

異種材料を組み合わせた廃棄物埋立護岸の 遮水構造の実験的検討

EXPERIMENT ABOUT WATER-PROOF BULKHEAD USING COMBINED MATERIALS

上杉忠男¹・中川純一¹・鵜飼亮行²・石本健治³・土屋美和⁴・中野 浩⁵

Tadao UESUGI, Jyunichi NAKAGAWA, Akiyuki UKAI, Kenji ISHIMOTO,
Mina TUCHIYA and Hiroshi NAKANO

¹正会員 横浜市港湾局港湾整備部南本牧ふ頭建設事務所 (〒231-0811 横浜市中区本牧ふ頭3)

²正会員 工修 (財) 港湾空間高度化環境研究センター (〒108-0022 東京都港区海岸三丁目26-1)

³正会員 (株) エコー 沿岸デザイン本部設計部 (〒110-0014 東京都台東区北上野2-6-4)

⁴正会員 三菱重工業(株) 鉄構建設事業本部橋梁部 (〒108-8215 東京都港区港南2-16-5)

⁵正会員 日本海上工事(株) 水工事業部 (〒107-0052 東京都港区赤坂2-10-9)

In the construction of offshore waste disposal site, it is important to make water-proof bulkhead in which reliability is high. By this research, we did experimental confirmation about structure of a new water-proof bulkhead with high reliability. A new structure of water-proof bulkhead is the one that some materials such as concrete caisson, asphalt mastic, water proof sheet, and embedded steel-plate cell were combined. Therefore, in experiment, sealing performance on the bonded surface of the material was confirmed. In another experiment, the transformation performance of joint filler of concrete caisson which are composed of asphalt mastic and water proof sheet was confirmed. As a result, the structure of new water-proof bulkhead confirmed here, is applicable to offshore waste disposal site.

Key Words : *Offshore waste disposal site, Concrete caisson, Asphalt mastic, Joint filler*

1. はじめに

横浜市では、横浜G30プランに基づき、徹底したごみの減量・リサイクルを進めるとともに、現存の廃棄物最終処分場を有効活用していくことで、平成26年度まで廃棄物埋立処分が可能な見込みである。平成26年以降の安定した廃棄物事業のため、新たに南本牧ふ頭第5ブロック廃棄物処分場(仮称)を整備する計画となっている。

安全性の高い管理型廃棄物処分場を実現するためには、遮水構造の信頼性が重要であり、1998年6月には「一般廃棄物の最終処分場および産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を定める省令」(以下、基準省令と呼ぶ)が改正され、特に管理型廃棄物最終処分場の構造・維持管理基準が強化・明確化されている。陸上の処分場に比べ、廃棄物の拡散リスクが低いと考えられる海面処分場においても、遮水構造に対する信頼性がこれまでで

上に重要視されることとなった。

南本牧ふ頭第5ブロック廃棄物処分場の計画においては、より信頼性の高い遮水構造を実現するため、フェイルセーフの考えを盛り込んだ新しい遮水構造を検討している。本研究では、この遮水構造の適用性について室内実験を実施し、確認を行った。

2. 遮水構造の概要

(1) 遮水構造の考え方と基本構造

管理型廃棄物最終処分場の遮水工は、平成10年の基準省令の改正で構造が明確化された。これは、主に陸上処分場を対象とした内容となっており、遮水シート構造については具体的な構造が明示されているものの、その他の構造については示されていない。

一方、海面処分場における遮水工は、海域の特性を十

分考慮した構造とする必要があり、「管理型廃棄物埋立護岸 設計・施工・管理マニュアル」（以下、マニュアルと呼ぶ）¹⁾に留意点がまとめられている。

海面処分場の大きな特徴として、底面の遮水を確保するために粘性土地盤上に建設され、側面の遮水としては遮水シートの他に鋼製矢板や水密ケーソンなどによる鉛直遮水工を用いることも多い。これらの側面の遮水工は、粘性土地盤の変形や波浪や海面処分場内外の水位差等の影響など、海面処分場特有の条件のもとで遮水性能を発揮できるものでなくてはならない。このような条件に対して マニュアルでは、フェイルセーフの概念が取り入れられ、2種類の遮水工を組み合わせたいくつかの遮水構造の例が示されている¹⁾。

