

河川環境における鋼矢板護岸の腐食損傷に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：令 5～令 7

担当チーム：材料資源研究グループ

研究担当者：富山禎仁、島袋智尋

【要旨】

汽水・淡水域における鋼矢板の特徴的な腐食形態やその進行性の把握を目的として、関東地方 7 河川の鋼矢板護岸の現地調査を実施し、外観観察や板厚測定、水質・付着物等の分析を行った。現地調査の結果から、地際・水際付近や、矢板が跳水を受けて乾湿繰り返しが頻繁に起きるような箇所では顕著な板厚減を伴う腐食が生じ易いことが明らかとなり、それぞれのおおよその腐食速度を把握した。また、腐食速度と各種水質パラメータとの相関を分析した結果から、汽水・淡水域における鋼矢板の腐食速度は主に電気伝導率の影響を受けること、特に SRB 菌数が多い箇所では局部的に孔食状の腐食が大きな速度で進行するリスクがあることが明らかとなった。

キーワード：河川護岸、鋼矢板、腐食、汽水、淡水、微生物腐食、孔食

1. はじめに

河川管理施設では水門、堰、ダムゲートや管理橋などの鋼材に対し、主に塗装による防食が施されており、これらが劣化した場合の補修の考え方も確立されている。一方で、護岸においても矢板等（鋼矢板護岸工）の形態で鋼材が多く用いられているものの、腐食環境の特に厳しい一部の河口域等を除いて、それらの大半は無防食の状態である。平成 25 年度に、国土交通省が河川管理施設の集中点検¹⁾を行い、目視点検が困難な箇所については非破壊探傷機器等を用いて詳細に調査したところ、矢板護岸等の水中部では、調査を実施した 513 km の区間のうち、およそ 6%に相当する 31 km の区間で何らかの不具合が発見された。また、不具合が見つかった 31 km のうち、およそ 94%に相当する 29 km の区間については、補修等の対策が直ちに必要か、あるいは当面は経過観察で良いのか、「どちらとも判断できない」との結果であった（表-1）。これらの結果から、河川管理者らが点検・診断や維持管理計画の策定に苦慮している状況が推察できるが、その要因としては、汽水・淡水域における鋼矢板の腐食機構や損傷形態、腐食が護岸機能に及ぼす影響等について検討事例に乏しく、腐食損傷に対する対策の要否や対策方法についての考え方が確立されていないことが挙げられる。

表-1 河川管理施設の集中点検で明らかとなった水中部（矢板護岸等）の劣化

	点検数量 総延長	劣化発見	要対策	経過観察	どちらとも 判断できない	補修等の 措置
延長 (km)	513.3	31.3	0.7	1.3	29.3	0
点検総延長に 対する割合 (%)	100	6.1	0.1	0.3	5.7	0

そこで本研究では、汽水域・淡水域における鋼矢板の特徴的な腐食損傷形態やその進行性を把握することを目的として、汽水・淡水域河川に設置された鋼矢板護岸の現地調査を実施し、外観観察や板厚測定、水質・付着物の分析等を行った。

2. 河川鋼矢板護岸の現地調査

現地調査は、河川管理者による過去の点検等において腐食による変状が報告されている事例の中から、任意に抽出した関東地方の 7 河川（いずれも都市部）で実施した。調査箇所付近における水質を分析したところ、A 川および G 川は塩分濃度（塩化物イオン総量から換算）がそれぞれ 0.9%、0.26%と突出している一方で、その他の河川では水道水とほぼ同じレベルであった（表-2）。A 川の調査箇所は河口から 6 km、G 川の調査箇所は並行して流れる別河川の河口から 3 km の地点の川裏に位置しており、いずれも河口からの海水の遡上による影響を受けているものと考えられる。A 川および G 川における電気伝導率や不純物総溶解度は海水の影響により他よりも高くなっているが、その他の水質指標についてはいずれの河川もほぼ同等であると考えられる。

現地では主に近接目視による観察を行い、典型的な腐食損傷の形態について把握・整理した。さらに、A 川、C 川、F 川（図-1）については超音波厚さ計による板厚計測や、現地で採取した腐食生成物や付着物の詳細な分析を行った。

表-2 現地調査を実施した地点における河川の水質

河川名	荒川水系					利根川水系	
	A川	B川	C川	D川	E川	F川	G川
汽水／淡水の区分	汽水	淡水	淡水	淡水	淡水	淡水	汽水
水温 [°C]	21.4	20.5	21.4	21.3	20.6	21.2	(10.2) ※
pH	6.9	7.4	7.5	7.3	7.3	7.3	(7.5) ※
電気伝導率 [$\mu\text{S}/\text{m}$]	1,700	26	30	35	31	51	(497) ※
濁度 [NTU]	15	1	1	7	7	22	—
溶存酸素 (DO) [mg/L]	9.2	10.1	9.7	9.7	10.0	9.8	—
不純物総溶解度 (TDS) [g/L]	10	0.17	0.20	0.23	0.20	0.33	—
酸化還元電位 (ORP) [mV]	391	365	354	403	389	374	—
塩化物イオン濃度 [mg/L]	5.3	2.1×10^{-2}	2.9×10^{-2}	3.3×10^{-2}	1.9×10^{-2}	4.3×10^{-2}	—
NaCl 換算 [%]	0.9	3.5×10^{-3}	4.7×10^{-3}	5.4×10^{-3}	3.1×10^{-3}	7.0×10^{-3}	(0.26) ※

