

変形追随遮水材料を用いた管理型廃棄物 海面処分場の遮水工法に関する実海域実証実験

FIELD EXPERIMENT ABOUT AN IMPERVIOUS SEA WALL STRUCTURE SURROUNDING
A COASTAL DISPOSAL SITE WITH CLAYEY WATER INTERCEPTION MATERIAL

山田耕一¹・鶴飼亮行²・伊野同³・土田孝⁴・渡部要一⁵

Koichi YAMADA, Akiyuki UKAI, Hitoshi INO, Takashi TSUCHIDA and Yoichi WATABE

¹正会員 五洋建設(株) 環境研究所 副所長 (〒329-2746 栃木県那須郡西那須野町四区町1534-1)

²正会員 工修 五洋建設(株) 技術研究所 課長 (〒329-2746 栃木県那須郡西那須野町四区町1534-1)

³正会員 工修 五洋建設(株) 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須郡西那須野町四区町1534-1)

⁴正会員 工博 広島大学大学院 工学研究科 社会環境システム専攻 建設構造工学講座 教授

(〒739-8527 広島県東広島市鏡山1-4-1)

⁵正会員 工博 独立行政法人港湾空港技術研究所 地盤・構造部 土質研究室 室長

(〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

In recent year, the capacity of the disposal space of waste is running short. Accordingly, construction of new disposing site is needed.

The standard of impervious structure about a disposal site was defined by the law 1999. However, with the past technology about impervious sea wall, it is very difficult to construct this type of structure meeting this law. Then, we proposed new structure and material about impervious sea wall, which maintains the performance of water interception over long period. This research paper reports the result of the field experiment about impervious sea wall structure with clayey water interception material.

Key Words : water interception, disposal site, sea wall, waste, coefficient of permeability, bentonite, clay

1. はじめに

管理型廃棄物処分場を海面に建設する場合、その遮水工には、長期的に遮水性能が維持される耐久性に加えて、現地でも確実に遮水機能が保障される施工性、さらには不同沈下や地震等により遮水工に至みが生じても遮水性が損なわれない、遮水材料の変形追随性が要求される。

平成10年には、総理府・厚生省共同命令により「一般廃棄物の最終処分場及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命令」が改訂され、その中で遮水工の基準の強化・明確化がなされた。また、近年では地域住民の環境意識の向上から、より安全性・信頼性の高い遮水技術を要求する声が高まっている。

著者らは、これらの社会要請に答えるべく、数年前より浚渫粘土とベントナイトの混合物である新しい遮水材料(以下、変形追随遮水材料)の開発を行った^{1),2)}。また、管理型廃棄物埋立護岸の新しい側面遮

水構造として、H型鋼矢板連壁の継ぎ手隔壁内に本遮水材料を充填した構造を提案し、模型実験でその有効性を確認している^{3),4)}。本研究では、変形追随遮水材料を用いた遮水構造の実用化を目的として、実海域で実施工同様の施工法により遮水工を建設し、現地での遮水性能に関する実証実験を行った。

2. 変形追随遮水材料を用いた遮水工法の特徴

変形追随遮水材料は、浚渫粘土とベントナイトの混合物である。原材料となる海成粘土はもともと高い遮水性を有しているが、浚渫粘土の状態では含水比が高く、そのままの状態では遮水材料として適用することが難しい。そこで、間隙調整材としてベントナイトを添加して遮水性を高め、強度が必要となる場合にはゲル化剤として珪酸ナトリウムを添加することにより遮水材料としての遮水性や施工性を確保している。この遮水材料は、①固化せず地盤沈下

や外力による変形に追随しひび割れを生じない、②天然の粘土を主材料としているため経年劣化が少なく長期的に安定している、③ポンプ圧送が可能で一般的な機械により施工が可能である、など優れた特徴を有している。

