

変形追従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

PROPOSAL OF A NEW IMPERVIOUS SEA WALL STRUCTURE IN A COASTAL
DISPOSAL SITE WITH THE DEFORMATION FOLLOWING MATERIAL

山田耕一¹・上野一彦²・羽田晃³・土田孝⁴・渡部要一⁵

Koichi YAMADA, Kazuhiko UENO, Akira HADA, Takashi TSUCHIDA and Yoichi WATABE

¹正会員 五洋建設株式会社 環境研究所 課長 (〒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)

³正会員 農修 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)

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 室長
(〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

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 主任研究官
(〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

The standard of impervious structure were specified with the law about a disposal site revised in 1999. However, with the past material and method, it cannot respond enough. Then, we are grappling with development of a impervious material and a impervious method and a impervious structure newer than several year before. This paper explains the new deformation following impervious material and the new impervious structure.

Key Words : marine clay, coefficient of permeability, wastes, sheet pile wall, bentonite, consolidation

1. はじめに

環境省の発表によると、平成10年度における全国の産業廃棄物最終処分場の残余年数は約3.3年と厳しい状況にあり、首都圏に限れば1年以下と逼迫している。しかし、近年の環境問題を考慮すると新たな最終処分場の確保は難しくなっており、特に陸上の最終処分場は河川の水源である山間部に設けられることが多いため、地域住民のコンセンサスを得ることは非常に困難となってきた。これに対し、地域社会への影響が比較的少なく、処分場容積の大きな海面処分場の果たす役割は、今後ますます重要なものになってくると思われる。

この様な状況の中、最終処分場遮水工の基準を定めた「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)が平成10年6月に改訂され、遮水工に関する基準が強化された。この改正命令によると、最終処分場の遮水構造には次に示す基準のいずれかを満たす必要があると明記されている¹⁾。

①処分場の基礎地盤に厚さ5m以上、透水係数が 1.0×10^{-5} cm/s以下(岩盤にあってはルジオン値が1以下)の地層又はこれと同様の遮水効力を有する地層があること。

②厚さ50cm以上、透水係数が 1.0×10^{-6} cm/s以下の粘土等の地層に遮水シートが敷設されていること。

③厚さ5cm以上、透水係数が 1.0×10^{-7} cm/s以下のアスファルト・コンクリート層に遮水シートが敷設されていること。

④不織布その他の物の表面に二重の遮水シートが敷設されていること。

一方、海面処分場における既往の遮水工としては、遮水シート、遮水矢板、アスファルトマチックやセメント系固化処理土あるいはこれらを組み合わせたもの等が挙げられる。しかし、これらの遮水工だけでは、長期耐久性や施工性、経済性を含め、上記の基準に十分対応しきれていないのが現状である。

そこで、筆者らはこの改正命令に対応すべく、数年前より海面における管理型廃棄物処分場の遮水工に用いることを目的とした新しい遮水材料、遮水工

法、遮水構造の開発に取り組んできている。本報は海成粘土を主材料として新たに開発した土質系変形追随遮水材料の力学特性試験の結果と、この遮水材料を用いて新しい遮水壁構造を提案し、その遮水性能を実験的に確認したので報告するものである。

2. 変形追随性遮水材料の開発

(1) 変形追随遮水材料の特徴

海面処分場に用いる遮水材料には遮水性は当然のことながら、変形や破損に対する修復性、海上において確実かつ容易に取り扱うことのできる施工性、長期的に劣化や腐食を起こさない耐久性、そして経済性が要求される。しかし、これら条件を同時に満足できる材料はなかなか見あたらない。そこで、筆者らは浚渫工事等で発生する海成粘土の持つ高い遮水性に着目し、これをベースとした遮水材料の研究開発を行ってきた。

今回、新たに開発した土質系変形追随遮水材料（以下、新遮水材料とする）は海成粘土に間隙調整材としてベントナイトを、ゲル化材として珪酸ナトリウムを添加することにより製造される。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、施工上一旦、海面上にあげ加水スラリー状にせざるをえない。しかし、この状態では間隙比が大きく、所定の透水係数を満足することは難しい。そこで、スラリー状にした海成粘土に間隙充填材としてベントナイトを加えることで遮水効果を高め、更に珪酸ナトリウムを加えてゲル状にすることで、強度と材料不分離性を付加している。この新遮水材料の特徴は次の通りである。

