

18. 廃棄物処分場建設システムの開発

土岐 晃生
市川 隆文

要 旨

廃棄物処分場の建設にあたっては厳しいしゃ水性能が求められている。膨潤性粘土鉱物を土と混合すれば信頼性の高いしゃ水地盤が得られることは、すでに混合法としてよく知られているが、施工の均一性が得られにくいことに問題があった。そこで、この膨潤性粘土鉱物が持つ優れたしゃ水性能と長期的な耐久性に着目して、これまでに行われてきた混合法と異なり、ゲル溶液としてしゃ水層を形成する工法について研究を進めてきたところ、自然修復型の優れたしゃ水層が得られることがわかった。

本報告は、この新しい自然修復型の建設システムに関する基本機構とこれまでに行った一連の基礎実験の結果について、その概要を述べる。

キーワード

廃棄物／膨潤性粘土溶液／環境汚染／自然加圧修復方式／ゲルシステム／漏水検知

目 次

1. はじめに
2. 廃棄物処分場建設システムの概要
3. 室内実験
4. ま と め
5. あとがき

18. DEVELOPMENT OF WASTE DISPOSAL PLANT CONSTRUCTION SYSTEM

Teruo Toki
Takahumi Ichikawa

Abstract

The construction of waste disposal plants requires high waterproof capability. It has already been well known that mixing of swelling clay mineral with soil produces reliable, high waterproof ground.

However, homogeneity during construction was difficult to achieve. Studies have been continued to form waterproof layers in the form of gel solution, focusing on the high waterproof capability and long-term durability of swelling clay mineral. As a result, it has been found that excellent self-restoring waterproof ground can be obtained.

1. はじめに

社会の経済活動が急速に大量生産、大量消費型へと移行する中、発生する廃棄物の増大によって処分地の不足が深刻な問題となっているが、それとともに廃棄物の質的な多様化により、廃棄物処分場から地盤に漏出する浸出水による自然環境の汚染が大きな社会問題となっている。

今回、2重シートの内部に膨潤性粘土溶液を充填した密閉構造のしゃ水層を持つ新しい廃棄物処分場の建設システム（ゲルシステム）の構築をめざし、基礎実験を進めてきたところ優れたしゃ水機能と自然修復性が認められたのでここにその概要を報告する。

2. 廃棄物処分場建設システムの概要

2.1 廃棄物処分場建設システムの開発目標

廃棄物処分場の建設に関する法規制の面については厚生省はじめ、所轄官庁においてその設置基準の見直しが進められているため、開発にあたっては、新しい基準を見越したものを目標としていくことが必要である。

また、漏水を検知し修復すべき箇所が特定されても対策工が煩雑であったり、同じ箇所での再修復ができないものであってはならず、さらに廃棄物処分場の供用期間は竣工から埋め立て終了時までライフサイクルが非常に長いので、そのシステムの健全性が常に維持されるものでなければならない。

以上から、開発に着手するにあたり、次に挙げるポイントをその目標とした。

- ①所轄官庁の認可基準に適合する仕様とする。
 - ②自然修復性のあるしゃ水構造とする。
 - ③長期的に物理的、化学的に安定した漏水検知機能と修復機能を持つものとする。
- * 物理的安定性（耐圧、引張り強度、耐衝撃性）
 - * 化学的安定性（酸、アルカリ、塩、紫外線、油脂への耐久性、および耐熱性、耐水性など）
- ④施工が容易なだけでなく、施工後もシステムの健全性を誰でもモニターできるシステムとする。
 - ⑤建設コストおよび維持管理コストの安いシンプルな機構とする。

2.2 ゲルシステムの概略断面

図-1 はシステムの概略断面図を示したものである。図に示すように、しゃ水層は密閉した2重シートの内部に膨潤性粘土溶液を充填した構造としている。その粘土溶液は溶液タンクと配管で連通されており、内部溶液が常に処分場内の水圧より高い、ある一定の静水圧を保持できる構造としている。原理的には、この圧力差によって、処分場内の浸出水が外部へ流出するのを阻止している。

