

画像解析に基づく鋼矢板 - コンクリート複合材の曲げ載荷時に発生する 局所変形挙動の同定

藤村 ヒューム管(株)

正会員 ○佐藤 弘輝

新潟大学 自然科学系（農学部）

正会員 鈴木 哲也

新潟大学農学部

非会員 舘 翔平

1. はじめに

現在供用されている鋼矢板水路は、高度経済成長期に集中的に整備されてきた。その結果、長期供用による腐食の進行が顕在化している。一般的に鋼矢板施設の腐食代は設計段階で設定されている。長期供用による鋼矢板施設では、設計以上の腐食の進行が顕在化する施設も散見される。このことから、既存施設の適切な維持管理に基づく長寿命化策の検討には、腐食現象に対する早期の保全対策は不可欠であり、表面被覆工などの補修工法の開発は急務な技術的課題となっている。

既存の補修工法には、LCC（Life Cycle Cost）の低減を目的とした有機系材料による表面保護工が多用されているが、施工後に再劣化が生じている事例も報告されている。筆者らは、施工性と LCC 低減の観点から優位と考えられるコンクリートを用いて、鋼矢板表面にコンクリートを被覆する鋼矢板 - コンクリート複合材による表面被覆工法を検討している。既往の研究では、コンクリート被覆に伴う曲げ載荷試験における力学特性の変質に関して基礎的検討を行った¹⁾。本論では、既往の研究において曲げ載荷時の変形挙動を変位計のみの計測を供試体が複合材である特性を考慮し、画像解析による面的な変形量の同定を試みた。

2. 実験方法

2. 1 供試体

試験条件を表-1に、各ケース検討断面を図-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：既設鋼矢板、Case 2：未使用鋼矢板、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を配置して設計基準強度 18N/mm^2 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。

2. 2 曲げ載荷試験

曲げ載荷試験状況を図-2に、各ケースの試験荷重を表-2および表-3に示す。試験は供試体を片持ち梁部材として評価した。供試体1.5mのうち、0.5mをカウンターウエイト側で固定し、0.8mの載荷スパンをとって荷重載荷位置とした。荷重は、既設鋼矢板を採取した現地の条件より作用モーメントを求め、その1.5倍である $27.0\text{kN}\cdot\text{m}$ を基準値とした（表-2、表-3）。同一荷重は載荷 - 除荷サイクルを3回繰り返した。力学量は、ロードセルにより荷重を計測するとともに、図-2に示す箇所に変位計を設置して変位挙動を検出した。

2. 3 画像解析

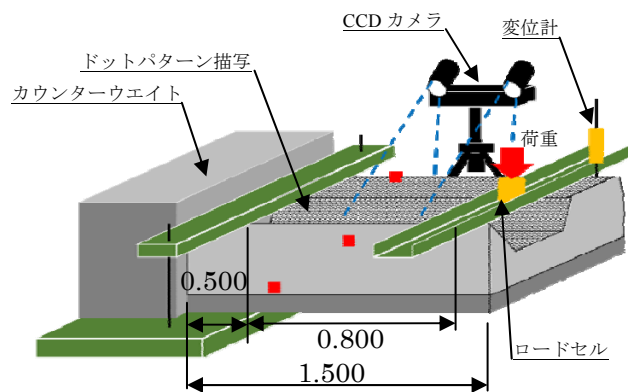
本実験では、鋼矢板表面および鋼矢板 - コンクリート複合材の局所変形を確認するために、デジタル画像相関法（以後DICMと記す）を採用して画像による変位の解析を試みた。計測機器の仕様を表-4に示す。計測システムの構成は、CCDカメラ、レンズ、パソコン、接続ケーブルであり、解析にはVic-3D（Correlated Solutions社製）を使用した。本手法は、あらかじめ供試体表面にドットパターンを配置した。計測対象が載荷荷重を受けた前後で変形前と変形後のドットの移動量を2台のCCDカメラで異なる方向から撮影し、その可視画像データから変位方向、変位量を数値解析により3次元で推定する手法である²⁾。

