

海面処分場に適用可能な漏水検知システム (その5)

DAMAGE DETECTION SYSTEM APPLICABLE IN COASTAL DISPOSAL SITES (NO.5)

羽田晃¹・五月女洋²・小久保裕³・柳橋寛一¹・山崎宣悦⁴・後藤知英⁵
Akira HADA, Hiroshi SAOTOME, Hiroshi KOKUBO, Tomokazu YANAGIBASHI,
Nobuyoshi YAMAZAKI and Tomohide GOTO

¹正会員 農修 五洋建設(株)土木部門土木本部環境事業部 (〒112-8576 東京都文京区後楽2-2-8)

²正会員 五洋建設(株)土木部門土木本部環境事業部 課長 (〒112-8576 東京都文京区後楽2-2-8)

³正会員 工修 五洋建設(株)土木部門土木本部環境事業部 課長 (〒112-8576 東京都文京区後楽2-2-8)

⁴工修 坂田電機(株)企画室 部長 (〒180-0004 東京都武蔵野市吉祥寺本町1-20-8)

⁵工修 坂田電機(株)企画室 係長 (〒180-0004 東京都武蔵野市吉祥寺本町1-20-8)

The Technical Standard for Landfill Sites was amended in 1998 by the Prime Minister's Office and the Health and Welfare Ministry. Under this guideline, Manual of Design, Construction and Management at Coastal Disposal Site was issued by Waterfront Vitalization and Environment Research Center. This manual mentions some attentions when designing, constructing and maintaining disposal sites at sea. In addition, the technical subjects which are wished to be solved are also included. A damage detection system is one of them.

The authors are developing a damage detection system applicable in coastal disposal sites. This paper explains some results of a demonstration test of the damage detection system applicable at coastal disposal sites.

Key Words : coastal disposal site, damage detection system, liner facilities, liner sheet

1. はじめに

平成12年度の統計によると、産業廃棄物の最終処分場の残余年数は約3.9年となっており、現在も逼迫した状態が続いている。また、近年の環境問題を鑑みると、新たな最終処分場の整備は難しくなっており、特に陸上の最終処分場は周辺地域の水源となる山間部に整備される場合が多く、周辺住民の同意を得ることは困難となっている。一方、海面に整備される最終処分場は、水源の下流域に位置し、陸上処分場と比較して大容量を確保しやすいため、今後、廃棄物処分における海面処分場の役割はますます重要になってくると考えられる。

このような社会情勢のもと、平成10年に最終処分場の構造・維持管理・廃止に関する「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省令」が改正され、これを受けて、(財)港湾空間高度化環境研究センターより、「管理型廃棄物埋立護岸 設計・施工・管理マニュアル」が発刊された¹⁾。同マニュアルには海面に最終

処分場を整備する際の留意点が掲げられており、また併せて、今後開発の期待される技術課題も記載されている。記載されている技術課題の一つに、遮水工の健全性を把握する漏水検知システムがある。漏水検知システムは陸上処分場ではすでに実用化されているが、海面処分場では、現在のところ、適用実績はない。陸上処分場に適用されている漏水検知システムは“物理式”によるシステムと“電気式”によるシステムの二種に大分されるが、電気式によるシステムは、高い電気抵抗を示す遮水シートを利用したものである。

著者らは、数年前から海面処分場の遮水工に適用することを目的とした漏水検知システムの開発に取り組んでいる。屋内での“原理確認実験”を行った結果、以下の知見が得られた^{2), 3)}。

- ・ 電気伝導度の高い海水中に漏水検知システムを適用する場合、迷走電流を遮断する方策としてガード電極が有効である。
- ・ ガード電極を効果的に配置することによって、直径20～25mmの破損を検知することができる。

本報は，“原理確認実験”に続いて実施した“大型モデル実験”の実験結果について報告するものである^{4), 5)}。

2. 海面処分場に適用可能な漏水検知システムの原理

これまで、海面処分場において遮水シートの電氣的漏水検知が困難とされていたのは、海水の電気伝導度が高いために生じる迷走電流（遮水シート端部を回り込んで測定電極に流れる電流）による検知能力の低下が原因であった。この対策として、検知対象範囲を環状に囲うループ状の測定電極と、迷走電流を遮断するガード電極を採用した。電流の発生源となる“印加電極”を検知対象となる遮水シートからみて処分場側に、印加電極から流れた電流を受け取る“測定電極”を外海側に配置する。また、“ガード電極”は遮水シートの端部付近に配置する（処分場全体を遮水シートで遮水する場合、ガード電極は不要となる）。図-1に遮水シートが破損していない場合の、図-2に遮水シートに破損が存在する場合の電流経路を示す。