- ①透水係数は 10^{-6} cm/sのオーダー以下。
- ②固化せずゲル状を呈しているため、変形に対して追従し、ひび割れや空隙を生じない。
- ③施工時にポンプ圧送が可能な流動性を保持。
- ④水中打設時に材料分離を生じない。
- ⑤天然の粘土を主材料としているため、材料劣化を生じない。
- ⑥長期的には圧密が進行し、透水係数がさらに下がる。
- ⑦浚渫粘土のリサイクルが図れる。

(2) 新遮水材料の力学試験

新遮水材料の力学特性や設計に必要な物性値を把握することを目的として各種の室内試験を実施した。

a) 試料

新遮水材料の配合には主材料として名古屋港で採取した粘土を用いた。表-1に物理特性を示す。この粘土を2mm以下に粒度調整したものに人工海水を加えスラリー状（含水比110%）に調整したものを調整泥土とした。この調整泥土に対して、ベントナイトを0, 50, 75, 100, 200, 300kg/m³、珪酸ナトリウムを0, 10, 20, 30kg/m³の割合で組み合わせて添加配合し、モルタルミキサーにて5分間練り混ぜたものを試料

とした。なお、ベントナイトはA, B, Cの3種類を、珪酸ナトリウムは粉末珪酸ソーダ2号を使用した。

表-1 名古屋港粘土の物理特性

湿潤密度 ρ_t	1.571	g/cm ³
土粒子の密度 ρ_s	2.652	g/cm ³
自然含水比 w_0	77.7	%
粒度組成	砂分	6.2 %
	シルト分	68.6 %
	粘土分	25.2 %
コンシステンシー	液性限界 w_L	65.4 %
	塑性限界 w_p	33.0 %
	塑性指数 I_p	32.4 -
強熱減量 L_i	6.51	%
有機炭素含有量	0.66	%

表-2 試験項目一覧

試験項目	試験方法	規格・基準
流動性	フロー値試験	JHS A 313
強度	ベーンせん断試験	-
透水性	標準圧密試験	JIS A 1217
	浸透圧密試験	-
水中不分離性	水中分離抵抗性試験	-

b) 試験方法

試験項目と試験方法を表-2に示す。フロー値試験は日本道路公団規格「エアモルタル及びエアミルクの試験方法」のシリンダー法に準拠しており、内径80mm、高さ80mmの亚克力製の円筒に試料を満し、ゆっくりと円筒を引き抜いた際、広がった試料の直角2方向の長さを平均した値をフロー値とし、流動性を評価するものである。今回は試料の練り混ぜ直後の状態について試験を実施した。ベーンせん断試験は試料を200×150×100mmの容器に充填し、試料の練り混ぜ直後、6時間後、1日後、3日後、7日後、28日後、3ヶ月後の状態について試験を実施した。標準圧密試験は試料を4.0kN/m²の荷重で予備圧密を行った後、成形し圧密リング内にセットして段階載荷を行った。第一載荷段階の圧密荷重は4.9kN/m²とした。浸透圧密試験²⁾は標準圧密試験では対応が難しい低応力状態、すなわち、試料練上がり直後のスラリー状態での圧密透水特性を調べるのに適している試験である。今回は標準圧密試験結果を補足する目的で実施した。なお、浸透圧密試験の実施には非常に手間がかかるため、任意の1試料のみを選定し、標準圧密試験との比較を行った。水中分離抵抗性試験は「軽量混合処理土工法技術マニュアル³⁾」に準じて実施した。試験は水中分離抵抗性試験機のシリンダー内に充填された試料を電動モーターで一定速度に制御されたピストンにより人工海水を張った所定の容器に打設し、打設1分後に容器内の海水を採取し、海水のSSとpHを測定することにより、試料の水中分離抵抗性を評価するものである。

