

# 老朽化農業用排水路の鋼矢板・コンクリート複合材による保全に関する研究

鈴木哲也<sup>1\*</sup>・山岸俊太郎<sup>2</sup>・森井俊広<sup>1</sup>・河合隆行<sup>3</sup>

(平成25年1月31日受付)

## 要約

鋼矢板は農業水利施設の構築において重要な構造材料である。農業水利システムの適切な保全管理には、鋼矢板・コンクリート複合材を用いるなど劣化外力に対する構造部材の保全策が不可欠である。本研究では、鋼矢板水路の長期保全に資する複合材の有効性を検討するため、AE (Acoustic Emission) 法を用いた鋼矢板・コンクリート複合材の曲げ荷重における力学特性評価を試みた結果を報告する。実験に供試した既設鋼矢板の腐食量は超音波法により計測した。鋼矢板・コンクリート複合材の破壊過程は、AE パラメータである Calm 比により評価した。Calm 比は曲げ試験の荷重・変位過程の AE 発生挙動から算出する指標であり、本実験的検討の結果から複合材の破壊過程を定量的に評価できることが確認された。

新大農研報, 65(2):165-169, 2013

キーワード：鋼矢板、腐食、鋼矢板・コンクリート複合材料、力学特性、AE (Acoustic Emission)

## はじめに

近年、社会基盤施設の補修工や補強工を伴う更新事業が各地で進められている。農業水利施設においても既存施設の長寿命化による LCC (Life Cycle Cost) の低減を目的とした戦略的保全管理が展開されているが、東日本大震災に代表される突発的地震災害に伴い農業水利システムの崩壊に起因する送排水が困難になる事例が各地で確認されている。長期供用下にある既存施設の維持管理における急務な技術的課題は、農業水利システムを構成する施設群の経年劣化と突発的災害に対する確かな保全であると考えられる。

本論では、腐食の進行した農業用鋼矢板排水路を対象に腐食特性を概観するとともに、矢板表面の保護を目的としたコンクリート被覆による矢板・コンクリート複合材による矢板の表面保護の有効性と力学的観点からの提案手法の有効性を検証する。

## 農業用鋼矢板排水路の腐食実態と性能評価

### 1. 鋼矢板の腐食機構

農業水利施設の構造部材として用いられている鋼矢板は、鋼材の腐食反応により断面を減少させる。一般的に設計段階において腐食率が設定され、腐食後も構造安全性が確保できるように構造設計が行われている。農業水利施設の場合、腐食代は一般環境において表裏あわせて 2mm である (農林水産省農村振興局, 2001)。本研究において実証的検討を行った新潟県亀田郷地区では、図 1 に示す通り腐食が進行し、矢板断面の欠損が確認される区間が散見された。一般的に水の接する鋼矢板の腐食は、鋼表面に拡散する酸素濃度に依存する (松島, 1980)。鋼矢板の腐食特性については 1980 年代を中心に港湾構造物において多くの報告が行われている (例えば、溝口ら, 1987; 横井ら, 1989)。農業水利施設の事例では、水面付近での急激な



図 1. 農業用矢板水路の末期的腐食状況

腐食の進行が農業用鋼矢板排水路を対象に報告されている (峰村ら, 2012)。

2. 鋼矢板排水路の腐食実態 - 新潟県亀田郷地区の事例として -  
筆者らは既存施設での矢板の腐食状況を概観するため、新潟県亀田郷地区を対象に 19 路線 87 カ所の鋼矢板および軽量鋼矢板の残存矢板厚さを超音波法により調査した。調査結果を図 2 に示す。なお、矢板の分類を明確にしなければならない場合を除き以後、矢板名称の記述を「鋼矢板」に統一する。

検討の結果、供用年数の増加に伴い施工当初の矢板厚を 100% とした場合、年 1% 程度の断面の減少傾向が確認された。厚さ 6mm の軽量鋼矢板の場合、施工後 40 年で 2.4mm 程度の断面減少となる。鋼矢板断面の残存率 100% に着目すると経過