本研究で検討した遮水構造は、底面の遮水を粘性地盤とし、側面の遮水を水密ケーソンおよび鋼板セルを用いた鉛直遮水工として構成されるもので、遮水工として重要となる水密ケーソンの遮水目地にはフェイルセーフの考えを取り込んだものとしている。側面の遮水工の基本的な構造は、遮水目地を施したケーソンおよび鋼板セルをCDM改良（深層混合処理工法）した遮水基盤上に据えるもので、図-1にケーソンの場合の断面図を示した。

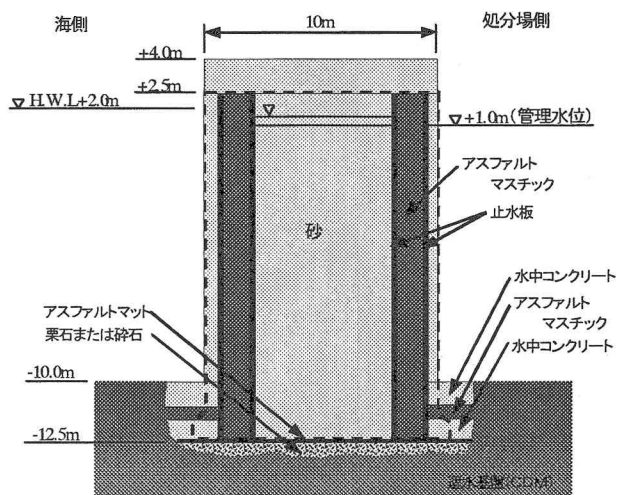


図-1 遮水工断面図

水密ケーソンの鉛直遮水目地は、止水板とアスファルトマスチックを組み合わせた構造とし、これを2列に配置することでフェイルセーフを取り込んだ構造としている。この構造では、遮水機能として主にアスファルトマスチックに期待している。

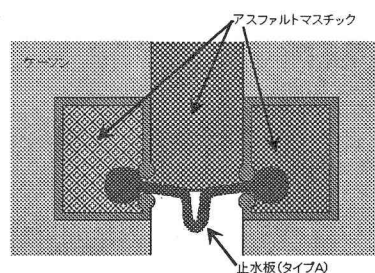
アスファルトマスチックは、埋立にともなうケーソン変位のようなゆっくりとした挙動には十分追随することが可能であり、変位後の遮水性能の確保も問題ないと考えられる。しかし、地震時に発生する可能性がある急激な変位への追随は困難と考えられる。アスファルトマスチックによる遮水機能に損傷が生じた場合においても、アスファルトマスチックの自己充填性により遮水機能が回復するまでの間、止水板により遮水機能を維持できる構造とすることで、ここにもフェイルセーフを取り込ん

だ遮水構造とした。なお、通常時における止水板の主な役割は、アスファルトマスチックの形状を保持する機能である。

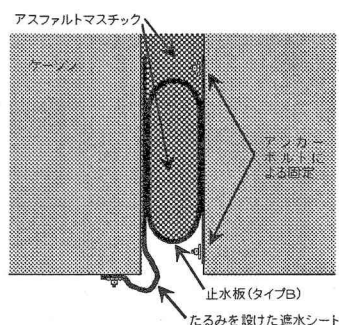
今回の実験では止水板の構造として2種類を検討した。鉛直遮水目地の詳細構造を図-2に示す。

図-2(1)に示すタイプAの止水板は、ケーソン内に継ぎ手を挿入するシートタイプの構造で、ケーソンのあらゆる方向の変位に対してシートの変形で追随することを期待したものである。特徴は、あらかじめシートにたるみ止めを取り付けた余裕代を設けていることで、異常時に過大なケーソン目地の開きが生じた場合には、たるみ止めのシートが破断することで余裕代が展開し、目地の開きに対応できるように工夫した点である。

図-2(2)に示すタイプBの止水板は、筒状のシート内にアスファルトマスチックを充填した構造で、筒内のアスファルトマスチックの内圧によりケーソンとの密着を保持する。この筒状の止水板の特徴は、片側のケーソンのみに固定されており、異常時の過大なケーソン目地の開きに対しても止水板自体に損傷を受けない構造となっている点である。ただし、筒内のアスファルトマスチックにより変位に追随することとなるため、本体のアスファルトマスチックの自己充填と同様に異常時の急激なケーソン目地の開きに対しては遮水機能が復旧するまでに時間を要する。その間の遮水機能として、たるみを設けた遮水シートで変位に追随できる構造を別途設けることとした。



