

瓦理論に関する研究

新処分場研究会 ○ 山内一生
福岡大学 正会員 花嶋正孝 正会員 長野修治

1. はじめに

最終処分場における問題の1つとして地下水汚染がある。この汚染防止対策として、遮水シートによる遮水工が一般的に行われる。又、シート遮水の実施に際しては廃棄物・埋立施工機械等によるシート破損を防止する目的で、シート上に保護層を設けることが義務づけられている。一方、地下水汚染を防止する方法として、浸出水を出来るだけ速やかに排除することが考えられる。さらに、浸出水を排除する課程においてその質を良くすること等も考えられる。ここでは、速やかな排水に注目した遮水シートの施工等を検討する。すなわち、遮水シートを施工する場合は、シートの接合という作業が伴い、接合ミスが生じる可能性がある。そのような時でも、“瓦”のように重ねる（当然ある程度の傾斜は必要である）だけで遮水が可能になることも予想される。

この研究は、遮水シートの接合効果を発揮できるような敷設形態を検討するものである。

2. 瓦理論の理念

瓦屋根に降り注いだ雨水は特殊な条件下以外漏水せずに樋を通じて排水される。ここで述べる特殊な条件下とは、台風等の強風圧条件である。最終処分場の浸出水も、遮水シートに達した後に圧力が少なければ、漏水せずに浸出水処理施設を通じて排水されるのではないかと考える。仮に遮水シートを瓦屋根に置き換えて考えると、一定の勾配と水圧低下工法を提案することにより、遮水シートの接合は現在よりも簡易な工法を提案できると考える。特に、山間型最終処分場の構造から判断し、滞水可能水位（標高）より高い部分での接合が簡便化するものと考えられる。

3. 実験の目的及び実験装置

3. 1 目的

遮水シートの接合箇所における瓦屋根理論がなりたつかどうかを検証するために、下記の実験を行った。

- ① 滞水深と漏出量
- ② 降雨量と漏出量
- ③ 傾斜角度と漏出量
- ④ シートの保護材と漏出量

3. 2 実験方法

まず、実験装置の底部にシートを布設する。シートの布設に当たっては、シートの重ね合わせの部分は接着せずに、重ねるだけにする。ただし、重ね合わせの中（15、30 cm）を変化させる。

次に、このような状態で、雨（人工、自然）が降った時に、シートの接合部分での各条件における漏水状況を判断する。判断する方法は、実験装置の下部でシートから漏出しているかどうかを確認する。漏出している場合は、その漏出量を測定する。

3. 3 実験装置

今回用いた実験装置を図3. 1に示す。実験装置は縦、横4×6 m、高さ4 m、の鋼製である。実験装

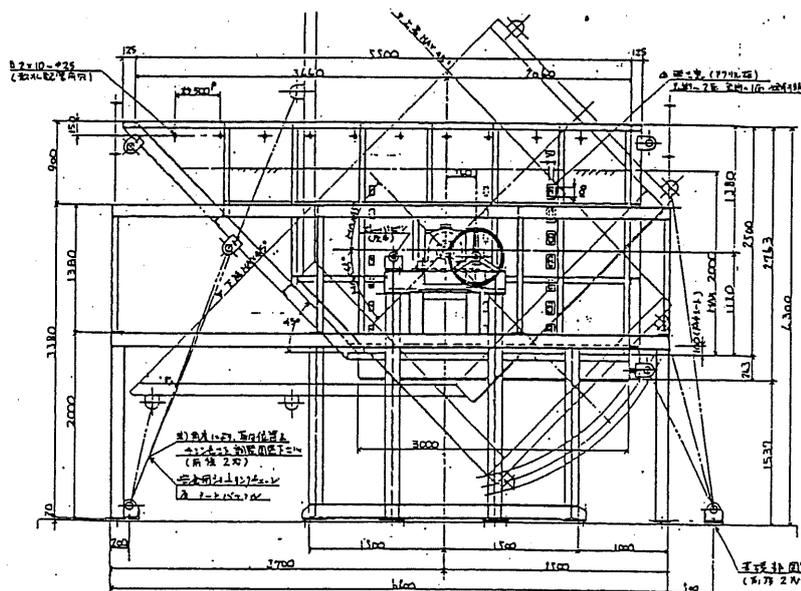


図3. 1 実験装置

[連絡先] 〒814-80 福岡市城南区七隈8丁目19-1 福岡大学環境保全センター 長野修治

TEL 092-863-8238 FAX 092-863-8248

置は、底部の傾斜を変化させるために、装置自体が回転できる構造になっている。又、底部の遮水シート実験装置の下から覗けるように底板が透明のアクリル板で、遮水シートからの漏水状況が観察できる構造になっている。

4. 実験結果

①滞水深と漏出量

まず、埋立地に浸出水を滞水した場合、シートに漏出箇所があれば、滞水厚が増すことによって、漏出量がどのように変化するかについて実験を行った。その結果を図4. 1に示す。図から分かるように、水位が10cmの時漏出量は413滴/分、20cmの時930滴/分、30cmの時2565滴/分、であり、水位の増加とともに、漏出量が増加しており、かつその増加速度も増大している。このことは、漏出量がトリチェリーの定理 ($v = \sqrt{2gh}$) と同じ関係あるように見える。このことから、埋立地内にはできるだけ滞水しないようにする必要がある。

②降雨量と漏出量

漏出量は降雨に影響されると考えられるので、その影響について実験を行った。その結果、まず、実験全体で言えることは、シートの接合部分での漏出は、シートを重ね合わせるだけで漏出しないこともあることが分かった。このことは、シートを布設する場合、シートの接合を確実に実施することは重要であるが、万が一、接合不良部分が生じて、シートを重ね合せておけば、漏出はほとんど無いこともあることを示唆している。次に、降雨量と漏出量の関係を見ると、図4. 2のようになる。図から分かるように、シートの重ね状態によって、かなり大きく変化

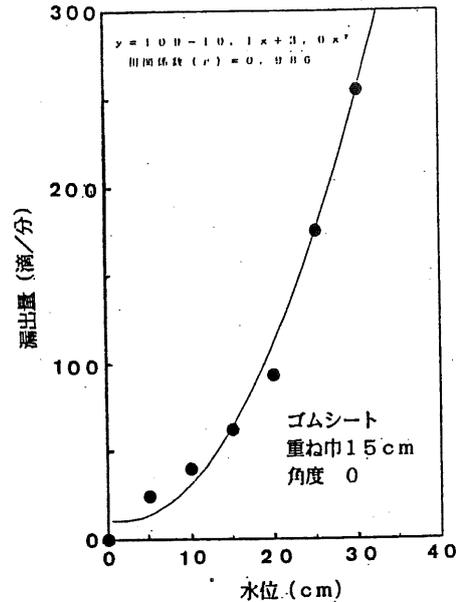


図4. 1 滞水水位と漏出量

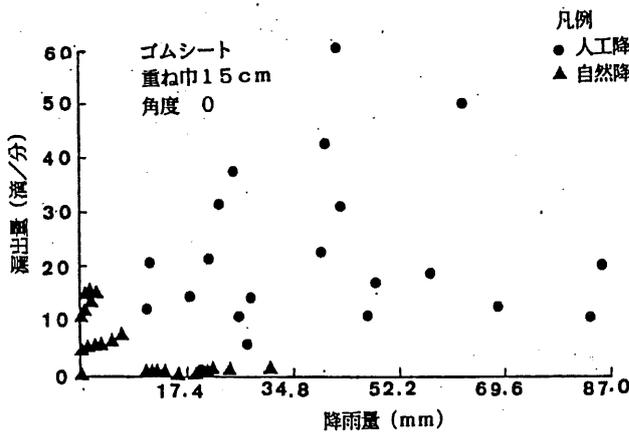


図4. 2 降雨量と漏出量

するが、全体的に見ると、降雨量が17.4mm/hrの時漏出量は20滴/分、34.8mm/hrの時30滴/分、51.4mm/hrの時40滴/分程度であり、降雨量が増加すると、漏出量は増加する傾向にある。但し、シートの重ね状態によっては、ある程度降雨が増加すると、漏出が減少することもあった。