キーワード 鋼矢板 - コンクリート複合材、曲げ試験、デジタル画像相関法

連絡先 〒945-0061 新潟県柏崎市栄町7-8 TEL. 0257-22-3144 E-mail : satou.kouki@fujimura.gr.jp

表－1 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， $t=4.2 \sim 6.1$ mm）
Case 2	未使用鋼矢板（軽量鋼矢板， $t=6.0 \sim 6.1$ mm）
Case 3	既設鋼矢板（軽量鋼矢板， $t=4.2 \sim 6.1$ mm）+コンクリート
Case 4	未使用鋼矢板（軽量鋼矢板， $t=6.0 \sim 6.1$ mm）+コンクリート



図－2 曲げ載荷試験状況

本実験では、撮影間隔を 100 Hz に設定し、計測前にキャリブレーションプレートを使用して画像のひずみ補正を行った。CCD カメラは、図－2 に示す位置に配置して画像解析を行った。

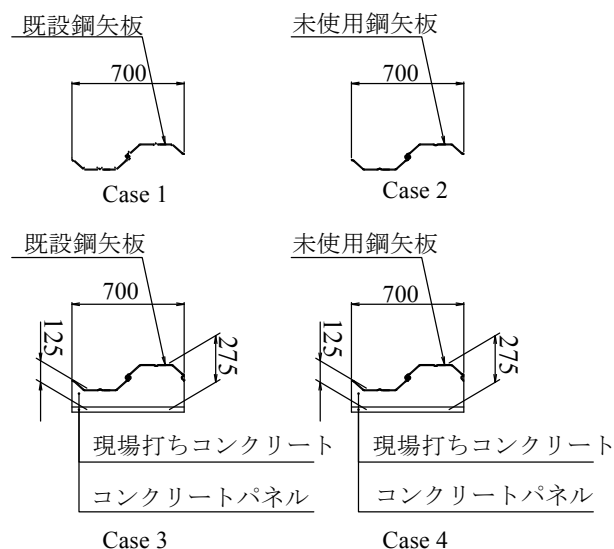
3. 結果および考察

3. 1 曲げ載荷過程における荷重 - 変位挙動

Case 1 および Case 2 の荷重値と変位量の関係を図－3 に、Case 3 と Case 4 を図－4 に示す。

検討の結果、コンクリート被覆前の Case 1 および Case 2、コンクリート被覆後の Case 3 と Case 4 で荷重 - 変位挙動が異なることが明らかになった。コンクリート被覆後の供試体では、被覆前と比較して最大変位量の低減が確認された（図－4）。

鋼矢板単材の場合には、Case 2 と比較して Case 1 の最大変位量および残留変位量の増加が確認された。コンクリート被覆材では、Case 3 よりも Case 4 での最大変位量および残留変位量の増加が確認された。コンクリート被覆の前後では、基準モーメントの荷重で Case 3 が Case 1 に対して最大変位量が 21%，残留変位が 29%であった。一方未使用鋼矢板を用いたケースでは、Case 4 が Case 2 に対して最大変位量が 46%，残留変位が 50%であった。Case 1 において変位量の増加が確認されたのは、長期供用に伴う損傷蓄積の影響と考えられる。コンクリート被覆材の変位量が鋼矢板単材の変位量よりも小さくなったのは、載荷過程におけるコンクリート挙動に影響を受けたためと考えられる。コンクリート被覆後の供試体を比較すると既設鋼矢板を用いた Case 3 よりも未使用鋼矢板を用いた Case 4 において変位量が大きくなった。本研究では、以上の結果を踏まえて、Case 3 および Case 4 の詳細な材料変形や破壊挙動を評価するために DICM によ



図－1 各ケース検断断面

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 モーメント (kN・m)	18	22	27	31	35	39	43

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 モーメント (kN・m)	18	22	27	31	35	39	43