(1)タイプA



(2)タイプB

図-2 止水板構造図

なお、このようなアスファルトマスチックと止水板による遮水構造を2重化することでできる空間を利用することで、ケーソン目地部の遮水性能の検査やモニタリングも可能な構造となっている。

(2) 模型実験による確認点

アスファルトマスチックに関する接合部の遮水性や変形追随性については実験的な検討が行われており、遮水性能や通常時における変形追随性などについて遮水工に適用可能であることが報告されている^{2), 3)}。しかし、上述の遮水構造は、新しい構造を取り入れたものとなっていること、異常時の急激な変位に対する確認をしたいことから、以下の2点について模型実験を行った。

a) 異種目地材料接合面の遮水性能の確認

図-1に示したように対象となる遮水構造は、複数の遮水材料を組み合わせた構造となっている。このような構造においては、異なった遮水材料の接合面での遮水性能の低下が懸念されるため、実験により確認することとした。

b) 鉛直遮水目地構造の変形追随性の確認

図-2に示した鉛直遮水目地の構造は、アスファルトマスチックと新しい構造の止水板を組み合わせたものとなっており、急激なケーソン変位に対する挙動は不明であるので模型実験によって、確認することとした。

3. 異種目地材料接合面の遮水性確認実験

(1) 実験方法

遮水目地の主材料であるアスファルトマスチックと接合面を形成する可能性のある材料は、RCコンクリート、CDM、水中不分離性コンクリート、止水ゴム板、鉄板である。これらの複数材料とアスファルトマスチックの接合面に対する透水試験を実施した。

この本実験を実施するにあたり留意した点は、接合面の状態を現地に近づけること、現地の施工に近い方法で接合面を形成すること、結果の比較がしやすいように、同時に同一環境下で透水試験を行うこと等である。

a) 実験ケース

実験ケースは、表-1の10ケースとした。CDMについては、現地海底での出来形は均一な表面とならず、おそらく作業機械などで削られて荒れた表面となる。そこで、現地の出来形を考慮して表面を荒く均したケースについても確認することとした。また、コンクリートと鉄板については、接合面の密着性を高めるために事前処理として、アスファルトプライマーを塗布したケースも合わせて確認することとした。

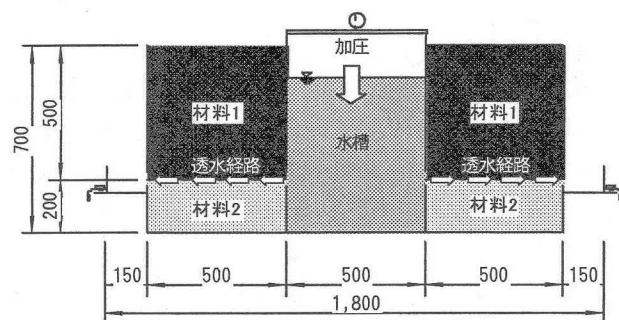
また、CDMは現地採取土による材料となることから、別途透水試験を行い、CDM単体での透水係数試験を行った。

表-1 実験ケース（異種目地材料接合面の遮水性確認実験）

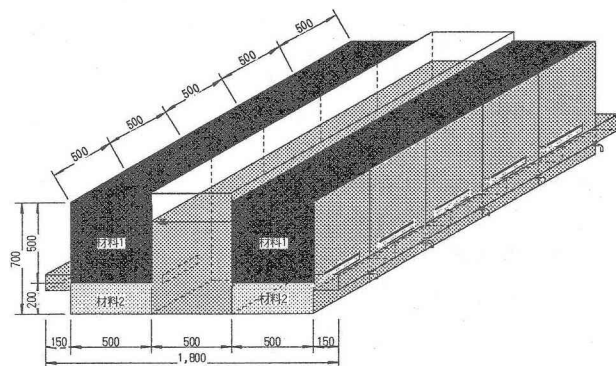
ケースNo.	材料1	材料2
1	アスファルトマスチック	CDM
2	アスファルトマスチック	水中不分離性コンクリート
3	アスファルトマスチック	コンクリート
4	アスファルトマスチック	鉄板
5	アスファルトマスチック	止水板(タイプA)
6	アスファルトマスチック	アスファルトマスチック
7	アスファルトマスチック	コンクリート(事前処理あり)
8	アスファルトマスチック	鉄板(事前処理あり)
9	アスファルトマスチック	止水板(タイプB)
10	アスファルトマスチック	CDM(荒均し)