<sup>1\*</sup> 新潟大学農学部生産環境科学科

<sup>2</sup> 新潟大学大学院自然科学研究科

<sup>3</sup> 新潟大学災害・復興科学研究所

\* 代表著者: suzuki@agr.niigata-u.ac.jp

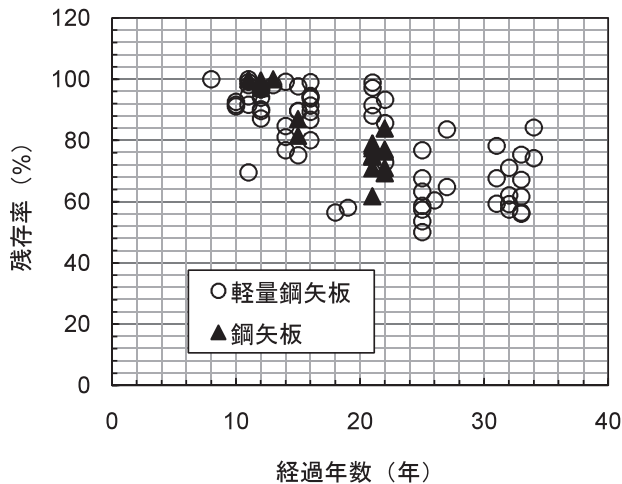


図2. 腐食率と供用年数の関係

年数20年までは確認できるが、それ以後、残存率80%程度が最大値となる。鋼矢板と軽量鋼矢板のいずれの施設においても施工後20年経過すると腐食が顕在化するものと考えられる。本検討結果を踏まえて、目視観察を行った結果、矢板の鉛直方向の腐食厚さは常時水位の水面付近で腐食の進行が他の部位と比較して早いことが確認された。かんがい期と非かんがい期とで常時水位が異なる場合、各常時水位で腐食が進行していることが確認された。

そこで本研究では、腐食代が残存する既設矢板を保全するためにコンクリート被覆による保護工法を検討した。

## コンクリート被覆による腐食矢板保護工法の開発

### 1. 開発手法の特徴

開発手法の特徴は、コンクリートにより鋼矢板表面を保護することにある。一般的に腐食鋼矢板の補修工法は、矢板表面にプライマーを塗布し、樹脂等で保護する工法が多用されている。表面被覆材としてコンクリートを用いる利点は、LCCの低減のみならず、コンクリートのアルカリ性が矢板の腐食促進を抑制する効果も期待できることにある。

本研究では既存の鋼矢板排水路において提案手法を実験的に適用するとともに、モデルによる曲げ載荷試験を実施して力学特性を評価した。本報ではモデル試験結果を詳説し、提案手法の力学特性について検討した結果を報告する。

### 2. 検討ケース

モデル試験は4ケースについて検討した。各ケースの条件を表1に示す。Case 1: 既設矢板 (軽量鋼矢板、板厚  $t = 4.2 \sim 6.1\text{mm}$ )、Case 2: 未使用矢板 (軽量鋼矢板、板厚  $t = 6.0 \sim 6.1\text{mm}$ )、Case 3: コンクリート被覆を施した既設軽量鋼矢板および Case 4: コンクリート被覆を施した未使用軽量鋼矢板である。

試験荷重は検討断面における設計荷重において発生するモーメントを基準とし、既設矢板サンプルを採取した部位で発生していると考えられるモーメントの1.5倍 ( $= 27\text{kN}\cdot\text{m}$ ) を基準値とした。

表1. モデル試験条件一覧

実験ケース	試験条件
Case 1	既設矢板 (軽量鋼矢板、 $t = 4.2 \sim 6.1\text{mm}$ )
Case 2	未使用矢板 (軽量鋼矢板、 $t = 6.0 \sim 6.1\text{mm}$ )
Case 3	既設軽量鋼矢板 + コンクリート
Case 4	未使用軽量鋼矢板 + コンクリート

### 3. 実験方法

曲げ試験の載荷条件は、供試体に発生する作用モーメントが同一になるよう設定し、繰り返し載荷とした (図3)。力学特性の評価は、ロードセルにより荷重を計測するとともに、変位計 (最大変位量  $200\text{mm}$ ) による変形挙動を検出した。載荷過程における材料破壊は、破壊時に発生する弾性波をAE (Acoustic Emission) 法により検出した。AE計測は、SAMOS-AEシステム (PAC社製) を用いて行った。閾値は  $42\text{dB}$  である。検出波は  $60\text{dB}$  で増幅した。AEセンサは共振型を用い、供試体表面に8センサを等間隔で設置した。