③底部の傾斜角度と漏出量

これまでの実験で、シートを重ね合せた(底部に傾斜が無い場合)だけでは、完全に漏出を防止することは不可能であることも分かった。そこで、底部の傾斜と漏出量の検討を行った。その結果を図4. 3に示す。図から分かるように、降雨やシートの重ね合わせの条件によって、漏出量は大きく変化しているが、

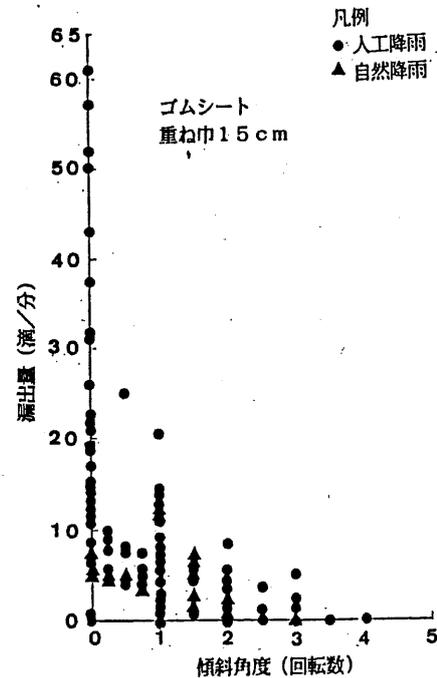


図4. 3 底部の傾斜角度と漏出量

回転数（傾斜角度）を大きくすると、漏出量は小さくなる傾向にある。さらに、回転数（傾斜角度）が4（1.6度）以上になると、漏出しなくなった。また、各回転数（傾斜角度）における漏出量の変化の中は、回転数（傾斜角度）を大きくすると、小さくなる傾向にある。すなわち、回転数（傾斜角度）が0（0度）の時は0～60滴/分であり、1（0.4度）の時は0～20滴/分、2（0.8度）の時は0～10滴/分である。このことは、埋立地の底部に傾斜を持たせることによって、漏出を防止できる可能性があることを示唆している。

④シート保護材と漏出量

シートを重ね合わせ、底部に傾斜を付けることによって、漏出を防止する可能性があることが分かった。ただし、実際の埋立地はシートの上部に廃棄物等による破損を防止するために、保護材を施すことになっている。そのため、この保護材の影響について検討を行った。保護材としては、従

来用いられている土砂と保護材の透水性を重視したプラスチックの保護材（これをコスモジョ）を用いた。これらを用いた場合と保護材を用いなかった場合の漏出量について比較した結果を図4.4～図4.5に示す。

まず、土砂とシート保護材がない場合を比較すると、傾斜が

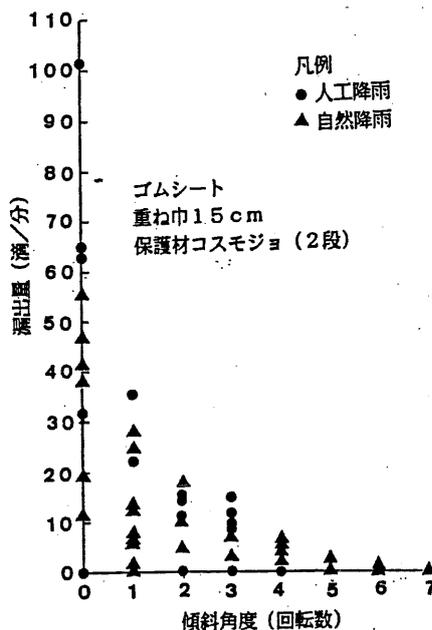


図4.5 保護材の材質と漏出量

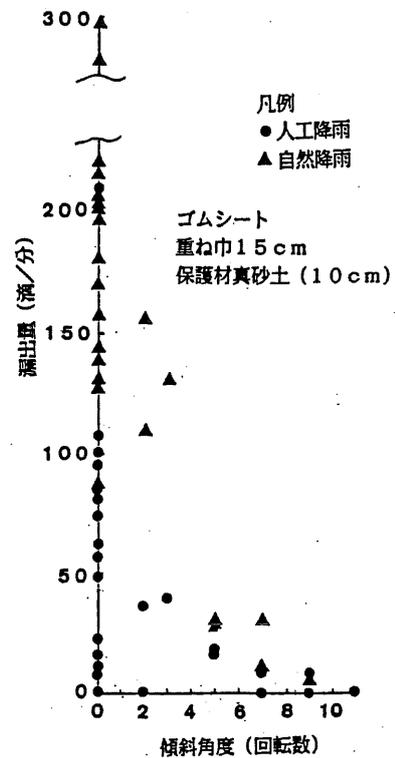


図4.6 保護材の材質と漏出量

ない場合の漏出量は、土砂は300滴/分以下であり、ほとんど漏出が認められた。一方、保護材がコスモジョの場合の漏出量は、0～100滴/分であった。さらに、漏出が見られなくなるまでの回転数（傾斜角度）は、土砂は1.1（4.4度）であり、保護材がコスモジョの時は、7（2.8度）である。

このように、保護材に土砂を用いると、透水性のよい保護材の時よりも漏出が増加する傾向にあり、かつ、漏出が生じなくなるまでの傾斜角度は大きくなる傾向にある。

4. まとめ

今回の実験結果から次のようなことが明らかになった。

- ①遮水シートに接合ミス等の漏出箇所がある場合、水圧が上昇すると水圧に比例して漏出量が増大する。
- ②遮水シートはシートを重ね合わせるだけでも漏出を防止できる可能性がある。
- ③遮水シートはシートを重ね合わせるだけで漏出を防止できなくても勾配を持たせることによって漏出を防止できる可能性がある。
- ④遮水シートはシートの保護材は土砂等よりも透水性の高い材質の方が漏出を軽減できる。

以上のように、遮水シートにある程度「互理論」が応用できる可能性が確認できた。今後は、遮水シートの上部に廃棄物を充填して実際の埋立地に近い条件でも「互理論」が応用できるかについて検討していきたいと考えている。

瓦理論の実用化に向けての展開

新処分場研究会

福岡大学工学部 (正) 花嶋 正孝

建設工学研究社 (正) 山内 一生

(株)大林組 (正) 小谷 克己

(正) ○佐々木 徹

1. まえがき

新処分場研究会では、研究テーマの1つとして廃棄物処分場におけるしゃ水構造物の構造に関する研究を行っている。しゃ水の構造研究としてしゃ水シートの敷設方法に着目し、屋根瓦を応用した“瓦理論”を取り入れて、そのしゃ水効果に対する検証を行っている。今年度は、基本試験としてしゃ水シートの重ね代や敷設時の傾斜角度を変えて降雨や滞水による漏水実験を行ったが、実験結果よりしゃ水シートの敷設方法に“瓦理論”が応用できる可能性があるという結果が得られた¹⁾。

本報では、この実験結果を踏まえて、現状の廃棄物処分場における“瓦理論”の適用性、応用技術および実用化に向けての課題について報告する。

2. 現状の処分場への応用

(1) 工場成形シート(しゃ水シート)への応用

現状の最終処分場に“瓦理論”が応用できる範囲としては、以下に示すように処分場底部や斜面部でのしゃ水シートへの応用が考えられる。

① 底部への応用

一般に“瓦理論”を処分場の底部へ応用する場合には、漏水実験の結果を踏まえると、ある程度の勾配が確保でき、浸出水の貯留水位以上の処分場上部への応用が考えられる。

なお、“瓦理論”が適用できる条件として、次のことが確認された。

④しゃ水シート上面に排水層を設け、浸出水を滞水させない。

⑤しゃ水シートの勾配は2度以上とする。

⑥しゃ水シートの重ね代は15cm以上とする。

② 斜面部への応用

現場でしゃ水シートを接合する方法としては、接着材工法と熱融着工法が一般的に用いられているが、この接合部分に

“瓦理論”を応用することが考えられる。

図1は、斜面部のしゃ水シートに“瓦理論”を応用する場合の考えられる標準図を示すものである。図中に示すように、“瓦理論”はしゃ水シートに多大な引張力が作用する小段部での下段シートの破損防止法としての応用が考えられる。

