

# 自然加圧修復システムの開発 —新発想の最終処分場しゃ水技術—

川口光雄\* 大塚義一\* 赤星公祐\*\*  
川原敏正\*\*\* 竹本光慶\*\*\*\*

## 1. まえがき

最終処分場は、日常生活やあらゆる生産活動の過程において発生するリサイクルされない最終的な残存物を処理する施設である。環境問題に対する社会的・個人的な意識の向上によって、各種の材料がリサイクルの対象となり廃棄物の総量も減少する傾向にある。しかし、絶対量としては莫大な廃棄物が依然として発生し、数年後には全国での廃棄物処分場の許容処理量を超過するといわれている。一方で、そうした状況下にも関わらず新設の処分場建設数は数年前の半分以下と極端に削減されている。これは、過去に建設された幾つかの処分場でしゃ水シートが破損後、汚染物質を含んだ浸出水が外部に漏洩し周辺環境を破壊するといった環境汚染の事例が背景にあるとも推測される。

そこで、最終処分場において高い安全性と信頼性を有したしゃ水システムとして自然加圧修復システム（以下ゲルシステムと称す）の開発を行った。ゲルシステムは、コロイド溶液のゲル化特性を利用して、破損したしゃ水シートに代る新しいしゃ水膜を即時に形成することで、汚染物質の外部漏洩を防止する。しゃ水構造としては、処分場内で浸出水が接触する領域にしゃ水シートなどで空間を構築し、空間内部にコロイド溶液を充填する。充填されたコロイド溶液の圧力は、空間に連通したスタンドパイプと呼ばれる鉛直管内に溶液を貯留して発生（自然加圧）させる。スタンドパイプ内の溶液水位は浸出水の水位よりも高く制御することで、しゃ水シートが破損した際には即時にコロイド溶液が保護土や基礎地盤内に浸透する。さらに、コロイド溶液が浸透する過程で破損部周辺の保護土や基礎地盤部に新しいしゃ水膜を形成することで修復を行う。

本報では、シートだけのしゃ水構造の問題点をシートの破損要因などから説明した後、ゲルシステムの概要および実証実験によって得られたシステムの有効性と今後の展開について報告する。

## 2. しゃ水シートの破損

処分場で使用してきたシート材は、しゃ水性と施工性

に比較的優れたしゃ水材料として、従来の処分場におけるしゃ水構造に数多く採用されてきた。しかし、しゃ水シートが何らかの原因で破損し、健全なしゃ水機能を保持することができない事態も発生している。

しゃ水シートの破損には、図-1に示す施工に起因したシート破損と、供用時における規格外廃棄物の接触やシートの劣化などに起因する破損の場合がある。また、シートの破損要因は、表-1に示すような物理・化学・生物的な破損要因に分類できる。

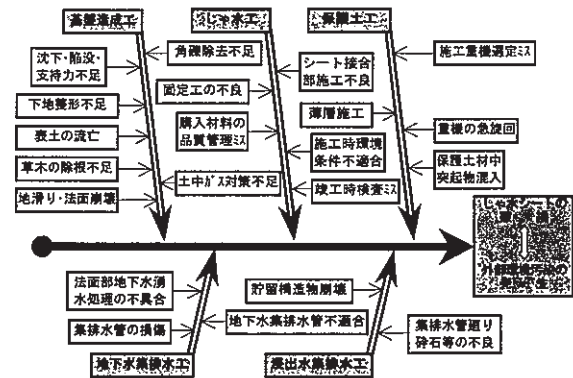


図-1 施工に起因するしゃ水シート破損特性要因

表-1 しゃ水シートの破損分類

破損要因	破損形態	
物理的破損	突き破り 不同沈下	・ 重機での突き破りや粗大廃棄物・礫などの押し付けにより破損する ・ 局所的な基礎地盤の沈下による応力集中により破損する
	温度変化 クリープ	・ 温度低下による熱劣化で強度低下し破損する ・ シート材のクリープ現象により破損する
	水圧	・ シート内外に作用する水圧により破損する
化学的破損	酸化 化学物質	・ シートの酸化によって引張り・伸び・せん断強度が低下し破損する ・ 化学物質とシートとの化学反応によりシートが軟化・溶解し破損する
	紫外線	・ 紫外線などの光学的な劣化によりシートが硬化し破損する
生物的破損	植物 樹木	・ 植物や樹木などの成長により根がシートを突き抜けて破損する
	微生物	・ 可塑性材料および油分または有機性分子が微生物により有機分解され破損する

これらのことから、広範囲に及ぶしゃ水シートの健全

\*本社環境プロジェクト室 \*\*技術開発部 \*\*\*東京支社 \*\*\*\*機電研究室

性を長期的に確保することは非常に困難であり、そのことからシートだけのしゃ水構造には環境汚染に対するリスクが任意の確率で存在していることが解る。しかし、有害物質を廃棄する処分場においては、シートの破損確率が極力存在しないしゃ水構造やしゃ水システムでなければならない。このことは、たとえしゃ水シートの検知を正確に行っても、検知から修復までの間に汚染物質が外部漏洩するようなしゃ水構造やしゃ水システムであってはならないことを意味する。

そこで、しゃ水シートの利点を活かすかたちでシートに内蔵するリスクを回避することが可能なしゃ水構造としゃ水システム、具体的にはしゃ水シートが破損した状況においても、しゃ水機能が保持される新しいタイプのしゃ水技術が必要となる。ゲルシステムは、このようなしゃ水性能を有したものである。