表－4 計測機器仕様

CCD カメラ	型番：CRAS-14S5M-C (Point Grey Research 社製)
	解像度：1384×1036 pixel 画素サイズ：6.45×6.45μm シャッター速度：0.02ms～10s
レンズ	型番：Xenoplan 1.4/17 (Schneider Kreuznach 社製)
パソコン	CPU：Core i7 980@2.80GHz メモリ容量：6.00GB HDD：1TB

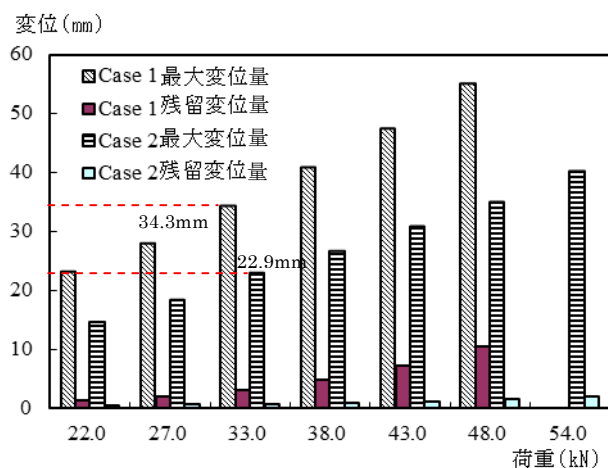


図-3 荷重値と変位量の関係 (Case 1, 2)

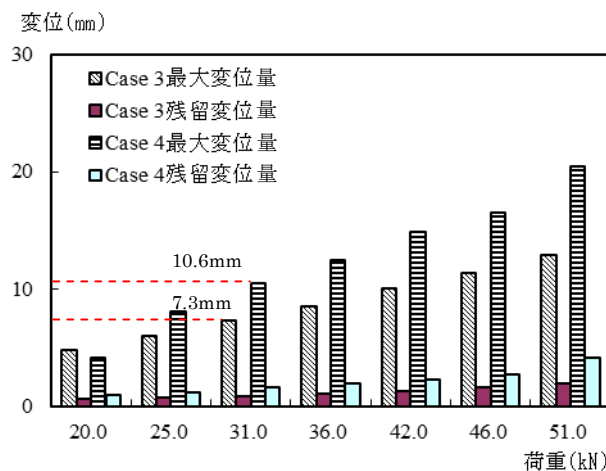
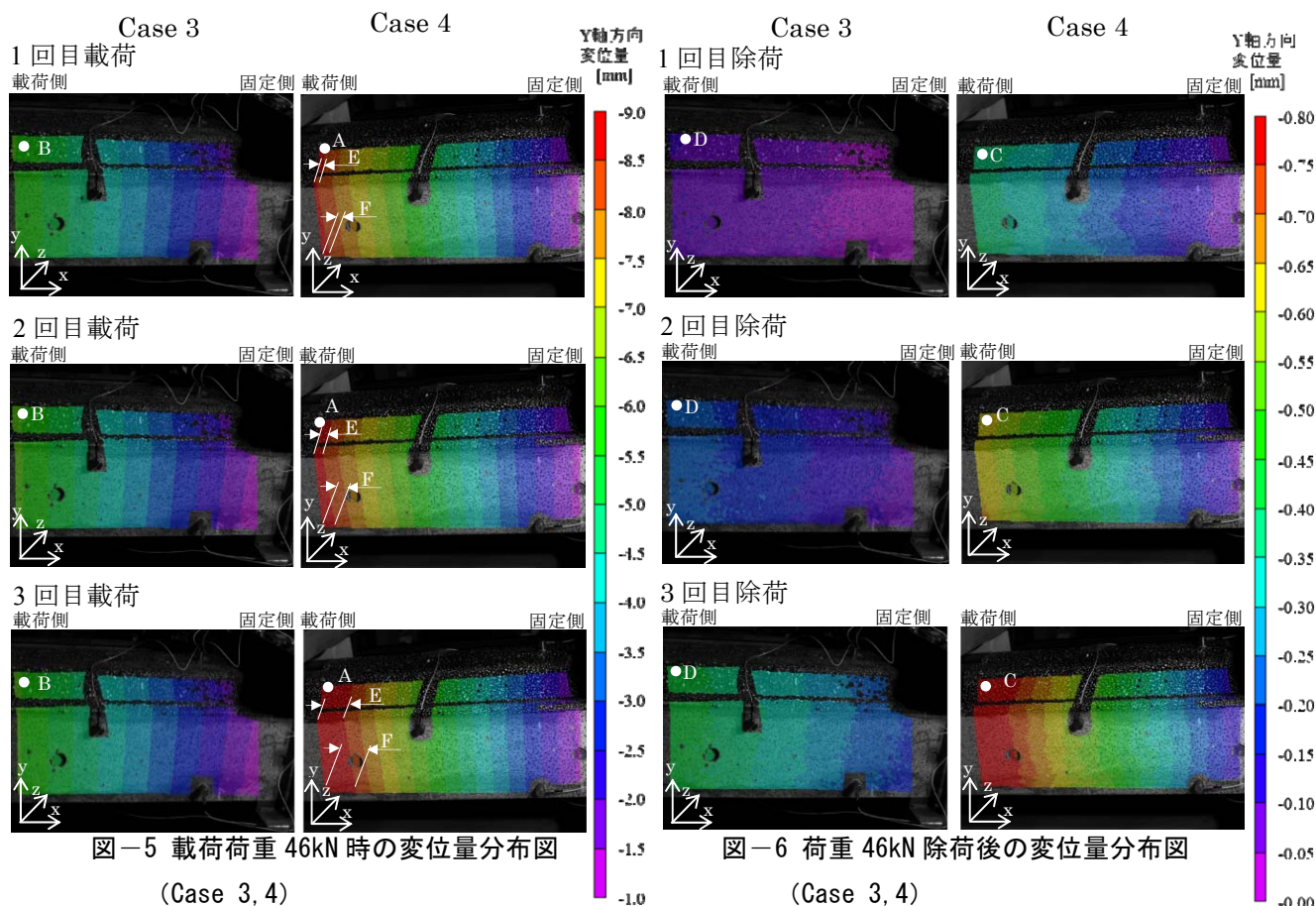