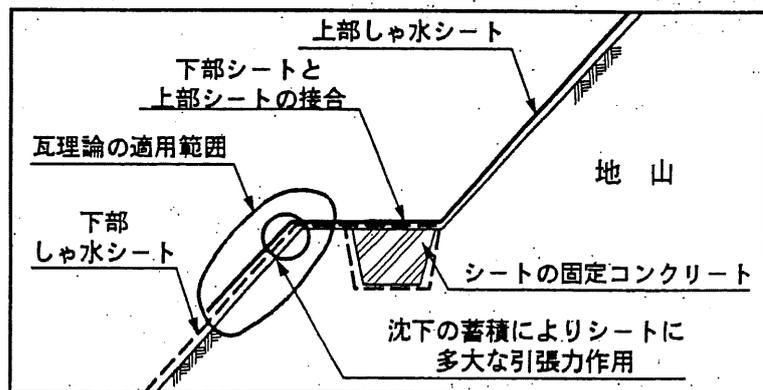


図1 斜面部への“瓦理論”の応用

(2) しゃ水シートの保護材への応用

しゃ水シートの損傷原因には、地盤に係わるもの、廃棄物の沈下に係わるもの、埋立作業に係わるものなどがあげられる。これらの要因によるしゃ水シートの損傷を防止するため、特に斜面部のしゃ水シートの上に図2に示すように摩擦係数の小さな樹脂板(スリップシート)を瓦状に取り付ける(沿わせる)ことにより、自身のしゃ水効果のほか、しゃ水シートの保護材としての応用が考えられる。

〔連絡先〕 〒103 東京都文京区本郷2-2-9 センチュリーター (株)大林組土木技術本部技術第4部
佐々木 徹 電話(03)5689-9006 ファックス(03)5698-9007

このようにしゃ水シートの保護材として“瓦理論”を応用するとした場合、以下に示すような効果が期待できる。

①しゃ水性保護材を使用することで2重のしゃ水性能を持たせる。

②保護材はしゃ水シートと重ね合わせるだけで完全接合しないため、廃棄物の埋立てに伴って発生する沈下に追従できるとともにしゃ水シートとの摩擦力を低減させて、しゃ水シートの引込み沈下（シートの伸び）を防止する。

③保護材および背面空間が好気性埋立ての通気層としての効果も期待できる。

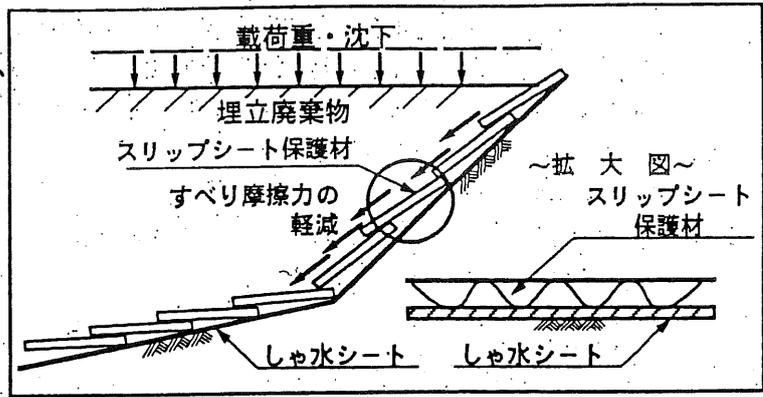


図2 しゃ水シート保護材への応用（引込み沈下防止）

3. 実用化に向けての課題

最終処分場にしゃ水シートやしゃ水シートの保護材への応用として“瓦理論”を適用する場合、実用化に向けて考えられる技術的な課題とそれに対する考え方を以下に述べる。

(1) しゃ水シートへの実用化に向けての課題

①表面排水層（排水材）の仕様

“瓦理論”を適用してしゃ水シートを敷設した範囲については（特に底部に適用した場合）、降雨による浸出水が滞水しないように、速やかに浸出水集排水施設に排出することが重要である。漏水実験によると滞水層厚（水深）の増加に伴い漏水量が増える傾向にあり、また、排水層として土砂よりもプラスチック製の排水材（人工排水材）のほうが漏出量が低減できる結果が得られている。

このため、浸出水を速やかに排出する排水層（排水材）の設置が必要となるが、人工排水材の選定にあたっては以下のような機能が要求される。

④廃棄物の埋立による土圧の増加により排水断面がつぶされないような耐圧性を有していること。

⑤細粒分の進入による目詰まりを起こさず、排水機能が低下しないこと。

②しゃ水シートのラップ長（重ね代）

しゃ水シートの重ね代の設定については、浸出水の漏水が防止できる（漏水実験よりシートを15cm以上重ね合わせれば漏水はほとんどないという結果が得られている）とともに、廃棄物の沈下特性および図3に示すように斜面部へのくい込みなどを考慮して設定することが必要である。なお、埋立上部になるにつれ沈下が累積され大きくなる傾向にあるため、シートの重ね代を大きく取るように計画する。

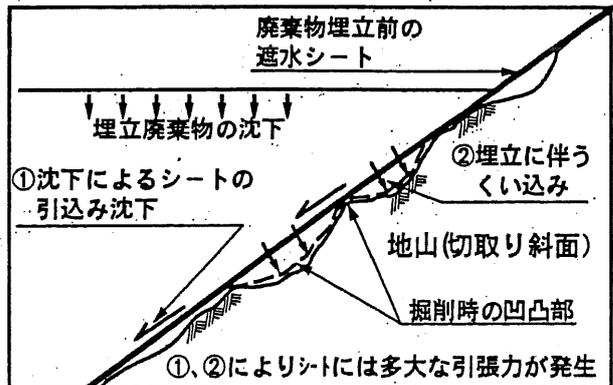


図3 シートの斜面部へのくい込み状況

①、②によりシートには多大な引張力が発生

③しゃ水シートの固定方法

しゃ水シートは温度や廃棄物の沈下の影響により、シートに過大な引張力が作用し、損傷の原因となりやすい。特に小段部ではシートの伸びが累積されるため、シートに非常に大きな引張力が作用する。

このため“瓦理論”を適用する場合、先行したしゃ水シートの保護としゃ水性能の向上を図る目的から図4に示すように小段部での固定が原則となる。

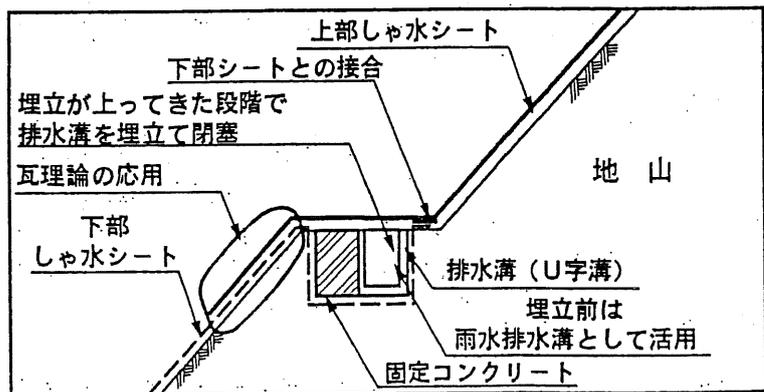


図4 部分施工の場合のシートの固定方法

また、シートの劣化防止などから工程上部分施工となる場合には、小段部の排水路で一旦シートを固定し（排水路は活用している状態）小段付近まで廃棄物が埋め立てられた時点で排水路をコンクリートで閉塞し（排水路は閉塞状態）、その上にシートを瓦状に重ね合わせる。この際、事前に敷設したシートの損傷が懸念されるため、小段肩付近まで敷設することとする。