(3) 試験結果

a) フロー値試験

図-1にベントナイト添加量とフロー値の関係を示す。この図よりベントナイト添加量が増すとフロー値が減少する傾向がわかる。ベントナイトを添加することにより、間隙が小さくなり、更にベントナイトの膨潤を考慮すると当然の結果と言える。特にベントナイトAはB,Cと比較し、膨潤性が高いといえる。続いて図-2にベントナイトAを配合したものについて、珪酸ナトリウム添加量とフロー値の関係を示す。こちらも添加量の増加と共にフロー値は低下している。珪酸ナトリウムによるゲル化作用は少量の添加でも流動性を大きく落とす効果が期待できる。

b) ペーンせん断試験

図-3にベントナイト添加量 75kg/m^3 、珪酸ナトリウム添加量 10kg/m^3 の配合について、経過日数とペーンせん断強度の関係を示す。ベントナイトの種類にもよるが、練り混ぜ直後から1日で急激に強度が発現し、その後緩やかに増加していき、3ヶ月後には初期強度の約3~4倍程度となった。この時の強度は $1.5\sim 2.5\text{kN/m}^2$ とセメント系固化処理土より2オーダー低い値であり、これは固化には至らずにゲル状態を維持していることによるものである。

c) 標準圧密試験・浸透圧密試験

図-4にベントナイト 75kg/m^3 添加、珪酸ナトリウム無しの配合について、標準圧密試験結果を透水係数 k と間隙比 e でまとめたグラフを示す。調整泥土に対してベントナイトを添加することにより e が小さくなり、 k も下がっていることがわかる。その中でもベントナイトAが k を下げる効果が大さいが、これは上述したように膨潤率に差が出た為と考えられる。なお、いずれの配合においても k は $1.0\times 10^{-6}\text{cm/s}$ を下回る結果となった。図-5はベントナイトAの添加量を変えて標準圧密試験を行った結果である。添加量が増すほど k が下がる傾向にあるものの、その差は大きくない。この場合は 50kg/m^3 の添加で十分な間隙充填及び膨潤効果を期待できると思われる。また、図-6にはベントナイトAを 75kg/m^3 添加、珪酸ナトリウム無しの配合について、浸透圧密試験と標準圧密試験の結果を同じく k と e でまとめたグラフである。練り混ぜ直後の $e=2.5$ 付近において、 k はほぼ $1.0\times 10^{-6}\text{cm/s}$ を満たしていることが伺える。