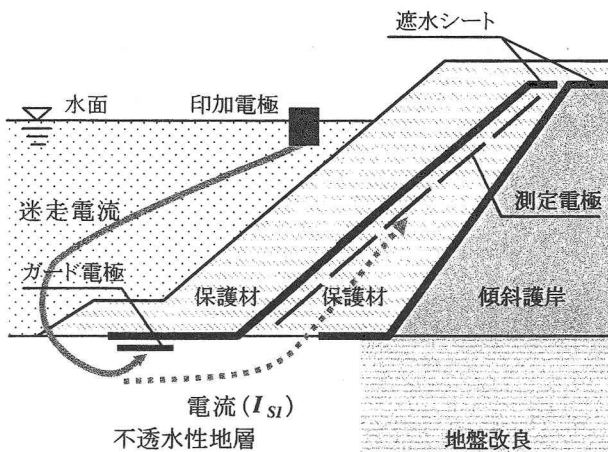


図-1 電流経路（遮水工が破損していないとき）

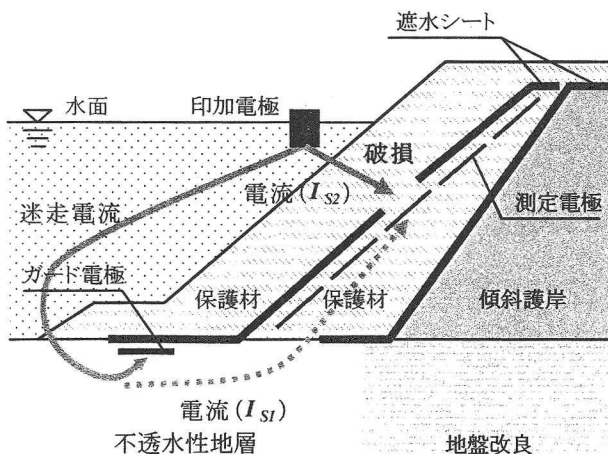


図-2 電流経路（遮水工が破損しているとき）

ここで、印加電極から遮水シート端部を回り込んで測定電極に流れる電流値を I_{S1} （迷走電流のうち、ガード電極が遮断しきれなかった残差分）、印加電極から遮水シートの破損場所を通して測定電極に流れる電流値を I_{S2} とすると、遮水シートが破損していない場合の測定電極に流れる電流値（以下、 I_{OFF} ）と遮水シートが破損している場合の電流値（以下、 I_{ON} ）は、以下のように近似することができる。

$$I_{OFF} = I_{S1} \quad (1a)$$

$$I_{ON} = I_{S1} + I_{S2} \quad (1b)$$

すなわち、遮水シートが破損していないとき（図-1）、測定電極に流れる電流は、遮水シート端部を回り込む成分（ I_{S1} ）のみであるが、遮水シートが破損すると（図-2）、測定電極に流れる電流は、遮水シート端部を回り込む成分（ I_{S1} ）に遮水シートの破損場所を通る成分（ I_{S2} ）が加わる。したがって、遮水シートに破損が発生すると、測定電極に流れる電流値が増加し、遮水シートの破損を検知することができる。また、測定電極を複数個配置しておくことで、破損箇所にもっとも近い測定電極に最大電流が流れ、破損の位置も特定することができる。

