

AE パラメータ解析を用いた鋼矢板 - コンクリート複合材の曲げ挙動評価

藤村ヒューム管(株)
新潟大学 自然科学系（農学部）
(株)水倉組
藤村ヒューム管(株)

正会員 ○佐藤 弘輝
正会員 鈴木 哲也
正会員 小林 秀一
正会員 長崎 文博

1. 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。農業水利施設も例外ではなく，既存構造物の LCC（Life Cycle Cost）の低減を目的とした戦略的な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。このことから，長期供用下にある既存施設の維持管理における重要な技術的課題は，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的確な保全であると考えられる。

本論で着目する鋼矢板水路は，その多くが供用開始から 20～40 年の経過とともに鋼材腐食の進行が確認されている。

農業水利施設の事例では，施工後 10 年から 40 年の既設鋼矢板排水路を対象に腐食状況が調査された結果，供用から 20 年経過した施設において腐食の顕在化が顕著になったことが報告されている¹⁾。このような状況下において既設鋼矢板の更新には，LCC の低減を目的にして主にウレタン樹脂を用いた既設矢板への表面被覆工法が適用されることが多いが，本研究では施工性と LCC の観点から有意にあると考えられるコンクリートを用いた表面被覆工法の適用を検討している。本論では，その基礎的検討として，鋼矢板 - コンクリート複合材による既設鋼矢板の曲げ載荷挙動に関して，荷重 - 変位過程による検討と曲げ応力下での AE（Acoustic Emission）の発生挙動を AE パラメータである Calm 比²⁾により定量化し，鋼矢板 - コンクリート複合材の曲げ載荷過程における力学特性を評価した。

2. 実験方法

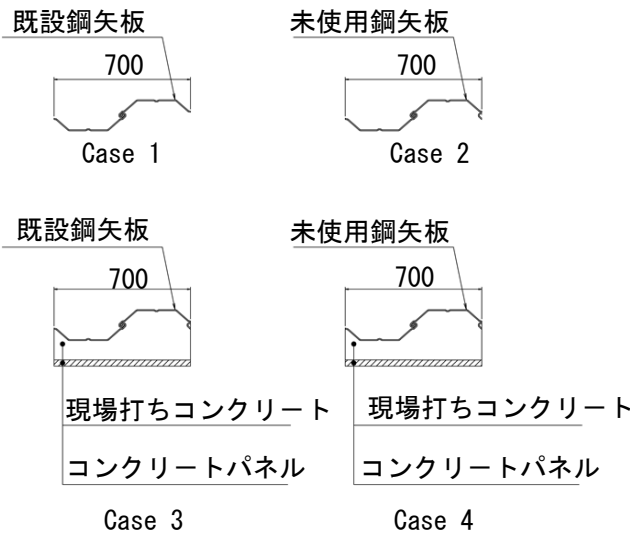
2.1 供試体

モデル試験条件は，4 ケースについて実施した。各ケースのモデル試験条件を表－1 および図－1 に示す。供

試体は，鋼矢板 2 枚 1 組で幅 0.7m，長さ 1.5m，Case 1：既設矢板，Case 2：未使用矢板，Case 3：コンクリート被覆を施した既設鋼矢板および Case 4:コンクリート被覆を施した未使用鋼矢板，以上 4 種類の供試体を作成した。Case 1 および Case 3 の供試体は，干満帯付近で腐食を受けた既設鋼矢板を入手し，鋼矢板水路の構築形態を勘案して 2 枚 1 組で各供試体を作成した。そのうち被覆を施した Case 3 および Case 4 は，正面にコンクリートパネルによる残存型枠を用いて，設計基準強度 18N/mm²のコンクリートを打設，養生期間 28 日を経て実験を行った。

表－1 モデル試験条件

実験ケース	試験条件
Case 1	既設鋼矢板（軽量鋼矢板，t=4.2～6.1 mm）
Case 2	未使用鋼矢板 （軽量鋼矢板，t=6.0～6.1 mm）
Case 3	既設鋼矢板+コンクリート
Case 4	未使用鋼矢板+コンクリート



図－1 各ケース検討断面

キーワード 鋼矢板，コンクリート，変位，AE 法，Calm 比

2.2 曲げ載荷試験

載荷試験の概要図を図-2 に示す。試験は、供試体を片持ち梁部材とした曲げ試験により評価した。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。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、図に示す 3 箇所に変位計を設置して変形挙動を検出した。なお、荷重 - 変位挙動は荷重点近傍の変位計を用いて作成した。