④しゃ水シートの縦継目方法

遮水シートの縦方向の継目方法は、従来方法では縦方向にラップさせて熱融着あるいは接着材で接合しているが、“瓦理論”では融着せず重ね合わせるため、図5に示すように斜め状に重ね合わせ、継目より浸出水が漏出しないような処置を施すこととする。なお、斜め状に重ね合わせる場合の接合角度については漏水実験により設定する。

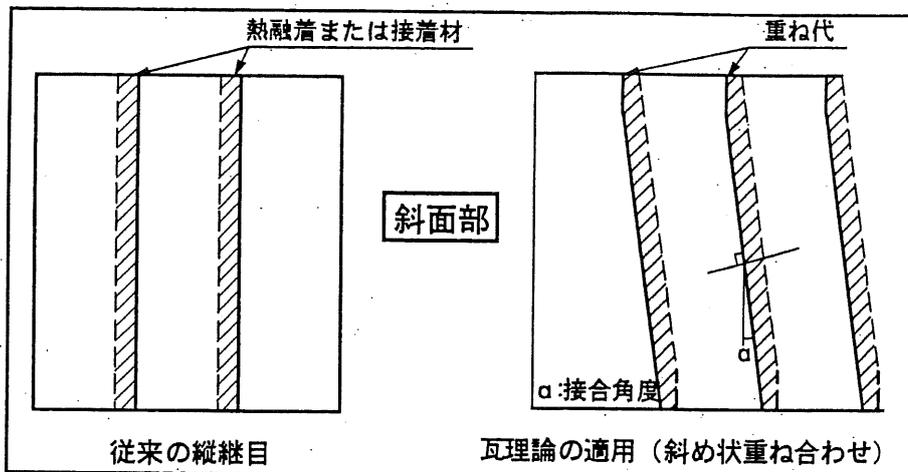


図5 “瓦理論”によるしゃ水シートの縦継目方法

⑤二重シートへの適用

“瓦理論”に二重シートに適用する場合には、一重シートおよび二重シートの縦継目（図5参照）をずらして施工することにより、より高いしゃ水効果が期待できると考えられる。

(2) しゃ水シート保護材への実用化に向けての課題

①材料特性

保護材としての特性としては、④しゃ水性能を向上させる、⑩廃棄物の沈下によるしゃ水シートの引込み沈下を防止する、ことが要求される。このため、表面部にはしゃ水機能をもたせるとともにしゃ水シートとの間の摩擦係数が極力小さく、耐圧性の高い材料を開発する必要がある。

②しゃ水シートとの固定方法

保護材は、しゃ水シートと重ね合わせるだけで、廃棄物の沈下によるしゃ水シートの引込みを防止する効果を期待しているが、重ね合わせるだけでは風による舞上がりなどが防止できない。

このため、以下の点を考慮して、しゃ水シートとの固定方法を検討する必要がある。

④風による保護材のあおりや舞上がりが防止できる。

⑩廃棄物の埋立の進行により、しゃ水シートと固定された箇所との切り離しが容易である。

③好気性条件の向上

保護材から強制的に空気を送り込むことにより好气的状態とし、微生物分解を促進させてバイオゾーンを形成させ、浸出水の浄化を改善し、同時に埋立廃棄物を早期に安定させることが重要である。

このため、保護材として好気性埋立ての通気層としての機能をも併せ持つような機能を有している材料の検討が必要である。

4. あとがき

“瓦理論”を応用して実際の処分場で適用するにあたっては、遮水シートのラップ方法、固定方法など決定していないことが多く、要素実験および現場実験などで明らかにしなければならない。

今後は、これらの不確定要素を明らかにするために、実際の処分場を想定し、廃棄物を実際に遮水シートの上に埋め立てた状態で実験を行ったり、現場で試採用するなど“瓦理論”の実用化に向けて検討を行っていきたいと考えている。

【参考文献】

- 1) 花嶋正孝ほか；瓦理論に関する研究、廃棄物学会第7回研究発表会講演論文集、1996年

互理論に関する研究(2)

新処分場研究会

建設工学研究社 (正) ○山内一生

福岡大学 (正) 花嶋正孝 (正) 長野修治

1. はじめに

しゃ水シート工法の1つとして、屋根瓦を応用した”互理論”を取り入れ、そのしゃ水効果に対する検証実験を行っている。前年度、その基礎実験として、しゃ水シートの傾斜角や重ね巾等を変えて降雨や滞水による漏水実験を行ない、下記のようなしゃ水シートの施工方法に”互理論”が応用できる可能性があるという結果が得られた。

- ①しゃ水シートに接合ミス等がある場合、水圧が上昇すると水圧に比例して漏出量が増大する。
- ②しゃ水シートはシートを重ね合わせるだけでも漏出を防止できる可能性がある。
- ③しゃ水シートはシートを重ね合わせるだけで漏出を防止できなくても勾配を持たせることによって漏出を防止できる可能性がある。
- ④しゃ水シートの保護材は、より透水性の高い材質の方が漏出を軽減できる。

今年度は、前年度の実験結果を踏まえて、廃棄物処分場における”互理論”の適用性を検討し、若干の知見が得られたので報告する。

2. 実験の目的及び実験装置

2.1 目的

前年度の実験では、実験装置に廃棄物を充填せずに行ったが、最終処分場で互理論が適用できるかどうかについて、廃棄物を充填して前年度と同様な条件で実験を行った(実験2)。あわせて、シートに破損がある場合にも”互理論”が適用できるかどうかについても実験を行った(実験1)。

2.2 実験装置

今年度用いた実験装置は、図2.1に示すような、横4×6m、高さ4mの鋼製である。実験装置は、底部の傾斜を変化させるために、装置自体が回転できる構造になっている。また、しゃ水シートからの漏出状況が観察できるように、底部がアクリル板になっている。

実験1はこの装置にシート(ゴム)を布設し、重機等による破損を想定して、図2.2のような切り込みを行い、破損部分を設けた。

実験2はこの装置の底部にシート(ゴム)を布設する。シートの布設に当たっては、シートの重ね合せの部分は接合せずに、重ねるだけにする(重ね巾15, 30cmとする)。次に、シートの保護材として透水性を重視してプラスチックの保護材(コスオジオ)を用いた。このような条件で、廃棄物(焼却灰: 破碎ゴミ=5:1)を約11t(単位体積を1とした)充填した。

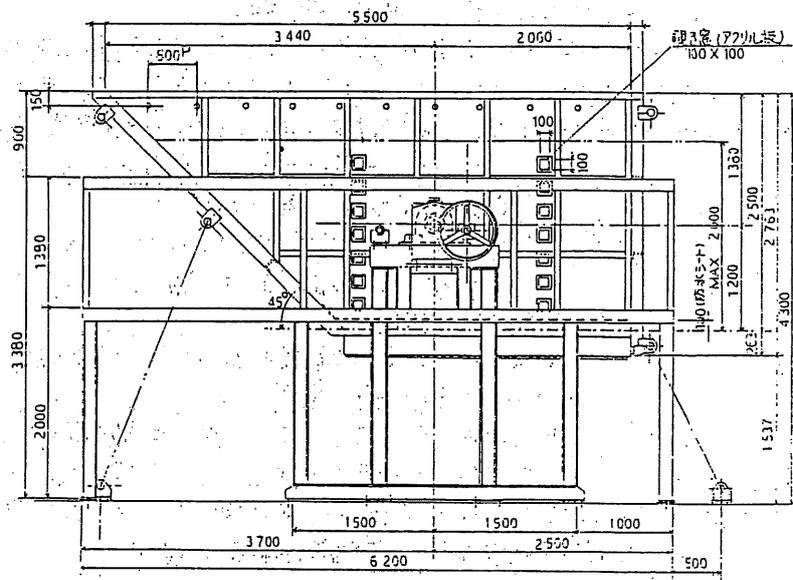


図2.1 実験装置

〔連絡先〕〒814-80 福岡市城南区七隈8丁目19の1 福岡大学環境保全センター
 長野修治 Tel: 092-863-8238 Fax: 092-863-8248