b) 実験装置

実験実施にあたり、現地での状態を再現できるような面積の接合面で透水試験ができるように接合面を50cm×50cmとし、10ケースが同時に実験可能となる図-3に示すような鋼製の水槽を製作した。なお、現地での水頭差1.0m以上の再現性と透水係数が非常に小さくなることへの対策として、水頭差を3mまで確保できるように、水槽内をコンプレッサーによって加圧する構造とした。



(1) 概念図



(2) 全体図

図-3 接合面の遮水性確認実験の実験装置

材料の設置手順は、下側の「材料2」を先に設置し、その上からアスファルトマスチック「材料1」を水中打設することとした。透水経路を先の図-3に示す接合面に限定するために、実験装置には次の工夫を施した。水槽内にアスファルトプライマーを塗布し材料2と水槽間の遮水性を確保した（写真-1）。また、透水経路の両端にはアスファルトマスチックの漏出防止と透水経路の限定のためのシートを取り付けた。



写真-1 材料2と水槽の水密処理状況

c)計測手法

加圧水槽シール溶接後、エアーコンプレッサーにより水頭差1m相当(0.1気圧程度)を20日間、その後更に水頭差3m相当(0.3気圧程度)を10日間加圧し、各種ケースの接合面からの透水量を測定した。透水量が少ない場合には、極力誤差が生じないようにスポイド、スポンジ等で吸収して測定を行った。

(2)実験結果

実験によって得られた透水量により、(1)式に従って透水率を求める。なお、透水性の指標としては、一般的に単位透水面積(cm²)に対する透水係数(cm/s)が用いられるが、本実験は透水面積を定義することが難しいことから単位透水幅(cm)に対する透水性を評価する値として透水率(cm²/s)を次式のように定義し、これを算出することとした。

$$K = \frac{L \cdot Q}{B \cdot h \cdot t}$$
 (1)

ここに、透水量Q (cm³)、透水幅B (40cm)、透水時間t (sec)、水頭長h (0.1気圧=100cm)、試験体経路長L (50cm)、透水率K (cm²/sec)である。

透水量の実験結果と透水率の算定結果は表-2に示すとおりである。漏水が確認されたのはケース4のアスファルトマスチックと鉄板の接合面であり、加圧開始4日後から漏水が確認され、経過時間とともに透水量は減少する傾向が確認された(図-4)。しかし、その他の9ケースの接合面での漏水は確認されなかった。

表-2 異種材料接合面での透水量と透水率

ケース	材料2	透水量(cm ³)	透水率(cm ² /s)
1	CDM	0.0	0.00E+00
2	水中不分離コンクリート	0.0	0.00E+00
3	コンクリート	0.0	0.00E+00
4	鉄板	6.2	1.79E-08
5	止水ゴム板(1)	0.0	0.00E+00
6	アスファルトマスチック	0.0	0.00E+00
7	コンクリート(事前処理)	0.0	0.00E+00
8	鉄板(事前処理)	0.0	0.00E+00
9	止水ゴム板(1)	0.0	0.00E+00
10	CDM(荒均し)	0.0	0.00E+00

※加圧時間：0.1気圧20日間+0.3気圧10日間(4.32×10⁶秒)

