AE波形解析による鋼矢板-コンクリート複合材の曲げ破壊源評価に関する研究

鈴木 哲也

正会員 新潟大学准教授 自然科学系（農学部）（〒950-2018 新潟県新潟市西区五十嵐2の町8050）

E-mail:suzuki@agr.niigata-u.ac.jp

近年、鋼矢板を用いた農業用開水路の早期腐食に伴う耐久性低下が技術的問題となっている。本報では、既設鋼矢板にコンクリート被覆を施した複合材の曲げ載荷時の力学特性評価を試みた結果を報告する。検討にはAE法とデジタル画像相関法（DICM）を用いた。試験体は、既設鋼矢板、コンクリートおよびプレキャストパネルの三層で構成されている。検討の結果、試験体の変形挙動は、AEやDICMの試験パラメータを用いることにより評価可能であることが明らかになった。鋼矢板-コンクリート複合材の変形挙動は、鋼矢板の凸凹形状に起因すると考えられるねじれ現象と密接に関連していることが示唆された。

Key Words : steel sheet pile, corrosion, concrete coating, bending test, acoustic emission, digital correlation method

1. はじめに

農業水利施設の一つである鋼矢板を護岸とした農業用水路は、その施工性と経済性から戦後の高度成長期に集中的に整備された。これらの鋼矢板水路には、長期供用に伴う経年劣化や耐用年数を超過する施設が増加している。特に、鋼材表層の干満帯における腐食劣化が深刻であり、既存施設の長期耐久性を保持するために表面被覆による保護工が不可欠である。

鋼矢板は鋼材の腐食反応により、断面を減少させ、その断面減少がそのまま性能低下に影響を及ぼす。このことから、構造設計では、鋼矢板水路の供用期間中の腐食による肉厚減少を考慮した腐食代が設定されている。一般的に設計基準で設定される腐食代は、表裏合わせて2 mmである¹⁾。筆者らによる新潟県内における鋼矢板水路の腐食状況調査によると、常時水位の水面付近での腐食の進行が早く、特に供用年数が20年を超えた水路で腐食の進行が顕著になることが報告されている^{2,3)}。腐食鋼矢板の長期的な保護には、腐食反応を抑制し、かつ適切な補修工法の開発が急務な技術的課題である。既存の腐食対策工法には、ウレタン樹脂などを鋼矢板の表面に塗布する補修工法が挙げられるが、筆者らは、図-1に示す、鋼矢板表面にコンクリートを被覆材する鋼矢板-コンクリート複合材による補修工法を開発している⁴⁾。被覆材にコンクリートを選定した理由は、従来工法と比較して、

図-1 既設鋼矢板水路のコンクリート被覆による補修例

施工性、普及性およびLCC（Life Cycle Cost）の低減の観点から優位にあることに加えて、鋼矢板にコンクリートを被覆した鋼矢板-コンクリート複合材による鋼矢板の補強効果が期待できることにある。

本研究では、腐食代を有する既設鋼矢板にコンクリートを被覆した鋼矢板-コンクリート複合材の力学特性に着目し、実験室内での曲げ載荷試験による力学特性評価を試みた。評価指標には、載荷時に発生する弾性波をAE（Acoustic Emission）で検出し、その特性から複合材料の破壊特性を評価する。同時に、デジタル画像相関法（DICM）による変形特性を同定し、載荷時と除荷時の変位特性を非接触計測から明らかにする。これらの実験的検討を踏まえて鋼矢板-コンクリート複合材の既設鋼矢板排水路への適用に関する技術的課題を考察する。

表-1 供試体の種類

ケース	種 別	材料構成
Case 1	既設鋼矢板	軽量鋼矢板 $t=4.2\text{ mm}\sim 6.1\text{ mm}$
Case 2	未使用鋼矢板	軽量鋼矢板 $t=6.0\text{ mm}\sim 6.1\text{ mm}$
Case 3	既設鋼矢板 + コンクリート	軽量鋼矢板 $t=4.2\text{ mm}\sim 6.1\text{ mm}$, コンクリート $\sigma_k=18\text{ N/mm}^2$
Case 4	未使用鋼矢板 + コンクリート	軽量鋼矢板 $t=6.0\text{ mm}\sim 6.1\text{ mm}$, コンクリート $\sigma_k=18\text{ N/mm}^2$