### 3. システムの概要

ゲルシステムの概要として、しゃ水システムにおける基本原理と構成およびシステム各部の構造とシステムの特長について以下に述べる。

#### 3.1 システムの基本原理と構成

##### a. 基本原理

##### (1) コロイド溶液の加圧原理

ゲルシステムでは、図-2に示すように、処分場内の上部シートと下部シートによって密閉された空間と連通している2種類のスタンドパイプ内に、水に近い流動特性のコロイド溶液を浸出水水位よりも高く貯留する。この状態において上・下部シートには、スタンドパイプ内のコロイド溶液高さに応じた圧力と浸出水水圧および処分場外部の地下水圧が作用している。上・下部シートの破損時には、コロイド溶液の圧力が浸出水や地下水の水圧よりも大きいため、処分場保護土や基礎地盤内に溶液が浸透することで浸出水の外部漏洩を防止する。また、2重シート内には、コロイド溶液の充填スペースを常に一定に保持するために、中間材と呼ばれる空間保持部材を設置する。

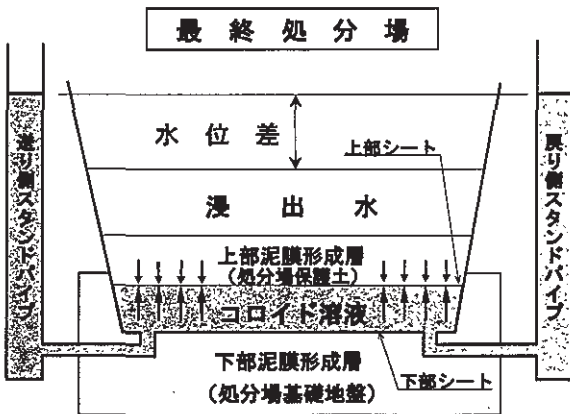


図-2 コロイド溶液の加圧原理

##### (2) コロイド溶液の修復原理

コロイド溶液は土粒子の間隙を浸透する過程で物理・化学的な特性により、図-3に示すように保護土や基礎地盤内に難透水性の泥膜<sup>1),2)</sup>を形成し、シート破損部周辺に新しいしゃ水面を構築する。また、上・下部のシート保護および泥膜形成の促進を目的として、上・下部シートには各シート両面に特殊な不織布を敷設する。



図-3 コロイド溶液の修復原理

##### b. システム構成

ゲルシステムを実際の処分場に適用する場合には、図-4に示すように各スタンドパイプやシートとの連通管を収納する監視塔や監視廊を処分場周辺に設置する。また、システムの安定性と品質保証を確保するために補助設備がある。さらに、コロイド溶液によるしゃ水性とシート内圧力の制御性を考慮して、しゃ水方式の区画化を行う。区画化を行うことで、あらゆる規模や形状の処分場にシステムを適用することが可能となり、区画単位でシート破損の検知や修復状況を確認することができる。

ゲルシステムは、図-5に示すように、5つの基本システムと基本システムを実行するプラントシステムと呼ばれる動作システムから構成されている。

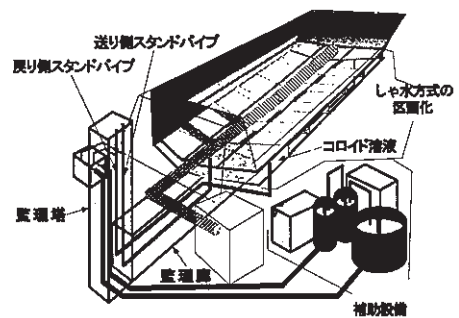


図-4 自然加圧修復システム型処分場の概念

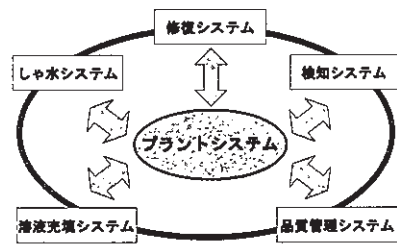


図-5 システムの構成要素

各システムの機能を以下に示す。

#### (1) シャ水システム

シャ水システムは、処分場内の浸出水を外部環境から常時シャ断した状態で水処理設備へ輸送する機能を有すると共に、処分場内の保護土や浸出水および廃棄物によって作用する各種の荷重に耐え得る構造である。

#### (2) 修復システム

修復システムは、シートが破損した場合にコロイド溶液が泥膜を効率的に形成するように、各区画スタンドパイプ内の溶液圧力を自動制御する。

#### (3) 検知システム

検知システムは、各区画のスタンドパイプ内にある溶液水位を常時監視し区画単位でシート破損および修復状況を検知する。

#### (4) 品質管理システム

品質管理システムは、コロイド溶液の流動性能とシャ水性能を所定のレベル以上に確保するための品質管理を行う。

#### (5) 溶液充填システム

溶液充填システムは、2重シート内に空気を残留させずにコロイド溶液を充填したり、シート内の溶液品質を長期的に確保するために溶液を還流する機能を有する。

#### (6) プラントシステム

プラントシステムは、基本システムが各機能を最適に実行するように動作機器を自動制御する機能を有する。

### 3.2 システムの構造と特長

ゲルシステムにおける各種の構造と特長を示す。

#### a. シャ水構造

ゲルシステムの標準シャ水構造は、図-6に示すように、① 常時処分場内部のシャ水を行う上部シャ水材（シャ水シート）、② 常時基礎地盤周辺の地下水をシャ水する下部シャ水材（シャ水シートやベントナイト混合土など）、③ 上・下部シャ水材の内部に充填されたシート破損時にシャ水性能を修復するコロイド溶液、④ 溶液充填スペースを一定に保持する中間材と呼ばれる空間保持部材（碎石やプラスチックドレーンなど）、⑤ 上・下部シャ水材を保護すると同時にコロイド溶液の修復性能を向上させる機能を有した不織布から構成されている。