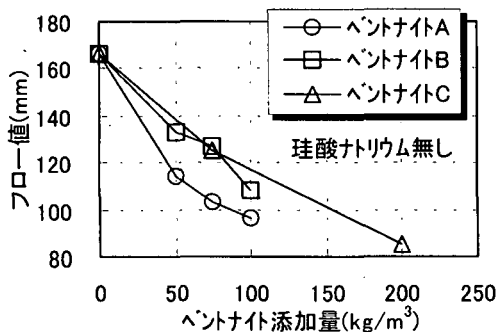


図-1 ベントナイト添加量とフロー値の関係

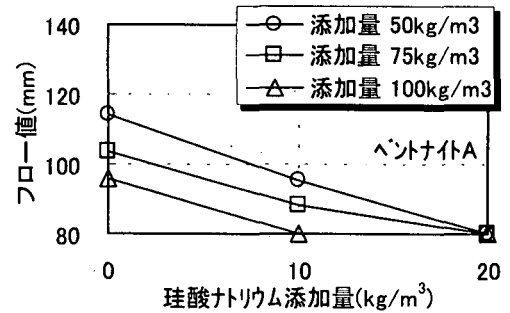


図-2 珪酸ナトリウム添加量とフロー値の関係

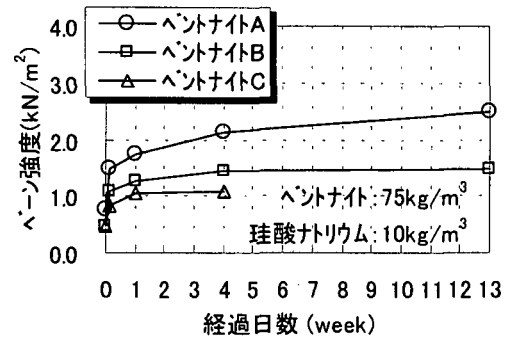


図-3 経過日数とペーン強度の関係

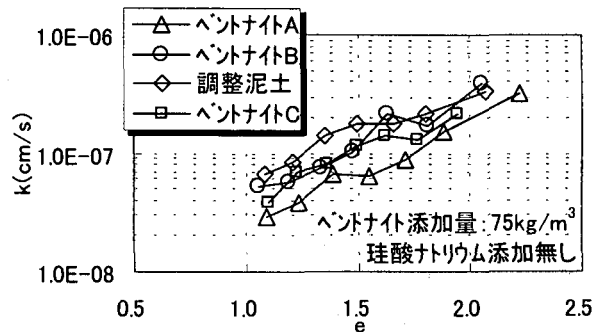


図-4 ベントナイトの種類による透水係数と間隙比の関係

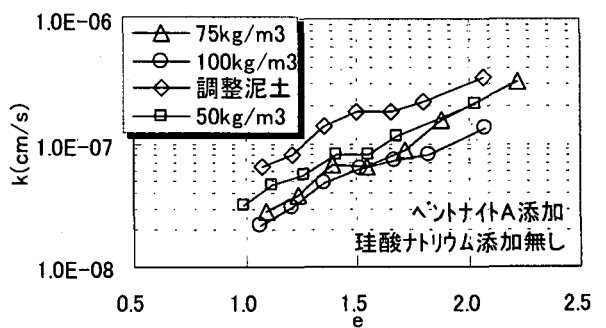


図-5 ベントナイト添加量による透水係数と間隙比の関係

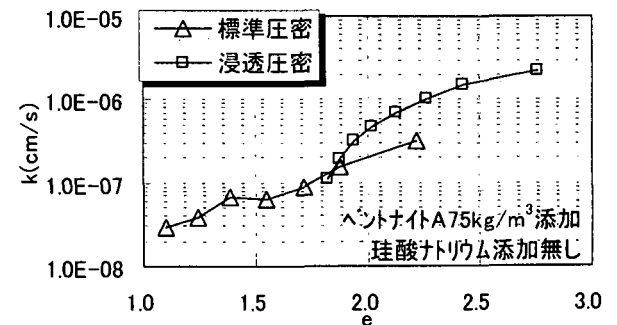


図-6 標準圧密試験と浸透圧密試験の比較

c) 水中分離抵抗性試験

図-7に水中分離抵抗性試験の結果を示す。珪酸ナトリウムを加えることで、SSは材料が分離していないと見なせる指標値100mg/lを大きく下回っており、水中打設時に材料分離を起こさないことが確認された。

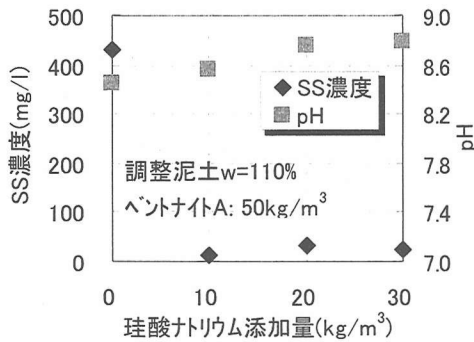


図-7 水中分離抵抗性試験結果

(3) まとめ

今回の試験結果より、新遮水材料が海面処分場の遮水工に用いる材料として十分な特性を持っていることが確かめられた。特に“固化しない”ということは他の材料には見ることのできない特徴であり、少なからず変形を受けるであろう護岸構造物に用いることで、その特徴が活かされるものと考えられる。今後は主材料の粒度組成やコンシステンシー等の物性の違いによる配合を検討するとともに、材料の長期耐久性についてもデータを蓄積していく予定である。

3. 新しい遮水護岸構造の提案

(1) 新遮水材料を用いた遮水護岸構造

通常、海面処分場の遮水護岸構造は地震や波浪、地盤条件等による安定性、工期や工費、施工性等により決定され、遮水性は別途、遮水工として施されている。その為、図-8や図-9に示すように、従来から比較的実績の多い重力式や矢板式の護岸構造に遮水シートや矢板継手止水といった遮水工をプラスした形式が多い。

