

N-8 Fe(III)-EDTAをトレーサに用いた 鋼製遮水壁の漏洩検知手法

○岡 由剛^{1*}¹ J F E技研株式会社 土木・建築研究部 (〒210-0855川崎市川崎区南渡田町1番1号)

* E-mail: yos-oka@jfe-rd.co.jp

1. はじめに

鋼矢板壁や鋼管矢板壁等の鋼製鉛直遮水壁は、期待される遮水性能を発揮しているかを施工後、原位置で確認することが困難である。特に廃棄物海面処分場の鉛直遮水壁では周囲が海水のため、陸上処分場の遮水シートの漏洩検知で用いられる電気的な方法を適用することができない。本研究では、海水のようにアルカリ雰囲気下では Fe^{3+} イオンが遊離イオンとしてほとんど存在し得ないことに着目し、EDTAによりキレート化して人工トレーサとして用いる方法を検討した。模型実験および三次元移流・拡散解析により、適用性を検討した結果を報告する。

2. 鋼製遮水壁の漏洩検知手法の検討

陸上における廃棄物処分場の遮水構造としては、遮水シートが用いられるのが一般的であり、遮水シートが破損し汚水が漏洩する可能性があることから、破損前後での電気的特性の変化を利用して漏洩を検知する方法が広く用いられている¹⁾。海面廃棄物最終処分場の鉛直遮水壁として用いられることが多い鋼矢板や鋼管矢板による鋼製遮水壁の場合も、部材同士は継手を介して接続されるため、接続部分から汚水が漏洩する可能性があるが、鋼製遮水壁は電気伝導度が高いため電気的検知方法の適用は困難である。他の手段としてトレーサ法が挙げられるが、周囲に海水がある場合、陸上部の地下水の調査で良く用いられる食塩等の電解質をトレーサとする方法は、バックグラウンド濃度が高く適用できない。またフロレンセン等の染料を用いる方法は、検出精度が低く遮水壁のように対象とする面積が広い場合は適用が困難である。さらに放射性同位体を用いる方法は環境に対する影響が懸念され、安定同位体を用いる方法は分析に時間と費用がかかる問題がある。

本研究では、トレーサ物質としてFe(III)-EDTA錯塩を

用いることを検討した。海水中で使用することを前提とした場合、海水のpHが8程度のためアルカリ金属またはアルカリ土類金属が安定であるが、バックグラウンド濃度が高いためトレーサ物質には向かない。またハロゲン元素も海水のpHでは安定であるが、同様にバックグラウンド濃度が高い。これらハロゲン元素の酸素酸塩（例えばヨウ素酸イオン IO_3^- 、臭素酸イオン BrO_3^- ）を用いることが考えられるが、酸化作用が強く毒性があることから採用は難しい。

金属類は海水pHを考慮すると水酸化物生成領域であるため、金属錯体をトレーサ物質として用いることが考えられる。表1に示す海水中の微量元素のうち、濃度が低く毒性が無く、かつ安価に入手できる物質として鉄が最も適している。

表1 海水中の金属元素含有量の比較²⁾

元素	海水中濃度(ppm)
珪素	3
アルミニウム	0.001
鉄	0.003
カルシウム	0.041
マグネシウム	1350
ナトリウム	11000
カリウム	410
チタン	0.001
マンガン	0.002
モリブデン	0.01
ストロンチウム	8
バナジウム	0.002
ニッケル	0.007
ジルコニウム	0.00005
亜鉛	0.01
銅	0.003
スカンジウム	0.00004
コバルト	0.0004

キレート剤としては産業用用途で広く用いられており、重金属イオンと強固な溶解性錯塩を容易に形成するエチレンジアミンテトラ酢酸 (EDTA) を用いるものとした。

EDTAは環境中に排出された場合、どの金属とキレートを作るかによって毒性が異なるが³⁾、Fe(III)-EDTA錯塩の毒性は極めて低いと考えられる。また海水中においてFe(III)-EDTA錯塩は安定であり、毒性を持つ物質に変化する可能性は低いと考えられる。

鋼製遮水壁の漏水検知用途に用いた場合、鋼製遮水壁からの鉄分の溶出により検知精度が悪化することが懸念されるが、熱力学的に安定なFe(III)の溶解度は極めて低く、海水中の鉄はすばやく3価の粒状水酸化鉄として除去されるため、試料をろ過処理することでコンタミネーションを防ぐことが可能である。

また海水中の鉄の濃度については原子吸光法など広く普及している方法を用いて分析が可能であり、分析に要する時間と費用を少なくすることが可能である。

実際に海面廃棄物最終処分場の鉛直遮水壁でトレーサ法により漏洩検知を試みた場合、海水に直接面した箇所では波浪や潮汐、潮流等によりトレーサが希釈されてしまう。そこで図1に示す継手内に止水処理用の空洞をもつ遮水壁用に開発された鋼矢板（以下、遮水鋼矢板）を使用し、継手内の空洞からサンプリングすることで、精度良く継手の漏洩検知ができると考えた。