図-2 は、従来の2重しゃ水機構と開発した機構の違いを示したものである。従来の2重シート方式では破損箇所があると浸出水を呼び込むこととなるが、本機構では内部からの圧力によって漏水を阻止できる自然加圧修復方式としている。

また、万一、しゃ水シートが破損して漏水が発生しても、溶液水位の変動によって異常が検知されるので、しゃ水構造系を適当な広さ毎にブロック割りにしておくことで、漏水した箇所を特定できるという特長も持つ。

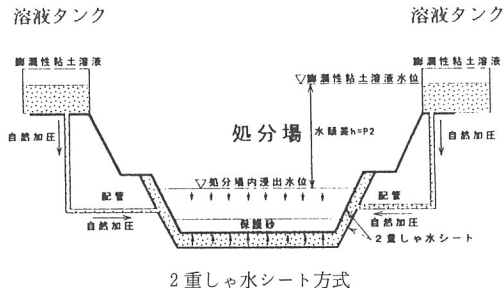


図-1 システムの概略断面図

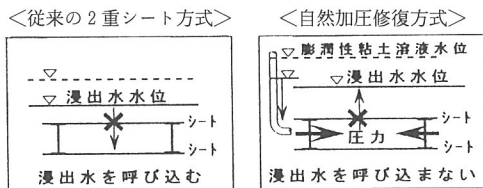


図-2 機構の比較

2.3 破損箇所の自然修復機構

膨潤性粘土によって形成される泥壁が孔壁を保護するという原理は、従来からボーリングや連続地中壁の施工等に広く利用されてきた。

泥壁は泥膜と浸透沈積層で構成されるが、この内、泥膜が形成されるメカニズムは次のとおりである。

- ①溶液中の粘土鉱物が地盤の土粒子のマイナス電荷に引かれて土粒子の表面に吸着する。
- ②地盤がフィルターとなり溶液中の水分のみを通過させる作用が発生する。
- ③やがて土粒子が膨潤性粘土に包まれて間隙をふさぐ状態となって泥膜が形成される。
- ④この泥膜は圧カバランスをとるまで成長を続け、それによって強固なしゃ水層を完成する。

このメカニズムを利用することで、万一、シートが破損して漏水が生じていても自然に修復することが可能になる。

2.4 しゃ水構造

しゃ水構造の詳細断面図を図-3に示す。

シート間の内部空間を保持するための中間材（碎石層またはプラスチックドレン材）を挟んで、2重のしゃ水シートとシート保護のための不織布を配置している。さらに上部シートの下には浸透水の流速を抑制し泥膜の形成を促進するための特殊シートを挿入している。（保護シートD材と呼ぶ）

泥膜を形成するにいたるまでのメカニズムを図-4、5に示す。破損直後はシート内部の粘土溶液が保護砂層に漏出するが、保護砂の水分と反応して粘土溶液の膨潤作用が働いて自然に泥膜を形成し、以降の流出を防止できる機構としている。