2.3 検討条件

各ケースにおける試験荷重を表-2 および表-3 に示す。載荷荷重のサイクルは、既設鋼矢板を採取した現地の土圧より作用モーメントを算出し、このモーメントの 1.5 倍である 27.0kN・m を基準として設定した。このとき試験荷重は、自重による作用モーメントを差し引いて算出した。

2.4 AE 計測

本試験では、載荷過程で破壊時に発生する弾性波を AE 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 42dB である。検出波は 60dB 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。

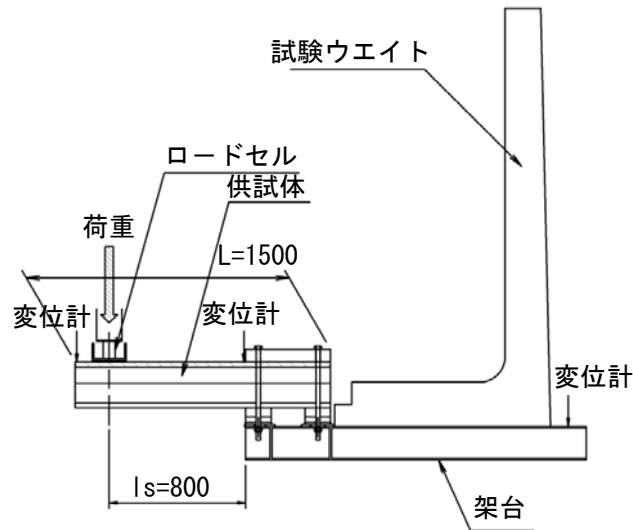


図-2 試験概要

表-2 Case 1, 2 試験荷重

サイクル	1	2	3	4	5	6	7
荷重 (kN)	22	27	33	38	43	48	54
作用 M (kN・m)	18	22	27	31	35	39	43

3. 結果および考察

3.1 曲げ載荷過程における荷重-変位挙動

Case 1 ～4 の最大変位-荷重の関係を図-3 に、Case 1～4 の残留変位-荷重の関係を図-4 に示す。

既設鋼矢板と未使用鋼矢板では荷重-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

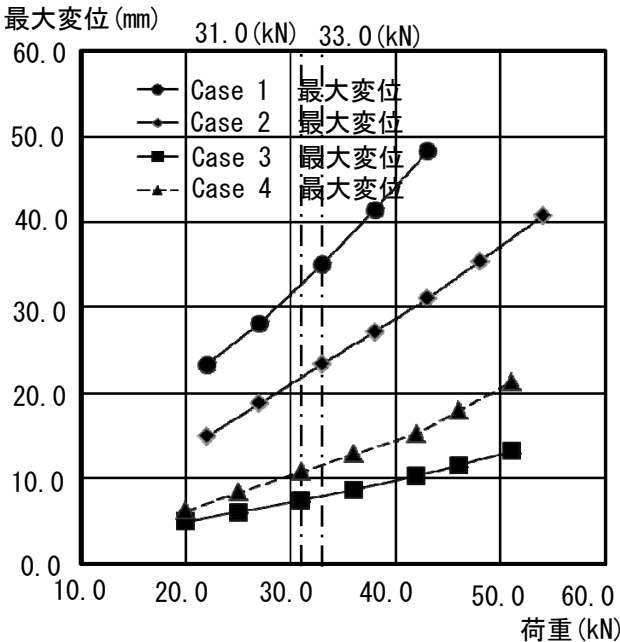


図-3 最大変位-荷重のまとめ

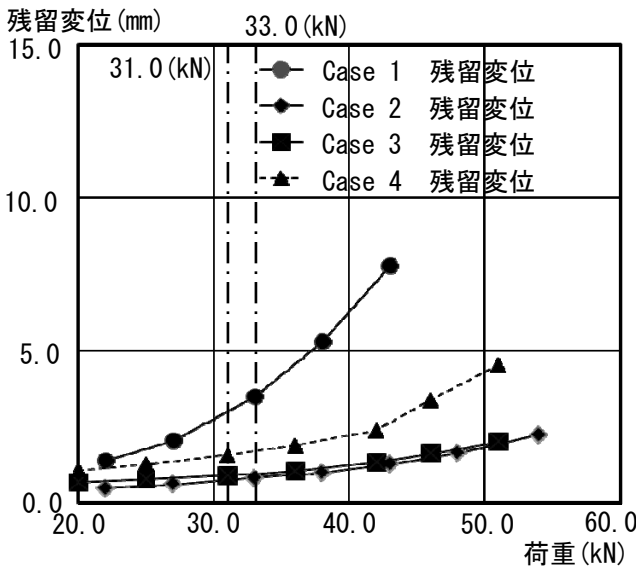


図-4 残留変位-荷重のまとめ

表-3 Case 3, 4 試験荷重

サイクル	1	2	3	4	5	6	7
荷重 (kN)	20	25	31	36	42	46	51
作用 M (kN・m)	18	22	27	31	35	39	43

った Case 1 では、基準モーメント $27.0\text{kN}\cdot\text{m}$ での試験荷重 33kN において最大変位量 34.3mm 、残留変位量 3.1mm 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 22.9mm 、残留変位量 0.8mm であった。