

光計測による廃棄物処分場遮水シート漏水検知システムの開発

椿 雅俊*

要 約： 環境問題の高まりから廃棄物最終処分場の漏水問題がクローズアップされている。新設の処分場に関しては漏水位置を短時間で特定できる漏水検知システムの導入が求められている。廃棄物最終処分場における遮水シート漏水検知システムは電気的検知法と物理的検知法とに大別できる。前者は漏水位置の特定が短時間で可能であるが、一部の遮水材料に対応できない、落雷等の電気的影響を受けるといった不利がある。また、後者においては漏水位置の特定は難しく時間も要する。そこで電気的な影響、シートの材料に左右されない利点をもった光ファイバに着目し、その計測技術を応用した漏水検知システムの検討をおこなった。光ファイバによる計測は、検討した結果から漏水発生から短時間で位置を検知できることが確認できた。本報では漏水検知システムとしての光ファイバの適用性および検知システムの実用性について実施した実験について報告する。

キーワード： 光ファイバ、漏水検知、廃棄物処分場

目 次： 1.はじめに 5.おわりに
 2.システムの概要
 3.漏水検知システム確認実験
 4.まとめ

1. はじめに

電気的漏水検知法と同様に漏水位置を特定できる検知システムとして、光ファイバを用いた漏水検知システムの開発を行ってきた。光ファイバを用いた漏水検知システムは電気的な影響を受けない、不絶縁性の材料でも検知可能といった電気的検知法の欠点をカバーすることができる。ここでは光ファイバによる漏水検知システムの確認実験を実施したので報告する。

2. システムの概要

2.1 測定原理

光ファイバ漏水検知システム（以下本システムとする）の測定原理は OTDR*方式を採用している。これは光ファイバに局部的な曲げ部が生じると、透過光の漏洩が発生し、光ファイバ中の光の伝送損失が増加する。この損失発生位置と損失量を光ファイバに接続した測定器で測定する。測定原理及び測定器械を図-1、図-2 に示す。

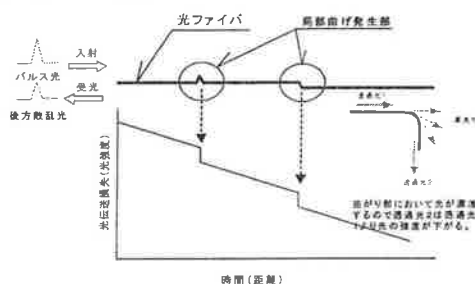


図-1 光ファイバによる光損失測定原理 (OTDR)



図-2 OTDR 方式光損失測定器械

2.1 漏水検知システムの構成

本システムは光ファイバと検知センサで構成され、センサ内には袋状の吸水性膨張材が収められている。この膨張材には吸水性ポリマー材を不織布で包んだものを使用しており、この膨張材が漏水によって湿潤し、膨らむことにより光ファイバ線を曲げる。この曲がり部分を測定器で検出することによって漏水した箇所を特定することができる。実施した実験は、吸水性膨張材を選定するための材料実験および小規模フィールドにおける検知システム動作確認実験である漏水検知システムのイメージ図及びセンサの形状を図-3、図-4 に示す。*OTDR : Optical Time Domain Reflectometry

*技術研究所 土木研究室

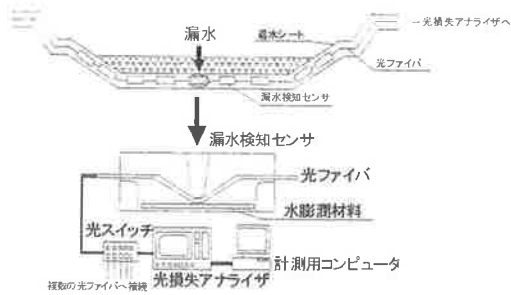


図-3 光ファイバ漏水検知システム構成

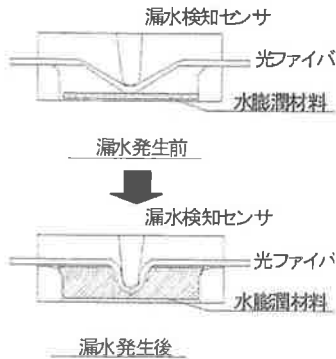


図-4 漏水検知センサ形状

3 漏水検知システム確認実験

光ファイバによる漏水検知システムの実用性、検知センサの形状を決定するために下記項目の実験を実施した。

- ① 水膨張材料選定のための材料試験
- ② センサ形状決定のための光損失確認実験
- ③ 検知システムの実用性確認実験

3.1 水膨張材料選定のための材料試験

光ファイバを曲げるための膨張材の選定を行うために、吸水膨張実験を実施した。吸収性膨張材を選定する場合、その材料に対して必要とされるスペックは、①吸水後の反応時間が長いこと②光ファイバ線を曲げるのに、十分な膨張量が確保できること等である。今回用いた材料は、袋状吸水性ポリマー材、膨潤性ゴムである。