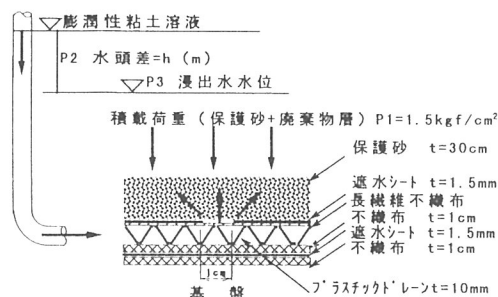


図-3 しゃ水構造詳細断面図

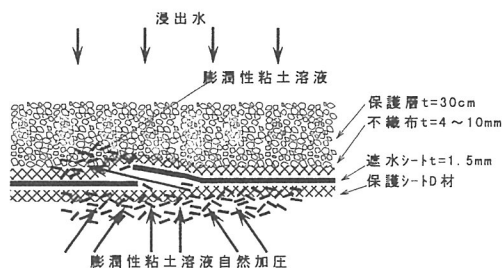


図-4 シートの破損直後の様子

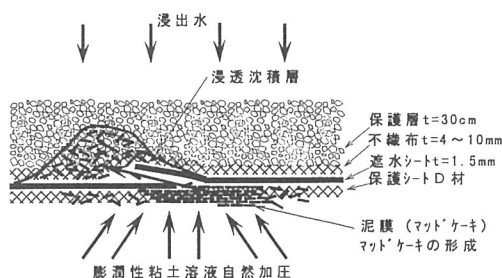


図-5 浸透沈積層と泥膜形成の様子

3. システムを構成する基本機構に関する室内実験

3.1 加圧透水試験 1

(1) 実験概要

膨潤性粘土溶液が泥膜を形成し、通水が阻止される様子を観察するために、図-6に示すように直径125mm、高さ250mmの亚克力製カラムを製作し、加圧透水試験を行った。

カラムの中間部には、泥膜の形成を促進するための特殊シート（保護シートD材）、およびそれを保護する2枚の不織布を配置して、内部に単粒土碎石を充填したうえで、下部から上部に向けて膨潤性粘土溶液を流入させ、その通水量の変化を測定した。写真-1はその実験の様子を示したものである。

なお表-1にこの実験に用いた碎石の諸元を示す。

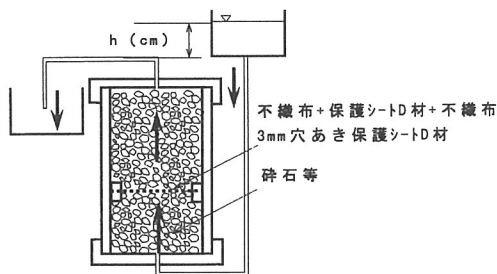


図-6 加圧透水試験装置



写真-1 通水量測定状況

表-1 碎石材料の緒元と水道水に対する透水係数

材料名	密度 ρ_t (g/cm^3)	間隙率 n (%)	透水係数 k (cm/sec)
碎石 5 号	1.510	43	150.0

(2) 実験結果

以下の2ケースについて通水量の測定を行った。

①中間部に、直径3mm大の穴を開けた保護シートD材だけを挿入し低水圧で加圧する。

②中間部に、保護シートD材を2枚の不織布で補強した状態で挿入して高水圧で加圧する。

図-7は①のケースについて、 $0.2\text{kgf}/\text{cm}^2$ と $0.4\text{kgf}/\text{cm}^2$ の水頭圧を加えた状態で通水量の変化を示したものである。低水圧下では、碎石層にたとえ小さな穴が開いても時間はかかるが徐々に保護シートD材によって泥膜が形成され通水量が減少していく様子を示している。

また、図-8は②のケースについて $0.5\text{kgf}/\text{cm}^2$ と $0.8\text{kgf}/\text{cm}^2$ の水頭圧を加えた状態で同様の変化を示したものである。高水圧下でもしゅ水が可能となる様子を示している。