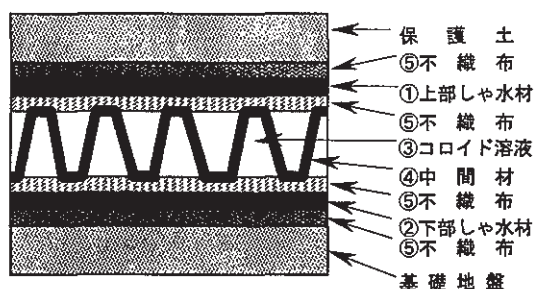


図-6 ゲルシステムの標準シャ水構造断面

#### b. 付帯構造

ゲルシステムには、シャ水構造以外の付帯構造物として、以下に示す監視塔・監視廊・補助設備がある。

#### (1) 監視塔

監視塔は、図-7に示すように、全区画に連通している送り側・戻り側のスタンドパイプをはじめコロイド溶液の供給・排出管や接続バルブおよび各種のセンサーなどを格納している。監視塔の大きさは、処分場の埋立て容量や埋立て高さおよびシャ水区画数などによって異なるが、基本的には各スタンドパイプに関する品質管理項目を人が目視できるスペースを確保したものとなる。

#### (2) 監視廊

監視廊は、図-8に示すように処分場下部に構築し、スタンドパイプとシャ水シートの連通管やセンサーおよび浸出水の排水設備などを格納する。配管類や計測器の防護および維持・管理を主な目的としているが、万一シャ水機能に支障が生じた場合には監視廊内部より各種の補修作業も可能となる。

#### (3) 補助設備

補助設備は、各システムが有効に機能するために必要な設備である。図-9に示すように、補助設備にはコロイド溶液を送り側スタンドパイプ内に供給したり戻り側スタンドパイプ内の溶液を受け取るための2つのタンクとコロイド溶液を作液するタンクをはじめ、自動制御を行うための制御室、コロイド溶液の物性試験や作液材料を管理する品質管理設備などから構成されている。

#### c. システムの特長

シャ水シートとコロイド溶液を用いた複合シャ水システムであるゲルシステムの特長を以下に示す。

- ① 高強度の中間材を2重シート内に挿入していることで物理的な破損要因に対してもより安全なシャ水構造である
- ② 2重シート内のコロイド溶液を浸出水の水圧よりも過圧力状態で常時充填していることで万一のシート破損などによる汚染物質の漏洩問題が発生しない
- ③ シート破損部のシャ水機能を無人でリアルタイムに自然修復するため修復作業期間での長期的な汚染物質の漏洩がなく修復用の資機材も不要となる
- ④ システムの動作原理が単純であるため長期的な安定性を確保することが可能である
- ⑤ シャ水機能の状態を区画単位で検知（確認）することができる

### 4. 実験概要

ゲルシステムでは、シャ水構造にコロイド溶液といった特殊な溶液を用いるため、コロイド溶液に関わる基本的な特性（流動性・シャ水性・耐久性）、または使用材料の選定などの項目を要素レベルで把握するための確認実験を実施した。要素実験で得られた結果よりゲルシス

テムの実用性を検証できたことから、実規模レベルにおける各種の実証実験を行った。以下に主要な実験の概要と実験結果、さらに実験から得られたコロイド溶液の諸特性をしゃ水システムに適用する一例について述べる。

#### 4.1 実験項目

実験の内容を表-2に示す。この他にも、要素レベルにおいてコロイド溶液の基本的な物性の決定、中間材・しゃ水シート・不織布などのしゃ水構造全体としての強度特性試験、および実規模レベルにおいて上載荷重によるシート内溶液圧力変動確認実験などを実施した。

表-2 開発で実施した主な実験項目

実験名	実験期間	実験内容
要素実験	透水性能 確認実験	実験開始 平成8年12月 実験完了 平成9年4月 コロイド溶液が充填・還流および修復可能な流動性を確保できる中間材と不織布の選定を目的として、各中間材と不織布のコロイド溶液透水性能を確認した
	しゃ水性能 確認実験	実験開始 平成9年12月 実験完了 平成10年6月 コロイド溶液による破損シート周辺部におけるしゃ水特性の検証を目的として、泥膜形成部としての土質条件や塩水および膜形成促進材に対するしゃ水性能を確認した
	耐久性 確認実験	実験開始 平成11年2月 継続中 コロイド溶液の長期安定性の検証を目的として、分散材の添加や各種の環境条件下における溶液物性の変化を長期的に確認している
実規模実験	透水性能 実証実験	実験開始 平成9年7月 継続中 実規模レベルにおける配管内や2重シート内でのコロイド溶液流動特性の把握を目的として、シート内への溶液充填・還流性能を実証している
	しゃ水性能 実証実験	実験開始 平成9年7月 継続中 破損部からのコロイド溶液浸透条件を実際のしゃ水区画規模で行った際のしゃ水性能の把握を目的として、破損規模や溶液圧力などによるしゃ水性能を実証している
	耐久性 実証実験	実験開始 平成10年7月 継続中 実験場や実処分場におけるしゃ水シート内でのコロイド溶液長期安定性能の把握を目的として、長期間の溶液採取により経時的な物性変化を実証している