この変形追随遮水材料を用いた遮水工法は、管理型海面処分場の側面遮水工や底面遮水工へ適用可能である。側面遮水工としては、H型鋼矢板の隔壁内にこの遮水材料を充填することで連続遮水壁を形成する構造や、遮水シートや鋼板と組み合わせることで鋼管矢板の継ぎ手遮水工として適用するなど多様な遮水構造が考えられる。これらの遮水構造は水膨潤性止水剤などの一般的な継ぎ手遮水工と組み合わせることで2重、3重の遮水構造となり、より信頼性の高い遮水工を構築することが可能と考えられる。

3. 実験概要

(1) 実験構造物の概要

波浪および潮位の影響をうける実海域において、変形追随遮水材料を用いた新しい側面遮水構造を有する遮水工を建設した。本実験は、図-1に示す広島県呉市の阿賀マリノポリス地先で実施した。なお、実験構造物は港内の水深C.D.L.-7.0m地点の比較的静穏な海域に設置しており、波浪の影響はあまり受けない。しかしながら、潮位はH.W.L.時にC.D.L.+4.0m、L.W.L.時にはC.D.L.±0.0mと、潮汐差が4.0m近くあり、潮位による厳しい外力条件下にさらされている。

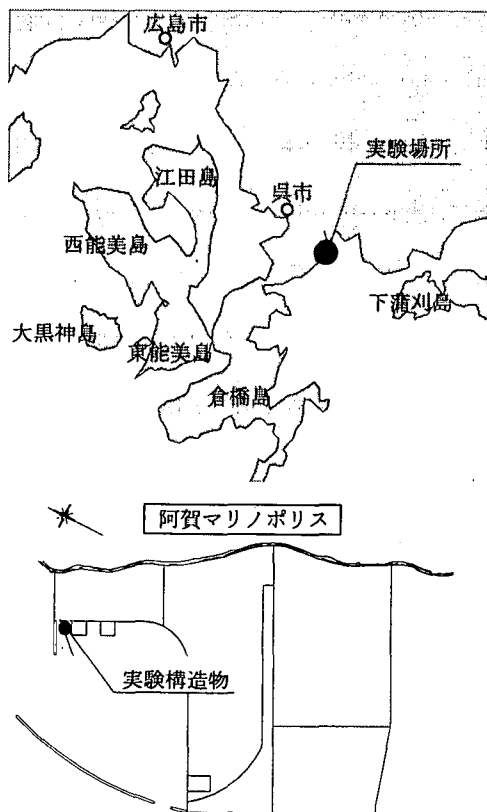


図-1 実験場所

実験構造物の上面図および側面図を図-2に示す。図-2の側面図に示すように、構造物の設置位置での地盤は、C.D.L.-22.0m以深に砂礫層が存在しており、その上層には厚さ約15.0mのシルト層が堆積している。本実験構造物は、基礎部材として4隅に600×600mmのコラムを砂礫層(支持層)まで打設し、その間に500×500mmのH型鋼矢板をシルト層に根入れ深さ5.0m(C.D.L.-12.0m)まで打設したもので、大きさ2,200×3,400mmの矩形に壁厚50cmのH型鋼矢板連壁を閉合した構造を有している。なお、H型鋼矢板の継ぎ手隔壁内には、変形追随遮水材料を充填することで、H型鋼矢板継ぎ手部における遮水を施している。ここで、遮水連壁の内外には水位計を設置しており、内外水位差を経時的に計測することで、本遮水工の遮水性能を評価している。

また、図-2に示すように、この遮水連壁の本体工の傍らには、H型鋼矢板の継ぎ手隔壁と同じ大きさを有する、500×500mmのコラムを、シルト層に根入れ5.0m(C.D.L.-12.0m)まで打設したものを設置している。本コラムは、変形追随遮水材料の圧密過程の計測を目的としている。コラム内には変形追随遮水材料を打設しており、深さ方向4箇所の間隙水圧計および土圧計をそれぞれ設置している。