以上の実験から、透水性の高い碎石層でも適切な強度と細孔径を持つ特殊シート（保護シートD材）を介在させることにより、泥膜が形成され通水を阻止できることがわかった。

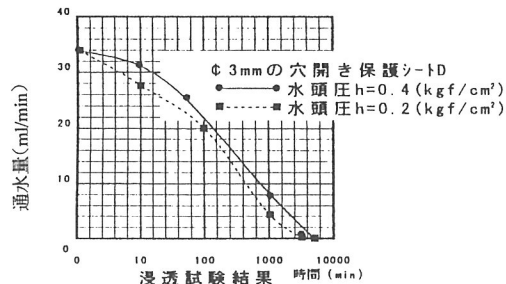


図-7 低水圧下の通水量の変化

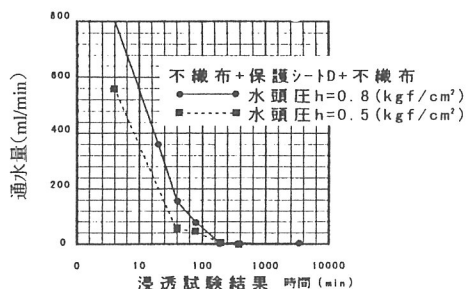


図-8 高水圧下の通水量の変化

3.2 加圧透水試験 2

(1) 実験概要

2重にしたしゃ水シートの上側シートの一部に破損が生じて、上部に敷設した保護砂によって泥膜が形成され自然修復する様子を観察するために、図-9、10および写真-2に示す大型透水試験器を製作し実験を行った。

図-10に示すように、試験器底部に短繊維不織布(厚さ10mm)、プラスチックドレーン(厚さ10mm)、長繊維不織布(厚さ0.4mm、砂止め)を下から順に敷いた後、あらかじめ中央部に1cm角の穴を開けたしゃ水シート(HDPE/厚さ1.5mm)を置き、その上に保護砂としてけい砂(5号)を20cmの高さまで充填し供試体とした。

実験は、処分場の埋め立て高さを10m、廃棄物の単位重量を 1.5tf/m^3 と仮定して、それに見合う載荷重 1.5kgf/cm^2 をかけた状態で、様々な水頭圧の膨潤性粘土溶液を注入して、その通水量の変化を調べた。