2. 実験方法

(1) 供試体

a) 試験ケース

曲げ載荷試験は表-1 に示す4ケースの供試体について実施した。各ケースに用いた試験サンプルは1本であり、断定的な議論は困難であるが、精緻に載荷条件を検討していることから再現性を有しているものと推察される。

供試体には、実構造物から採取した既設鋼矢板と未使用の鋼矢板を用いた。それぞれについて、鋼矢板単材と鋼矢板にコンクリートを被覆した鋼矢板 - コンクリート複合材の材料構成で供試体を製作した。Case 1が既設鋼矢板単材、Case 2が未使用鋼矢板単材、Case 3が既設鋼矢板 - コンクリート複合材、Case 4が未使用鋼矢板 - コンクリート複合材である。これらの供試体の形状図を図-2 に示す。供試体の寸法は、鋼矢板2枚を1組として幅0.7 m × 長さ1.5 mで製作した。

b) 鋼矢板

鋼矢板の型式は、軽量鋼矢板3D型で規格板厚は6 mmである。既設鋼矢板は供用30年が経過しており、腐食が確認された(図-3)。この既設鋼矢板を用いたCase 1, Case 3は、供試体の製作に先立って鋼矢板表面の腐食生成物や付着物を高圧洗浄機(14 MPa)にて除去した。その後、未使用鋼矢板と共に各供試体の板厚測定を実施した。板厚測定は、超音波厚さ計を用いて供試体1体につき、長さ方向14点 × 幅方向8点の計112点を測定した。各供試体の長さ方向の平均板厚分布を図-4 に示す。腐食による板厚減少は、農業用排水路の鋼矢板護岸における水位の変動域(干満帯)で発生しており、既設鋼矢板の板厚は4.2 mmから6.1 mm、平均板厚は5.2 mmであった。既設鋼矢板の規格板厚に対する減少率は、最大で30%、平均で13.3%であった。以上から、既設鋼矢板は腐食による板厚減少を生じているが、この減少量は、腐食代2 mmの範囲内であり、腐食代を有した状態であることが確認された。尚、既設鋼矢板の板厚減少部分は、後述する片持ち梁形式の曲げ載荷試験での載荷スパン部分に分布している。

c) 充填コンクリート

鋼矢板 - コンクリート複合材であるCase 3およびCase 4

図-2 供試体形状図 (単位: mm)

図-3 既設鋼矢板の腐食状況

図-4 鋼矢板の板厚分布 (単位: mm)

表-2 荷重条件

荷重サイクル		1	2	3	4	5	6	7
荷重(kN)	Case 1, Case 2	22	27	33	38	43	48	54
	Case 3, Case 4	20	25	31	36	42	46	51
作用モーメント(kN・m)		18	22	27	31	35	39	43

図-5 曲げ試験概要図 (単位: mm)

図-6 試験状況

のコンクリート被覆は、プレキャストパネルを残存型枠として用いてコンクリートを充填した。供試体は、鋼矢板と充填コンクリートおよびプレキャストパネルの三層で構成されている（図-5）。

プレキャストパネルは、幅350mm×高さ500mm×厚さ30mmのガラス短繊維補強モルタルによる加圧成形板である。供試体1体当りの使用枚数は6枚である。

充填コンクリートは、鋼矢板とその前面に配置したプレキャストパネルの間にコンクリートを充填した。コンクリート打設時のプレキャストパネルの位置保持のため、鋼矢板とプレキャストパネルを接合した。この接合方法は、丸鋼（直径16mm）を接合材として、鋼矢板とプレキャストパネルの相互連結に用いた固定プレートを互いに溶接で接合した。充填コンクリートの設計基準強度は、 $\sigma_{ck}=18\text{ N/mm}^2$ （材齢28日； 23 N/mm^2 ）である。充填コンクリートとプレキャストパネルによる被覆厚さは、プレキャストパネルの厚さ30mmを含めて、鋼矢板の凹凸に応じて $t=125\sim 275\text{ mm}$ とした（図-2）。