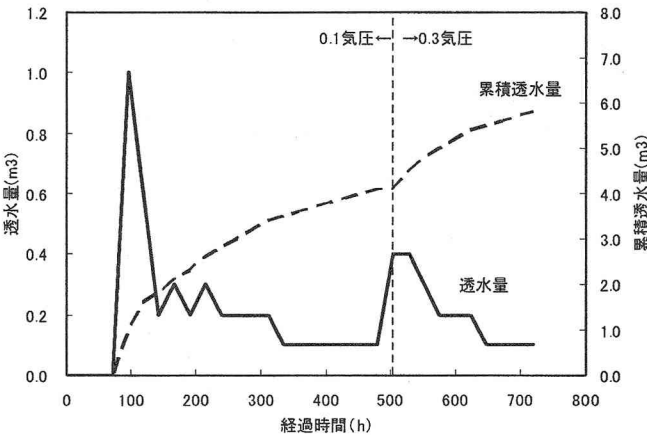


図-4 アスファルトマスチックと鉄板の接合面での透水量

なお、別途実施した透水試験によりCDM単体での透水係数は、1.22×10⁻⁷(cm/s)であることが確認された。

4. 遮水目地構造の変形追従性確認実験

(1)実験方法

遮水目地構造の変形追従性確認実験では、ケーソン鉛直遮水目地部の構造(アスファルトマスチック+止水板)の変形状況及びアスファルトマスチックの変形追従性を確認した。実験は、止水板およびアスファルトマスチックの変形特性を再現できるように図-5に示す1/1模型を作成して実施した。ケーソンを模擬するコンクリート部材にジャッキで変位を与えることで、アスファルトマスチックおよび止水板の変形状態や接合面の状態、時間の経過による状態の変化を確認した。なお、コンクリート部材間の変形方向は2方向とした。また、アスファルトマスチックの挙動は、温度に大きく依存するため室温を20℃前後に保持した状態で実験を行った。

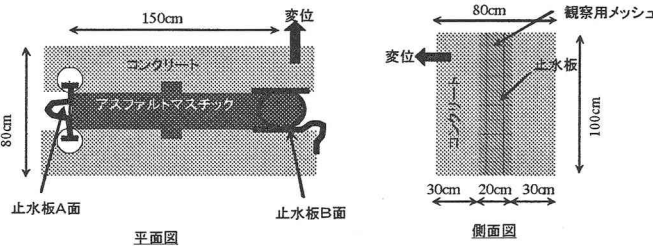


図-5 実験模型概略図

a) 実験模型

実験模型は、補強として上下にH鋼を設ける鋼-コンクリートの合成構造とし、また今回の実験の目的が、ケーソン側壁とアスファルトマスチック間に隙間が生じた際の自己充填過程を確認することを主とするため、ケーソン側壁とアスファルトマスチックが剥れやすいようテフロンシートを側壁面に貼付した。

止水板は前述の図-2に示す2種類を使用し、アスファルトマスチックの仕様を表-3に示した。写真-2にアスファルトマスチックを打設した状況を示した。

表-3 アスファルトマスチックの仕様

材料名	材料性状	計画配合
ストリートアスファルト	針入度；60-80	20.0%
石粉	0.074mmふるい通過70%以上	30.0%
砂	清浄なもの	50.0%

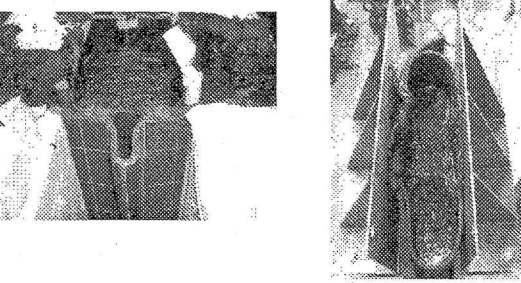


写真-2 止水板へのアスファルトマスチック打設状況

b) 実験ケース

実験は、変形の種類により表-4に示す3ケースとした。

ケース1では遮水目地部全体の追従性確認実験としてケーソンが法線と直角方向にずれた場合を再現し、目地部が変形に追従できるかを確認するもので、片側のケーソン模型を固定し、もう一方に100tジャッキを設置して変形を生じさせた。

ケース2、3ではケーソン目地の開きに対するアスファルトマスチックの自己充填性を確認するもので法線と平行方向のずれを生じさせた。片側のケーソン模型を固定し、ケーソン模型間にジャッキを4本設置することで目地が開く状況を再現した。また、ケース3については自己充填後の遮水性を確認するため、ケーソン間に水を張り漏れの状況を観察した。