両ケースの差は、最大変位量 11.4mm 、残留変位量 2.3mm となる。一方、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 および Case 2 とは異なり、基準モーメント $27.0\text{kN}\cdot\text{m}$ での試験荷重 31kN において Case 3 で最大変位量 7.3mm 、残留変位量 0.9mm であった。Case 4 では最大変位量 10.6mm 、残留変位量 1.6mm であった。両ケースの差は最大変位量 3.3mm 、残留変位量 0.7mm となった。

以上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。

また、図-4 に着目すると、Case 1 の既設鋼矢板が最も変位が大きく、Case 4 の未使用鋼矢板+コンクリートが次に大きい。また Case 2 の未使用鋼矢板と Case 3 の既設鋼矢板+コンクリート被覆の残留変位が同程度であることが分かる。

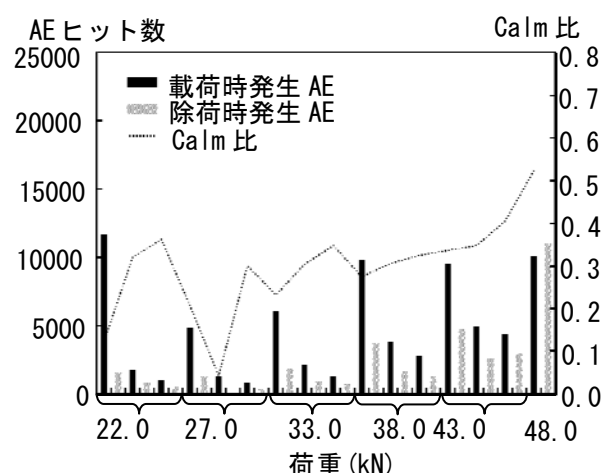


図-5 AE パラメータと載荷荷重の関係 (Case 1)

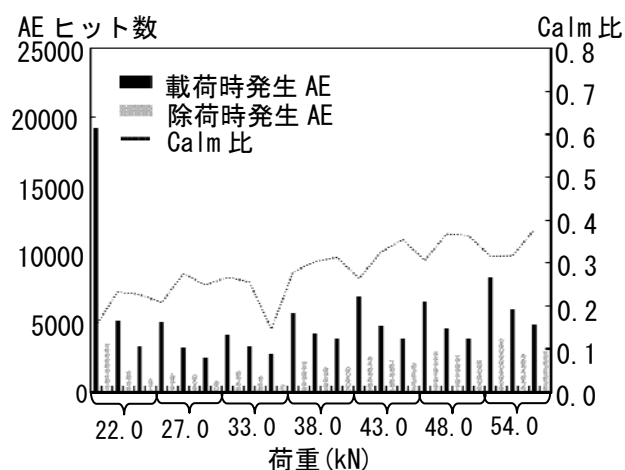


図-6 AE パラメータと載荷荷重の関係 (Case 2)

以上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 A. M. El-Shihy et al.³⁾ や Sebastin WM et al.⁴⁾ においても報告されている。

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弾性波を受動的に検出する AE 法を導入し、載荷過程で発生する破壊現象起源の弾性波を同定することにより載荷過程の詳細評価を試みた。

3.2 曲げ載荷過程における AE 発生頻度

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-5～図-8 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 ヒット数と評価した。AE ヒット数と併記されている Calm 比とは NDIS2421²⁾ において定義されている AE パラメータである。