(2) 曲げ載荷試験

曲げ載荷試験の概要図を図-5、試験状況を図-6に示す。曲げ載荷試験は、荷重スパン 800 mm の片持ち梁で実施した。変位挙動は、ロードセルによる荷重計測と変位計による変位計測から評価した。変位計測は、変位計を供試体の片持ち梁先端に配置し、荷重方向の変位を計測した。

荷重方向は供用時の作用荷重を想定して、農業用排水路に常時土圧が作用する方向、すなわち既設鋼矢板においては土面に接していた側、鋼矢板-コンクリート複合材においては鋼矢板面側から荷重を行った。固定部および荷重部では、偏荷重状態を避けるためにブロックを凹

部へ挿入した。

荷重条件は、表-2に示す荷重サイクルを設定した。荷重方法は、繰り返し荷重として各サイクルで3回の荷重を繰り返した。載荷荷重は、既設鋼矢板を採取した農業用排水路の設計モーメント（ $=18\text{ kN}\cdot\text{m}$ ）とその1.5倍（ $=27\text{ kN}\cdot\text{m}$ ）を基準値として設定した。載荷荷重が鋼矢板単材（Case 1, Case 2）と鋼矢板-コンクリート複合材（Case 3, Case 4）で異なるのは、供試体を片持ち梁として設置した際に作用する自重モーメントの影響によるものである。

(3) AE計測

曲げ載荷過程における破壊挙動をAE法により計測し、供試体の破壊挙動を評価した。AE法とは物体のエネルギー解放に伴って発生した弾性波を受動的に検出する手法であり、検出波の特性を各指標値（AEパラメータ）により定量的に評価するものである⁹⁾。AE計測は、SAMOS-AEシステム（PAC社製）を用いた。閾値は42 dBで、検出波は60 dBで増幅した。AEセンサは、共振型（150 kHz）を用いて図-7に示すように供試体の表面に8センサを等間隔に設置した。

本研究では、評価指標値にAEヒット数とCalm比を用いた。ここで、AEヒット数は、一連の荷重および除荷に発生するAE発生総数である。Calm比とは、NDIS2421⁹⁾にて定義されているAEパラメータである。この評価値は、「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」で表される。これは、繰り返し荷重下でのAE発生挙動において、荷重時に比べて除荷時の不活発さが安定性の指標となることから、Calm比は不活発さを健全性の指標としている。すなわち、Calm比の上昇は材料劣化を意味しており、

本研究では、このような材料劣化が進行した状態（ $\text{Clam比} \approx 1.0$ ）を材料の力学的安定性の低下と定義して検討を行った。AE発生挙動は、3次元位置標定により発生部位を特定した。3次元位置標定とは、複数のAEセンサ（最小4センサ）により検出したAEの検出時間差から幾何学的に発生源を同定するものである。

(4) 画像計測

本研究では、供試体の形状的特徴を踏まえてDICMによる変位解析を試みた。DICMは、測定対象物表面をCCDカメラなどで撮影したデジタル画像を解析することにより、計測範囲全体の変形の大きさと方向を推定する解析手法である⁷⁾。このとき、2台のカメラを用いることで3次元変形を解析することができる。解析原理は、測定対象物表面の計測範囲にスプレーなどで不定形ドット（ランダムパターン）を施し、測定対象物の変形前と変形後の移動量を追跡することにより、変形量と変形方向を解析するものである。変形前の画像データより任意の点を中心とした小領域（サブセット）を指定し、変形後の画像データから変形前の指定小領域と相関性の高い小領域を探索することにより、小領域の中心点の移動量と移動方向を評価することができる。