(2) 変形追随遮水材料の配合試験結果

H型鋼矢板の継ぎ手隔壁内に充填する変形追随遮水材料は、浚渫粘土にベントナイトを添加し、それをモルタルミキサー等で攪拌・混練して製作される。これは、浚渫された粘土は水を多く含み間隙が大き

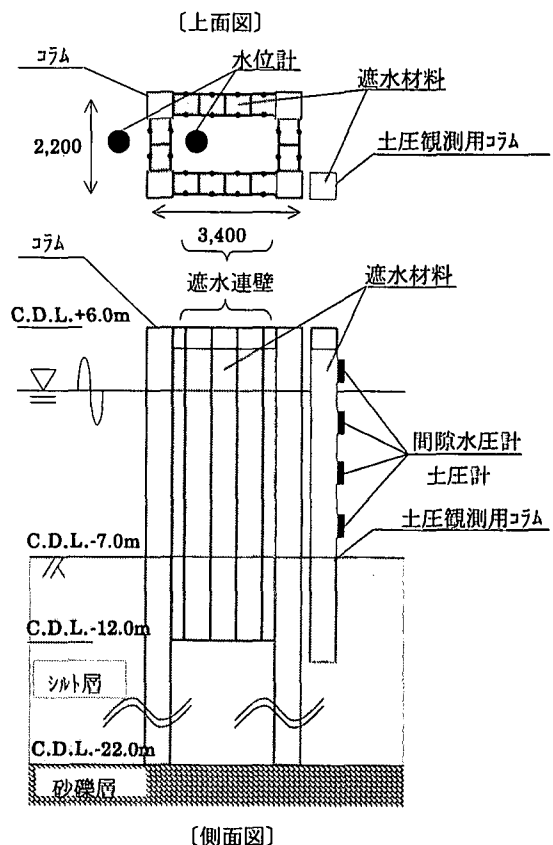


図-2 実験構造物

く、そのままでは遮水材料として適さないので、間隙調整剤としてベントナイトを添加して、所要の透水係数以下となるように配合する必要があるためである。しかしながら、ベントナイト添加量が多くなると、遮水材料自体が硬くなり、かえって遮水材料を打設する際にポンプ圧送時の負荷が大きくなるばかりか、遮水材料の充填性も損なわれてしまう。そこで、ベントナイトの配合は、浚渫粘土の種類ごとにあらかじめ配合試験を実施して、適切な添加量を設定する必要がある。

本実験で用いた変形追随遮水材料の主材料となる浚渫粘土には、実験場所の近隣の海域で採取したものをを用いた。この浚渫粘土の物理特性について表-1に示す。また、図-3および図-4に、本変形追随遮水材料の室内配合試験結果を示す。

図-3は、本実験で用いた浚渫粘土の圧密試験結果である。ある程度粘土が自立するような比較的含水比の小さな領域については標準圧密試験を用いており、標準圧密では対応が難しい自重圧密をするような高含水比領域については、浸透圧密試験を採用している。なお、本遮水連壁の壁幅 D は50cmであるため、側面遮水工の基準値として充填する遮水材料には $1.0 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 以下の透水係数 k が要求される。すなわち、図-3から本実験で用いる浚渫粘土の透水係数 k を $1.0 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 以下とするためには、間隙比 e が3.6以下になるように配合をする必要がある。これは含水比 w に換算すると140%以下に相当する。

図-4に浚渫粘土のフロー値と含水比 w の関係を示す。フロー値の試験方法は、日本道路公団規格の「エアモルタルおよびエアミルクの試験方法」のシリンダー法に準拠している。図-4より、含水比 w が140%の場合におけるフロー値は90mm程度となっている。このフロー値は、ポンプ圧送および遮水材料の充填性の観点から十分な施工性・流動性を有することを、事前に行った室内試験等で確認している。