#### 4.2 要素実験

##### a. 透水性能確認実験

##### (1) 碎石間隙内の溶液透水試験

中間材として単粒度碎石を使用した場合の水とコロイド溶液における碎石の透水係数を確認した。

碎石の粒径とコロイド溶液濃度をパラメータとした試験結果より、標準粒径が13~30mmのときの透水係数は、水の場合4.8~5.0cm/sec、コロイド溶液では2.9~4.9cm/secであった。

##### (2) プラスチックドレーン空隙内の溶液透水試験

中間材としてプラスチックドレーン（以下PDと称す）材を使用した場合の透水係数を確認した。PDの拘束圧とコロイド溶液濃度をパラメータとした試験結果より、拘束圧が4.9~490.3kPaのときの透水係数は、水の場合13.0~23.0cm/sec、コロイド溶液では9.9~16.0cm/secであった。

##### (3) 不織布内の溶液透水試験

処分場しゃ水構造に使用する通常の不織布は、主としてシート保護を目的として使用される。ゲルシステムにおいては、それ以外にしゃ水効果の促進、つまり泥膜形成効果を向上する材料として使用する。そのため、材料選定においては、通常強度特性や化学的な耐久性に加えて、コロイド溶液に対する透水性と泥膜形成性が重要な要素となる。

ゲルシステムで使用する不織布を選定することを目的として、各種の材料を抽出し透水試験を実施した結果、ポリウレタン系素材が、強度・耐久性・泥膜形成性に関して最適であることを確認した。

##### b. しゃ水性能確認実験

##### (1) 土質としゃ水特性の相関確認試験

保護土などの泥膜形成材料にまさ土を使用した場合のシート破損部におけるコロイド溶液のしゃ水特性を写真-1の実験装置を用いて確認した。しゃ水シートを1.0cm<sup>2</sup>の四角形に模擬破損し、まさ土の締固め度をパラメータとした試験結果（図-10参照）より、コロイド溶液のしゃ水特性は泥膜形成層の締固め度や透水係数と相関性があり、まさ土の場合には締固め度85%以上、コロイド溶液の透水係数10<sup>-4</sup>cm/sec以下の土質で所定のしゃ水効果を発揮することを確認した。

##### (2) しゃ水性能における塩水の影響確認試験

コロイド溶液は、コロイド粒子が水などの媒質中に分散している状態であり、コロイド粒子の分散状態としゃ

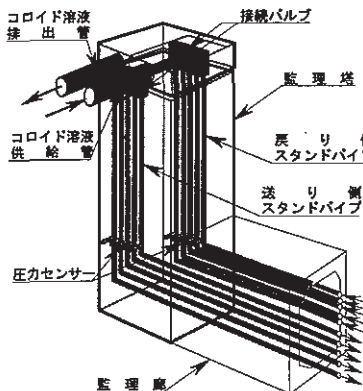


図-7 監視塔の概念

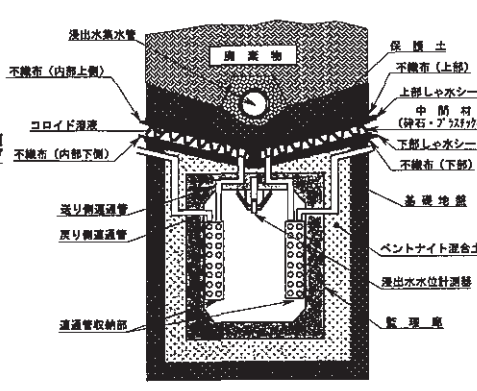


図-8 監視廊周辺の標準断面

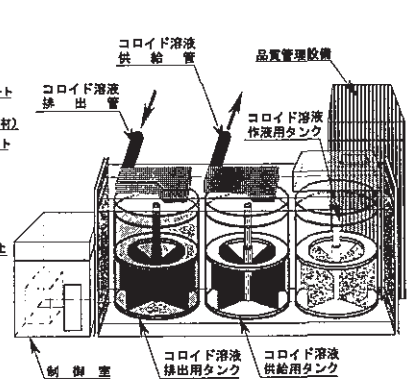


図-9 補助設備の概念

水特性とは強い相関がある。コロイド粒子の分散は、水などの分散媒の電解質濃度が低い場合には安定状態にあるが、電解質濃度が高い場合にはコロイド粒子は凝集作用によって沈降する。こうしたことから、ゲルシステムにおけるしゃ水性能を低下させる物質として、浸出水に存在する可能性があり電解質濃度が比較的高い塩水を用いてしゃ水性能を確認した。その結果（図-11 参照）、塩水の濃度3～8%の範囲においては高濃度になるほどしゃ水時間は長く流出量も多くなったが、塩水による凝集作用が逆に土粒子間隙部の目詰まり現象を促進させ、結果的にしゃ水性能を保持することが確認された。