筆者らはこの遮水工に新遮水材料を用いて、既存の護岸構造と組み合わせた新しい遮水護岸構造形式を考案した。図-10にその一例を示す。一般的な重力式の護岸の背面に、継手に水膨潤性止水剤を塗布したH型形状矢板（内幅50cm以上）を建て込み止水壁としており、H型形状矢板の継手隔壁内には新遮水材料が充填されている。図-11にH型形状矢板による遮水壁の詳細図を示す。この様な遮水護岸構造とすることで、次のような効果が期待できる。

- ① 矢板継手部の止水剤と矢板隔壁内の新遮水材料による遮水効果。
- ② 矢板が変形しても隔壁内の新遮水材料は変形に追随し、遮水性を損なうことはない。

③ 継手止水剤の損傷や劣化、矢板の腐食に対しても新遮水材料で遮水性を維持できる。

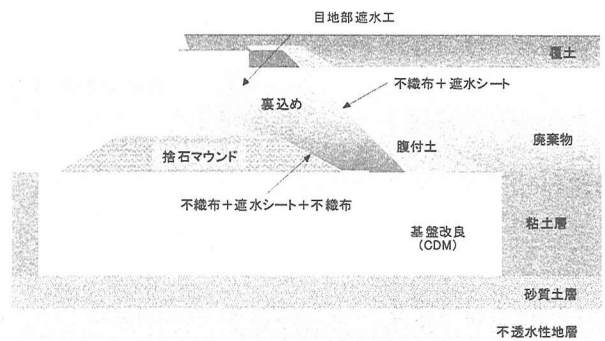


図-8 重力式十二重シート形式

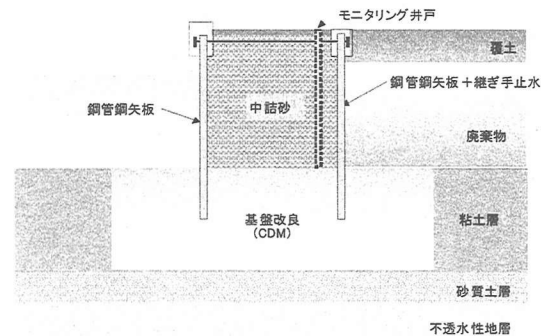


図-9 鋼管矢板+継手止水形式

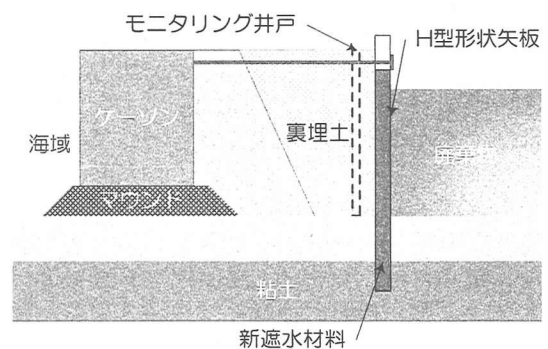


図-10 提案する遮水護岸構造

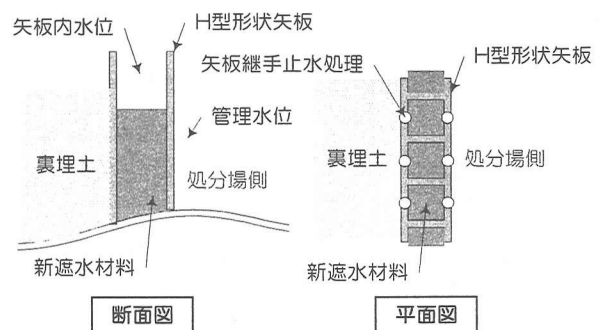


図-11 H型形状矢板壁詳細図

(2) 遮水壁性能確認実験

このH型形状矢板壁の遮水性能を確認する為に、実物の矢板で遮水壁を構築し透水実験を行った。

a) 実験概要

図-12に実験模型図を示す。2種類の矢板（矢板Ⅰ、矢板Ⅱ）を大型土槽内に平行に建て込み、矢板遮水壁を2体構築した。図-12に示すように矢板遮水壁にはそれぞれ継手が3箇所（①、②、③）あるため、表-3に示すような組み合わせで止水処理を施した。継手止水剤は建て込む前に両爪に塗布している。新遮水材料は矢板建て込み後に小型トレミー管にて隔壁内に打設している。新遮水材料の配合は表-4に示す通りであり、この配合は事前に標準圧密試験により透水係数が $1.0 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 以下であることが確認されている。（図-6参照）