以上の配合試験結果をもとに、本実験で使用する変形追随遮水材料は、含水比 w が140%となるように配合することとした。なお、現地で実際に変形追随遮水材料を製作する時には、浚渫粘土に海水を加えて含水比 $w=180\%$ のスラリー状に解泥し、200mmメッシュの金網を通して雑物の除去を行った後、ベントナイトを添加して所要の含水比 w 140%に調泥・混練を行った。

表-1 浚渫粘土の物性値

土質特性	宇部粘土	単位
湿潤密度 ρ_t	---	g/cm^3
土粒子の密度 ρ_s	2.592	g/cm^3
自然含水比 w_0	120.27	%
粒度組成	砂分	13.30 %
	シルト分	38.20 %
	粘土分	48.50 %
コンシステンシー	液性限界 W_L	106.3 %
	塑性限界 W_P	41.7 %
	塑性指数 I_p	64.4 %
強熱減量 L_t	9.26	%

(3) 検討項目

本実験では、以下の3項目について検討を行った。

a) 変形追随遮水材料を用いたH型工矢板遮水連壁の護岸構造に関する施工性の確認。

変形追随遮水材料を用いた護岸構造を有する遮水工の実施工への適用性を確認するため、実際の施工時と同様な施工方法で実験構造物を建設し、その施工性について確認した。なお、実施工時の便宜性を考え一般的な建設機械の使用を心がけた。また、遮水材料の充填は遮水性能に大きな影響を及ぼす施工的な要素となるため、充填状況が目視できるアクリル容器への打設を行い、その確認を行った。

b) H型鋼矢板遮水連壁の遮水性能に関する検討。

本実験構造物の遮水性を確認するため、閉合された遮水連壁の内側に、いったん水中ポンプで水を張り、図-2(上面図)に示す遮水連壁の内外に設置した水位計で、その後の内水位の低下傾向をモニタリングする水張り試験を実施した。なお、水位のモニタリングは、サンプリング間隔を10分として約2週間計測した。基準によると側面(鉛直)遮水工には、壁厚50cm以上で、透水係数 k が $1.0 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 以下の遮水性能が要求される。そこで、実験構造物の遮水連壁の遮水性は、現地での水張り試験による計測データと、壁厚50cmで透水係数 k が $1.0 \times 10^{-5} \sim 10^{-7} \text{cm/s}$ の遮水壁を想定して行った水張り試験の数値解析結果とを比較して評価することとした。

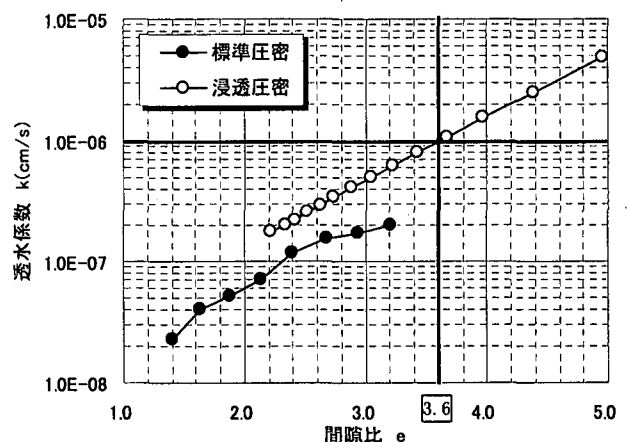


図-3 浚渫粘土の透水特性

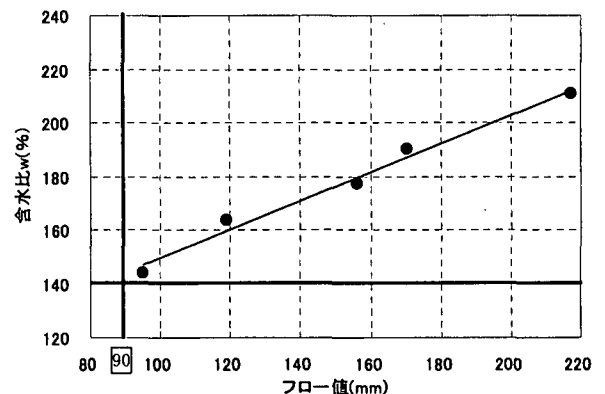


図-4 浚渫粘土の流動性

c) 変形追随性遮水材料の圧密過程に関する検討.