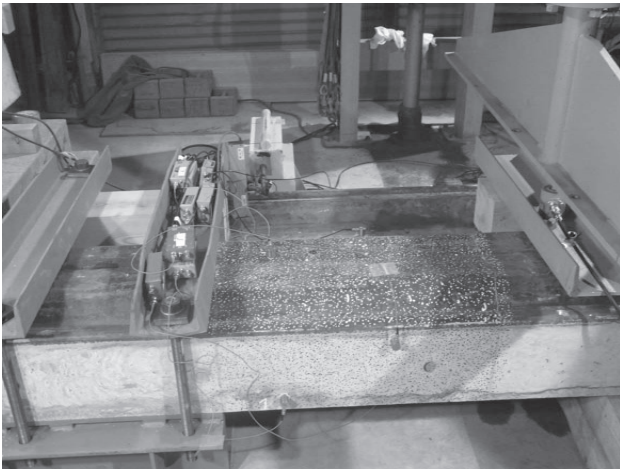
### 4. 結果および考察

#### 1) 曲げ載荷による荷重 - 変位挙動

実験的検討の結果、既設矢板と未使用矢板では荷重 - 変位挙動が異なることが明らかになった。既設矢板に曲げ載荷を行った Case 1 では  $27\text{kN}\cdot\text{m}$  において最大変位量  $34.3\text{mm}$ 、残留変位量  $3.1\text{mm}$  が確認された。未使用矢板を利用した Case 2 では、最大変位量  $22.9\text{mm}$ 、残留変位量  $0.8\text{mm}$  であった。両ケースの差は、Case 2 が Case 1 に対して最大変位量  $67\%$ 、残留変位量  $26\%$  であった。矢板材にコンクリート被覆を施した Case 3 および Case 4 では、Case 1 ~ 2 とは異なり、 $27\text{kN}\cdot\text{m}$  において Case 3 で最大変位量  $7.3\text{mm}$ 、残留変位量  $0.9\text{mm}$  であった。Case 4 では最大変位量  $10.6\text{mm}$ 、残留変位量  $1.6\text{mm}$  であった。Case 3 と Case 4 の差は最大変位量  $3.3\text{mm}$ 、残留変位量  $0.7\text{mm}$  であった。矢板のみの検討ケース (Case 1 ~ 2) では、最大変位量  $11.4\text{mm}$ 、残留変位量  $2.3\text{mm}$  の評価値の差が確認された。このことから、矢板材にコンクリート被覆を施すことにより、載荷時の複合材の変形挙動はコンクリートにより強く影響を受けているものと推察される。同様の結果は、先行研究である Sebastin *et al.* (2000) や El-Shihy *et al.* (2012) においても報告されている。先行研究の主な論点は載荷過程における荷重 - 変位挙動を踏まえて破壊挙動の観察結果を考察するものである。本研究では、これら先行研究の成果を踏まえて、より詳細な材料変形や破壊挙動を評価するために破壊過程において発生する弾性波をAE法により受動的に検出し、詳細評価を試みた。

#### 2) AEパラメータ解析

曲げ載荷過程に発生するモーメントとAEヒット数、Calm比の関係を図4~図7に示す。本研究では一連の載荷ないし除荷過程に発生するAE発生総数をAEヒット数として評価した。AEヒット数と併記されているCalm比とはNDIS2421 (2000) (日本非破壊検査協会、2000) において定義されているAEパラメータである。評価値は「除荷時に計数されたAEヒット数」に対する「履歴のサイクル中に計数されたAEヒット数」であり、評価値  $\approx 1.0$  の場合、除荷時にAEが頻発していることを



Case 3



Case 2

図3. 曲げ試験状況

意味しており、荷重 - 除荷過程における材料の安定性が低下していることを意味している。

検討の結果、矢板のみを供試した Case 1 と Case 2 では、荷重時において AE の頻発が作用モーメントの増加に伴い確認された (図4、図5)。除荷時の AE の頻発は、Case 1 においては 39kN・m で確認された。Case 2 では荷重時と比較して除荷時の AE の頻発は確認されなかった。この相違は、既設矢板を用いた Case 1 において長期供用に伴う供試材の損傷蓄積が影響したものと考えられる。

コンクリート被覆を施した Case 3 と Case 4 では、Case 1 と Case 2 とは異なり、コンクリート破壊による AE の頻発が Case 4 において確認された。Case 3 では、曲げ荷重過程においてコンクリート破壊は確認されなかったことから Case 4 と比較して 39kN・m 以降において高頻度の AE は検出されなかった。