検討の結果、矢板のみを供試した Case 1 と Case 2 では、各サイクル荷重の載荷時において AE の頻発が作用

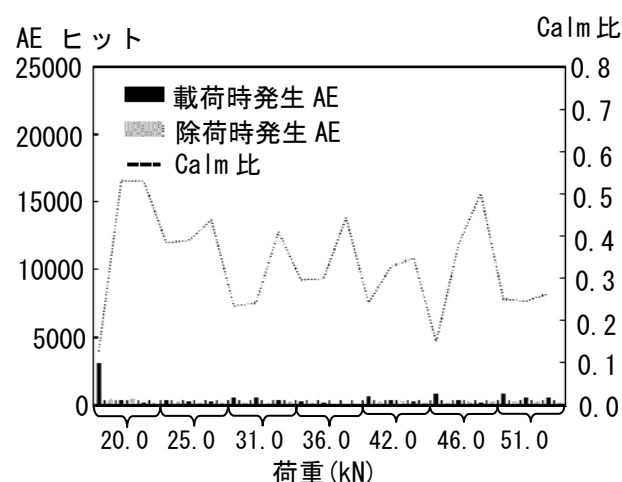


図-7 AE パラメータと載荷荷重の関係 (Case 3)

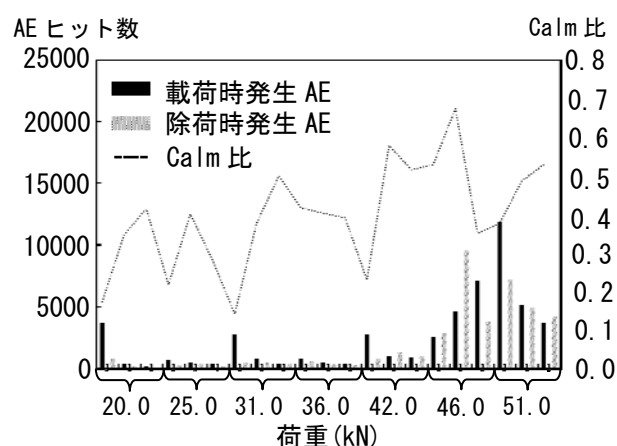


図-8 AE パラメータと載荷荷重の関係 (Case 4)

モーメントの増加に伴い確認された。除荷時の AE の頻発は、Case 1 においては 48 kN で確認された。Case 2 では載荷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、曲げ載荷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 と比較して試験荷重 46 kN 以降において高頻度の AE は検出されなかった。

以上のことから、曲げ載荷における荷重－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、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。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。

3.3 腐食鋼矢板のコンクリート被覆の有効性

本試験では腐食代を残存させている既設鋼矢板へコンクリート被覆を施した場合の実験的検討を行ったが、断面欠損が進行した鋼矢板は検討の対象外とした。

今回の載荷試験での被覆前供試体 Case 1 および Case 2 と被覆後 Case 3 および Case 4 の結果について、図－3 最大変位－荷重のまとめでは Case 1 の 3 サイクル目の最大変位が 35mm 付近まで達しているが、被覆後の Case 3 および Case 4 では、3 サイクル目での変位が 10.6mm 以下であった。また、曲げ載荷過程に発生するモーメントと AE ヒット数の関係からも、Case1 および Case2 では各サイクルで AE ヒット数が頻発していたのに対して Case3 および Case4 では、それが少ないのが分かる。以上より腐食代を残存させている既設鋼矢板へコンクリート被覆を施すことの有効性は確認できたものと考えられる。

4. おわりに

本報では腐食の進行した農業用鋼矢板水路を対象に、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とコンクリート複合材による矢板の表面保護の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り、その変位挙動は被覆後の鋼矢板に大きく寄与すると考えられる。その結果はコンクリート保護前よりも保護後の最大変位が小さくなったことから明らかとなり、鋼矢板－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。AE 法での計測でも、AE の発生頻度の減少が確認できたので、載荷試験における結果が裏付けられた。したがって、コンクリート被覆による保護工法は有効であると考えられる。

また、曲げ載荷過程の変位は、Case 3 よりも Case 4 の方が大きな数値を示していたが、AE 法でも同様の結果が得られた。このことから、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。

参考文献

- 1) 峰村雅臣，土田一也，羽田卓也，原斉，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.
- 2) 日本非破壊検査協会：NDIS2421 コンクリート構造物のアコースティック・エミッション試験方法，2000.
- 3) A.M. El-Shihy, 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.
- 4) Sebastian W. M. and McConnell R.: Non-kiner FE analysis of steel - concrete composite structures, ASCE Journal of Structural Engineering, 126 (6), 662-647, 2000.