3. 実験方法

(1) 実験方法

実験ポンド（法面勾配1:2、法面延長9m）内に、海面処分場の遮水シートによる遮水工と漏水検知システムをモデル化した（図-3、4、5）。

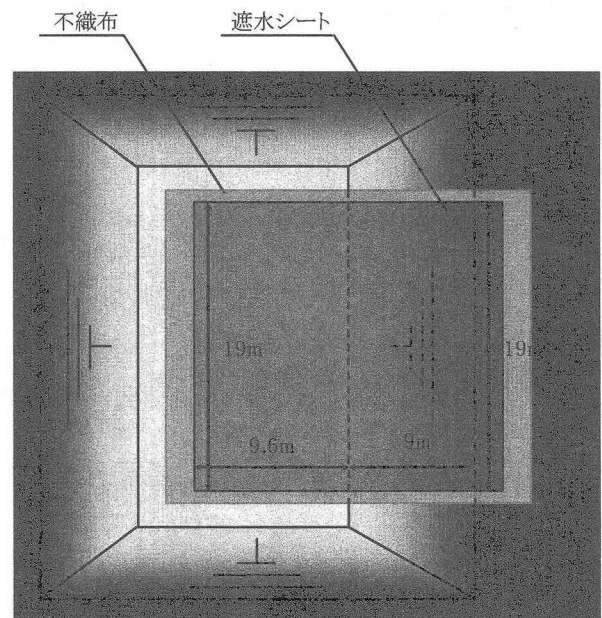


図-3 実験ポンドの概要（平面図）

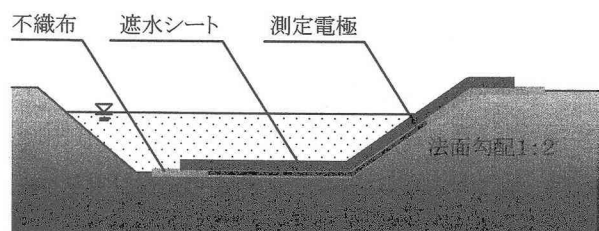


図-4 実験ポンドの概要（断面図）

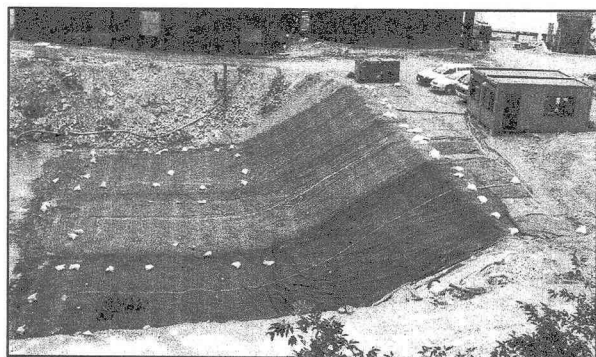


図-5 実験状況（海水注水前）

実験ポンド内に不織布を敷設し、その上部に大きさの異なる測定電極（S1～S10：1.0m×1.6m，S11：3.0m×12.0m，S12～S13：3.0m×5.5m，図-6参照）を配置した。また、迷走電流の遮断を目的として、不織布の端部に直線状のガード電極を4本ずつ計12本配置した（G1～G12，図-6参照）。測定電極やガード電極の設置後、遮水シート（ポリエステル繊維補強型合成ゴム系遮水シート，厚さ2mm）を敷設した。遮水シートの敷設後、水深2mになるまで海水を注入した。なお、印加電極は、破損H4上方の水面付近に設置した（図-6参照）。

(2) 遮水シートの破損

遮水シートの破損形態は、遮水シートの表裏に取り付けた□100mmの銅板を銅線で短絡することにより遮水シートの破損を模擬した“模擬破損孔”と、実際に遮水シートに破損を設けた“実破損”の二種類である。なお、実破損として、円形の破損（以下、円形破損）とカッターで遮水シートを切った破損（以下、切り裂き破損）の二種類を用いた。破損の概要を表-1に示す。

表-1 実験に用いた破損

	破損場所	形態
模擬破損孔	H1, H2, H3 H4, H5, H6	
実破損	H1	円形破損，φ 10mm
		円形破損，φ 20mm
		円形破損，φ 50mm
		円形破損，φ 100mm
		切り裂き破損（直線），L=300mm
		切り裂き破損（L型），L=300+300mm