本実験構造物の傍らに設置した土圧観測用コラム内に変形追随遮水材料を充填し、打設後の間隙水圧・土圧分布の経時変化についてモニタリングを行い、本遮水材料の圧密過程を調べた。ただし、変形追随遮水材料の圧密過程に関する計測は、現在モニタリング中であるため、結果については次回の報告に譲るものとする。

4. 実験構造物の施工性の確認

本実験構造物の鋼材は、台船で打設場所まで運搬し、クレーン付き台船およびパイプロハンマで打設することとした。実験構造物の施工は、まず遮水連壁の設置位置の周囲四隅に導杭を打設し、導杭の高さC.D.L.+5.0m位置に導梁を設置した。そして、導梁にあてがうようにしてコラムおよびH型鋼矢板で構成される遮水連壁を順次打設し、本体工の閉合を行った。遮水連壁本体工の打設状況を写真-1に示す。

H型鋼矢板連壁の継ぎ手隔壁内への変形追随遮水材料の打設は、ポンプ車でトレミー管を用いた打設方法を採用した。なお、実験構造物への打設前において、アクリル容器内に変形追随遮水材料の試験打設を実施し、本打設方法における遮水材の充填性について目視による確認を行っている。遮水連壁本体工への変形追随遮水材の打設状況を写真-2に、遮水材料の打設完了後における遮水連壁本体工の天端の

状況を写真-3に示す。

さらに、変形追随遮水材料の遮水連壁本体工への打設時における、周辺海域への濁りの影響を調べるため、施工の影響を受けない十分離れた地点St.0と実験構造物の近傍St.1で採水を行いSS値を計測した。採水は、各測定地点において上層・中層・下層の3深度を対象に行った。これらは順に、水面から1m、3m、5mの深さに対応する。SS値の測定結果を表-2に示す。構造物近傍St.1の水質は、本遮水材料の打設前と打設時において、SS値で有意な差はみられない。また、施工場所から離れた採水地点St.0における水質と比較しても、本遮水材料の打設に伴う周辺海域への濁りの影響はほとんどなかった。

最後に、実験構造物の鋼材および変形追随遮水材料の打設に用いた建設機械を表-3にまとめる。また、完成後の実験構造物を写真-4に示す。

表-2 SS測定結果 (mg/L)

採水地点	上層	中層	下層
St. 0	6	8	14
St. 1(遮水材打設前)	7	7	8
St. 1(遮水材打設時)	4	4	7

表-3 使用した施工機械

鋼材の運搬・打設時	160t吊クレーン付き台船
	500t台船
遮水材料打設時	パイプロハンマ90kW
	スクイズポンプ車80~60m ³ /h
	25t吊クレーン

