

変形追随性遮水材料を用いた 遮水壁構造に関する実海域実証実験

FIELD EXPERIMENT ABOUT AN IMPERVIOUS SEA WALL STRUCTURE
WITH CLAYEY WATER INTERCEPTION MATERIAL

上野一彦¹・山田耕一²・伊野 同³・渡部要一⁴
Kazuhiko UENO, Koichi YAMADA, Hitoshi INO and Yoichi WATABE

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

²正会員 五洋建設株式会社 環境研究所 (〒329-2746 栃木県那須郡西那須野町四区町1534-1)

³正会員 工修 五洋建設株式会社 中国支店 土木部 技術課
(〒733-8541 広島県広島市西区西観音町2-1 第3セントラルビル)

⁴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 土質研究室長
(〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

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, coefficient of permeability, bentonite, marine clay*

1. はじめに

1998年6月に「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」(総理府・厚生省共同命令)が改正され, 管理型廃棄物最終処分場の構造・維持管理基準が強化・明確化された¹⁾. その結果, 陸上, 海上を問わず, 新たに建設される管理型廃棄物最終処分場は, 上記の共同命令を満足する遮水構造が必要となった.

しかし, 海面処分場の多くは沿岸部の軟弱粘土地盤上に建設され, 沈下や変形の影響を受けやすく, また, 波浪や潮汐が作用することから, 陸上処分場で用いられている遮水技術をそのまま海面処分場に適用することは難しい. 特に, 遮水護岸等に使用する遮水材料には, 遮水性や経済性, 耐久性はもちろんのこと, 海中での施工性や地盤の変形に対する追随性が要求されることから, 海面処分場を対象とした遮水技術の開発が新たに求められている.

筆者らは, これらの問題を解決するべく, 数年前より海面処分場の新しい遮水技術の研究に取り組んでおり, 浚渫粘土を母材とする変形追随性遮水材料を開発した²⁾³⁾. また, 変形追随性遮水材料をH型鋼

矢板壁の継手隔壁内に充填した側面遮水構造を提案し, 有効性を室内模型実験により確認している⁴⁾⁵⁾.

本研究では, 変形追随性遮水材料とH型鋼矢板を組み合わせた側面遮水構造の実用化を目的として, 平成14年9月より広島県呉市の実海域にて遮水性能に関する実証実験を実施している⁶⁾.

2. 変形追随性遮水材料の特徴

変形追随性遮水材料は浚渫工事等で発生する海成粘土を原料土とし, これにベントナイトを添加混合することで製造される(写真-1). 海底に堆積する海成粘土はその状態で既に高い遮水性を有しているが, 浚渫時に乱され海水を含んでしまう. また, 海成粘土の含水比を均一にし, 施工性を高めるために加水してスラリー状にせざるをえない. しかし, この状態では海成粘土の間隙が大きく, 所定の透水係数を満たすことは難しい. そこで, 間隙調整材としてベントナイトを添加することで遮水性能を高めている.

この変形追随性遮水材料の特徴は次の通りである.

①透水係数 k を $10^{-6} \sim 10^{-7}$ cm/sの範囲で調整が可能.

②海成粘土とベントナイト共に劣化しない自然材料を使用しているため、長期耐久性に優れる。③セメント等の固化材料を使用しないため、変形追随性、自己修復性を有している。④ポンプ圧送、管打設による水中施工が可能。⑤長期的には圧密が進行し、遮水性が更に向上する。⑥浚渫粘土のリサイクルが図れる。

変形追随性遮水材料は、管理型海面処分場の底面遮水工あるいは側面遮水工に適用が可能である。側面遮水工の場合、継手を水膨潤性止水剤で処理されたH型鋼矢板壁の継手隔壁内に変形追随性遮水材料を充填することで、三重の遮水機能を有する信頼性の高い遮水壁を構築することができる(図-1)。