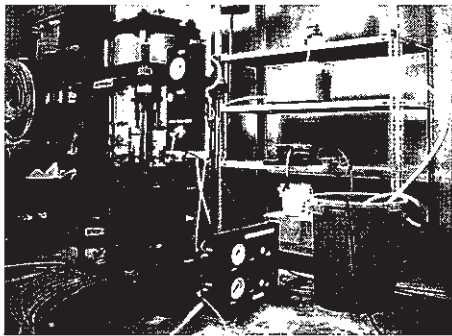


写真-1 しゃ水要素試験装置

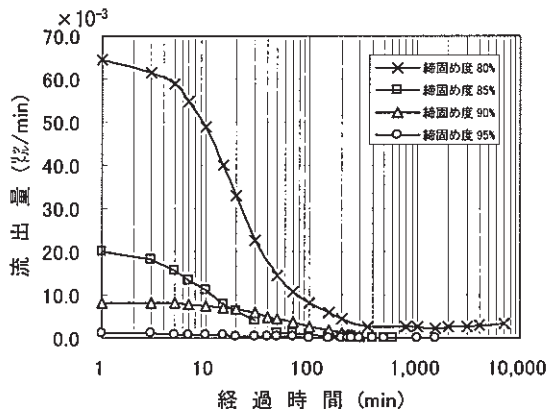


図-10 まさ土の締固め度によるしゃ水特性

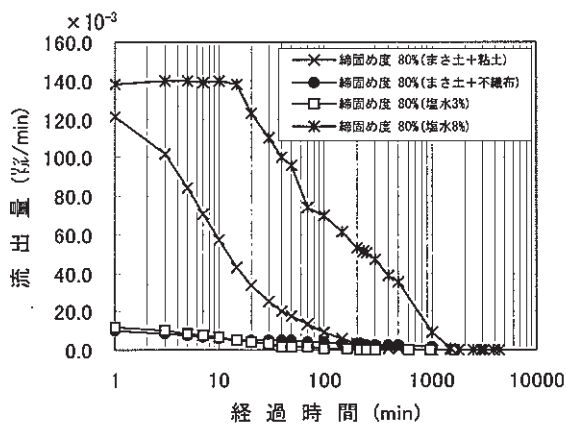


図-11 しゃ水性能促進効果と塩水でのしゃ水特性

(3) しゃ水性能促進効果確認試験

保護土や基礎地盤などの締固め不足によるしゃ水性能

の低下を防止する方法を確立するため、まさ土に粘土を混合したものと、ポリウレタン系素材を用いた不織布を破損シート上に敷いた状態でのしゃ水性能を確認した。ともに締固め度 80%の状態、しゃ水効果が確認（図-11 参照）されたが、粘土混合の場合には初期の溶液浸透速度が大きくパイピング現象の可能性も考えられることから、しゃ水性能の促進材料としては不織布を使用することとした。

c. 耐久性能確認実験

修復システムにおいて、コロイド溶液は実際の外部環境の影響を受けても長期的に安定でなければならない。ここでいう安定性とは、溶液中のコロイド粒子が初期状態と同様に分散していることを示す。分散を支配する項目としては、温度・時間・濃度・pHなどが考えられる。

そこで、コロイド溶液の分散媒に各種の溶液を使用して、分散媒の違いや温度による溶液物性の変化を検証した。分散媒に人工海水を加えた試験によって、溶液の濃度勾配が生じ粘度などにも変化が現れたが、分散媒の電解質濃度によっては再度溶液を攪拌することで初期の分散状態に復元した。このことから、ゲルシステムではシート内のコロイド溶液を定期的に還流可能な構造と溶液攪拌機能を有した設備を付加した。

4.3 実規模実験

実規模レベルでは、コロイド溶液のシート内への充填性能と還流性能およびしゃ水性能を定性的に実証した実規模実証実験（写真-2 参照）と、スタンドパイプ内へのコロイド溶液の供給・排水を自動制御して充填・還流・しゃ水性能などの項目を定量的に実証したシステム実証実験（写真-3 参照）を行った。

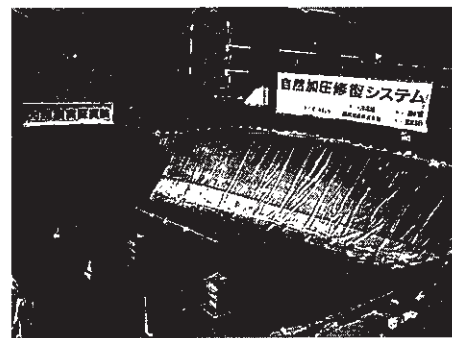


写真-2 実規模実証実験装置全景



写真-3 システム実証実験装置全景

a. 透水性能実証実験

(1) 砕石間隙内の溶液透水実験

図-13 は、中間材として単粒5号砕石を層厚 30 cm 敷詰めした場合の、溶液充填性能と還流性能を確認するために築造した実験装置の概念である。本実験は、実規模における最初の溶液充填実験であったことから、溶液の充填状況を目視で観察可能な半透明のしゃ水シート材料を使用した。この際、溶液圧力でシートが膨張しないように、シート上部に水を貯留した状態で実験を行った。また、シートの勾配は処分場で適用される一般的な導水勾配である 2.0% とした。

実験は、まず上流シート天端より 0.8m 高い位置にある溶液充填タンクからコロイド溶液を上流部シート内に設置した空気抜き管から溶液が流出するまで充填後、各バルブを閉じた状態で3日間放置した。その後、今度は天端より 2.4m 高い位置の溶液還流タンクのバルブを開いてシート内溶液の流動状況を確認した。