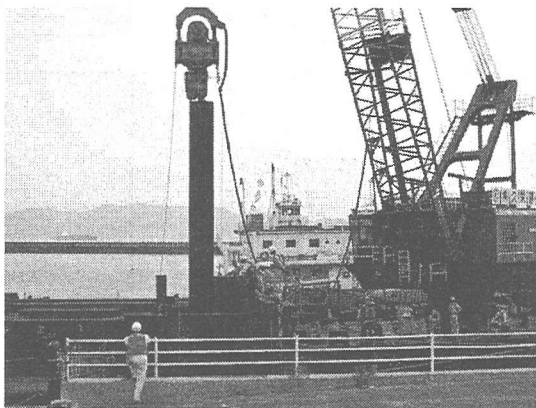


写真-1 本体工の打設状況

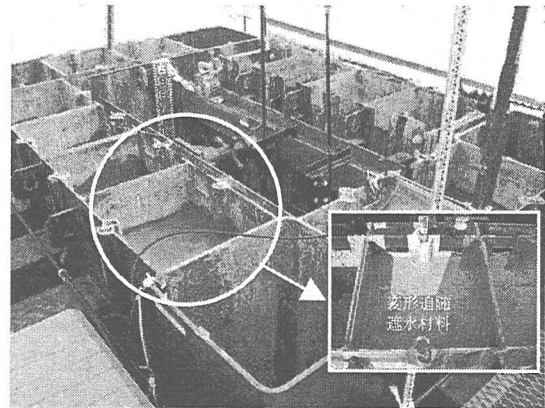


写真-3 H型鋼矢板遮水連壁の天端



写真-2 変形追随遮水材料の打設状況

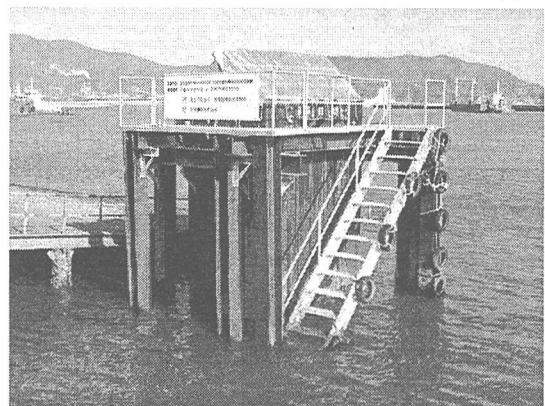


写真-4 実験構造物

5. 実験構造物の遮水性能の評価

本体工の遮水性能を評価するために、内水位をいったん高くし、その後の内水位の経時変化を観測する水張り試験を行った。以下では、遮水性能の評価結果とそれに関する事前検討について示す。

(1) H形鋼矢板の透水性能試験

今回の実験では、変形追随遮水材料による遮水性能を評価するために、実施工において塗布する水膨潤性止水剤による継手止水は行わなかった。ただし、継手部からの遮水材の漏れ止めとして砂と繊維材を詰めており、これによる透水性能の低下を把握しておく必要があった。

そこで、H形鋼矢板の隔壁に変形追随遮水材料を充填する前に、潮位変動に伴う構造物内外水位の計測を行った。その結果、図-5に示すように内外水位はほぼ一致しており、H形鋼矢板継手部の透水性は高いことがわかる。微小な内外水位差をもとに透水性を評価すると、厚み50cmで透水係数 10^{-2} cm/sオーダーの均一な壁体と同程度となり、今回充填する遮水材料に対する遮水性能の評価に大きな影響を及ぼさないことを確認した。なお、透水性の評価は後述するダルシー則を用いた計算値との比較で行った。

(2) 水張り試験による内外水位の計測結果

図-6に内外水位の実測値を示す。初期水位をC.D.L.+3.5mとした内水位は、観測期間中において大きな低下は見られず、平均的にはほぼ初期水位を保持しており、構造物の遮水性が高いことが確認できた。ただし、潮位に連動した水位変動が見られるので、これについて考察する。