図-4 荷重値と変位量の関係 (Case 3, 4)

図-5 載荷荷重 46kN 時の変位量分布図
(Case 3, 4)図-6 荷重 46kN 除荷後の変位量分布図
(Case 3, 4)

る載荷過程の変形挙動を詳細評価した。

3. 2 鋼矢板 - コンクリート複合材の曲げ変形の特性と画像解析による定量評価

Case 3 および Case 4 の載荷荷重 46kN 時の DICM による画像データを図-5 に、Case 3 および Case 4 の載荷荷重 46kN 除荷後の DICM による画像データを図-6 に示す。

検討の結果、Case 3 と Case 4 で変位量分布が異なることが明らかになった。Case 4 の載荷時における DICM による変位量は、3回の載荷とも図-5 に示す A 点で 8.5~9mm が確認されたのに対し、Case 3 の B 点では 5~5.5mm 程度であった。除荷時の変位量は、図-6 に示す C 点で Case 4 の 1 回目 0.35~0.4mm、3 回目で 0.75~0.8mm であるのに対して Case 3 の D 点で 1 回目 0.05~0.1mm、3 回目で 0.4~0.45mm であった。これは、荷重 - 変位挙動で確認した変位量とは異なるものの Case 3 が Case 4 よりも変位量が小さいという点では同様の結果が得られた。また、図-5 の E および F に示すように供試体の鋼矢板側とコンクリートパネル側での変位量の差が確認された。