表-4 実験ケース（異種透水材料接合面透水性確認実験）

変形ケース	止水板A	止水板B	備考
ケース1 (法線直角方向)	○	○	変形量200mm
ケース2 (法線方向)	○	○	変形量50mm (自己充填観察用窓有り)
ケース3 (法線方向)	○	○	変形量100mm (自己充填後水張り試験実施)

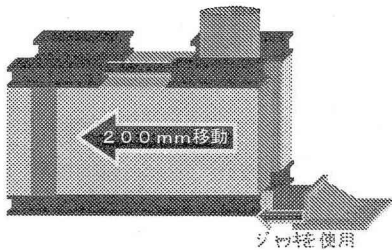


図-6 ケース1の実験イメージ

(2)実験結果

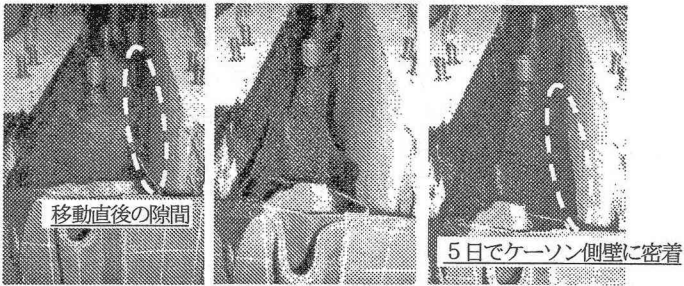
継手部に使用した止水板A、Bともに、アスファルトマスチック打設時の漏れ出しがないことを確認した。

ケース1については、継手部が法線直角方向に急激に移動する場合でも、止水板A、止水板Bともに継手部の変形に追従し、継手部内のアスファルトマスチックについても、数日間でゆっくりと継手部の変形に追従していくことを確認できた。

ケース2,3のような継手部が法線方向に急激に移動する場合においても、止水板Aは板材(ゴム)の伸びで変形に追従し、また、止水板Bは、異常時変形対応用のたわみ部が変形に追従し、筒部のほうは内部のマスチックと連動しながらゆっくりと変形することが分かった。

継手部が法線方向に移動しコンクリート版(ケーソン側壁)ーアスファルトマスチック間に隙間が生じた場合でも、その隙間はアスファルトマスチックの自重により自己充填されることが確認された。今回の条件では、隙間が50mmの場合で約2日程度、隙間が100mmの場合では約5日程度で自己充填がほぼ完了した(写真-3)。いずれのケースも自己充填が完了するまでに数日かかっている

が、ケース2に設けた観測用窓からの目視によると初期の段階で急速に自己充填が進行していることがわかって いる(写真-4)。



(a) 試験直後 (b) 試験1日後 (c) 試験5日後
写真-3 止水板Aの自己充填状況(ケース3)

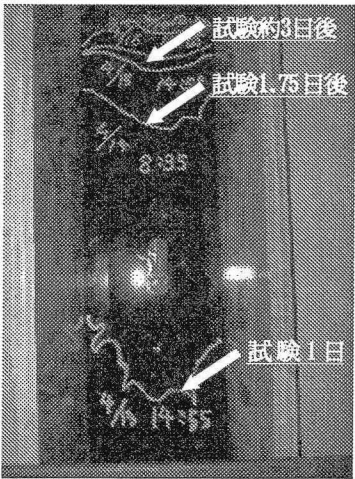


写真-4 自己充填状況(ケース2)

アスファルトマスチックの天端がほぼ水平となり変形が収束するまでの時間と空隙を埋めたことによる沈下量を表-5に示す。表中の予測沈下量は、目地部に打設されたアスファルトマスチックの量を幅20cm、長さ130cm、高さ100cmとモデル化し、変位時に生じる空隙を埋めた場合の沈下量の目安を算出したものである。実測沈下量とこの値はほぼ対応していることから、自己充填時に内部に空隙が残されていないものと考えられる。