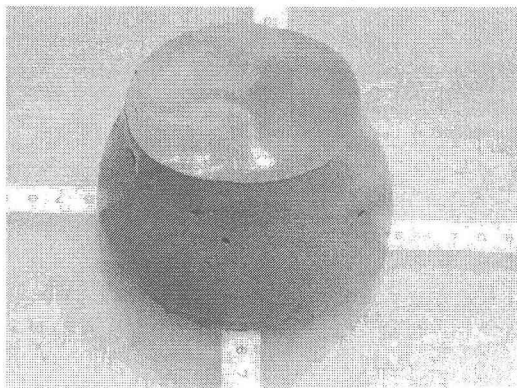


写真-1 変形追随性遮水材料

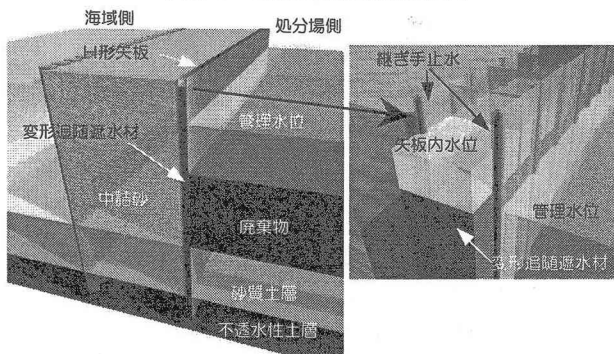


図-1 H型鋼矢板を用いた側面遮水構造

3. 実海域実験

(1) 実験概要

実験は図-2に示す広島県呉市の阿賀マリノポリス地区内の実海域で実施した。本海域は港内に位置するため、波浪の影響は比較的少ないものの、H.W.L.時にはC.D.L.+4.0m、L.W.L.時にはC.D.L.±0.0mと、潮位差が約4.0mにもなり、遮水構造には厳しい条件となっている。なお、周辺の水深は7.0mであり、海底には層厚が約15mの粘土層が堆積している。

実験構造物を図-3、写真-2に示す。基礎部材として四隅に600×600mmのコラムを砂礫層(支持層)のあるC.D.L.-22.0mまで打設し、その間に500×500mmのH型鋼矢板を遮水層である粘土層に根入れが5.0mとなるようにC.D.L.-12.0mまで打設して、矩形状に