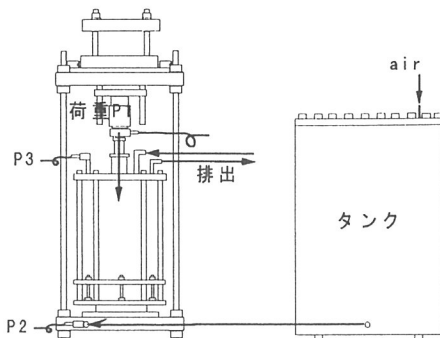


図-9 大型加圧透水試験器の概略図

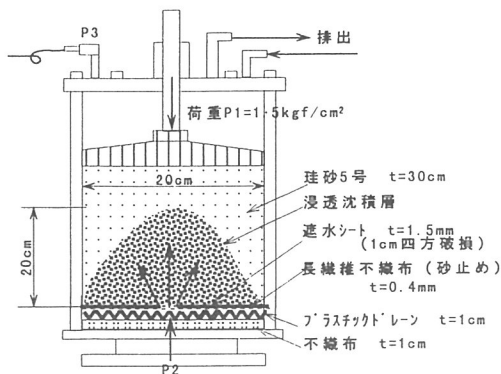


図-10 試験供試体の詳細図

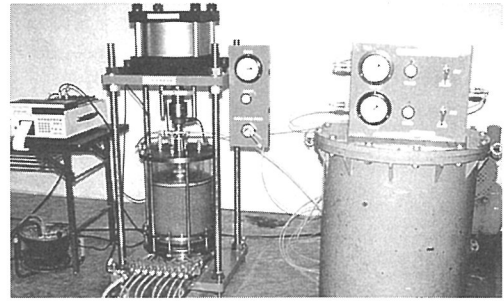


写真-2 大型透水試験器の概要

(2) 実験結果

a) 浸透沈積層と泥膜の形成状況の観察

透水試験に先立ち、膨潤性粘土溶液に赤色の着色剤を入れて着色しておいてから、底部より 1.0kgf/cm^2 の水頭圧で加圧注入をした後、目視観察を行った。

写真-3に示すようにシート側から20cm程度の高さまで浸透沈積層が形成されている状況が観察されたが、浸透沈積層と泥膜の間に明瞭な境界を見出すことはできなかった。

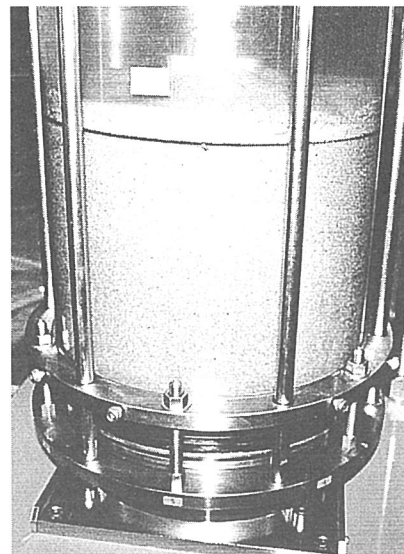
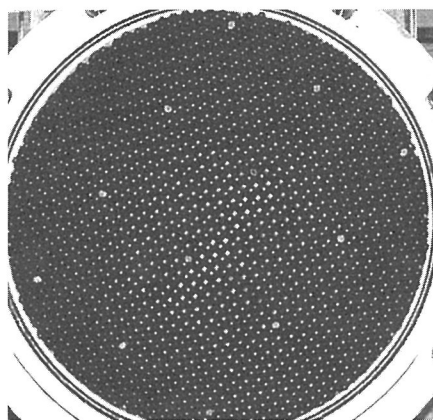


写真-3 膨潤性粘土溶液の浸透状況

また、写真－４は供試体から砂としゃ水シートおよび長繊維不織布を除去した後のプラスチックドレーンの状況を示したものであるが、プラスチックドレーンには膨潤性粘土溶液の沈降堆積や閉塞などは生じていなかった。



写真－４ 試験後のプラスチックドレーンの状況

ｂ) 通水量の変化

しゃ水構造の一部に破損が生じた場合、シート破損部から場内の保護砂方向に溶液が浸出する場合のほか、廃棄物に浸透した雨水による圧力が２重シートの内部圧力より高くなって、一時逆方向の水圧がかかる場合など種々の状況が想定される。

そこでこのような条件下で、自然修復によって復旧されたしゃ水層の健全性を調べるため、膨潤性粘土溶液の圧力別に通水量が変化の様子と、一旦形成されたしゃ水層に逆方向に水流が流れた場合のしゃ水機能の変化について調査を行った。

①水道水を注入した場合

まず、比較のために、水道水を用いて実験を行った。図－１１はシート下部から、 0.1kgf/cm^2 、 1.0kgf/cm^2 のそれぞれの水頭圧で水道水を注入した場合と、逆に上部の砂層から 0.1kgf/cm^2 の水頭圧で注水した場合の通水量の変化について測定した結果を示したものである。

当然ながら水道水では時間が経過しても泥膜が形成されることがないため通水量が減ることはない。また下部からの水頭圧が 0.5kgf/cm^2 を越えるとパイピング現象が生じ、水みちができた。

②膨潤性粘土溶液を１方向で注入した場合

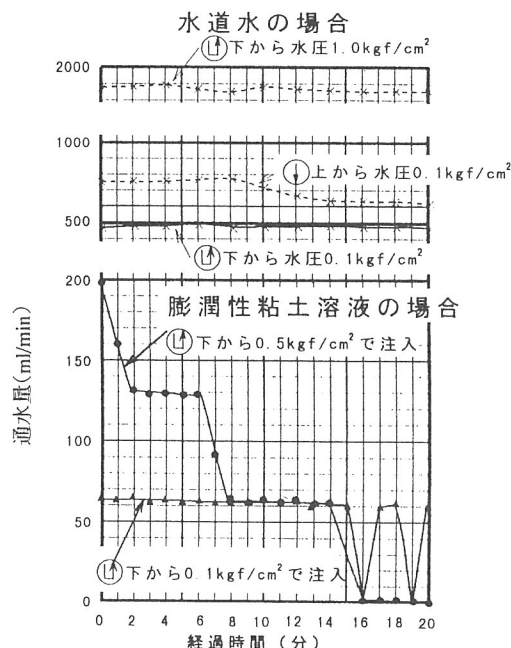
同じ図－１１に、膨潤性粘土溶液をシート下部から、 0.1kgf/cm^2 、 0.5kgf/cm^2 のそれぞれの水頭圧で注入した場合の砂層への浸透通水量の変化について測定した結果を示す。この結果、膨潤性粘土溶液を用いればパイピングが起こる位の高圧力下でも約２０分でその浸透を阻止できることがわかった。