表-5 アスファルトマスチックの変形状況

ケース名	自己充填時間	実測沈下量	予測沈下量
ケース1	5日後	16cm	8cm
ケース2	2日後	26cm	20cm
ケース3	5日後	43cm	34cm

止水ゴムの耐熱確認試験も合わせて行ったが、アスファルトマスチック打設時の熱(140℃程度)による止水板材料の性能変化はほとんどなかった。

5. 遮水構造の現地適用性に関する考察

(1)異種目地材料の組合せについて

前述したように今回の実験においては異種目地材料の接合面における顕著な遮水性能の低下は見られなかった。接合面からの漏水が確認された事前処理なしの鉄板とアスファルトマスチックの組合せにおいても、漏水量は時間経過とともに小さくなる傾向が確認できたことから、この場合においても極端に遮水性能が低下することはないものと考えられる。したがって、異なった遮水材料を組み合わせて遮水工を構成することは可能であると判断できる。ただし、事前処理を施した鉄板との組合せでは漏水は確認されていないことから、信頼性を高めるためにもアスファルトマスチック打設前の事前処理は必要であると考えられる。

今回の実験においては、実験設備の許す範囲において現実の施工に近い方法で接合面の作成を行った。しかしながら、CDM上の浮泥、止水板や鉄板の付着生物の影響などは考慮できていない。実験で得られた性能を現地で発揮するためには、これらの接合面上の不純物を除去するなどの施工上の対応が必要であると考えられる。

ケーソン下部の遮水構造においては、アスファルトマスチックの厚みの設定が重要となる。実験においてはCDMとアスファルトマスチックの接合面では遮水性能の低下は見られなかったもので、両者を比較して透水係数が大きいCDM側で必要な浸透路長を確保すればよいと考えられる。前述のとおり、CDMの透水係数は $1 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ 程度であったので、浸透時間が基準省令の基準と同等となるために必要となる厚みは、50cm程度である。現地は海中での施工となるので、施工性を検討して、必要な厚みが確実に施工できるよう余裕代を確保しておくことも必要と考えられる。

(2)遮水構造の変形追随性について

現地と同一スケールでの鉛直遮水目地構造の変形実験結果から、今回実験した2種類の構造は、ともにケーソンの相対変位に追随することが確認できた。模型の高さは1m程度と実物に比べ低く、遮水工の上端部のみを模擬した状態となっているが、アスファルトマスチックの自己充填性を考える上では、自重による上載荷重が小さい領域での実験となっているので変形追随速度は上載荷重が大きくなる下端部より遅く、安全側で評価していると考えられる。したがって、これらの基本的な構造は現地においても遮水工として成立すると判断できる。現地への適用においては、この構造が高い精度で構築できることが重要であり、そのためには施工方法の詳細な検討が必要である。

アスファルトマスチックは、その変形追随性によりケーソン変位により生じた空隙への自己充填されること、ケーソンとの密着性も十分であることが確認できた。し

かし、自己充填されるまでにはある程度の時間が必要であるので、止水板による遮水機能の確保が必要である。常時での止水板の機能は、アスファルトマスチックの形状保持であるが、異常時には遮水工となるのでケーソンへの取り付け部の施工は慎重に行うことが必要である。

6. おわりに

安全性の高い管理型廃棄物海面処分場の整備のため、信頼性の高い遮水工を提案し、室内実験によりその適用性の確認を行った。その結果、この遮水工の基本構造は、十分な遮水性能を確保したものとして成立することが確認できた。

ただし、現地において期待される遮水性能を発揮するためには、施工性を考慮して詳細構造について検討する必要があると考えられる。今後は、この遮水構造の実現に向けて施工の確実性、経済性を考慮した詳細構造および施工方法の検討を進める予定である。

謝辞：本研究に対して貴重なご意見を頂いた横浜港南本牧海面処分場計画検討会の委員の方々、および本実験を実施するにあたり、多大なご協力を頂いたシバタ工業(株)、西武ポリマ(株)の方々に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) (財) 港湾空間高度化センター：管理型廃棄物埋立護岸設計・施工・管理マニュアル、2000。
- 2) 伊藤隆彦、伊坂健二、野々田充、中野 浩、和木多克：水中打設したアスファルトマスチックと各種接合部の遮水性に関する実験的検討、土木学会年次学術講演会講演概要集第7部、Vol.58, pp.317-318, 2003。
- 3) 星野 太、和木多克、中野 浩、伊藤隆彦、野々田充：アスファルトマスチックの変形追随性の実験的検討、土木学会年次学術講演会講演概要集第7部、Vol.58, pp.313-314, 2003。