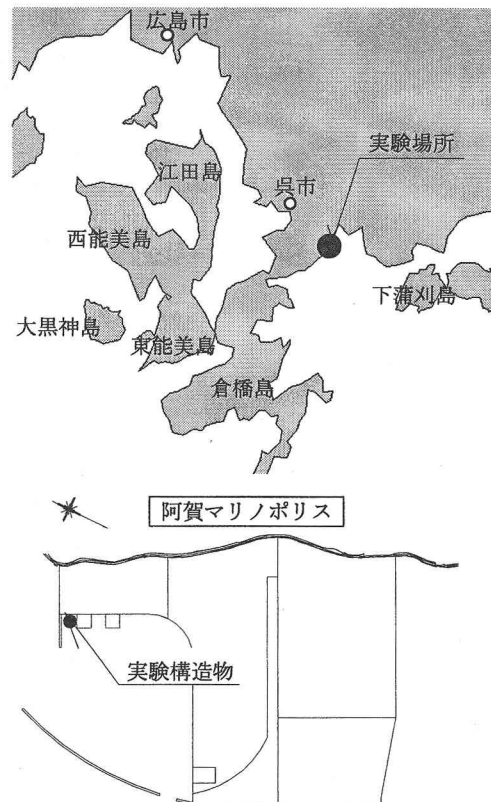


図-2 実験場所

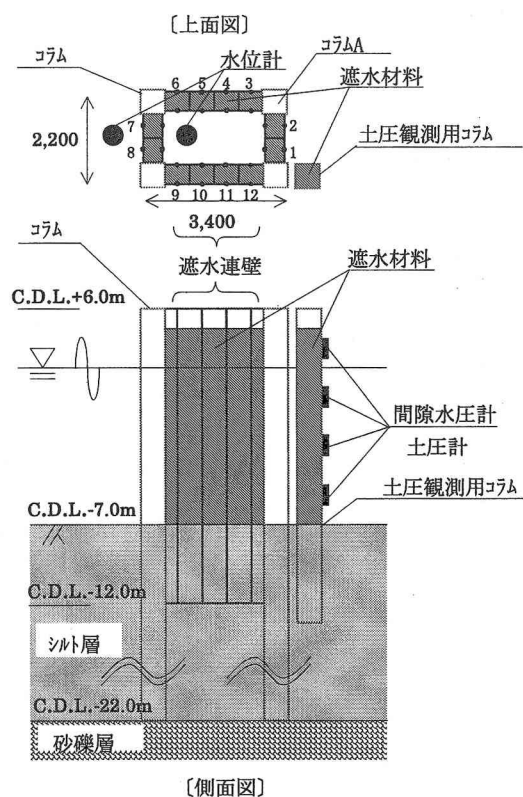


図-3 実験構造物

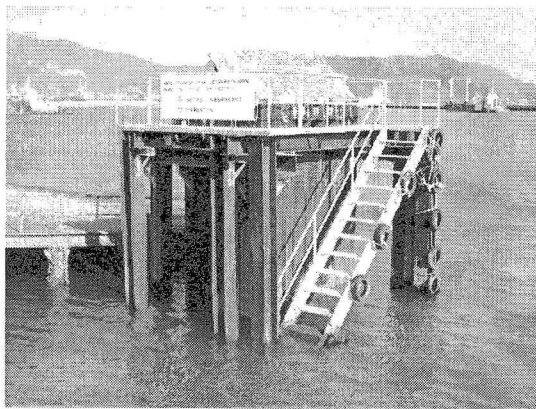


写真-2 実験構造物全景

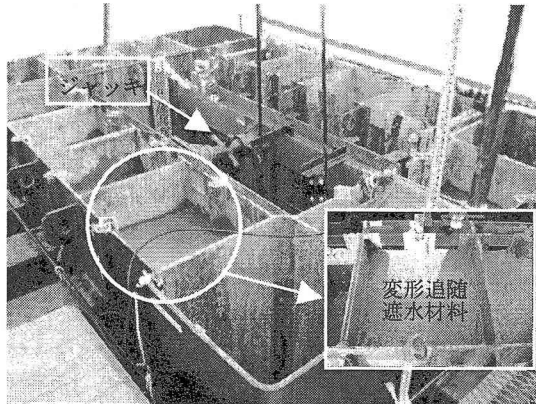


写真-3 変形追随性遮水材料充填状況

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_i		9.26	%

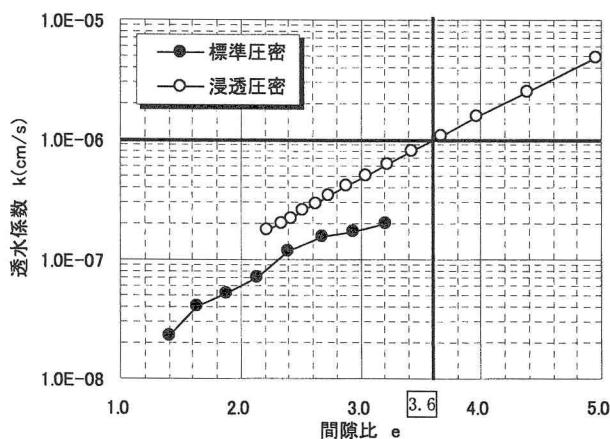


図-4 浚渫粘土の透水特性

連続矢板壁を構築した。H型矢板継手隔壁内には変形追随性遮水材料を原地盤高さ（C.D.L. -7.0m）から矢板天端下がり20cm（C.D.L. +5.8m）まで充填した。なお、矢板継手部は止水処理を施していない。実施工において矢板継手部には水膨潤性止水剤を塗布することになるが、今回は変形追随性遮水材料の性能を調べるため、あえて水膨潤性止水剤は塗布せず、変形追随性遮水材料の漏れ出しを防ぐ目的で麻糸を詰めるだけにとどめている。

さらに、写真-3に示すように、実験構造物にはジャッキを取り付け、実験構造物に強制変位を与えることができるようにした。また、四隅のコラムのうち、図-3に示すコラムAには、変形追随性遮水材料の充填状況を調査するために、H型矢板継手隔壁内と同様に変形追随性遮水材料を打設した。

打設した変形追随性遮水材料の母材には表-1に物理特性を示す宇部港浚渫粘土を用いた。図-4には宇部港浚渫粘土の標準圧密試験および浸透圧密試験の結果より得られた間隙比 e と透水係数 k の関係を示す。変形追随性遮水材料は雑物を除去した宇部港浚渫粘土を180%に含水比調整した後、図-4より透水係数 k が所定の値、すなわち本実験では $k=1.0 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ に対応する間隙比 $e=3.6$ （含水比 $w=140\%$ ）になるようにベントナイトを添加混合して製造した。