2. 3 実験方法

このような実験装置を用いて、雨（人工降雨）が降った時に、底部の傾斜角度を変化させて、シートの破損部分や接合部分での漏出状況を判断する。判断する方法は、実験装置の下部でシートから漏出しているかどうかを確認する。漏出している場合は、その漏出量を測定する。

3. 実験結果

3. 1 実験1

シートの重ね合せ部において、“互理論”が成り立つ可能性が示唆されたが、ここで、シートの一般面に不慮の破損が生じた場合、埋立地底部の傾斜角度等によって破損部から漏出量に重ね合わせと同様の現象が見られるかどうかについて実験を行った。そこで、図2. 2のような破損部分があるシートを用いて、漏出状況を調査した。その結果を図3. 1に示す。破損部からの漏出量（図3. 1参照）は、降雨量に比例し、降雨量が32mm/hrの時は、600~700滴/分であり、降雨量が7mm/hrの時は、100~200滴/分と小さくなっている。ただし、この結果は、前年度のシートを重ね巾15cmで行った実験結果（漏出量）の約1.0倍である。このことは、重ね合わせ部の漏出量は、破損部分からの漏出に比べるとかなり小さいことが推測される。一方、傾斜角度を大きくしていった場合、漏出量の減少傾向はみられるが、降雨量に関係なく、漏出は100回転（25度）を越えても止まらなかった。このことは、シートに破損部分が生じた場合、“互理論”を適用して、漏出を防止することは困難であること示唆している。

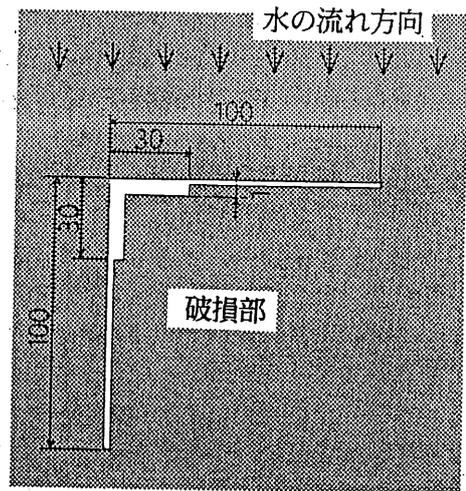


図2. 2 破損部形状

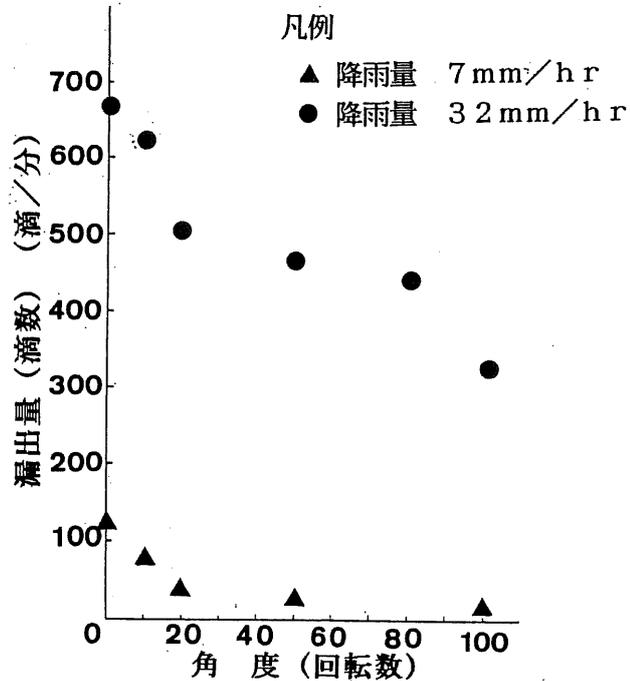


図3. 1 破損部と漏出量

3. 2 実験2
“互理論”が、最終処分場において、適用できるかどうかを検討するために、シートの上部に廃棄物を充填し、実験を行った。ただし、シート保護とシート上の透水性を考慮して、プラスチックの保護材を用いた。その実験結果を図3. 2、図3. 3に示す。実験結果を見ると、傾斜をかけない場合の漏出量は、最大でも40滴/分程度であり、廃棄物を充填していない場合に比べて、漏出量は1/2~3/4になっている。このことは、廃棄物を充填することにより、シートの接合部が密着されたため、漏出量が減少したものと考えられる。次に、傾斜を大きくしていくと、漏出量は減少し、重ね巾15cmでは、8回転（傾斜角度2度）で、重ね巾30cmでは10回転（2.5度）で漏出が見られなくなった。この結果は、廃棄物を充填しなかった場合と比べてもほとんど同じであった。このように、廃棄物を充填しても、“互理論”は適用できることが確認できた。

次に、廃棄物の重ね合わせ部における漏出に対する経時的な影響を把握するために、継続的に漏出量を測定した。その結果、重ね巾に関係なく、時間の経過と共に、漏出量が減少してきている。即ち、重ね巾30cmの場合（図3. 3参照）、1週目は傾斜角度0度では、36滴/分であり、漏出が見られなくなった角度は10回転（2.5度）であった。ところが、時間の経過と共に、6週目、12週目の傾斜角度0

度ではそれぞれ漏出量は21、3滴/分であり、露出が見られなくなった傾斜は10回転(2.5度)と3回転(0.75度)であった。このように、時間の経過と共に、漏出量が減少していったのは、漏出の要因となる”水みち”に浸出水中に含まれているCaイオン等によるスケールが生成されたため、”水みち”が閉塞していったのが原因であると考えられる。そこで、浸出水のCaイオンの濃度を調査した結果、浸出水にはCaイオンが5,000~10,000mg/l含まれており、スケールによる”水みち”の閉塞を裏付ける結果となっている。