実験の結果、溶液充填では 8.3m<sup>3</sup> のコロイド溶液を約 8 時間で充填した。この際、シートの最上流部には若干の気泡が目視されたが、しゃ水性能には影響をしないことを確認した。還流時には、溶液のチクソトロピー性は確認されず加圧開始時よりスムーズな流動特性を示し、46.0 ℓ/min 程度の流量で還流することを確認した。

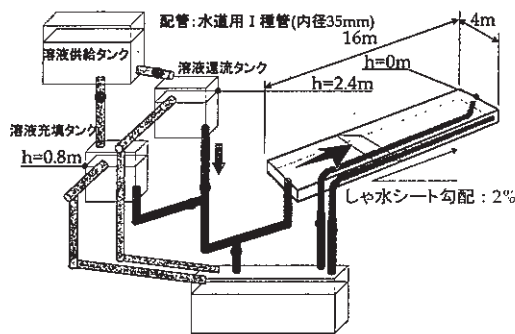


図-13 砕石の透水実験装置

(2) PD 空隙内の溶液透水実験

図-14 は、中間材に厚さ 1.0 cm の PD を使用したときの実験装置の概念である。実験方法は砕石の場合と同様であるが、PD の場合には 2 重シート内の上流部に 30 cm の隙間を空け、それ以外の部分には中央に隔壁を設けた。

溶液充填実験は、下流部の 2 箇所から時間をずらして充填を開始し、空気抜き管から溶液が流出するまで行った。その後、砕石と同様の期間バルブを閉じた。溶液還流実験では、下流部の片方のみから溶液を送り、もう一方から排出する形で還流を行った。

実験の結果、溶液充填では 0.52m<sup>3</sup> のコロイド溶液を約 1.0 時間で充填した。この際、シートの最上流部には砕石同様若干の気泡が確認されたが、PD においても

しゃ水性能に影響を与えないことを確認した。還流時には、溶液のチクソトロピー性は砕石の場合と同様に確認されず加圧開始時よりスムーズな流動特性を示し、7.0 ℓ/min 程度の流量で還流することを確認した。

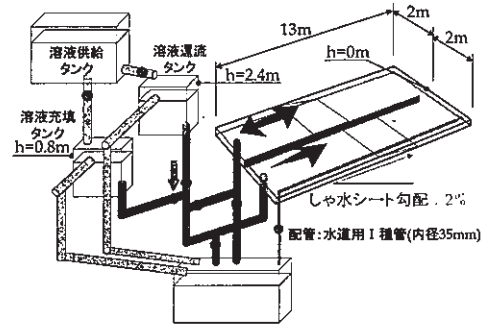


図-14 PD の透水実験装置

(3) 配管内の溶液流動特性確認実験

システム実証実験では、実際の処分場を想定して図-15 に示すような複雑で長距離に及ぶ輸送経路での配管内におけるコロイド溶液流動特性を確認した。実験装置は、送り側スタンドパイプから戻り側スタンドパイプまで、開閉式のバルブを操作することで、127~327m の範囲で配管長を 5 段階に変化可能な構造とした。

実験では、送り側と戻り側の溶液高さと同様輸送距離を変数として、流量と管内圧力を計測した。

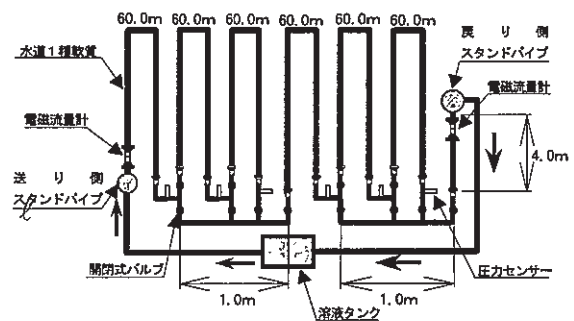


図-15 配管内流動実験装置

図-16 は、コロイド溶液の輸送距離と流量の関係を示した実験結果である。送水と排水のスタンドパイプ内溶液高さの水頭差を 0.5~4.0m として流動した結果、流量は 10.0~47.0 ℓ/min であった。実験結果より、コロイド溶液の輸送能力は配管長が長くなるにしたがって低下するが、水道水で行った同様の実験結果と同程度であったことから、溶液輸送計画に関しては既存の水理公式を適用可能であることを確認した。

図-17 は、コロイド溶液の輸送距離と配管内圧力の関係を示した実験結果である。実験結果より、コロイド溶液の管内圧力損失特性は流速が 0.5m/sec (29 ℓ/min) 程度では水道水と同様に配管距離に比例する傾向が確認されたが、流速が低くなるにしたがって非線形特性が確