実験構造物の遮水性能は、矢板遮水壁で囲まれた内部の水位をC.D.L. +3.5mまで上げ、内水位と外潮位との水位差の経時変化を、図-3に示す位置に設置した水位計により計測することで評価を行った。

(2) 実験工程および検討項目

実験は平成14年9月の実験構造物の施工以降、平成16年3月に至るまで、断続的に水位計測を実施している。また、水位計測以外にも、充填した変形追随性遮水材料のサウンディングおよびサンプリング、遮水構造物の強制変位を行っている。表-2には実験工程を示す。

前報⁶⁾では、変形追随性遮水材料を用いたH型鋼矢板遮水壁に関する施工性および常時の遮水性能（表-2の①）について検討を行った。本報では、長さが12.8mにもおよぶH型鋼矢板隔壁内へ水中打設した変形追随性遮水材料の均一性や充填性について、サウンディングおよびサンプリングにより調査した結果と地盤沈下や地震等により遮水構造が変形を受けた場合を想定し、遮水構造をジャッキにより強制的に変形させた時の遮水性能について検討を行った。

表-2 実験工程

	2002		2003				2004
	9	10~12	1~3	4~6	7~9	10~12	1~3
構造物施工	●						
水位計測		① ②	③		④ ⑤		⑥
サウンディング サンプリング			●				
強制変位					●		●

4. サウンディングおよびサンプリング

実験開始から約5ヶ月後、変型追随性遮水材料の充填性を調査するために、図-3に示すコラムAおよび矢板隔壁No. 3, No. 5においてサウンディングならびにサンプリングを行った。図-5に試験箇所を示す。

(1) サウンディング (三成分コーン貫入試験)

試験は地盤工学会基準 (JGS1435-1995) 「電気式静的コーン貫入試験方法」に準じて実施した。貫入はC. D. L.-15.0mまで行った。試験箇所は図-5に示すコラムAおよび矢板隔壁No. 3における3-1, 3-2, 3-3の3箇所計4箇所である。

図-6に先端抵抗の深度分布を示す。変型追随性遮水材料を充填したC. D. L. 5.0m～C. D. L. -7.0mの範囲において、4箇所いずれも深度に応じて先端抵抗は増加する傾向にあり、変型追随性遮水材料が一様に充填されていることがうかがえる。コラムAは先端抵抗値がH型鋼矢板内の3箇所と比較して低い傾向にあるが、コラムAに充填された変型追随性遮水材料の圧密排水条件を考慮すれば妥当な結果である。なお、この傾向は後述する含水比分布およびベーンせん断強度分布においても同様である。また、H型矢板隔壁内の3箇所を比較すると、興味深いことに3-1が最も先端抵抗が大きく、3-3が最も小さいなっている。H型鋼矢板の継手部を圧密排水層と見なせば、3-1が最も排水距離が短く、3-3が最も排水距離が長くなることから圧密度に差が生じたと考えたと納得が行く。原地盤以深では、4箇所とも値は大きく上下しているが、矢板打設時の地盤の乱れや砂礫の混入による影響と考えられる。また、室内ベーンせん断試験の τ_v を用いて $s_v = \tau_v = (q_t - \sigma_{v0}) / N_{kt}$ の関係より得られるコーン係数 N_{kt} は22程度であった。

(2) サンプリング

サンプリングは固定式シンウォールサンプラーを用い、ケーシング内の排土はウォッシュボーリングにより行った。サンプリングはC. D. L. -11.0mまで1m毎に試料を採取し、そのうち半数 (1本おき) は現地にてドライアイスを用いて凍結させた。凍結試料は試料を切り出し、断面を目視して充填状況を確認するとともに、走査型電子顕微鏡 (Scanning Electron Microscope, SEM) により微視的構造を観察した。その他の試料については室内ベーンせん断試験および含水比試験を実施した。サンプリング箇所は図-5に示すコラムAとH型矢板No. 5である。