画像計測は、鋼矢板単材の Case 1 および Case 2 について実施した。計測機器は、デジタル 3D コリレーションシステム（Correlated Solutions 社製）を用いた。図-8 に示すように、CCD カメラを 2 台使用して、異なる方向から鋼矢板の表面を撮影し 3 次元変形を解析した。計測にあたり、計測範囲の鋼矢板表面に白色のランダムパターンを描画した。また、CCD カメラの画像のひずみ補正をキャリブレーションプレートを使用して行った。計測範囲には、4 台のハロゲンライトを用いて照度を一定に保ち、画像撮影を実施した。画像の撮影間隔は、100 Hz である。CCD カメラ仕様は、解像度 1384×1036 pixel、シャッター速度 0.02ms である。

3. 試験結果と考察

(1) 曲げ载荷過程の最大変位量と残留変位量の特徴

曲げ载荷試験における供試体の各サイクル毎の最大変位量を図-9、残留変位量の履歴を図-10 に示す。

鋼矢板単材では、既設鋼矢板 Case 1 と未使用鋼矢板 Case 2 で異なる変位挙動が確認された。作用モーメント 27 kN・m における変位量では、Case 1 が最大変位量 34.3 mm、残留変位量 3.1 mm に対して、Case 2 が最大変位量 22.9 mm、残留変位量 0.8 mm を示した。Case 1 に対する Case 2 の変位量の比は、最大変位量 67%，残留変位量 26%であった。

鋼矢板 - コンクリート複合材では、Case 4 の未使用鋼

図-7 AE センサ配置図（単位：mm）

図-8 計測機器配置図

図-9 最大変位量と作用モーメントの関係

図-10 残留変位量と作用モーメントの関係

矢板の複合材にて、作用モーメント 39 kN・m での被覆コンクリートのひび割れを確認した。これに対して、既設鋼矢板の複合材の Case 3 は、一連の載荷サイクルでの被覆コンクリートのひび割れは確認されなかった。変位挙動は、作用モーメント 27 kN・m において、Case 3 が最大変位量 7.3 mm、残留変位量 0.9 mm を示した。Case 4 は、最大変位量 10.6 mm、残留変位量 1.6 mm を示した。Case 3 と Case 4 の相違は、セクション部の腐食度が曲げ変形に影響していたものと推察される。Case 3 で用いた既設鋼矢板ではセクション部の腐食が進行し、曲げ載荷時の変形を抑制していたものと試験後の目視観察から推察された。

鋼矢板単材と鋼矢板 - コンクリート複合材を比較すると複合材の最大変位量の低減が確認された。この低減効果は、作用モーメント 27 kN・m において、既設鋼矢板では Case 3 が Case 1 に対して 21%、未使用鋼矢板では Case 4 が Case 2 に対して 46% の結果を得た。このことから、曲げ載荷時の鋼矢板 - コンクリート複合材の変位挙動はコンクリートに強く影響を受けており、曲げ変形の抑制効果が明らかになった。

同様の結果は、先行研究である Sebastin⁸⁾や El-Shihy⁹⁾による実験室内のモデル試験で報告されている。本研究では、これらの先行研究の成果を踏まえて、AE 法による破壊挙動評価と DICM による変形挙動の観察を試みた。

(2) AEパラメータ解析結果

曲げ載荷過程における作用モーメントと AE ヒット数および Calm 比の関係を図-11 に示す。

鋼矢板単材では、Case 1 において AE の頻発が作用モーメント 31 kN・m の載荷サイクル以降で確認された。更に、39 kN・m の載荷サイクルで除荷時の AE の頻発とこれに伴う Calm 比の増加が確認された。一方、Case 2 では、載荷サイクル過程での作用モーメントの増加に伴う AE ヒット数の増加傾向が認められるが、載荷時に比べ除荷時の AE ヒット数が低い値で推移し、これにより Calm 比も微増傾向となっている。以上より、繰り返し載荷における AE パラメータの推移が Case 1 と Case 2 で異なることが確認され、既設鋼矢板 Case 1 における長期供用に伴う損傷蓄積による材料安定性の低下が Calm 比の挙動から示唆された。