認められた。このことから、シート内コロイド溶液の圧力伝搬については現象に適応した管内圧力損失計算式の定式化を行い計画した。

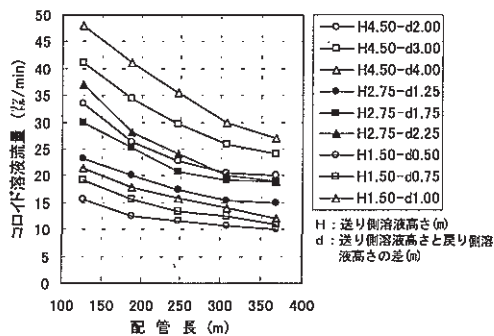


図-16 配管長と溶液流量の関係

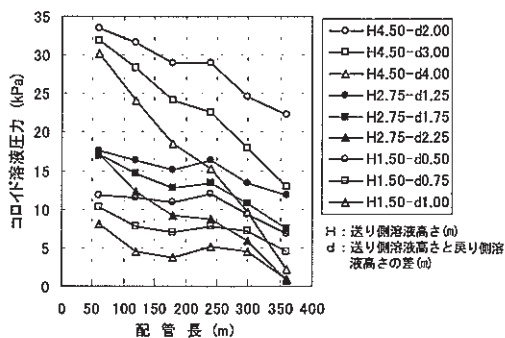


図-17 配管長と溶液圧力の関係

b. シャ水性能実証実験

図-18 は、システム実証実験において実施したシャ水性能実証実験装置と各スタンドパイプの溶液高さを決定する際に用いた実験装置のモデル化の概念を示したものである。

ここでは、中間材に厚さ 30cm の碎石を使用したAタイプと、厚さ 1cm のPD を使用したBタイプについて報告する。実験では、各タイプのシャ水シート上部に 1cm × 10cm の範囲で模擬破損させ、その上にアクリルボックスを設置して修復特性を確認した。このとき、各スタンドパイプに連通した配管長を実際の処分場を想定して 180m とし、破損位置を連通管末端より 15m 離れた位置とした。シャ水特性は、アクリルボックス内の飽和したまさ土から流出する水の量とシート内溶液圧力を計測することで把握した。スタンドパイプ内の溶液高さは、実験の前に実施した各点での損失水頭確認試験をもとに決定した。

実験の結果、A・B両タイプの流出水はともに約 17 時間で止まり総流出量もともに約 70 ℓであった。ただし、Aタイプの場合、最大流出量が 0.45 ℓ/min であったのに対して、Bタイプの場合には 0.30 ℓ/min と流出特性に差が確認された。これは、各タイプのシャ水断面積の違いによるシート内の溶液浸透速度差に起因したも

のである。一方、シャ水性能はこの程度の流出速度場においてシャ水断面の違いの影響は受けないことを確認した。また、破損部付近の溶液圧力も流出量の減少に伴って高くなり、流出が止まった段階では破損前の圧力に戻った。

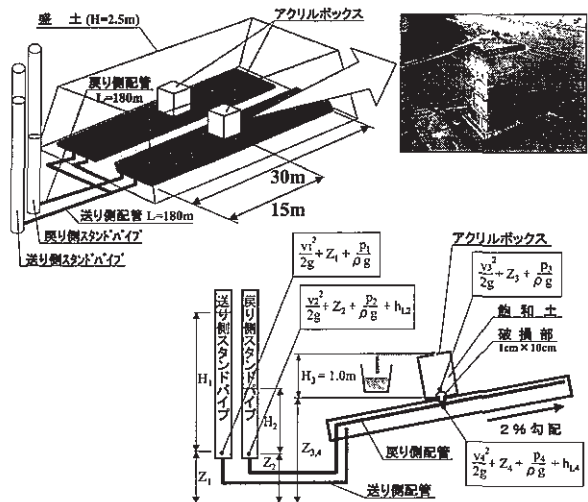


図-18 システム実証実験におけるシャ水実験概念

c. 耐久性能実証実験

システム実証実験装置は、各タイプのシート内溶液を数カ所より採取可能な構造であることから、現在でも定期的にコロイド溶液の抜き取り試験を実施している。

1年後に採取した溶液の濃度・pH・導電率・粘性などは、初期充填時の物性データと比較してもほとんど変化していないことを確認した。今後も、長期的な確認を継続する。

4.4 実証実験結果の適用

各種実証実験データの適用例として、各区画での送り側と戻りのスタンドパイプ内におけるコロイド溶液高さの決定方法について述べる。

図-19 に示すように、ある時刻 t のとき、k 区画における水平平面内の任意点 (x,y) でのシート内コロイド溶液圧力を  $P_c(t,k,x,y)$  とすると、 $P_c$  は k 区画の送り側スタンドパイプ連通管の末端における流入圧力  $P_p(t,k,in)$  と戻り側スタンドパイプの末端における流出圧力  $P_p(t,k,out)$  によって、次式のようにあらわす。

$$P_c = f_{pc}[t,k,x,y,P_p(t,k,in),P_p(t,k,out)] \quad (式1)$$

ここで、 $f_{pc}$  は各区画における送り側と戻り側の連通管末端部の溶液圧力から算出したコロイド溶液の圧力分布関数である。一方、送り側と戻り側の  $P_p$  から、それぞれのスタンドパイプ内溶液高さ  $H_c(t,k,in)$  と  $H_c(t,k,out)$  が下記の式で決定される。

$$H_c(t,k,in) = f_{HC}[t,k,P_p(t,k,in)] \quad (式2)$$

$$H_c(t,k,out) = f_{HC}[t,k,P_p(t,k,out)] \quad (式3)$$

ここで、 $f_{HC}$  は連通管の配管径や配管の内面摩擦および配管線形などを考慮して得られるコロイド溶液の圧

力損失式から求めた、溶液高さと連通管末端溶液圧力との関係式である。

ゲルシステムにおいて、シート内のコロイド溶液圧力はあらゆる地点で常時浸出水圧よりも大きくなければならないので、先程の点  $(x,y)$  での浸出水圧  $P_w(t,k,x,y)$  と  $P_c$  との差圧を  $dP(t,k,x,y)$  とすると、 $P_w$  と  $dP$  は以下の (式 4) と (式 5) で表され、かつ (式 6) のような制約条件を満足しなければならない。