図-7に室内ベーンせん断試験の深度分布、図-8に含水比の深度分布を示す。ベーンせん断強度、含水比ともに変型追随性遮水材料を打設したC. D. L. +5.0m～C. D. L. -7.0mの範囲においては、均一な充填状況にあるといえる。また、サウンディングの結果でも述べたように、コラムAとH型矢板内とで、圧密排水距離による圧密度の違いが、含水比、ベーンせん断強度にも現れていることがわかる。

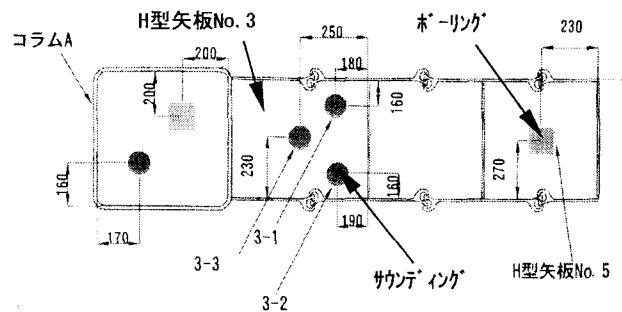


図-5 試験位置拡大図

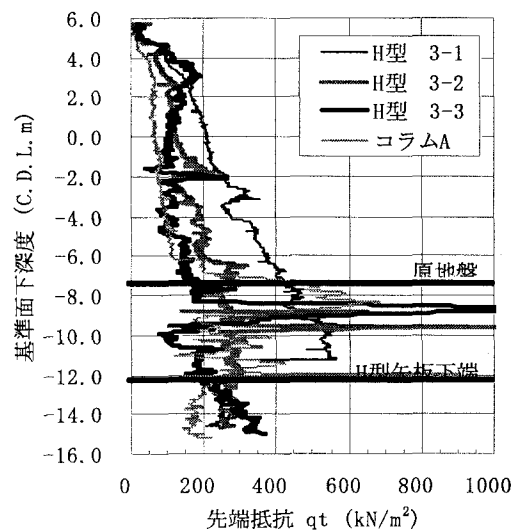


図-6 先端抵抗の深度分布

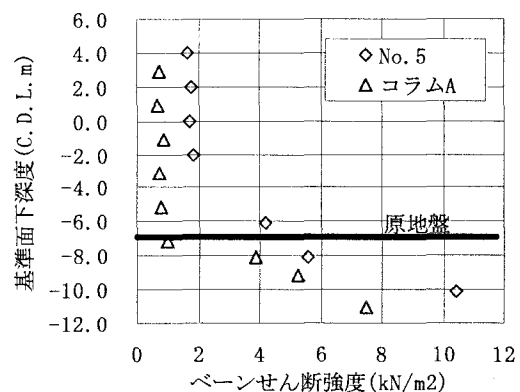


図-7 ベーンせん断強度の深度分布

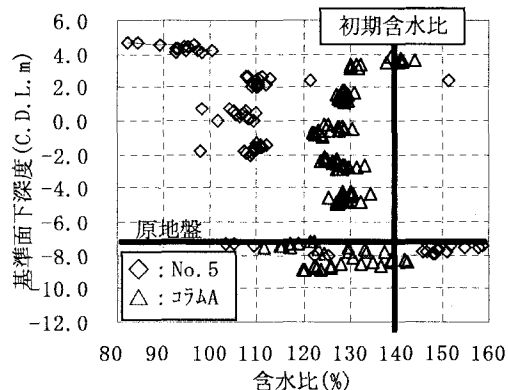


図-8 含水比の深度分布

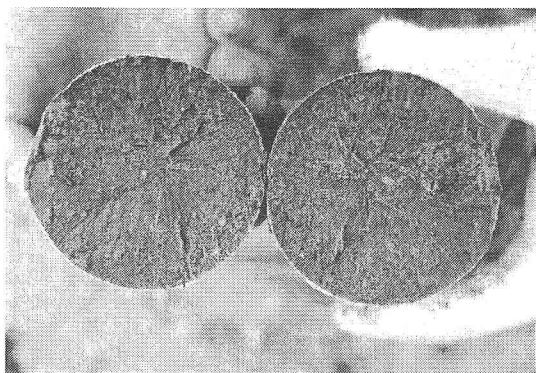


写真-4 コラムA試料断面 (C. D. L. -2. 0m)