図-6参照

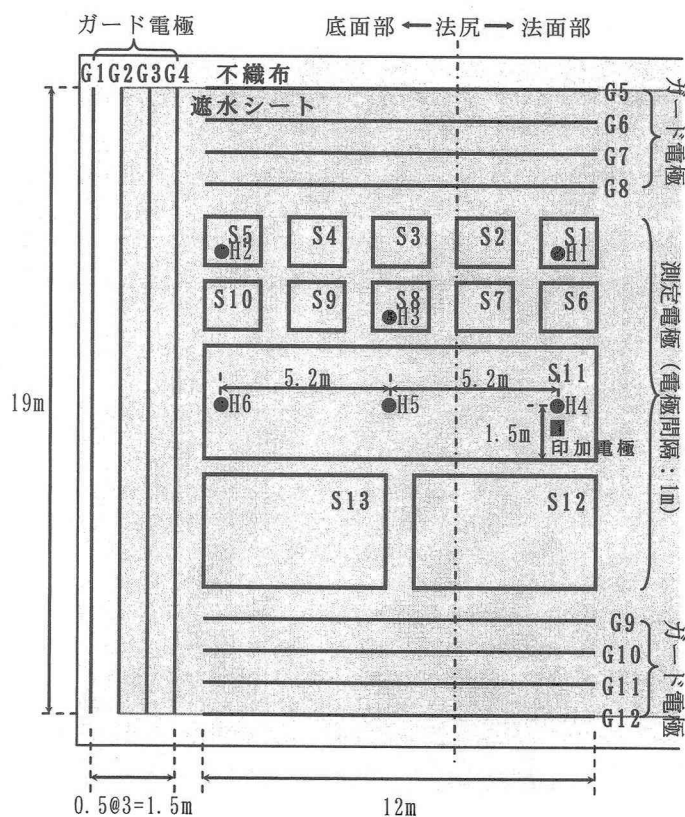


図-6 各種電極の配置

(3) 測定方法

実験は、印加電極に1.5Vrmsの交流電圧を印加し、それぞれの測定電極を介して流れる電流を測定することで実施した。なお、ある測定電極での電流値を測定する際、ほかの全ての測定電極はガード電極として機能させた。

(4) 破損の評価方法

本実験では、破損発生前後において測定電極に流れる電流値（破損発生前： I_{OFF} ，破損発生後： I_{ON} ）の差分値（ $I_{ON}-I_{OFF}$ ，以下“電流増加値”）を算出した。算出した電流増加値により、破損の有無と位置を評価した。

(5) 実験の種類

実験の種類を表-2に示す。なお、CASE1，2では遮水シートの破損として模擬破損孔を、CASE3では実破損（円形破損，切り裂き破損）を使用した。

表-2 実験の種類

実験名称	項目
CASE1	破損の場所が検知感度に及ぼす影響の検討
CASE2	破損の数が検知感度に及ぼす影響の検討
CASE3	破損の形状が検知感度に及ぼす影響の検討

4. 実験結果

(1) CASE1 (破損の場所が検知感度に及ぼす影響)

模擬破損孔をH1～H6にそれぞれ設けたときの電流増加値を図-7に示す。模擬破損孔をH1～H6のいずれの場所に設置しても、破損を含む測定電極での電流増加値が、破損を含まない測定電極での電流増加値より高い値を示しており、破損の有無と場所を検知できていることがわかる。

図-8に模擬破損孔をH1, H2, H3に設けたときの、図-9に模擬破損孔をH4, H5, H6に設けたときの破損を含む測定電極での電流増加値を示す。破損の場所が遮水シートの端部に近づくほど、破損を含む測定電極での電流増加値が小さくなる傾向を示した。すなわち、破損場所が遮水シートの底面部側の端部に近づくほど、検知感度が低下した。

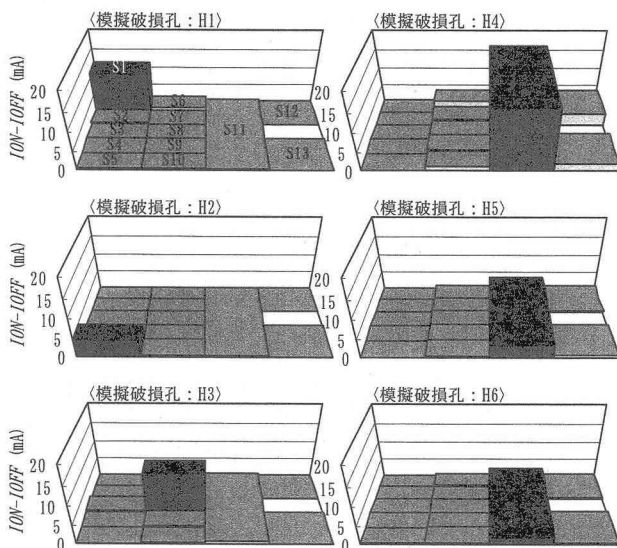


図-7 電流増加値 (模擬破損孔 : H1～H6)