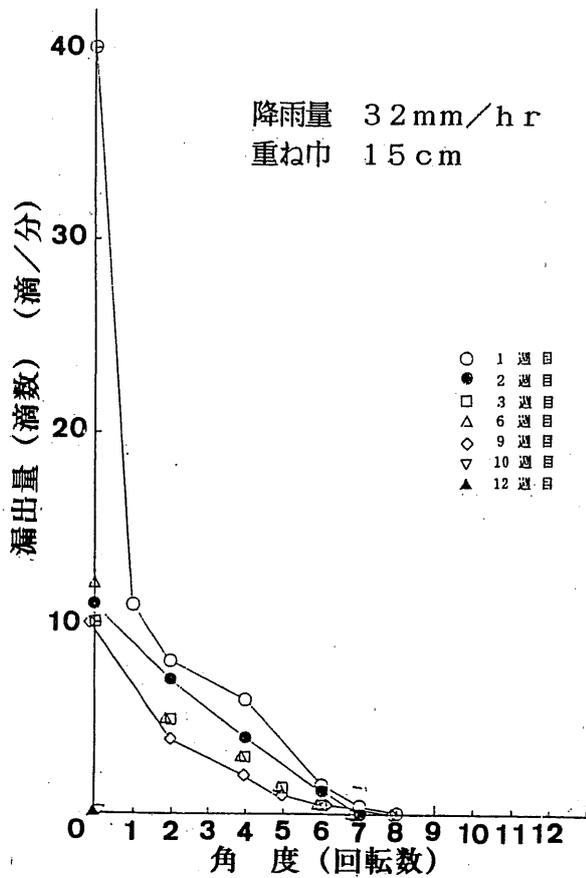


図3. 2 傾斜角度と漏出量

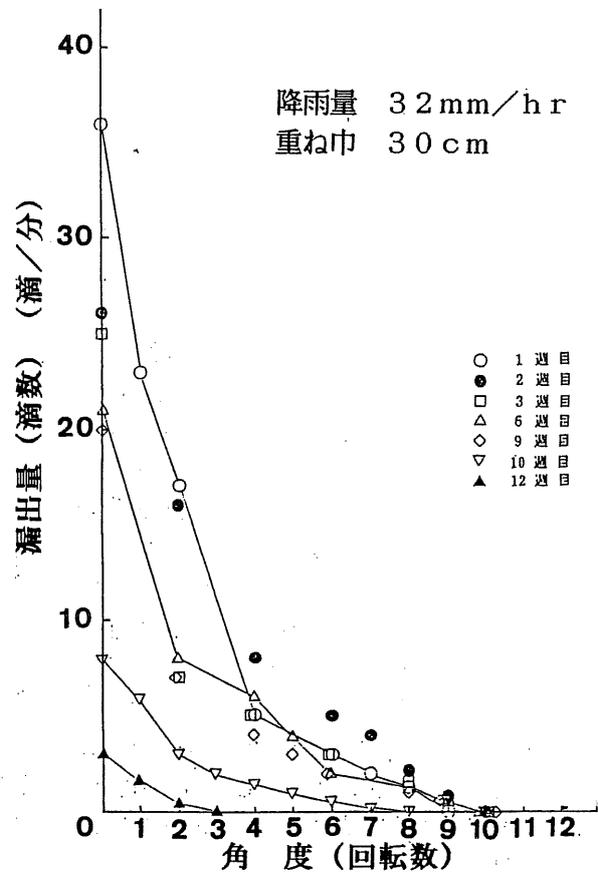


図3. 2 傾斜角度と漏出量

4. まとめ

今回の実験結果から次のようなことが明らかになった。

- ①シート一般面に破損部分が生じた場合、”互理論”を適用して、漏出を防止することは困難である。
- ②最終処分場においても、”互理論”の適用が可能である。
- ③廃棄物を充填した場合、経時的に重ね合わせ部での漏出量が減少する傾向にある。

以上のように、シャ水シートに”互理論”が応用できる可能性が確認できた。今後、現場での実証実験を行い、”互理論”の実用化を目指していきたく考えている。さらに、漏出量の減少がCaイオン等によるスケールの生成が原因であることを確認するために、継続的な調査と、実験装置の解体によるスケールの確認を実施していきたく考えている。

最後に、この研究に協力して頂いた新処分場研究会(大林組、東洋紡績、繊維土木開発、日新特殊建設)の皆様に感謝致します。

瓦理論に関する研究 (3)

新処分場研究会

建設工学研究社 (正) ○山内一生

福岡大学工学部 (正) 花嶋正孝 福岡大学環境保全センター (正) 長野修治

1. はじめに

過去2回のしゃ水シート工への瓦理論の応用について検討を行い、しゃ水シートの施工方法に「瓦理論」が適用できる可能性が明らかになった。特に実際の埋立地において、浸出水が滞水しにくい上・中流部で効果が大きいことが証明された。

一方、瓦理論を実際に埋立地で应用するためには、シート下部の地盤の整形等が重要となる。現在施工時には、シート下部の地盤の整形には十分配慮されるようになってきたが、埋立の経過とともに地盤が地下水等によって変形されることも予想される。即ち、シートと埋立地盤の境界を地下水等が流れることによって、埋立地盤のエロージョンや軟弱化等が生じ、埋立地盤(地山)表面に凹凸が生じる。特に、埋立地盤のエロージョンにより、埋立地盤の中に水みちが形成され、その水道が時間の経過と共に、拡大して行き、結果的に空洞となり、埋立地盤を陥没させることになる。その結果、しゃ水工の破断および漏水を引き起こす一原因になっている可能性がある。今回はこれらの点に着目して調査を行ない、若干の知見が得られたので報告する。

2. 実験装置及び実験条件

今回用いた実験装置は、図-1に示すように底部の傾斜が変えられるように、装置自体が回転できる構造となっている。この装置に、埋立地下部のしゃ水工を再現した(図-1参照)。即ち、最下部に埋立地盤として真砂土(厚さ50cm)を充填し、その上にしゃ水シートを布設し

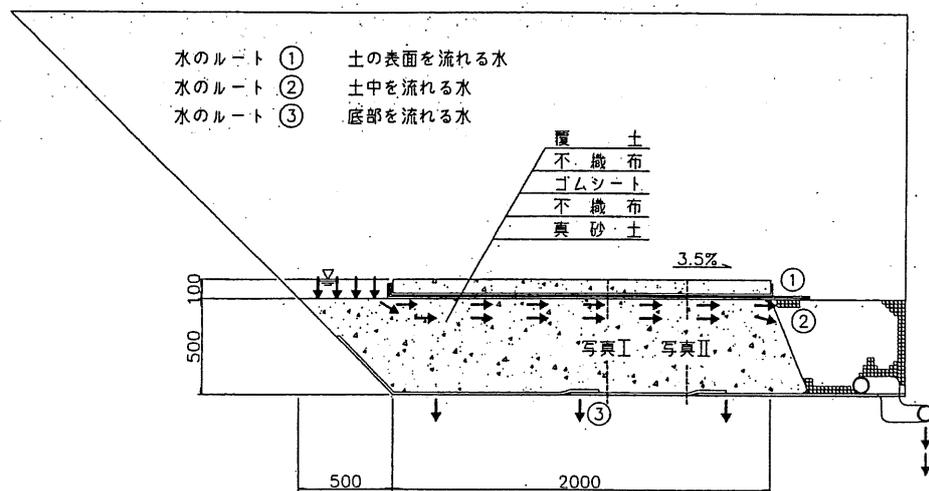


図-1 実験装置

た。布設したシートの上部にシートの保護材として真砂土を充填した。また、下流側に地下水集排水工を設けた。このような状況のもとで、上流側に雨を降らせ、地下水が埋立地盤の表面及び土中を流れるように境界に地下水が流れるように水を供給した(流水距離は約2.5m)。流水条件は下記の通りである。

- ①上流から埋立地盤に直接流した。
- ②供給と排水のバランスを極力保つようにした。

このような装置と条件で流入量と流出量(測定箇所を図-1に示す)を定期的に測定した。

[連絡先] 〒814-0180 福岡市城南區七隈8丁目19の1 福岡大学環境保全センター
 長野修治 TEL: 092-863-8238 FAX: 092-863-8248

3. 調査結果

流入量、流出量の経時変化を図-2に示す。図から分かるように、実験開始当初、流入量のほとんどが表流水（埋立地盤としゃ水工の境界部からの流出）として流出（流入量に対する流出量の割合（以下割合という）が90%）していたが、開始後から徐々にその流出が減少し、1.5ヶ月後には割合が60~65%になった。また、集排水管からの流出量も減少（割合が約95%から約80%）し、装置下部からの流出が見られ始めた。このことは、実験開始と共に、降雨（以下これを地下水という）が埋立地盤への抵抗が大きいため、埋立地盤としゃ水工の境界を水平方向へ移動したためと考えられる。しかし、その後、地下水が埋立地盤を浸透し、装置下部へ到達したものと考えられる。

次に、開始後2ヶ月目には集排水管からの流出量（割合が約70%）が減少してきた。それにあわせて、装置下部からの漏水（割合が約30%）が増加してきた。このことは、地下水が、埋立地盤の表面よりも埋立地盤中を浸透しやすくなったためと考えられる。

さらに、開始後3.5ヶ月目には集排水管からの流出量が再び増加して、実験開始当初に近づいてきた。それにあわせて装置下部からの漏水量も減少してきた。但し、埋立地盤表面からの流出（割合が約60%）はほとんど変化が見られなかった。その後この傾向は益々顕著になり、4ヶ月後には、集排水管から排出される流出量は流入量の85%となった。このことは、埋立地盤の地下水の浸透が時間開始当初は鉛直方向への移動