鋼矢板 - コンクリート複合材では、Case 4 の作用モーメント 39 kN・m の載荷サイクルで、AE の頻発と Calm 比の増加が確認された。これは、変位計測で確認された 39 kN・m の載荷サイクルでのひび割れ発生（図-10）を評価しているものと考えられる。これ以降の載荷サイクルでの AE の頻発は、残留変位の増加傾向と連動しており、材料安定性の低下が進行していることが確認できた。一方、Case 3 では、載荷過程における AE パラメータの顕著な変化は確認されなかった。

鋼矢板 - コンクリート複合材の作用モーメント 27

図-11 AEパラメータと作用モーメントの関係

kN・m までの荷重サイクルに着目した場合、Case 3、Case 4 とも AE ヒット数が低頻度で推移していることから、鋼矢板水路の供用レベルの作用モーメントにおいては、被覆コンクリートによる材料安定性の改善効果が認められた。

(3) AE発生源の位置標定

本研究では、鋼矢板 - コンクリート複合材の曲げ荷重過程における AE 発生源の 3 次元位置標定を実施した。図-12 は 3 次元位置標定の結果を 2 次元に投影したものであり、供試体の断面 (X-Z 平面) と上面 (X-Y 平面) における AE の発生源を示したものである。同図は、作用モーメント 27 kN・m から 43 kN・m の荷重サイクル時に計測された AE から発生源の位置を標定した。

図-12 より X-Z 平面の場合、2 枚の鋼矢板の継手部から斜め方向に AE が頻発している。X-Y 平面の場合、鋼矢板継手の固定部近傍で AE の発生源が集中している。この 2 点については、Case 3 および Case 4 ともに共通していることが確認された。以上のことから、曲げ荷重過程における鋼矢板 - コンクリート複合材は固定部の鋼矢板継手近傍で局所的に破壊が進行するものと推察された。

被覆コンクリートのひび割れが確認された Case 4 では、作用モーメント 31 kN・m 以降において AE イベント数が急増し、Case 3 と比較して明確な相違が確認された。

(4) DICM解析結果

鋼矢板単材 Case 1 と Case 2 の変位量の分布を示したコンター図を図-13 に示す。この図は、作用モーメント 35 kN・m の荷重サイクルにおける荷重方向 (Z 軸方向) の最大変位時の状態を示している。既設鋼矢板 Case 1 では、鋼矢板の凸部と凹部ではほぼ同様の変位量分布を示したのに対して、未使用鋼矢板 Case 2 は、凸部と凹部のそれぞれの鋼矢板の変位量に差が生じており、供試体にねじれが生じていることが確認された。

この作用モーメント 35 kN・m の荷重サイクルにおける荷重および除荷の一連の過程での変位量の推移を DICM 解析から算出した。図-14 (Y 軸) および図-15 (Z 軸) は、Case 1 および Case 2 の荷重方向の変位量の推移である。変位量の算出部位は、図-13 に示した鋼矢板の凸部 (A 部) と凹部 (B 部) である。

Z 軸方向の変形挙動では、既設鋼矢板 Case 1 が A 部と B 部でほぼ同等の変位量で推移しているのに対し、未使用鋼矢板 Case 2 では、A 部と B 部で変位量の差を生じながら推移しており、図-13 で認められたねじれ変形が一連の荷重除荷の過程で生じていることが確認された。この結果を最大変位量で比較すると、Case 1 は A 部の最大変位量 19.6 mm に対して、B 部の最大変位量 18.9 mm で変位量の差は 0.7 mm。一方、Case 2 は、A 部の最大変位量 15.7

図-12 AE 源位置標定結果

mmに対し、B部の最大変位量13.7 mmで変位量の差は2.0 mmであった。

Y軸方向の変位量の推移では、Case 1とCase 2ともにA部とB部で変形挙動が異なることが確認された。最大変位量は、Case 1がA部で0.5 mm、B部で-2.0 mm、Case 2では、A部で1.2 mm、B部で-1.5mmを示した。変位量の差は、Case 1が2.5 mm、Case 2が2.7 mmであった。これは、鋼矢板2枚を1組としたときの中立軸と凹部凸部のそれぞれの鋼矢板の中立軸の位置の違いによって、鋼矢板の継手にずれが生じていることが推察される。Case 1とCase 2で変位量が異なるのは、未使用鋼矢板に対して既設鋼矢