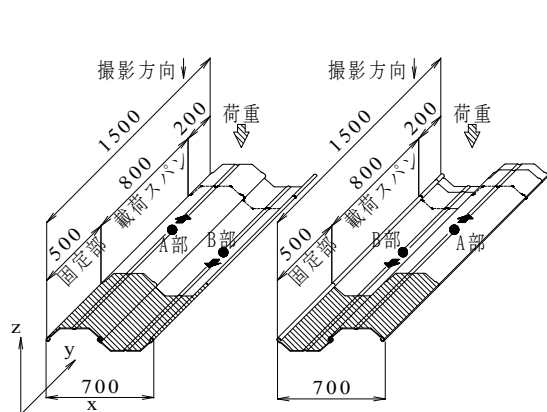


図-7 鋼矢板の変位方向 (Case 1, 2)

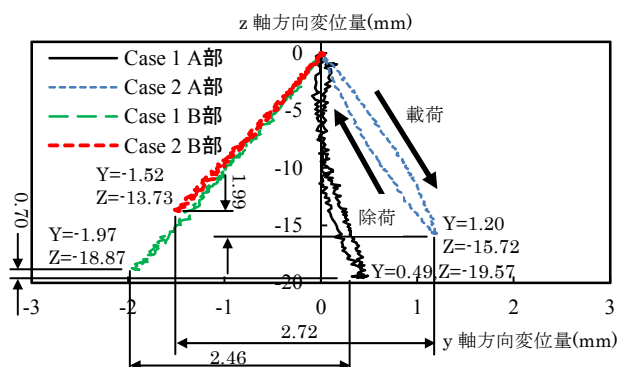


図-8 DICMによる荷重43kNにおけるYZ軸方向での変位量 (Case 1, 2)

3. 3 画像解析による局所的変形挙動の同定

図-7に Case 1 および Case 2 の鋼矢板の変位方向, 図-8に DICM による Case 1 および Case 2 の試験荷重 43kN における yz 軸方向での変位量を示す。

図-8の DICM による鋼矢板の面的な変形観察の結果 Case 2 の未使用鋼矢板ではセクションを境に凹凸部でねじれとずれを起因とする変位量の差が確認された。Case 1 の A 部 (凸部) で z 方向の変位変化量は-19.57mm, B 部 (凹部) で z 方向の変位変化量は-18.87mm, その差 0.70mm であった。Case 2 では, A 部 (凸部) z 方向の変位変化量は-15.72mm, B 部 (凹部) z 方向の変位変化量は-13.73mm, その差は 1.99mm であった。このことから, Case 1 よりも Case 2 でねじれを伴う変形挙動が確認された。y 方向の変位量を比較すると Case 1 の A 部で 0.49mm, B 部で-1.97mm, その差は 2.46mm であった。Case 2 では, A 部で 1.20mm, B 部で-1.52mm, その差 2.72mm であった。このことから Case 1 と比較して Case 2 においてセクションを境に長手方向でのずれを伴う変形挙動が確認された。Case 3 よりも Case 4 において大きい変位量とひび割れが確認されたのは, 未使用鋼矢板によるねじれとずれを伴う変形挙動が供試体に作用していたためと考えられる。このねじれとずれを伴う変形挙動が, 被覆コンクリートに影響を及ぼした結果, Case 4 において変位量が増加したものと考えられる。以上の結果より複合材の変形挙動は被覆コンクリートの影響を受けているものと考えられる。ただし, 複合材の載荷時の変形挙動は, 同時に鋼矢板の載荷時の変形挙動の影響を受けることから, 鋼矢板 - コンクリート複合材は一体化した部材として外力に抵抗し, 載荷過程における曲げ変形量を抑制する効果があることが確認されたと考えられる。

4. おわりに

本研究では, 農業用水路に普及する鋼矢板護岸へコンクリート被覆による補修工法を検討するため鋼矢板 - コンクリート複合材を対象に, 曲げ載荷試験による変形挙動と DICM による解析を試みた。この結果を以下に列挙する。

- 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) 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。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) 佐藤弘輝ほか: コンクリート被覆を施した既設鋼矢板の曲げ載荷挙動評価に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集 Vol.35, pp. 1639-1644, 2013.
- 2) Sutton, M. A., Orteu, J. J. and Schreier, H. W.: Image Correlation for Shape, Motion and Deformation Measurements, Springer, 2012.