3.1.1 実験概要

各膨張材の基本性能を確認する実験方法は、膨張材（50×40mm）に所定量（5,10,15ml）の水を吸水させ、その膨張量の径時変化を観測した。これらの結果より、各膨張材における吸水量と膨張量の関係を把握し、光ファイバの光損失実験の結果と併せ膨張材を収める検知センサの形状検討を行った。

3.1.2 実験結果

吸水性ポリマー材、膨潤性ゴム材について膨張量、膨張収縮量の径時変化を測定した結果を図-5、図-6に示す。

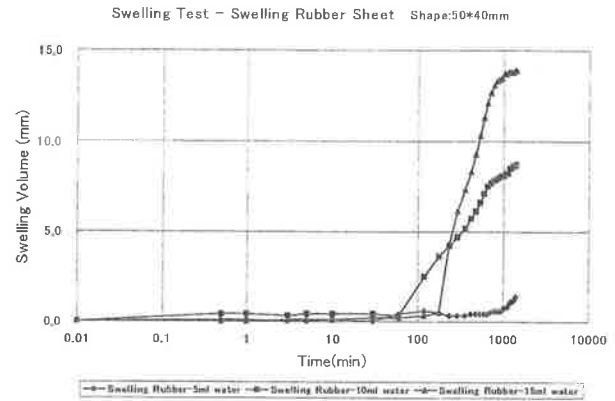


図-5 膨潤性ゴム材による膨潤量径時変化

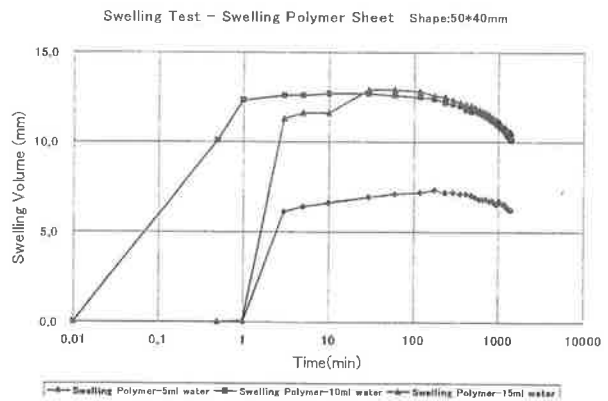


図-6 吸水性ポリマー材による膨潤量径時変化

実験結果より、吸水性ポリマー材は吸水後、約1分ほどで最大膨張量に達した。これに対してゴム材では約4時間程度かかった。これより漏水が発生してから検知センサ内へ浸水する時間を考慮に入れた場合、ゴム材では速やかな漏水検知は困難であると思われる。

膨張量に関しては両者とも13mm程度で同様な変形を示した。しかし、膨潤性ゴム材では変形するまでかなりの時間が掛かること、吸水量が少ないときは吸水性ポリマーに比べ変形が少ないことがわかった。以上より今回の実験結果から漏水検知センサとして膨潤材料を選定するには、反応時間が短く、光ファイバを曲げるのに十分な膨張量が得られる吸水性ポリマー材を採用することとした。

3.2 センサ形状決定のための光損失確認実験

検知センサ内で光ファイバを曲げるためのセンサ内部の形状を決定するために、光ファイバの曲げ損失の計測を実施した。前述したとおり、検知個所の特定は、光ファイバ線が曲がることによってその部分で光損失が発生し、計測器によってその場所が特定できる。しかし、1本のファイバ線で複数箇所曲がりが発生したときは、全ての光損失を測定できないことがある。これは1本のファイバで検出する光損失の量は限界があるため

である。例えば複数箇所で漏水が発生し、1本のファイバ線
それを検知する場合、一箇所の光損失が大きすぎると他の点で
の光損失は計測出来ず、正確な検知システムの機能を果たさな
いことになる。この実験では光損失が発生し、それを測定でき
る最小曲率を求め、1本のファイバ線にセンサを設置する際の
必要センサ間隔、必要曲率半径を求めた。

3.2.1 実験概要

図-7 に示す曲げ発生部の形状を変えた4種類のセンサに光
ファイバ線を設置しセンサ内部に注水した。注水後5分おきに
光損失の測定をおこなった。ここで検知センサに要求される項
目は、