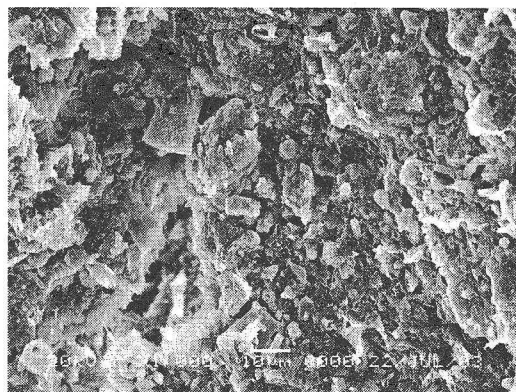


写真-6 コラムA (C. D. L. -1. 6m)

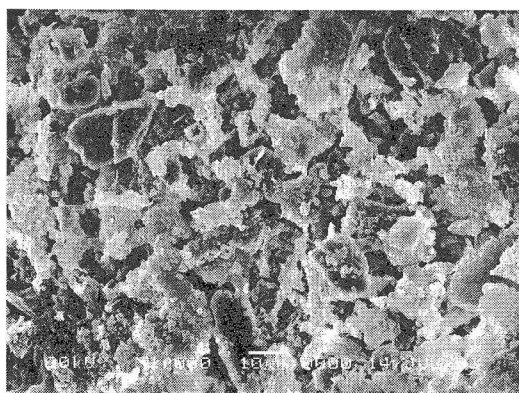


写真-5 コラムA (C. D. L. 3. 4m)

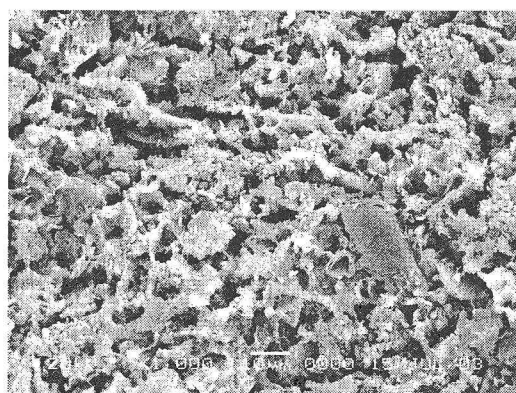


写真-7 原料土 (w=115%)

写真-4にコラムA (C. D. L. -2. 0m付近) の凍結試料断面写真を示す。写真より空隙無く均質に充填されている様子が確認できる。

また、写真-5, 6はSEMによりコラムAの凍結試料の微視的構造を観察した写真である⁷⁾。これらの含水比は図-8より120～130%程度と推定できる。一方、写真-7は原料土を9.8kN/m²で予備圧密した試料の微視的構造写真であり、試料の含水比は115%である。写真-7の原料土と写真-5, 6の変形追随性遮水材料を比較すると、含水比が低いにも関わらず、原料土には3～5μm程度の間隙が多く見受けられる。原料土にベントナイトを添加することで、原料土中の微細な間隙を埋める効果があることがうかがえる。

5. 遮水構造の強制変形

海面処分場は沿岸部の軟弱地盤に建設され、常に波浪や潮汐の影響を受けることから、遮水護岸構造の変形を完全に抑えることは非常に難しい。そこで、変形追随性遮水材料とH型鋼矢板を組み合わせた遮水構造が変形を受けた場合の遮水性能を確認するために、実験構造物を強制的に変形させ、変形前と変形後の水位計測結果から、変形時の遮水性能の評価を行った。

写真-3に示すスクリージャッキにより遮水壁を押し広げ、変形させた。写真-8に変形状況を示す。変形量はH型鋼矢板天端水平方向に約10cmである。図-9に変形前の水位計測結果、図-10に変形後の水