荷重過程における Calm 比の変動は、未使用矢板のみで試験を行った Case 2 において約 0.2 ~ 0.4 の範囲で変動していたのに対して、既設矢板を用いた Case 1 では約 0.1 ~ 0.5 を計測し、Calm 比の変動範囲の増加が確認された。Case 3 では、Case 1 と同様に約 0.1 ~ 0.5 の範囲であったのに対して、コンクリート破壊が生じた Case 4 では約 0.1 ~ 0.7 と評価範囲の拡大と 35 ~ 39kN・m での評価値の増加を確認された。これは除荷時

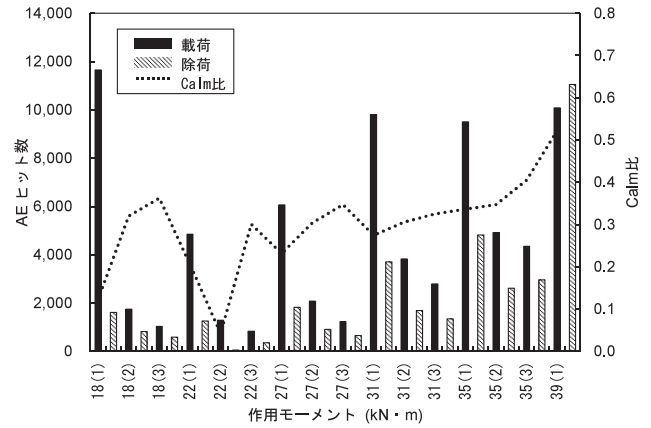


図4. AE パラメータと作用モーメントの関係 (Case 1)

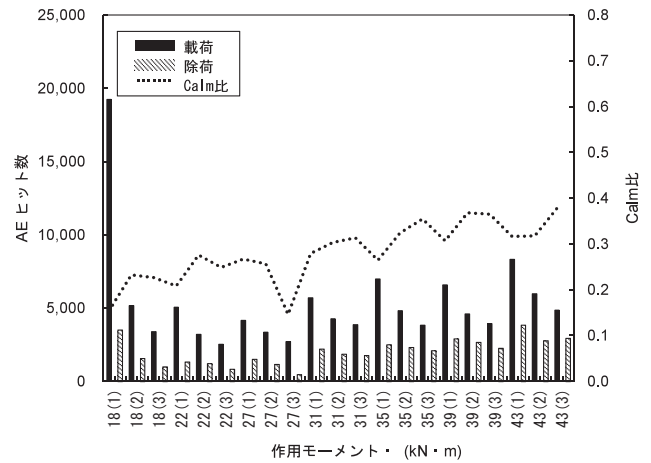


図5. AE パラメータと作用モーメントの関係 (Case 2)

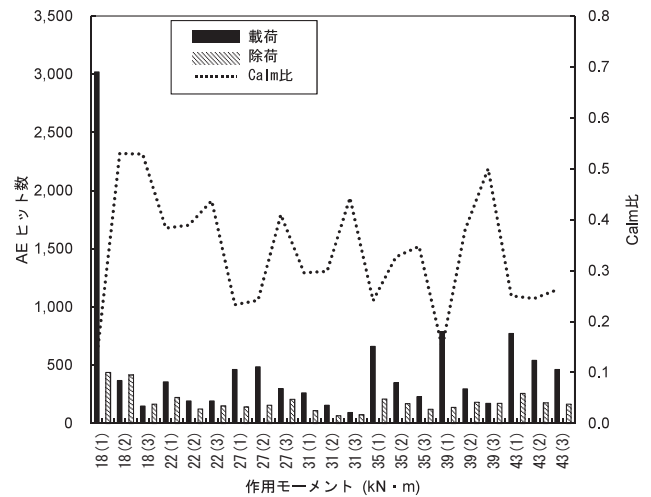


図6. AE パラメータと作用モーメントの関係 (Case 3)

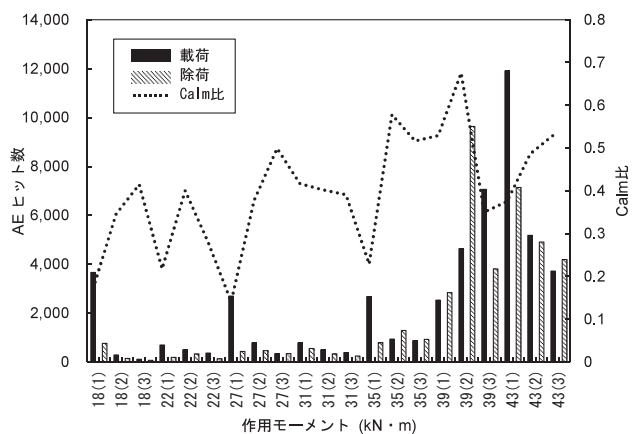


図7. AEパラメータと作用モーメントの関係 (Case 4)