- ① 初期設置状態(乾燥状態)で損失が無いこと。
- ② 複数個直列にセンサを設置するためには、センサ1個当
たりの損失が小さいこと等あげられる。

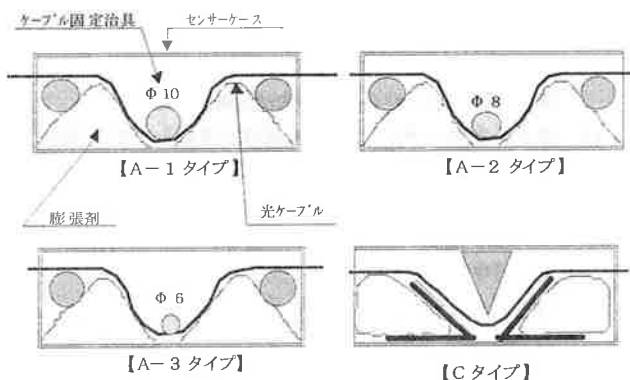


図-7 検知センサ構造

3.2.2 実験結果

表-1 に計測した光損失量 (dB) を示す。4種類の中で A-
1タイプが最少光損失量となったが初期段階においてすでに光
損失が発生してしまっている。乾燥状態で光損失が発生してい
ないのは A-3のみであり、光損失量も 1.14dB と小さく1本の
ファイバに複数のセンサを設置することが可能である。

表-1 光損失測定結果

	A-1タイプ	A-2タイプ	A-3タイプ	Cタイプ
乾燥状態	0.20	0.40	0.00	2.40
注水直後	0.37	0.44	0.00	6.51
5分後	0.56	3.18	0.30	5.98
10分後	0.65	3.09	1.14	7.80
15分後	0.75	3.06	1.14	8.90
20分後	0.75	3.06	1.14	8.90
25分後	0.75	3.06	1.14	8.90
30分後	0.75	3.06	1.14	8.90

実験結果より本システムに用いる検知センサの形状は、A-3
の形状を採用する。図-8 に、実用性の確認実験に使用するセ
ンサ形状を示す。また、センサ設置間隔については、20m 間隔
にすることで隣接するセンサの光損失を区別できることがわか
った。

3.3 検知システムの実用性確認実験

検知センサに用いる材料、形状を決定した後、小規模フィー
ルドにて実際の処分場における遮水構造体に本システムを設置

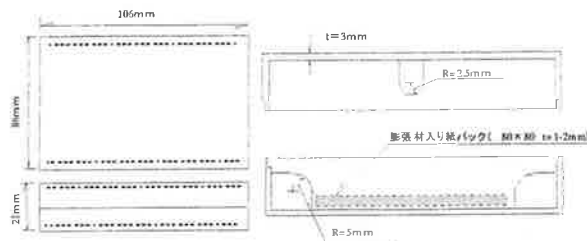


図-8 決定した漏水検知センサ形状

し、その実用性を確認した。

3.3.1 実験概要

本実験に採用する遮水構造は、合成ゴムシートを用いた二重
構造体とする。上部遮水シートの任意の箇所に孔をあけ注水を行
い(漏水箇所)その時の光損失量を測定した。使用するセン
サは強化プラスチック製の箱に特殊吸水性ポリマー材を入れた
ものを採用した。形状は図-8 と同様である。また、光ファイ
バには平型の耐候性のものを使用した。センサの設置は遮水シ
ートで挟み込むように設置し、センサ間隔は1mとした。ここ
で、光損失確認実験の結果からセンサ間隔は20m 以上あげる
ことでセンサ同士の区別ができるという結果が得られたが、こ
れはセンサ間隔が20m 以下だと隣接するセンサ同士で干渉し
てしまうため、漏水の検知は可能でも位置を特定することがで
きない可能性が生じる。しかし、実際の廃棄物処分場において、
センサ間隔が20m 以上でないと実用できないとなると汎用性
がなく実用的でない。これらの問題を解決する手段としては、
センサの間隔は任意の位置に設置し、センサ間の光ファイバ長
は20m 程度とる必要がある。本実験を実施する前に、まず、セ
ンサ間隔を1m、センサ間の光ファイバの長さを20m とし、4個
のセンサを設置して測定を実施した。ファイバ長20m では問題
なく位置検知ができたので、光ファイバの長さを10m にし、光
ファイバ線1本に9個の検知センサを設置し連続測定の確認を実
施した。

3.3.2 実験条件

実験に使用した機器は、

OTDR 測定器: MW9076B1 波長=1.31/1.55 μm(図-2 参照)

光ファイバ: 4心光ファイバテープ (UV被覆SM型)