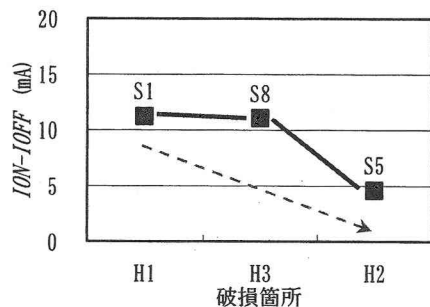


図-8 破損を含む測定電極での電流増加値 (模擬破損孔 : H1, H2, H3)

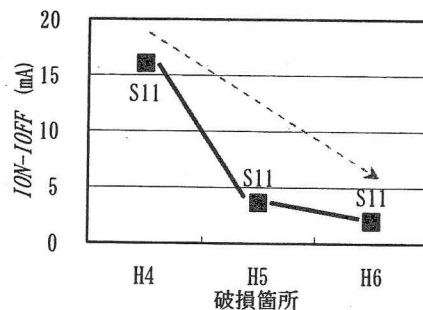


図-9 破損を含む測定電極での電流増加値 (破損 : H4, H5, H6)

(2) CASE2 (破損の数が検知感度に及ぼす影響)

模擬破損孔の数を段階的に増加させたとき (模擬破損孔 : H1, H1+H2, H1+H2+H3, H4, H4+H6, H4+H5+H6) の電流増加値を図-10に示す。破損の数が複数であっても、破損を含む測定電極での電流増加値が、破損を含まない測定電極での電流増加値より高い値を示しており、破損の有無と場所を検知できていることがわかる。

模擬破損孔をH1, H1+H2, H1+H2+H3に設けたときの測定電極S1, S5, S8での電流増加値を図-11に、模擬破損孔をH4, H4+H6, H4+H5+H6に設けたときの測定電極S10での電流増加値を図-12に示す。図-11より、破損を含む測定電極とは異なる測定電極内に新たな破損が生じると、新たな破損を含む測定電極でのみ電流値が増加しており、ほかの測定電極の電流増加の増減に影響を与えなかった。図-12より、一つの測定電極内での破損の数が増加すると、破損を含む測定電極での電流値が増加し、破損の数が増加すると検知感度が向上した。

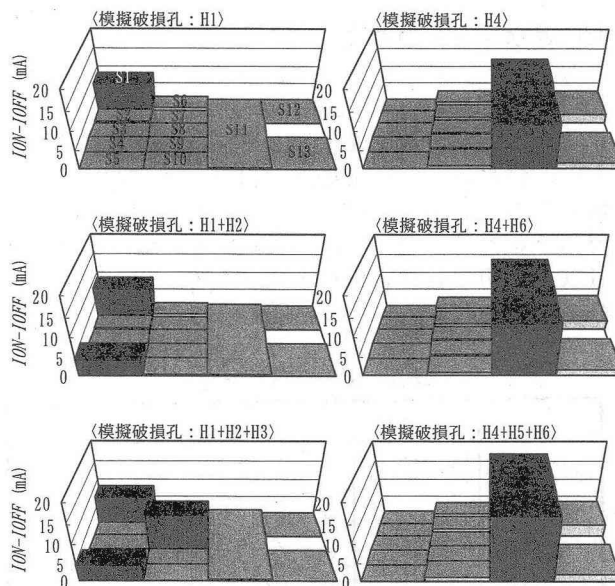


図-10 電流増加値 (複数の模擬破損孔 : H1～H6)