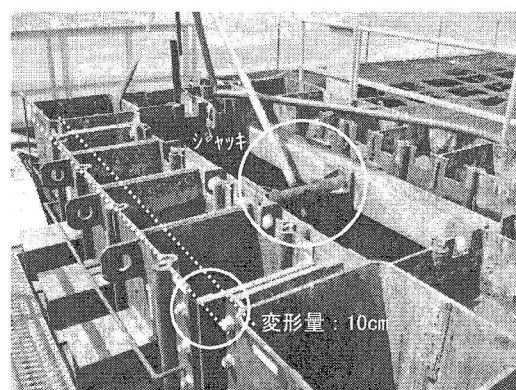


写真-8 遮水構造の変形状況

位計測結果を示す。図中には壁厚50cm、透水係数 k を 1.0×10^{-5} cm/s、 1.0×10^{-6} cm/s、 1.0×10^{-7} cm/sとした場合の内水位経時変化の計算結果も示している。この結果より、遮水構造物の内水位変動は変形前、変形後ともに 1.0×10^{-6} cm/sとほぼ等しい水位変動であることがわかる。なお、前報⁶⁾では、遮水構造物の透水係数は $k=1.0 \times 10^{-7}$ cm/sであったと報告しているが、これは、矢板隔壁内に充填した変形追随遮水材料をウォッシュボーリングにより噴き上げ、大きく乱したことにより遮水性能が低下したと考えられる。しかし、現時点でも「壁厚50cm、透水係数 $k \leq 1.0 \times 10^{-6}$ cm/s」の基準を満足していることから、遮水壁として十分な性能を有しているといえる。また、変形前と変形後で遮水性能に変化が見られないことから、遮水壁としての変形追随性も十分に期待でき

る結果といえる。

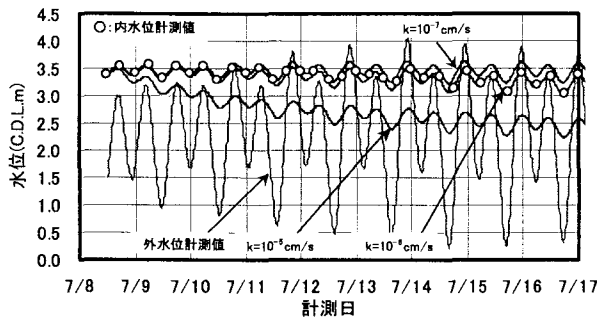


図-9 変形前水位計測結果

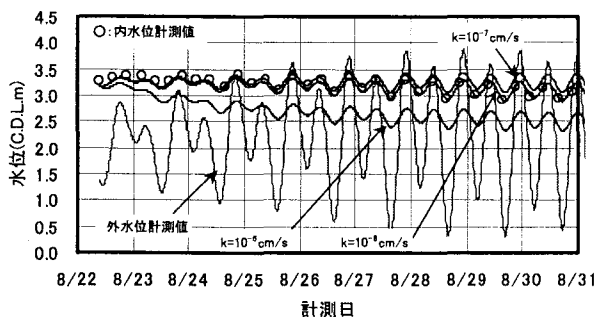


図-10 変形後水位計測結果

6. まとめ

本実験により、以下の結果が得られた。

- ・本遮水構造は矢板継手爪部が未処理にも関わらず、実海域において1年半以上に渡り、壁厚50cm、透水係数 $k \leq 1.0 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ を満足する遮水性能を有していることが確認された。
- ・H型鋼矢板隔壁内に打設した変形追随遮水材料は空隙を生じることなく、密実に充填されていることが確認された。
- ・本遮水構造を変形させても、遮水性能に影響を与えることはなかった。

なお、本研究は独立行政法人港湾空港技術研究所、横浜国立大学、五洋建設株式会社の共同研究成果であり、本実験を実施するにあたりご協力頂いた関係各位に感謝の意を表します。

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) 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. 2427-2428，2000.
- 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（変形追随性の確認），第57回年次学術講演会講演集，第VII部門，pp. 273-274，2002
- 4) 渡部要一，土田孝，齋藤邦夫，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. 381-388，2000.
- 5) 山田耕一，上野一彦，羽田晃，土田孝，渡部要一：変形追随性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，海洋開発論文集，Vol. 18，pp. 77-82，2002.
- 6) 山田耕一，鵜飼亮行，伊野同，土田孝，渡部要一：変形追随性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，海洋開発論文集，Vol. 19，pp. 177-182，2003.
- 7) 椎名貴彦，渡部要一，上野一彦：鉛直コラムに打設された変形追随性遮水材の品質について，第59回年次学術講演会，2004（投稿中）。