板の断面諸元が腐食によって変化したことに加えて、セクション部の腐食が影響していると推察される。

鋼矢板 - コンクリート複合材Case 3とCase 4の変位量の分布を示したコンター図を図-16 に示す。本計測結果は、供試体の側面から実施したものである。本図は、作用モーメント35 kN・mの载荷サイクルにおける载荷方向（Z軸方向）の最大変位時の状態を示している。図中の白点線は、同一変位を結んだものである。既設鋼矢板にコンクリートを被覆したCase 3では、鋼矢板と被覆したコンクリートの変位量分布がほぼ同等であった。これに対して、Case 4ではコンクリート部と鋼矢板で変位量の差が

図-13 DICMによる変位量分布図（Z軸方向）

図-14 Y軸方向の変位量

図-15 Z軸方向の変位量

生じた。

以上のDICM解析による変位量の算出結果より、鋼矢板供試体において、凹凸断面によるねじれを伴う変形挙動が確認された。更に、供試体長手方向の凹部と凸部の変形挙動が異なり、鋼矢板継手でずれ変形が生じていることが確認された。これらのねじれ変形とずれ変形が、鋼矢板 - コンクリート複合材Case 3とCase 4の破壊挙動の違いに影響を与えていると推察される。

(5) 考察

変位計測およびAE計測の結果から、長期供用された既設鋼矢板は、未使用鋼矢板と比較して、腐食に伴う材料安定性の低下と断面減少による耐力低下が示唆された。この既設鋼矢板にコンクリートを被覆した鋼矢板 - コンクリート複合材では、鋼矢板単材と比較して、変位量の

低減を確認すると共にAEパラメータから材料安定性の改善効果が認められ、コンクリート被覆の力学的有効性が示唆されたものと考えられる。特に、農業用排水路の鋼矢板護岸に想定される作用モーメントの範囲内において、被覆コンクリートによる材料安定性の改善効果を確認することができたものと考えられる。

その一方で、既設鋼矢板と未使用鋼矢板の鋼矢板 - コンクリート複合材を比較すると、未使用鋼矢板が大きな変位量を示し、载荷サイクルにおいて材料の破壊挙動がAEパラメータより確認された。これについて、DICMによる鋼矢板の面的変形の観察の結果、未使用鋼矢板のねじれを伴う変形挙動が観察された。また、2枚の鋼矢板を1組とした供試体の継手部にずれを起因とする長手方向の変位量の差が確認された。AEパラメータにより確認された未使用鋼矢板の鋼矢板 - コンクリート複合材の

図-16 DICMによる変位量分布図 (Z軸方向)

図-17 被覆コンクリートのひび割れ状況 (単位: mm)

変形挙動は、この鋼矢板のねじれとずれを要因とするせん断応力が被覆コンクリートに作用したものと推察される。図-17 は、本試験の載荷サイクルの後、更に、荷重 80 kN（作用モーメント 66 kN・m）まで載荷した鋼矢板 - コンクリート複合材の被覆コンクリートひび割れ状況である。Case 3, Case 4ともに、片持ち梁の最大曲げモーメントが作用する固定端にひび割れが発生した。除荷後のひび割れ幅を計測した結果、Case 3が0.04 mm, Case 4が0.1~0.2 mmで、部材の耐力に影響を与えるレベルの破壊状況ではなかったと推察される。また、鋼矢板と被覆コンクリートの界面剥離は生じておらず、一体性を保持していることが実験的には確認されている。

