へ海水もしくは廃棄物浸出水が流入する水頭勾配となる。従って、H-H 継手の空洞空間内の水位を適切に管理すれば、浸出水が処分場内から処分場外へ漏出する危険性は少ない。また、H-H 継手の空洞空間にはモルタル等の充填物を施さないため、H-H 継手の空洞空間を有効に活用することが可能であり、H-H 継手（フランジ嵌合面）に接着された膨潤性止水材に対する管理補修も比較的容易に計画できる。例えば、H-H 継手の空洞空間における水位上昇が予測に反して著しい場合には、空洞空間を利用して膨潤性止水材を再塗布することで H-H 継手の遮水性能を改良でき、水位上昇の抑制が可能である。さらに、H-H 継手の空洞空間は、揚水作業と同時に多機能空間としても有効活用が可能であり、ボアホールカメラや各種センサーの挿入による遮水性モニタリング等が比較的容易に実施できる。

表-1 は、H-H 継手を施した連結鋼管矢板による浄化促進遮水壁（集排水機能を有する鋼管矢板遮水壁）の特徴を示している。集排水機能を有する鋼管矢板遮水壁では、廃棄物から H-H 継手の空洞空間内に漏出（滞留）した浸出水を揚水

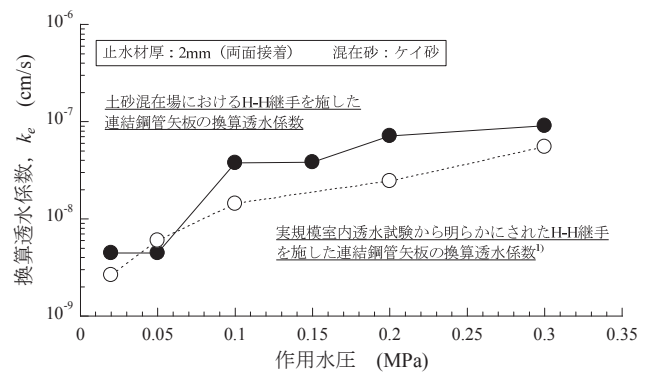
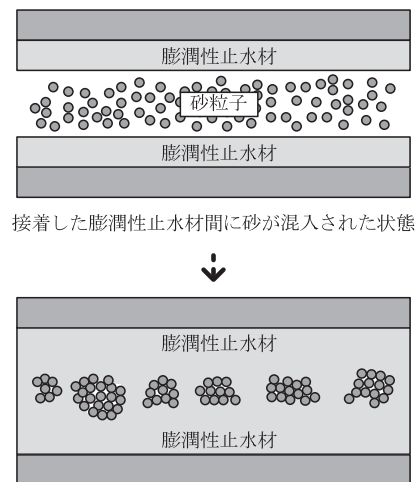


図-5 土砂混在場における H-H 継手を施した連結鋼管矢板の遮水性能



膨潤性止水材が砂粒子を押し退け膨潤した状態

図-6 土砂混在下における膨潤性止水材の膨潤特性のイメージ

作業によって集排水するため、結果的に有害物質を含んだ廃棄物の浄化が促進される効果が期待できる。鋼管矢板遮水壁が廃棄物の浄化促進機能も兼担することは、封じ込めの概念に即して建設される海面廃棄物処分場の長期的な環境への信頼性に対して大きな利点を添えたと考えられる。廃棄物処分場における既往技術では、有害物質の封じ込めは遮水工に依存し、別途、廃棄物の浄化は集排水井戸等を設置することで対応している。しかしながら、遮水性能を担う遮水工や廃棄物層内への集排水井戸の設置は、処分場跡地利用における構造物基礎等の構築を非常に困難とする。一方、浄化促進機能を兼備した H-H 継手を施した連結鋼管矢板遮水壁は、高剛性の連結鋼管矢板を用いることから遮水・浄化促進効果を保持した状態で基礎工として応用することも可能である。なお、海面廃棄物処分場では二重の鋼管矢板遮水壁で締め切ることが一般的である。H-H 継手を施した連結鋼管矢板による浄化促進遮水壁では、二重鋼管矢板遮水壁のいずれにも適用することができるが、特に処分場側鋼管矢板遮水壁への適用は海側鋼管矢板遮水壁が十分な遮水性能を保持した上で、集排水に伴う浸出水浄化をより安全に図ることができる。