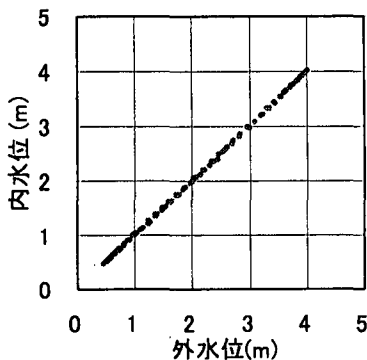


図-5 遮水材充填前の構造物内外水位の関係

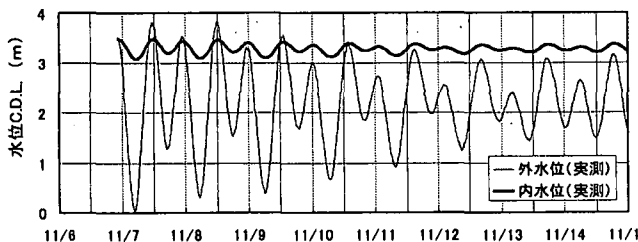


図-6 内外水位の実測結果

内水位が外水位（潮位）に比べ常に高く、流量は定常的に内から外に向かうものと考えられるが外水位と連動した水位変化となっている。また、この内水位変化が外水位と同位相で変動していることから、この水位変化の主な要因は内外水位差による矢板のはらみによって生じたものと考えられる。矢板の変形による内水位の低下をモデル化するにあたり、矢板の変形量は微小であり、これを測定して内水位低下量を評価することは難しいので、図-7に示すように実測値をもとに内外水位差とひと潮ごとに定める基準水位からの水位変化量との関係を求めた。

(3) 内水位の数値計算

水張り試験による内水位の実測結果とダルシー則による内水位変化の計算値を比較することで、本実験の遮水壁の透水係数を評価することにした。

外水位を h_0 、内水位を h_1 、壁体の延長を S 、内水位面積を A とすると、透水係数 k で壁厚 D の均一な遮水壁で囲まれた内水位の単位時間 Δt における変化量は、ダルシー則を用いて次式で表すことができる。

$$\Delta h_1 = \frac{k}{D} (h_0 - h_1) \frac{S(h_0 + h_1)}{2A} \Delta t \quad (1)$$

実測した潮位変動を外水位として与え、壁厚 D を50cm、透水係数 k を 10^{-5} 、 10^{-6} 、 10^{-7} cm/sと変えた場合の内水位経時変化の計算結果を図-8に示す。また、この計算結果を内水位の実測値と直接比較するために図-7に示した矢板変形の影響を考慮したものと合わせて示している。

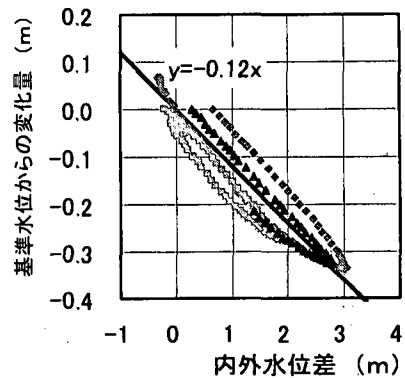


図-7 内水位変化量

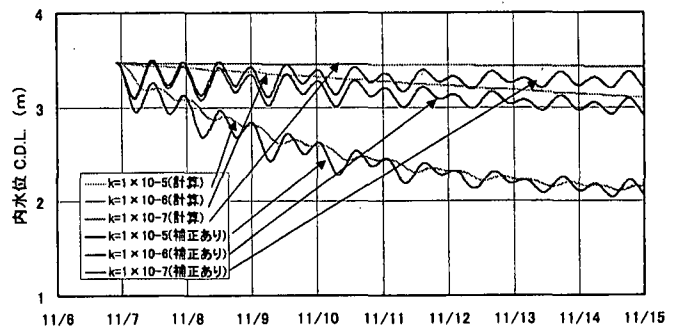


図-8 内水位の計算結果

(4) 遮水壁の遮水性能の評価

遮水壁の遮水性能を評価するため、内水位変化の実測値と計算値の比較を図-9に示す。実測値は透水係数が 10^{-7} cm/sの計算値とほぼ対応しており、遮水壁は十分な遮水性能を有していることが確認された。また、潮位変動による継続的な矢板の変形に対しても遮水性能が維持されており、遮水材の変形追随性についても同時に確認することができた。