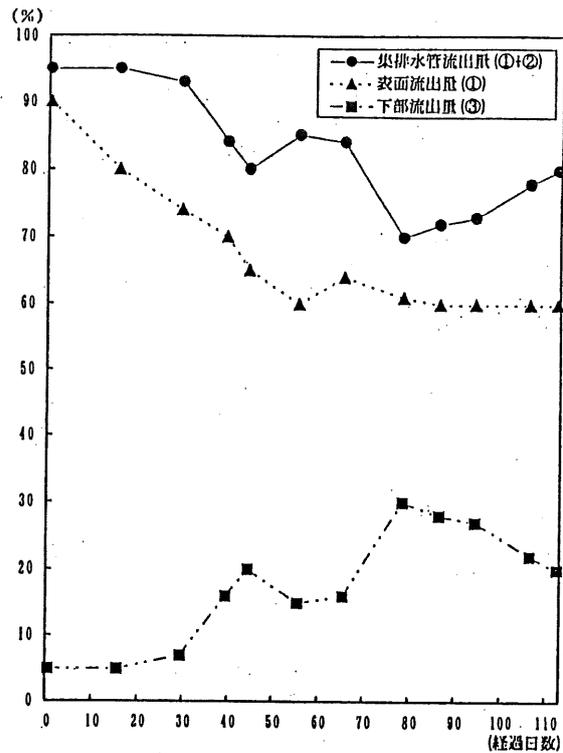


図-2 流入量に対する流出量の割合の経時変化



写真-1 埋立地盤表層でのエロージョン

が主であったが、時間の経過とともに、水平方向への移動に変化したものと考えられる。

以上のことから次のようなことが推測される。

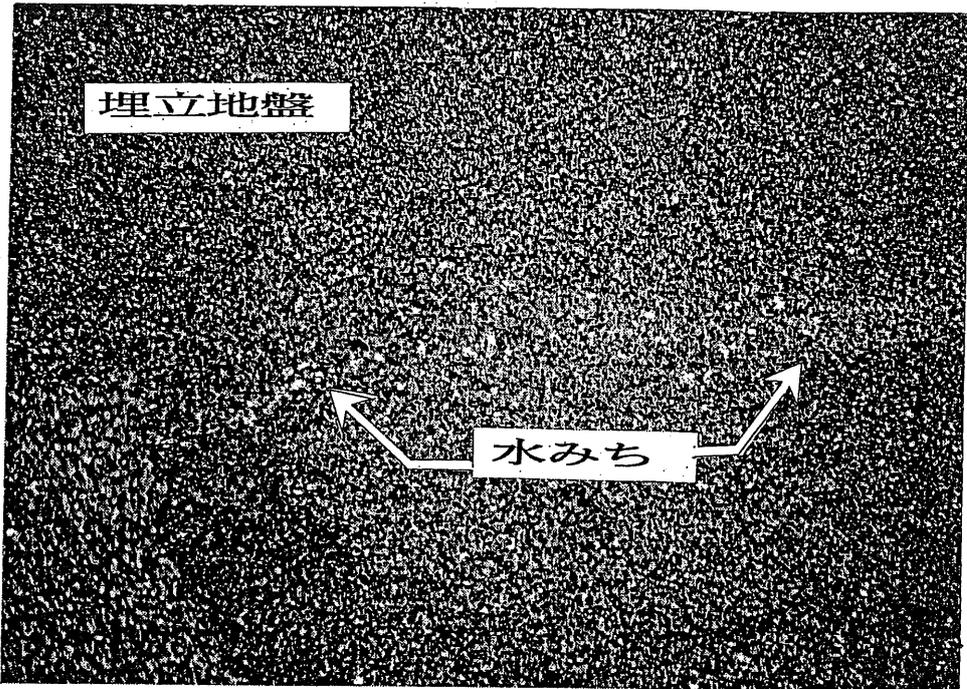
- ①埋立地盤表層でのエロージョン
- ②埋立地盤での水平方向の水みちの形成

そこで、これらの現象を確認するため解体を行い、表層での凹凸や土中の断面確認を行った。

解体はまず、表層の凹凸を確認するために、シート上部の保護土を丁寧に排除し、その後シートを取り

除いた。その結果、写真-1に示すように、表層にはエロージョンの痕跡が認められた。

次に、埋立地盤を上流から土を鉛直断面で切り取り確認しながら下流の集排水工まで実施した。その結果、上流から中間あたりに達した時流水が洗い流したと見られる筋状の洗い砂だけになった層が見られた。この層は、5mm程度厚さで表層から約15cmの位置に水平方向に見



られ集排水工まで達していた。また、この層以外の位置には変化は確認されなかった。この層の到達した碎石の部分は、洗い流された土が多くみられた(写真-2参照)。

写真-2 埋立地盤での水平方向の水みち

4. まとめ

埋立地盤に水が供給されると、最初は表層を流れ、徐々に間隙に浸透していくが、その後、ある条件により流水の集中する位置(層状)が水みちを形成していくことが確認された。今回は標準真砂土を使用し、土質としては非常に均質で土粒子が小さいものを使用した。その結果水みちが拡大されて行く様子を比較的短期間で、土中の水みちの形成過程と様子が確認できた。

また、今回形成が確認された土中の水みちは、一般に、土質工学の分野で説明される土中の水の流れ(流線網)で解される浸潤線(頂部流線)が現われたものと考えられる。

よって、今後更に、実験を繰り返すことで最初に発生する水みちの形成が流線に沿って発生拡大して行くのか、また、水みちを基に土中の洗掘が拡大する状況等を確認して行く必要がある。結果として、最終処分場のシャ土工基礎地盤等地下水に対する設計および施工の一助になるものと確信する。

最後に、この研究に協力して頂いた新処分場研究会(大林組、東洋紡績、繊維土木開発、日新特殊建設、フリー工業、日本乾溜工業)の皆様に感謝致します。

瓦理論に関する研究(4)

建設工学研究社(正) ○山内一生
福岡大学工学部(正) 花嶋正孝 福岡大学環境保全センター(正) 長野修治
株式会社 大林組(正) 小谷克巳

1. はじめに

過去3年間、しゃ水工への瓦理論の応用について実験と検討を行い、しゃ水工の施工方法に「瓦理論」が適用できることの可能性が明らかになった。また、応用実験の結果、しゃ水工と下地との関係は、しゃ水工の下地地盤に水が供給されることでシート直下面、または条件によってはやや浅い地中で、間隙を浸透する流れによる洗掘作用があることが検証された。

瓦理論によるしゃ水工を実際の処分場に応用するためには、使用場所、造成形状及び下地地盤の条件等を総合的に適合させることが必要となる。

また、平成10年度総理府・厚生省共同命令の基準を遵守する思想から、使用条件の整理を行い、瓦理論しゃ水工を採用できる最終処分場構造を検討した。

更に、新設最終処分場のみでなく、閉鎖・廃止に至る過程で常に問題となる浸出水減量工法として利用する施工方法の検討をした結果、若干の検知が得られたので報告する。

2. 瓦理論過去3年間の実験結果整理

1) しゃ水シートは重ね合わせるだけでも条件が整えば漏水を防止できる。

瓦状に敷設したしゃ水シートは、しゃ水効果を発現する。この時シート敷設勾配は3%以上で、敷設した場合顕著なしゃ水効果が発現する。【平成7年度実験】

2) しゃ水工上面の保護層は、粘性土砂等よりも透水性の良い素材(実験では耐圧型網状排水材)の方がしゃ水効果が高い。【平成7年度実験】

3) しゃ水シートの重ね合わせは15cm~30cmで効果が発現し、廃棄物が上載された状況ではしゃ水効果がより高い。また、時間経過と共に漏水した場合でも漏水は減少する。(スケール等による止水効果)【平成8年度実験】