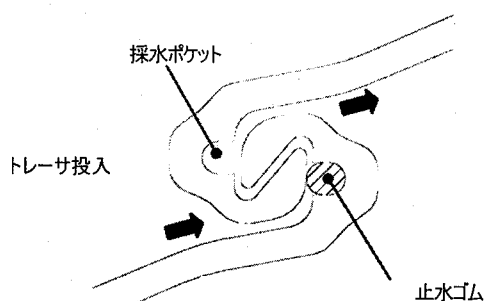


図1 遮水鋼矢板継手部

3. トレーサ法の適用性検証

(1) 鉛直遮水壁の部分模型による検証実験の概要

廃棄物海面処分場の鉛直遮水壁として図2に示す遮水鋼矢板二重壁断面を想定し、破線の丸で囲まれた部分を取り出した形で土槽内に模型を作成し、検証実験を行った。遮水鋼矢板の継手には、二箇所の空洞があるが、中詰め側には止水ゴムがあらかじめ設置されており、反対側は空洞のままであることを想定している。土槽の中央に遮水鋼矢板3枚を並べ、片側に砂と人工海水を入れ二重壁堤内側とする。砂層は水中落下法で作成し、砂粒子の間に空気が残らないように注意しながら1300mmの深さとした。砂は鹿島珪砂4号を使用した。締め固めは行ななかったため相対密度Drは14%と非常に緩詰め地盤となった。処分場側となる反対側は砂を入れず、堤内側

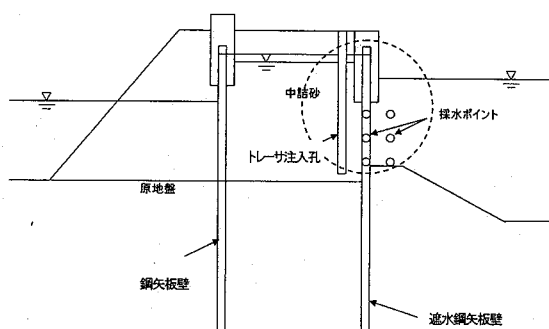


図2 モデル断面

より常に500mm低くなるよう水位をコントロールする。堤内側の遮水鋼矢板壁の法線から500mmの位置に有孔管を設置しトレーサ投入孔とした。中央の遮水鋼矢板の空洞部には止水ゴムを取り付けるが、片側の止水ゴムには下端から500mmの位置に意図的に欠損部を設け、適度な漏水が発生するように細工を行った。堤内側と処分場側の水位差による流れが安定するのを待ち、トレーサ投入孔よりトレーサ溶液を流し込む。継手内空洞部、継手近傍、投入孔および処分場側海水から、サンプルを採取しトレーサ濃度を測定した。

土槽内の水位を、砂地盤側は1400mm、反対側は900mmとして一晩放置し、排水孔からの時間当たり排水量を測定したところ、15ℓ/hで安定していた。健全な止水ゴムの付いた継手からの漏水量は1時間に1cm³以下であると計算されるため、ほとんどが止水ゴム欠損部からの漏水である。壁面積を1.2×1.4mとし、50cm厚さ換算透水係数を計算すると2.5×10⁻⁴cm/sとなる。なお漏水分に相

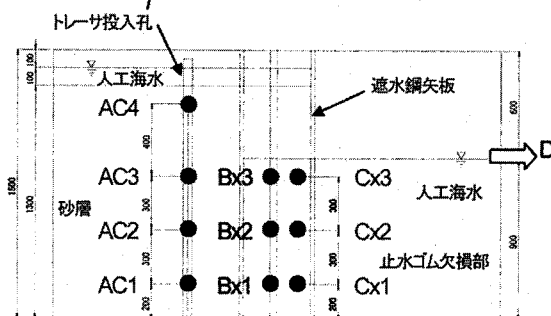
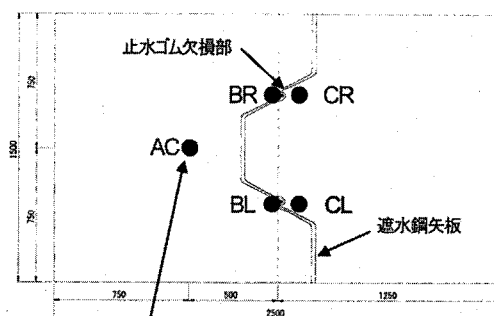


図3 サンプル採取位置

当する人工海水をトレーサ投入孔から随時注ぎ足して、砂層側の水位が低下しないようにした。トレーサ溶液注入量は土槽の砂層側の容積の1%程度を目安とし22ℓとした。トレーサ溶液は、トレーサ投入孔にホースを挿入して流し込み、自然流下により底部から拡がるようにした。

サンプル採取は、トレーサ投入孔は下端から200mm, 500mm, 800mm, 1200mmの4箇所、空洞内および継手近傍からは下端から200mm, 500mm, 800mmの3箇所にて採取した。またオーバーフロー水1箇所でも採水した。採取位置を図3に示す。