$$P_w(t,k,x,y) = f_{pw}[t,k,H_w(t,k,max)] \quad (\text{式 4})$$

$$dP(t,k,x,y) = f_{dp}[t,k,P_w(t,k,x,y)] \quad (\text{式 5})$$

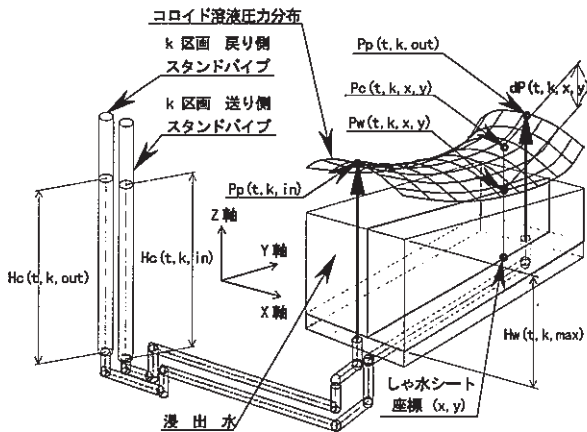
$$R_{max} \geq dP(t,k,x,y) \geq R_{min} \quad (\text{式 6})$$

ここで、 $f_{pw}$  は  $k$  区画の最下流における水位とその区画形状から求める水圧計算式であり、 $f_{dp}$  は浸出水圧作用時においてコロイド溶液がしゃ水層を形成するための溶液圧力式である。また、コロイド溶液は、非線形粘性流体であるため、シート範囲での圧力分布は曲面となる。そのため、 $dP$  は位置によって異なる値となり、シート破損時のしゃ水機能を満足し、かつシート上載荷重と溶液圧力バランスがシート変形を生じないなどの評価基準  $R_{max}$  と  $R_{min}$  の範囲内になければならない。

(式 1) ~ (式 6) より、 $k$  区画の両スタンドパイプ溶液高さ  $H_c(t,k,in)$  と  $H_c(t,k,out)$  を決定する。

さらに、全体系としての溶液供給制御は、全区画において算出した各  $H_c$  を別の評価関数に代入し、各区画への供給優先順位を決定する。

なお、上記の  $f_{pc}$ 、 $f_{hc}$ 、 $dP$ 、 $R_{max}$ 、 $R_{min}$  は、各実証実験で得られたデータをもとに定式化したものである。



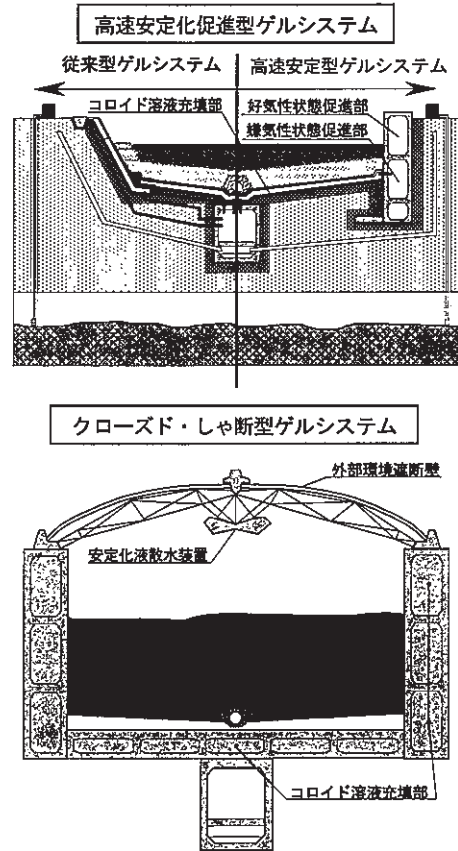
図一十九 任意区画の溶液圧力制御モデル

## 5. 今後の展開

ゲルシステムにおける今後の展開として、図-20 に示すような2つのタイプの新しい処分場を計画している。同図(上)は、好気性・嫌気性分解作用による安定化促進および浸出水を利用した浄化機能を複合的に作用させることで、廃棄物を高速で安定化させる性能をゲルシステムに付加したタイプであり、しゃ水性に加え永続的な

水処理費を削減することが可能な処分場の開発を行う。

また、同図(下)は、ゲルシステムをクローズド型やしゃ断型の処分場に適用可能なタイプであり、産業廃棄物をはじめ高濃度放射性廃棄物の処分場にまで適用範囲を拡張した処分場の開発を行う。



図一二十 ゲルシステムの応用展開例

## 6. あとがき

各種の実証実験によって、ゲルシステムが所定のしゃ水性能を有していることを確認するとともに、設計手法と施工方法を確立した。今後は、ゲルシステムの各種の性能をより向上させ効率的で汎用性に優れたシステムとなるように改善していきたい。

また、ゲルシステムは、(株)奥村組・(財)地域地盤環境研究所・(株)浅沼組・西武建設(株)・豊順洋行(株)の5者による共同研究開発である。

### 【参考文献】

- 1) 皆瀬、近藤、嘉門、「ベントナイト・マッドケーキの透水係数」第42回粘土科学討論会講演要旨集1998、pp.154~155
- 2) 古賀ほか、「最終処分場における修復システムへのスメクタイト水分散液の利用」第42回粘土科学討論会講演要旨集1998、pp.186~187