実験は矢板壁で仕切られた両側の空間に人工海水を張り、矢板継手より漏れ出る海水の量を計測することにより透水係数を求めた。図-13に実験状況を示す。

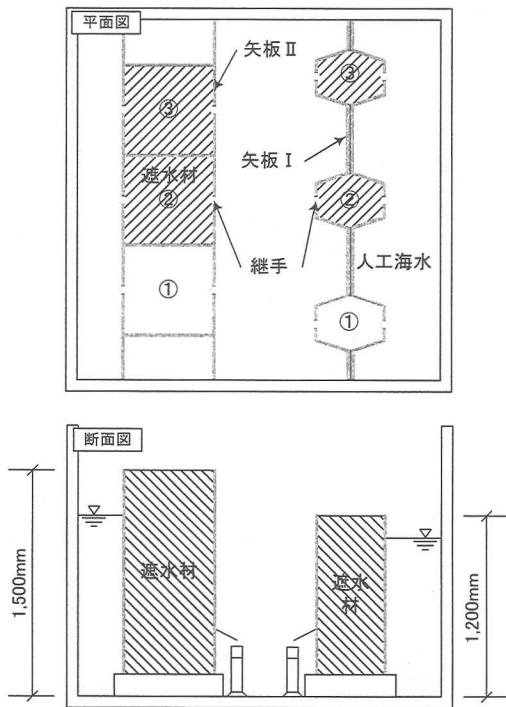


図-12 実験模型図

表-3 止水組み合わせ

	①	②	③
継手止水剤の塗布	○	○	
新遮水材料の充填		○	○

表-4 新遮水材料の配合

調整泥土含水比（名古屋港粘土）	110%
ベントナイトA添加量	75kg/m ³
珪酸ナトリウム添加量	0kg/m ³

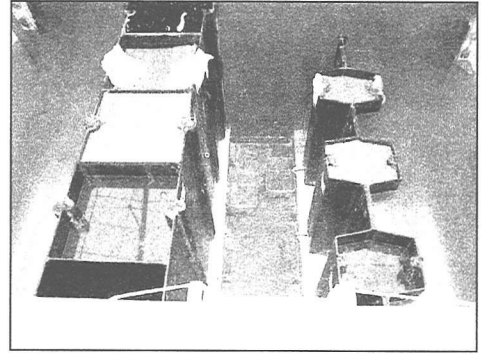


図-13 実験状況

b) 実験結果

遮水壁の換算透水係数はダルシー則（1）式により求めた。

$$Q = A \cdot k \frac{\Delta h}{L} \cdot t \quad (1)$$

ここに、

Q : 継手一カ所あたりの漏水量 (cm³)

A : 透水断面積 (cm²)

k : 換算透水係数 (cm/sec)

Δh : 水位差 (cm)

L : 透水長 (cm)

t : 計測時間 (sec)