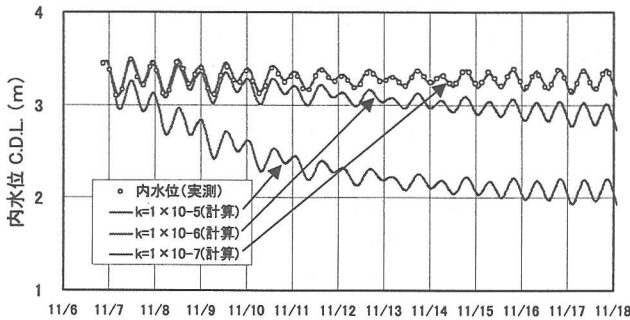


図-9 実測結果と計算結果の比較

6. 本工法を用いた遮水護岸の提案

本工法は、実海域実験により信頼性の高い遮水工法であることが確認されたが、既存の護岸構造と組み合わせることで遮水護岸を形成することができるので、多様な護岸形式へ適用可能であると考え。図-10～図-12に重力式護岸、二重鋼管矢板式護岸および独立した遮水工への適用例を示す。

7. おわりに

本実海域実験により、変形追随遮水材料を用いた遮水護岸の遮水性能が実証された。また、施工の確実性も確認することができた。このような信頼性の高い遮水工を用いることで、安全性の高い処分場の建設が期待できるものと思われる。

本実験の実施期間は1年程度あり、今後も調査を継続していく予定である。また、今回示した側面遮水工だけでなく、底面遮水工に対しても同様な検証をしていきたい。

謝辞：実海域実証実験を実施するにあたりご協力頂いた港湾関係の方々に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 渡部要一, 土田孝, 齊藤邦夫, 山田耕一, 上野一彦: 粘土系遮水材料における微視構造と透水係数の関係, 第47回地盤工学シンポジウム論文集, pp.381-388, (2002)
- 2) 上野一彦, 山田耕一, 羽田晃, 土田孝, 渡部要一, 長江泰史, 桑原蒸二: 海面における管理型廃棄物処分場の遮水工法の開発 その1 (変形追随遮水材料の開発), 第37回地盤工学研究発表会講演集, pp.2427-2428, (2002)
- 3) 羽田晃, 山田耕一, 上野一彦, 土田孝, 渡部要一, 阿部勝久: 海面における管理型廃棄物処分場の遮水工法の開発 その2 (室内施工実験による確認), 第37回地盤工学研究発表会講演集, pp.2429-2430, (2002)
- 4) 山田耕一, 上野一彦, 羽田晃, 土田孝, 渡部要一: 変形追随遮水材料を用いた管理型海面廃棄物最終処分場の新しい遮水護岸構造の提案, 第27回海洋開発論文集, pp.77-82, (2002)

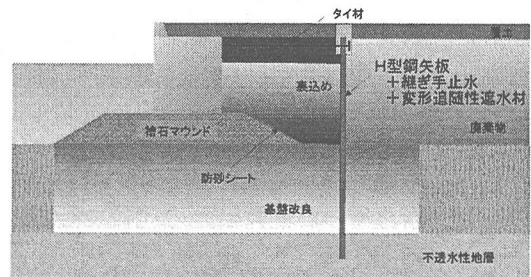


図-10 重力式護岸への適用例

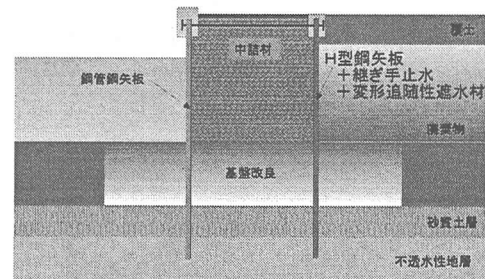


図-11 二重鋼管矢板式護岸への適用例

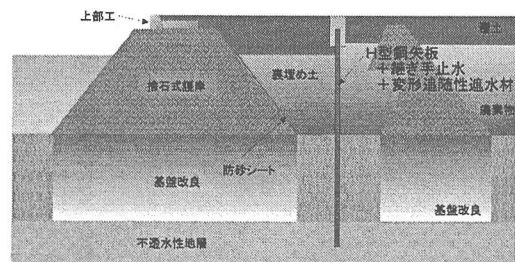


図-12 独立した遮水工への適用例