採水方法は、ペイラーサンプラーを使用し、浅い側から順番に採取した。継手ポケット内は、樹脂性の管を挿入し、ハンドポンプで水を吸い上げた。ただしなるべく採水ポイント周辺の海水だけを採取するように心掛けたが、分析のため最低でも20ccが必要であり、ポケット外の海水もかなりの割合で混入したと考えられる。

採水のタイミングは、トレーサ投入直後、3時間後、6時間後、24時間後の4回とした。採取したサンプルは、5Bろ紙によりろ過後、フレイム原子吸光法によりFe(III)の濃度を計測した。測定可能な濃度の下限值は0.05ppmである。

(2) 実験結果

表2に鉄濃度の測定結果を示す。なおトレーサ溶液中の鉄濃度の測定結果は1400ppmであった。

止水ゴムが健全な継手付近のBL, CLでは6時間後まで濃度上昇が見られないのに対し、止水ゴムに欠損部分のある継手内のBRではトレーサ投入直後から、継手近傍のCRでは6時間後に濃度の増加が観察された。BL, CLで24時間後に濃度が増加しているのは、継手内のBLの方が濃度が小さいことから、欠損部分から漏出した海水がまわりこんだためだろう。

以上の結果から、Fe(III)-EDTAを用いたトレーサ法により、止水ゴムの欠陥部の有無を判別できることが実証されたといえるだろう。また継手内の空洞部と継手近傍

表2 サンプル中の鉄濃度 (mass pm)

	投入直後	3時間後	6時間後	24時間後
AC4	1190	39.7	<0.05	<0.05
AC3	1270	16.1	<0.05	<0.05
AC2	1250	11.7	<0.05	<0.05
AC1	1170	17.1	<0.05	<0.05
BL3	<0.05	<0.05	<0.05	0.61
BL2	<0.05	0.06	<0.05	0.46
BL1	<0.05	<0.05	0.09	0.63
BR3	0.06	0.98	7.7	13.5
BR2	0.08	1.72	8.3	12.9
BR1	<0.05	1.8	7.2	10.2
CL3	0.07	<0.05	<0.05	1.01
CL2	<0.05	<0.05	<0.05	0.9
CL1	<0.05	<0.05	<0.05	0.89
CR3	<0.05	<0.05	0.38	1.23
CR2	<0.05	<0.05	0.43	1.05
CR1	<0.05	<0.05	0.44	1.02
D	<0.05	<0.05	0.18	6.06

では濃度が1オーダー異なり、遮水鋼矢板の空洞部を利用したサンプリング方法の有効性を証明できた。しかし深度方向で明確な傾向はあられず、漏水位置を特定するまでにはいたらなかった。これは今回の採水方法や、深度方向の採水地点の間隔の狭さ、人工欠陥部からの時間当たり漏水量の多さが原因と考えられる。

参考として、本実験を対象として三次元移流拡散解析を行った結果の一例として、トレーサ物質のパスラインを示す。実験結果と比較して濃度が一致するレベルには至っていないが、定性的には濃度の分布や経過が再現できていると考えられ、実構造物においても調査計画立案において利用できると思われる。

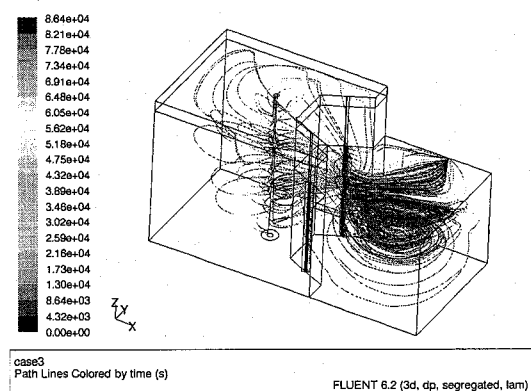


図4 三次元移流解析によるパスライン

4. まとめ

以上の実験および解析から、Fe(III)-EDTAを用いたトレーサ法を、海面廃棄物最終処分場の鋼製鉛直遮水壁継手の漏水検知に適用した場合、漏水量の定量的評価は難しいものの、施工時の止水処理部の破損の有無を検知することは十分に可能であることが示された。また継手に空洞部を持つ遮水鋼矢板壁の場合、空洞部をサンプル採取に利用することで、継手外でサンプリングする場合に比べて1オーダー高い濃度でトレーサが検出され、その有効性が検証された。

今後は実構造物を対象に適用性を検証する予定である。

参考文献：

- 1) 高木, 佐久間, 福岡：最終処分場の遮水と漏水探査技術の現状, 基礎工, 1996.2, pp.74~77
- 2) 矢田浩, 「鉄理論＝地球と生命の奇跡」, 講談社現代新書, 2005
- 3) 環境省, 化学物質ファクトシート2004年度版, エチレンジアミン四酢酸(PRTR政令番号：1.47)