③膨潤性粘土溶液を繰り返し注入した場合

２重シートのある箇所が破損して内部圧力が一時低下した後、自然修復が働き、その後再び加圧状態に復旧した状況を想定して実験を行った。

実験では、一旦シート下部から 1.0kgf/cm^2 の水頭圧で粘土溶液を注入した後、逆に上部からの水道水を４０分間注入し、その後、再び下部から 1.0kgf/cm^2 の粘土溶液を注入し同一箇所の浸透通水量の変化を調べた。

実験の結果を図－１２に示す。同一箇所の破損に対して浸透量は当初に修復に要した時間の約 $1/5$ の時間で０となり、再修復が短時間でなされることがわかった。



図－１１ 通水量の変化

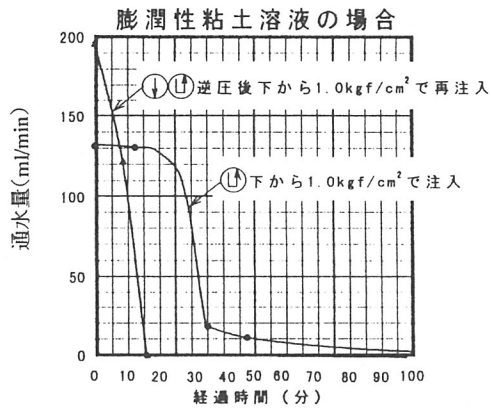


図-12 繰り返し注入実験結果

4. まとめ

廃棄物処分場のしゃ水方式として、膨潤性粘土溶液を充填した2重シート構造を提案し基礎実験を進めてきた。実験結果で見るとおり、シート内部の膨潤性粘土溶液の水頭圧を処分場側の浸出水の水頭圧より常時0.1～1.0kgf/cm²高く保持することにより、万一しゃ水シートが破損した場合でも保護土との間で泥膜を形成し、しゃ水シートと同等のしゃ水効果が得られることが確認された。

また、廃棄物荷重の増大や偏荷重、あるいは一時的な地下水位の変動などにより、2重シート内部の泥水圧が、部分的に高くなったり時間的な圧力変動が起こるような状況に備えて、あらかじめ土との境界面に泥膜形成を促進する材料を媒介物として挿入しておくことが効果のあることがわかった。

以上の室内実験に引き続き、実大の実証実験を行った。その様子を写真-5に示す。実験場は幅16m、長さ20m、深さ3mの規模であり、底面には新開発のしゃ水構造を組み込んだ。そして廃棄物の荷重のかわりに静水圧によって載荷したうえで泥膜形成の確認実験をおこなった。その実験結果については次報で報告したい。

なお、本システムの基本機構を確立するために、今後、膨潤性粘土溶液の水頭圧の伝播状況の確認と様々な圧力下における泥膜形成のメカニズムの解明および長期的な耐久性の実証実験などが必要と考えている。

5. あとがき

本開発は、当社と(財)大阪土質試験所、(株)奥村組、戸田建設(株)、西武建設(株)、豊順洋行(株)の6社で構成する「ゲルシステム研究会」において共同で開発を進めているものである。



写真-5 実大実証実験の状況