既設鋼矢板と未使用鋼矢板の鋼矢板 - コンクリート複合材を比較すると、未使用鋼矢板のCase 4だけに固定端のひび割れに加えて、被覆コンクリート表面の供試体中央部に長手方向へ延びるひび割れが最大幅0.2 mmで発生した。このひび割れは、未使用鋼矢板のねじれ変形とずれ変形を起因としたものと推察される。

DICMによって確認された既設鋼矢板と未使用鋼矢板の面的な変形挙動の違いは、腐食に伴う板厚減少による断面諸元の変化が影響したと推察される。特に凹凸部各々の鋼矢板の中立軸の変化が大きく影響を与えているものと推察され、この検討が今後の課題である。

4. まとめ

本研究は、腐食が顕在化した農業用排水路に普及する鋼矢板護岸へコンクリート被覆を適用するための基礎的検討として、鋼矢板-コンクリート複合材の曲げ載荷時に発生するAEと変形挙動との関連から力学特性を評価することを試みた。検討結果を以下に列举する。

- 1) 鋼矢板 - コンクリート複合材の曲げ載荷による変形挙動は、コンクリート被覆に大きく依存することが明らかとなった。コンクリート被覆による変形の抑制効果が認められ、腐食を伴う既設鋼矢板においてもこの効果が確認された。

- 2) AE計測による解析の結果、既設鋼矢板の長期供用に伴う損傷蓄積による材料安定性の低下が示唆された。既設鋼矢板にコンクリートを被覆した鋼矢板 - コンクリート複合材では、AEパラメータから材料安定性の向上が示唆された。
- 3) DICMより、本試験に用いた鋼矢板2枚を1組とした供試体では、凹凸断面によるねじれを伴う変形挙動が確認された。また、これに伴う鋼矢板継手のずれの発生が認められ、鋼矢板 - コンクリート複合材の破壊挙動に影響を及ぼしているものと推察された。

参考文献

- 1) 農業土木学会：土地改良事業計画設計基準・設計「水路工」技術書，pp.357-374，2001.
- 2) 鈴木哲也，森井俊広，原 齊，羽田卓也：地域資産の有効活用に資する鋼矢板リサイクル工法の開発，農業農村工学会誌，80（10），pp. 21-24，2012.
- 3) 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 年農業農村工学会大会講演会要旨集，2012.
- 4) 鈴木哲也，小林秀一，長崎文博，佐藤弘輝：鋼矢板 - コンクリート複合材による農業用排水路の保全，農業農村工学会誌，81 巻 10 号，pp. 43-46，2013.
- 5) Grosse, C. U. and Ohtsu, M. Editors：Acoustic Emission Testing, Springer, pp.3-10, 2008.
- 6) 日本非破壊検査協会：NDIS2421 コンクリート構造物のアカースティック・エミッション試験方法，2000.
- 7) 出水享，松田浩，伊藤幸広，木村嘉富：デジタル画像相関法を用いた撤去 PCT 桁橋の載荷試験時における変位，ひずみ，ひび割れ計測，コンクリート工学年次論文集，vol. 34, No. 2, 2012.
- 8) Sebastian W. M. and McConnell R.：Non-liner FE analysis of steel - concrete composite structures, *ASCE Journal of Structural Engineering*, 126 (6), pp. 662-647, 2000.
- 9) El-Shihy, A. M.：Torsional effect on steel-concrete composite sections subjected to negative moment, *Materials and Structure*, 45, pp. 393-410, 2012.

(2014.6.20 受付)

EVALUATION OF BENDING FRACTURE CHARACTERISTICS OF STEEL SHEET PILE - CONCRETE COMPOSITE BY AE ANALYSIS

Tetsuya SUZUKI

In recent years, the accelerated corrosion of steel sheet pile in an agricultural canal has been problems. In this research, evaluation of bending characteristics is conducted in corroded steel sheet pile with concrete coating by using AE and DICM. The test specimens are made of three-layer composite which is composed of steel sheet pile, concrete and precast panel. Thus, the deformation behavior of testing samples could be evaluated by AE and DICM parameters. A relation between torsional behavior due to the concavo-convex shape of steel sheet pile and bending behavior of composite was correlated.