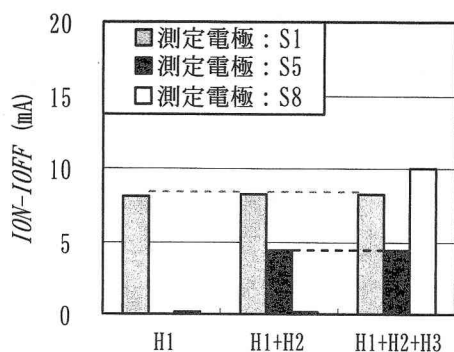


図-11 破損を含む測定電極での電流増加値
(模擬破損孔: H1, H2, H3)

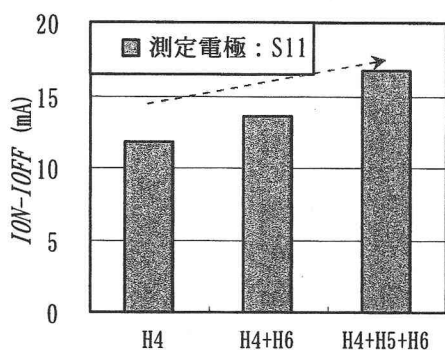


図-12 破損を含む測定電極での電流増加値
(模擬破損孔: H4, H5, H6)

(3) CASE3 (破損の形状が検知感度に及ぼす影響)

a) 破損形状が円形状の場合

H1に円形破損 ($\phi 10, 20, 50, 100\text{mm}$, 図-13参照) を設けたときの電流増加値を図-14に示す。円形破損の大きさがいずれであっても、円形破損を含む測定電極での電流増加値がほかの測定電極での電流増加値より高い値を示しており、円形破損の有無と場所を検知できていることがわかる。

円形破損の大きさと測定電極S1での電流増加値との関係を図-15に示す。円形破損の大きさが大きくなると、破損を含む測定電極S1での電流増加値が大きくなり、ほかの測定電極での電流増加値との差がより顕著な結果となった。すなわち、円形破損の大きさが大きくなると、検知感度が向上した。

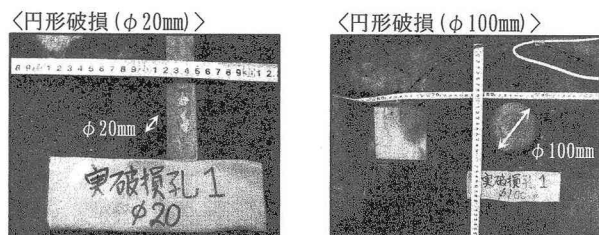


図-13 円形破損 ($\phi 20\text{mm}, 100\text{mm}$)

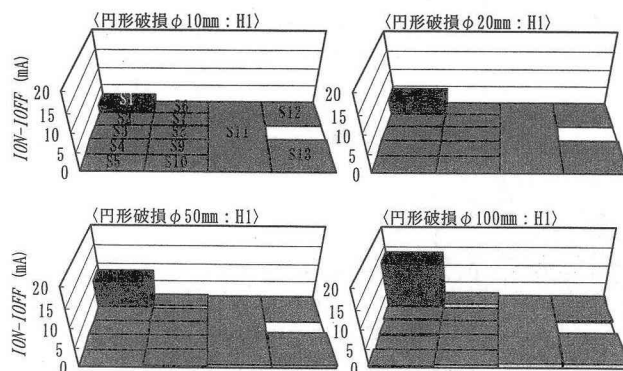


図-14 電流増加値 (円形破損: H1)

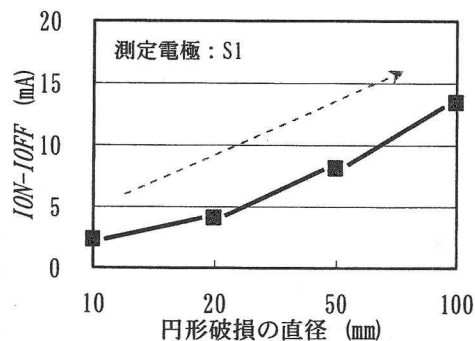


図-15 破損の大きさと測定電極S1での電流増加値

b) 破損形状が切り裂き状の場合

H1に切り裂き破損 ($L=300, L=300+300\text{mm}$, 図-16参照) を設けたときの電流増加値を図-17に示す。破損形状が切り裂き状であっても、切り裂き破損を含む測定電極での電流増加値がほかの測定電極での電流増加値より高い値を示しており、切り裂き破損の有無と場所を検知できていることがわかる。