幅 1.1mm×厚さ 0.3mm、許容曲げ半径 30mm、損失 0.3 d
B/km

光ファイバの形状、遮水構造を図-9、図-10 に示す。

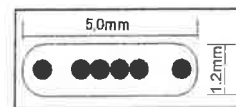


図-9 光ファイバの形状

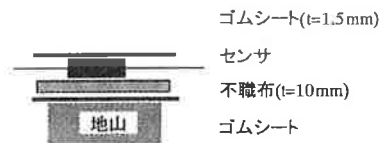


図-10 遮水構造

本実験におけるセンサの間隔, センサ配置図を図-11, 図-12に示す。

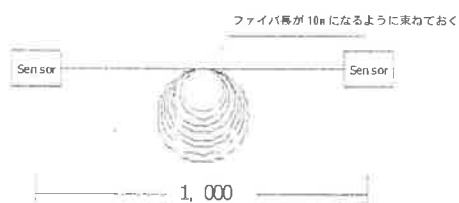


図-11 センサ間隔

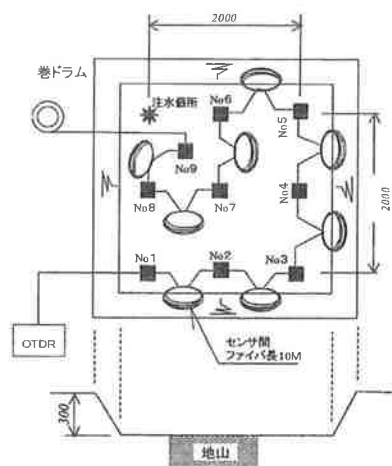


図-12 検知センサ設置状況

3.3.3 実験結果

表-2 に注水結果を示す。実験結果から漏水が発生してから概ね 1 時間程度ですべてのセンサの検知が完了した。これは地盤の勾配, 中間保護マットの性状によって, 多少変化すると考えられるが, 概ね良好な結果が得られた。

参考文献

- 1) 椿 雅俊, 遠藤 修, 他 2 名: 光計測による遮水シート漏水検知システムの開発実験, 平成 15 年度土木学会全国大会第 58 回年次学術講演会Ⅶ部門 p321~p322

表-2 注水実験結果

センサNo.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
OTDR測定器からの位置	30m	40m	50m	60m	70m	80m	90m	100m	110m
検知時刻	15:03	15:00	14:47	14:45	14:46	15:09	14:46	15:14	14:36
注水開始からの時間	33min	30min	17min	15min	16min	39min	16min	44min	66min

4. まとめ

実験で確認できたことをまとめると,

- (1) 光損失確認実験ではセンサ間隔 (必要ファイバ長) は, 20m程度必要としていたが, 実用性確認実験でファイバ長は, 10m あればセンサの識別が可能であることがわかった。
- (2) センサが水に触れると, 約 1 分程度で水膨張材は反応するが位置検知の測定には, 約 2 分必要である。
- (3) 1 本のファイバにおけるセンサの漏水検知は, 最大 9 箇所であることがわかった。(光損失測定器から 9 個目までのセンサについては位置検知が可能であるが, それ以降設置するセンサの位置検知は困難である。)
- (4) 温水を利用し, 熱による影響確認を実施したが, 光損失の反応には, 影響無く検知が可能である。

光損失アナライザによる損失波形は階段状に現われるので, 画面上での漏水発生, 位置確認は容易である。(検知システムソフトへ移行中)

5. おわりに

本システムは二重遮水シート方式に対し有効な漏水検知システムである。しかし, シート敷設およびセンサ設置時には雨天の影響を受けるためこれらの養生を考慮した施工方法を考える必要がある。今後, 検知システムの設置方法および遮水シートの施工方法を改善することが課題として挙げられる。

Development of waterproof seat leakage detection system for the landfill site with optical measurement

Water leakage problem of the landfill site has closed up from the increasing of environmental problem. When the new landfill site is constructed, installation of the water leakage detection system, which it can detect water leakage position at brief is required. It can roughly classify with to electric detection method and physical detection method the water leakage detection system in the landfill site. Former specification of water leakage position is possible at brief, but, it cannot correspond to the part of waterproof material, there is a disadvantage that it receives the electric influence of the thunderbolt and the like. In physical detection method, it is difficult to find water leakage point. In addition, it takes long times for detection. Then, we paid attention to the optical fiber that had the advantage of not being influenced by electric influence and the material of seat. We examined the water leakage detection system that applies the measurement technology. From the result that was examined it could verify the measurement by the optical fiber, from water leakage occurrence that position can be inspected at brief. It reports concerning the experiment that is executed concerning the applicability of the optical fiber and the practicality of the inspection