4) 廃棄物が上載された場合の瓦理論発現勾配は、上載しない場合に比較してほぼ同じ3%以上で発現した。【平成8年度実験】

5) 下地の不陸及び凸凹で遮水シートに発生する「縫れ」「皺」等が、しゃ水効果に及ぼす影響がある。【平成8年度実験】

6) しゃ水工の下地は、水(地下水)が供給された当初しゃ水シート直下面の表層を流れ、時間経過と共に地中に浸透し、ある条件により流水の集中する水道を形成する。その時に、水道周辺の地盤にエロージョン的な破壊を引き起こすことがある。【平成9年度実験】

以上が過去3年間で実験的に検証できた瓦理論の要約である。

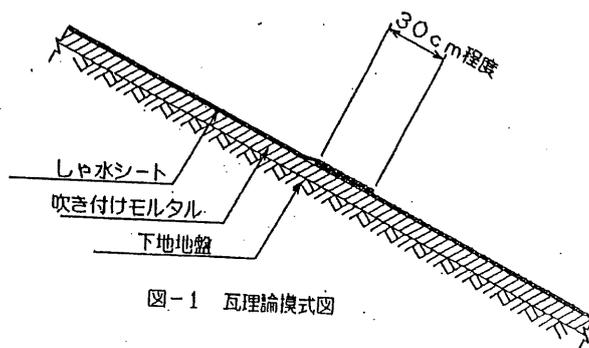


図-1 瓦理論模式図

【連絡先】〒814-0133 福岡市城南区七隈8丁目19の1 福岡大学環境衛生センター
長野修治 TEL:092-863-8238 FAX:092-863-8248

3. 瓦理論利用検討

1) 新設処分場への利用検討

新設最終処分場のしゃ水工は、平成10年度総理府・厚生省共同命令により性能について規定された。保有水等の達する恐れがある高さまでは、地盤の透水係数とその厚さ別に、使用素材及びしゃ水工の構造を二重しゃ水方式に規定した。

瓦理論の使用できる範囲は、その規定から除外された部分と考える。(図-2参照)

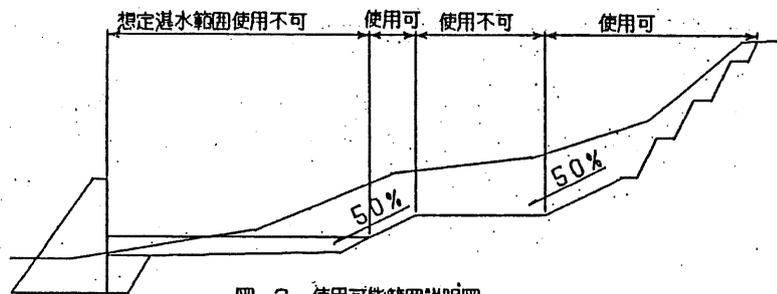


図-2 使用可能範囲説明図

瓦理論はしゃ水シート接合を否定するのではなく、構造的に接合の補助をする工法と考える。瓦理論を採用することにより、固定及び接合管理の簡便化、省力化を図ることに重点を置く。

また、広大な面積の処分場に敷設するしゃ水シートの段階施工による劣化防止及び、埋立物の沈下に伴う共下り荷重によるシート破壊の低減に役立つ工法と考えている。(図-3参照)

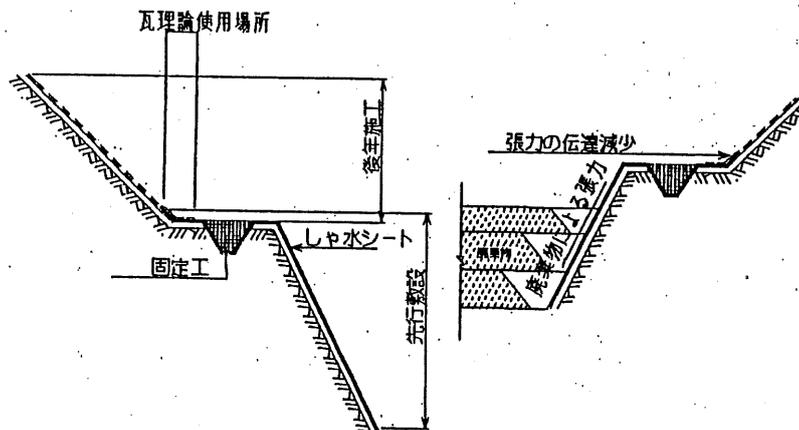


図-3 瓦理論が有効に使える場所

2) しゃ水シート下地施工及び、保護材

しゃ水シートの下地は、瓦理論であるか否かに関わらず、地下水流の影響を受ける可能性がある。特に砂質土の場合は、エロージョンによる地盤破壊、この原因に基づくしゃ水シートの破損等に繋がる可能性がある。この為、対応策を考慮する必要がある。

対策の案としては、ベントナイト・セメントなどによる地盤改良法が一般的な工法として考えられる。また、下地地盤とシートとの間の保護材として、不織布などを敷設することが多く実施されているが、その素材資質などをよく吟味して計画することが必要である。

遮水シート保護層は、第8回廃棄物学会で発表したように、出来るだけ透水性の良い素材を採用することが漏水防止に寄与する事が判明している。また、廃棄物の荷重による圧縮作用で透水性が悪くなる恐れがある為、材料を吟味する必要がある。

我々の実験では、耐圧型排水材を使用し瓦理論の検証をした結果、土砂よりもシート表面の水圧が低下する感触を得ている。

3) 閉鎖処分場への利用検討

埋立完了後の処分場は、閉鎖から廃止までの間一定期間各種モニタリングを実施して、異常の無い事を確認しながら廃止へと進む。即ち、処分場の閉鎖後、浸出水が排水基準を満たす等の安定化した状態が2年以上続いた事を確認できるまで、水処理施設等の運転と、処分場の埋立地盤の管理を継続する必要がある。

浸出水の水量は、閉鎖後表面処理を実施すれば多少低減するが、より積極的に低減する工法として部分的なキャッピングのシートを敷設する工法が効果的である。このキャッピングのシートは、完全密閉をするとガスの放散が抑制され、通気も遮断されるので廃棄物の好気性分解を遅らせる弊害がある。そこで、排水勾配を3%程度とって瓦理論を採用することにより、通気性を確保したキャッピング施工が可能となる。

処分場の平場のみでなく、法面のキャッピング施工も瓦理論を採用することにより、シートにかかる共下りしようとする負荷の低減効果が得られ、瓦理論で固定工を突起させる等の対策で滑りを押さえることが出来る。

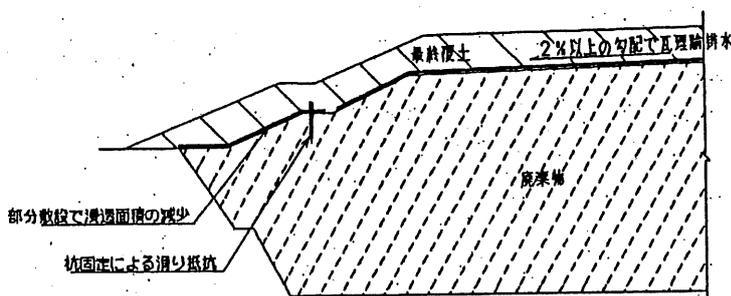


図-4. キャッピングにおける瓦理論の応用

4. まとめ

しゃ水シートの接合は、接合方向、底盤勾配及び下地地盤の処理を適切に行うことで瓦理論が成立し、より安心感の有るしゃ水工が施工できる事を確信した。

また、新設の処分場のみならず閉鎖処分場においても、瓦理論式接合方法が有効であることを示した。

今後しゃ水工の設計・施工する場合、この方法を採用することで、より安全なしゃ水工を完成される事を望むものである。

最後に、この研究に協力指定いただいた新処分場研究会（東洋紡績株式会社、繊維土木開発株式会社、日新特殊建設株式会社、フリー工業株式会社、日本乾溜工業株式会社）の皆様へ感謝いたします。