とする。

表-5には算定に用いた数値を示す。

なお、新遮水材料の圧密沈下に伴う圧密排水量は補正している。

表-5 算定条件

	A (cm ²)	L (cm)	Δh (cm)
矢板Ⅰ	60.5 × Δh	38	90/2
矢板Ⅱ	50 × Δh	50	120/2

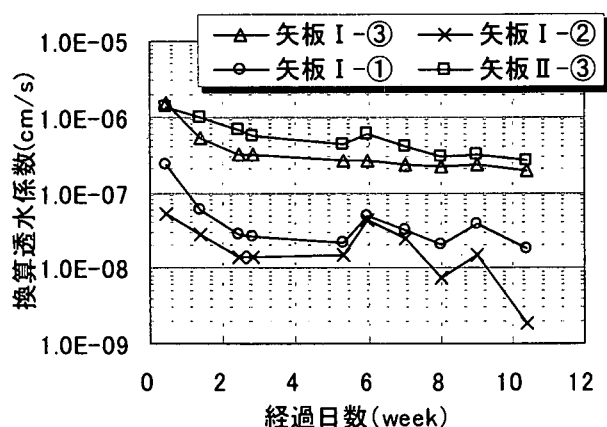


図-14 遮水壁の換算透水係数

換算透水係数と計測時間の関係を図-14に示す。まず、矢板Ⅱの①と②については、まったく漏水が認められなかったため、グラフには載せていない。矢板継手に塗布した膨潤性止水剤が継手全域にわたり欠損することなく効いていれば、ほぼ完全な止水状態が保たれていると考えられる。これについては既往の論文⁴⁾⁵⁾においても同様の報告がなされている。

次に、矢板継手に止水剤を塗布せず、継手隔壁内に新遮水材料のみを充填した矢板Ⅰ-③、矢板Ⅱ-③について、換算透水係数を求めてみたところ、両者とも打設後に約 1.0×10^{-6} cm/s程度の値をとっており、その後、経時的に下がり続けている。これは、充填された新遮水材料の透水係数にほぼ等しい値となっている。この2者については矢板を型枠として、中に詰めた新遮水材料の透水試験を実施したと見なせば納得のいく結果といえる。

最後に、矢板継手止水剤のみの矢板Ⅰ-①と継手止水剤に更に新遮水材料を充填した矢板Ⅰ-②についてであるが、両者とも継手止水剤を塗布しているものの、漏水が認められた。これは、何等かの理由により止水剤が破損・剥離等を起こしていると考えるのが妥当であろう。その原因として矢板Ⅰは矢板Ⅱに比べ、継手のかみ合わせがきついことから、矢板建て込み時に止水剤が剥離した等の推測はできるが、いずれにしろ、矢板を建て込んだ後に、原因と漏水箇所を特定することは容易でない。だが、換算

透水係数は $10^{-7} \sim 10^{-8}$ cm/sのオーダーにあり、 1.0×10^{-6} cm/sの基準は満足している。両者とも経時的に換算透水係数は上下するものの、 1.0×10^{-6} cm/sを上回る様子は現時点では見られない。特に新遮水材料を充填した矢板Ⅰ-②は換算透水係数が上下するなかでも、徐々に低下する傾向にある。これは、新遮水材料が漏水箇所を充填していつていると推測できる。また、仮に止水剤が十分な機能を果たさなくなったとしても、新遮水材料が充填されていることから矢板Ⅰ-③および矢板Ⅱ-③の換算透水係数より大きくなることは無いと考えられる。

なお、本実験は現時点でも漏水量を計測中であり、今後1年以上にわたりデータを収集していく予定である。

(3) まとめ

H型形状鋼矢板の中に新遮水材料を充填することで、十分な遮水効果があり、更に矢板継手止水剤と組み合わせることで、止水剤の不確実な部分を補うと同時に、遮水性をいっそう高める効果があることが確認された。しかし、今回の実験では矢板長が約1.5~1.2mと短く、そのまま実物と対比させることは難しい。今後は現場での実規模による実験を行い、施工性や遮水性等、トータル的に検証していく予定である。

謝辞：実験に際して、ご指導を頂きました横浜国立大学今井五郎先生に厚く御礼申し上げます。

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，pp.28-30，2000.
- 2) 地盤工学会編：浸透圧密試験について，特殊圧密試験に関するシンポジウム，pp.85-95，1988.
- 3) (財)沿岸開発技術研究センター：港湾・空港における軽量混合処理土工法技術マニュアル，pp.付2.1-付2.7，1999.
- 4) 中山裕章，原田典佳，龍田昌毅：吸水膨張性止水剤を塗布した鋼矢板の止水性能評価試験，第35回地盤工学研究発表講演集，pp.1559-1560，2000.
- 5) 小泉哲也，神藤明彦，土田孝，山本修司，小笹博昭，小久保裕：鋼矢板継手部における透水量に関する実験と考察，土木学会第56回年次学術講演会，VII-019，pp.38-39，2001.