切り裂き破損の長ささと測定電極S1での電流増加値との関係を図-18に示す。切り裂き破損の長さが増え、破損に近接する測定電極での電流増加値は大きくなり、ほかの測定電極での電流増加値との差がより顕著な結果となった。

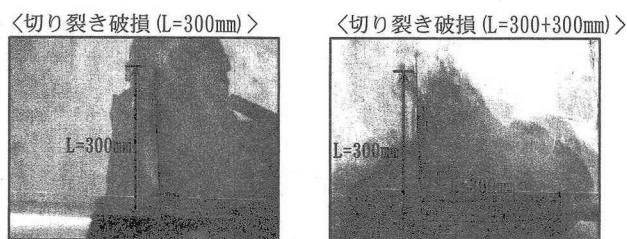


図-16 切り裂き破損 ($L=300\text{mm}, L=300+300\text{mm}$)

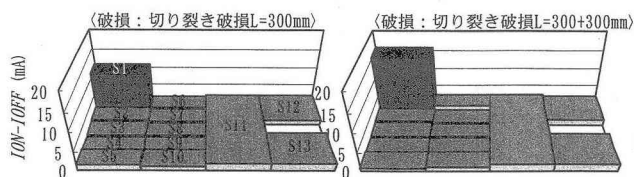


図-17 電流増加値 (切り裂き破損: H1)

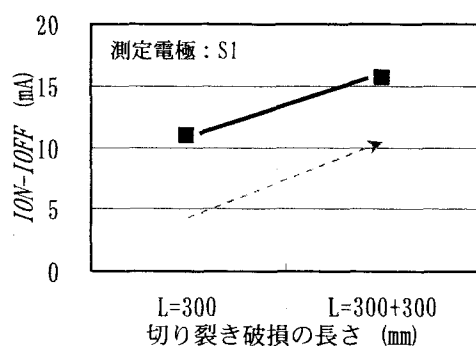


図-18 破損の長さと測定電極S1での電流増加値

5. まとめ

(1) 得られた結果

漏水検知システムの大型モデル実験を行い、次の結果を得た。

- ・ 遮水シートの破損場所が遮水シートの底面部側の端部に近づく、検知感度が低下する。
- ・ 破損を含む測定電極とは異なる測定電極内に新たな破損が生じると、新たな破損を含む測定電極でのみ電流が増加し、複数の測定電極内にそれぞれ破損が生じて、すべての破損を検知することができる。
- ・ 一つの測定電極内での破損の数が増えると、破損を含む測定電極での電流増加値が大きくなり検知感度が向上する。ただし、電流増加が認められた測定電極内に含まれる破損の数と測定電極内での破損場所を特定することはできない。
- ・ 破損の形状が円形状である場合、その大きさが

大きくなると、破損を含む測定電極での電流増加値は大きくなり、ほかの測定電極での電流増加値との差がより顕著となる。

- ・ 破損の形状が切り裂き状である場合、その長さが長くなると、破損を含む測定電極での電流増加値は大きくなり、ほかの測定電極での電流増加値との差がより顕著となる。

(2) 今後の検討課題

大型モデル実験を行った結果、電氣的漏水検知システムの海面処分場での適用性が高いと考えられた。しかしながら、今回の実験では、破損の評価を定性的に判断するにとどまった。今後は、破損の定量的な評価手法をはじめとしたシステムの設計手法を構築していく予定である。

参考文献

- 1) 管理型廃棄物埋立護岸設計・施工・管理マニュアル：（財）港湾空間高度化環境研究センター，平成12年2月。
- 2) 柳橋寛一ら：海面処分場に適用可能な漏水検知システム（その1），土木学会第58回年次学術講演会講演概要集，平成15年9月。
- 3) 小久保裕ら：海面処分場に適用可能な漏水検知システム（その2），土木学会第58回年次学術講演会講演概要集，平成15年9月。
- 4) 羽田晃ら：海面処分場に適用可能な漏水検知システム（その3），第14回廃棄物学会研究発表会講演論文集，平成15年10月。
- 5) 五月女洋ら：海面処分場に適用可能な漏水検知システムの開発，第25回全国都市清掃研究・事例発表会，平成16年2月。