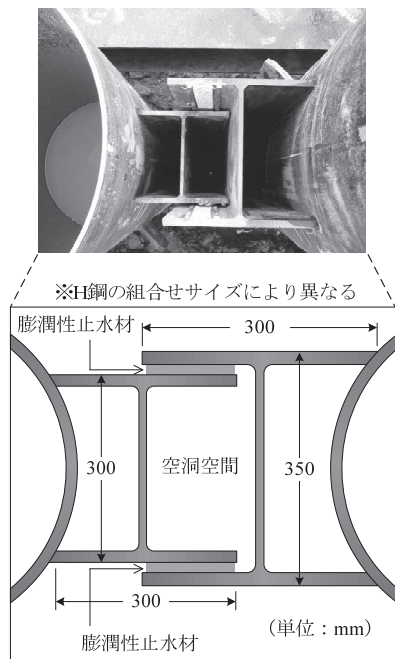


図-7 H-H 継手内に形成される空洞空間

ける構造物基礎等の構築を非常に困難とする。一方、浄化促進機能を兼備した H-H 継手を施した連結鋼管矢板遮水壁は、高剛性の連結鋼管矢板を用いることから遮水・浄化促進効果を保持した状態で基礎工として応用することも可能である。なお、海面廃棄物処分場では二重の鋼管矢板遮水壁で締め切ることが一般的である。H-H 継手を施した連結鋼管矢板による浄化促進遮水壁では、二重鋼管矢板遮水壁のいずれにも適用することができるが、特に処分場側鋼管矢板遮水壁への適用は海側鋼管矢板遮水壁が十分な遮水性能を保持した上で、集排水に伴う浸出水浄化をより安全に図ることができる。

#### 4. おわりに

H-H 継手フランジ嵌合面における土砂の混在は、H-H 継手の遮水性能に大きな影響を及ぼすものではないことが明らかになった。今後は図-6 を視覚的に検証・考察するため、土砂混在場における膨潤性止水材の膨潤特性の観察を実施することを予定している。また、H-H 継手を施した連結鋼管矢板の浄化促進遮水壁は有害物質の封じ込め効果に加え、廃棄物浸出水の集排水により廃棄物の浄化促進効果も併せ持つことが期待できる。H-H 継手を施した連結鋼管矢板の浄化促進遮水壁が発揮する両効果は、従来の廃棄物処分場において大きな課題の一つとして認識されており、廃棄物処分場における環境リスク低減の観点から意義深い技術であると考えられる。

#### 【参考文献】

- 1) 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, 土木学会, Vol.62, No.2, pp.390-403, 2006.
- 2) 稲積真哉, 木村 亮, 嘉門雅史, 西山嘉一: H-H 継手を施した連結鋼管矢板の遮水特性, 材料, 日本材料学会, Vol.57, No.1, pp.50-55, 2008.
- 3) 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, 土木学会, Vol.64, No.2, pp.316-326, 2008.
- 4) 稲積真哉, 若月 正, 小林賢勝, 木村 亮: 廃棄物処分場の遮水処理材へ適用される膨潤性止水材の膨潤, 強度特性, 環境工学研究論文集, 土木学会, Vol.44, pp.463-469, 2007.

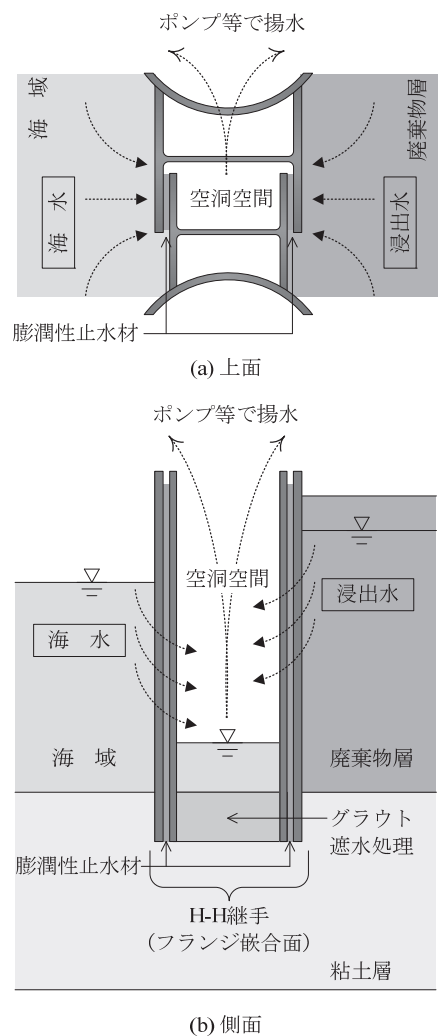


図-8 提案する集排水機能を有する鋼管矢板遮水壁の概念

表-1 提案する集排水機能を有する鋼管矢板遮水壁の特徴

集排水機能を有する鋼管矢板遮水壁
(i) 埋立廃棄物(有害物質)の封じ込め 膨潤性止水材による漏水の抑制とともに、集排水による漏水経路の遮断 空洞内水位の管理による漏水の危険性を低減
(ii) 埋立廃棄物の浄化 廃棄物浸出水の集排水に伴う浄化促進
(iii) 維持・管理・補修 空洞空間の有効活用
(iv) 経済性 低頻度の集排水作業 空洞空間の有効活用