におけるAEの頻発を意味しており、材料安定性がこの時点で減少していることを示唆しているものと考えられる。

以上のことから、曲げ荷重における荷重・変位過程を力学的観点から評価するとともに、載荷過程において発生する弾性波をAE法により検出した。AEパラメータによる定量評価を試みた結果、材料安定性を除荷時のAE発生頻度を指標としたCalm比から評価可能であることが示唆された。加えて、矢板-コンクリート複合材の耐荷性能は、載荷過程におけるコンクリート挙動に依存することが本試験結果から示唆された。

おわりに

本報では腐食の進行した農業用鋼矢板排水路を対象に腐食特性を概観するとともに、矢板表面の保護を目的としたコンク

リート被覆による矢板-コンクリート複合材による矢板の表面保護と力学的観点からの提案手法の有効性を検証した。検討の結果、複合材の力学的特性は被覆コンクリートの挙動に依存することが明らかになった。曲げ載荷過程の破壊挙動はAE法により検出可能であり、AEパラメータによる材料安定性評価の有効性が示唆された。このことから、腐食矢板排水路に関する保護工法の一つとして矢板-コンクリート複合材は有効であると考えられる。

#### 参考文献

- El-Shihy, A. M., S.S.J. Moy, H. Shehab El-Din, H.F. Shaaban and S. A. A. Mustafa: Torsional effect on steel-concrete composite sections subjected to negative moment, *Materials and Structure*, 45, 393-410, 2012.
- 松下巖：自然環境における腐食，金属表面技術，31 (7)，383-392，1980.
- 峰村雅臣，土田一也，羽田卓也，原齊，森井俊広，鈴木哲也：新潟県における鋼矢板水路のリサイクルの取り組み，平成24年度農業農村工学会大会講演会要旨集，2012.
- 溝口茂，山本一雄，杉野和男，沢井章：半世紀経過した護岸用鋼矢板の腐食挙動，防食技術，36，148-156，1987.
- 日本非破壊検査協会：NDIS2421コンクリート構造物のアクセスティック・エミッション試験方法，2000.
- 農林水産省農村振興局監修：土地改良事業計画設計基準・設計「水路工」技術書，357-374，2001.
- Sebastian W. M. and McConnell, R.: Non-linear FE analysis of steel - concrete composite structures, *ASCE Journal of Structural Engineering*, 126 (6), 662-647, 2000.
- 横井聰之，阿部正美：港湾構造物の腐食の実態について，土木学会論文集，第403号，VI -10，85-92，1989.

## Conservation of Damaged Drainage Canal using Steel Sheet Pile - Concrete Composite Material

Tetsuya SUZUKI<sup>1\*</sup>, Shuntaro YAMAGISHI<sup>2</sup>, Toshihiro MORII<sup>1</sup> and Takayuki KAWAI<sup>3</sup>

(Received January 31, 2013)

### Summary

The steel sheet pile is one of the most important materials for construction of irrigation canal in agricultural fields. For effective conservation of irrigation system, it is necessary to be protection of degradation effects of structural materials using composite materials, such as steel sheet pile-concrete composite. In this study, evaluation of mechanical properties of steel sheet pile-concrete composite in bending test is proposed by applying acoustic emission (AE) method. The deteriorated characteristic of steel sheet pile in service was measured by ultrasonic test. The fracture process of steel sheet pile-concrete composite was analyzed by AE parameters, such as the Calm ratio. The Calm ratio derived from the AE generation behavior in load-displacement behavior in bending test. By calculating the Calm ratio from AE data, characteristics of fracture process of composite material is successfully evaluated.

*Bull.Facul.Agric.Niigata Univ., 65(2):165-169, 2013*

**Key words** : Steel sheet pile, Corrode, Pile-concrete composite, Mechanical properties, Acoustic emission (AE)

---

<sup>1\*</sup> Faculty of Agriculture, Niigata University

<sup>2</sup> Graduate School of Science and Technology, Niigata University

<sup>3</sup> Research Institute for Natural Hazard and Disaster Recovery, Niigata University

\* Corresponding author: suzuki@agr.niigata-u.ac.jp