※ G川における水質指標は現地で計測した。



図-1 詳細調査を行った河川護岸鋼矢板の位置図

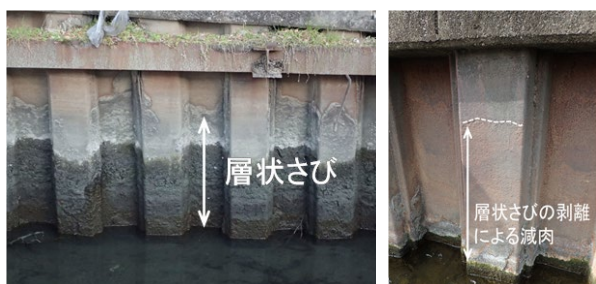


図-2 地際・水際付近に見られる層状さび 図-3 層状さびの剥離

3. 汽水・淡水域における鋼矢板の腐食の傾向と特徴

現地調査で確認された鋼矢板の腐食事例の中から、代表的なものを以下にまとめた。

3.1 地際・水際付近の腐食

地際・水際付近を中心に層状のさびが形成されている事例は、現地調査において最も多く見られた(図-2)。河川水による乾湿の繰り返しや、雑草などの生育により矢板表面が局部的に湿潤環境となることなどで、他の部位よりも腐食が促進し易くなるものと考えられる。腐食が進行し層状さびが厚みを増すと、さびが割れたり、剥がれたり(図-3)する場合がある。

3.2 飛沫部の腐食

近辺に落差工などがある場合、鋼矢板が飛沫を受け、乾湿が高い頻度で繰り返される。このような場所では、



図-4 落差工付近の顕著な腐食



図-5 継手部からの 図-6 汽水域で見られたこぶ状さび
漏水による腐食

顕著な板厚減に繋がるような腐食が生じやすい傾向が見られた。現地調査では、塗装された鋼矢板においても、同様の腐食損傷が確認された(図-4)。

3.3 継手部からの漏水による腐食

何らかの理由により継手部から漏水が起きると、その部分を起点として腐食が進行するものと考えられる(図-5)。腐食が進行し周囲の板厚が減少すると、漏水がさらに顕著となり、腐食の促進や背面土砂の流出等、損傷は一層深刻となる。また、鋼矢板に建設当初から人工孔が設けてあったり、排水管が敷設してある場合があるが、これらの周囲においても排水や雨だれによって、同様の腐食が形成される場合が多い。

3.4 孔食

鋼材表面に何らかの欠陥があると、そこを起点として板厚方向に局部的に腐食が進行する場合がある。この腐食形態が孔食であり、これが進むと、局部的にこ

ぶ状の腐食生成物が形成されるものと考えられる（図-6）。孔食により局部的に板厚が大きく減少するが、周囲の腐食程度は小さい場合もあり、部材全体の健全度を表面的に判断することは困難である。

4. 板厚測定結果

A 川、C 川、F 川において、超音波厚さ計による鋼矢板の残存板厚の測定を行った（図-7）。いずれの箇所においても、干満部での腐食による減肉は大気部よりも大きいことがわかった。平均的な腐食程度と思われる箇所について、竣工時の板厚と過去 2 回実施した残存板厚計測結果（図-9）をもとにそれぞれの腐食速度を試算したところ、A 川では 0.027 mm/yr、0.039 mm/yr（孔食部を除く）、B 川では 0.021 mm/yr、0.063 mm/yr、C 川では 0.014 mm/yr、0.078 mm/yr（いずれも大気部→干満部の順）となった。落差工付近の飛沫を受ける箇所や、乾湿繰り返しを高い頻度で受けるような部位においては、汽水域のみならず淡水域においても 0.1～0.2 mm/yr の速い速度で腐食が進行する傾向が見られた一方で、その他の部位での腐食の進行は比較的緩やかであることがわかった。

5. 現地採取試料の分析と結果

A 川、C 川、F 川で採取した河川水は、BART（Biological Activity Reaction Tests）を用いて試験した。また、鋼矢板より採取した腐食生成物は土砂等の付着物とともに、実験室において赤外分光分析（FT-IR）や EDS による元素分析などを行った。

BART は環境中に存在する微生物の数と種類の概要を簡便に見積もることのできる培養キットである。BART 容器の中には培養液と、酸素の拡散を防ぐためのプラスチック製の球体が入れており、サンプル（20 mL）注入後の培養液の色の変化や沈殿物発生の有無、変化までの時間から優勢な菌類の種類や数を把

握することができる。本研究では硫酸塩還元菌を対象とした SRB-BART を用いた（図-8）。

BART 試験の結果から、A 川、C 川、F 川いずれの河川水中にも硫酸塩還元菌（SRB）を含む嫌気性菌、好気性菌の存在が認められた。SRB 菌数は、こぶ状さびが発生した A 川の河川水が他よりも圧倒的に多い結果となった（図-10）。

A 川および C 川の鋼矢板より採取した腐食生成物の赤外吸収スペクトルを図-11 に示す。比較として、複合サイクル試験機（CCT）を用いて人工的に作製した

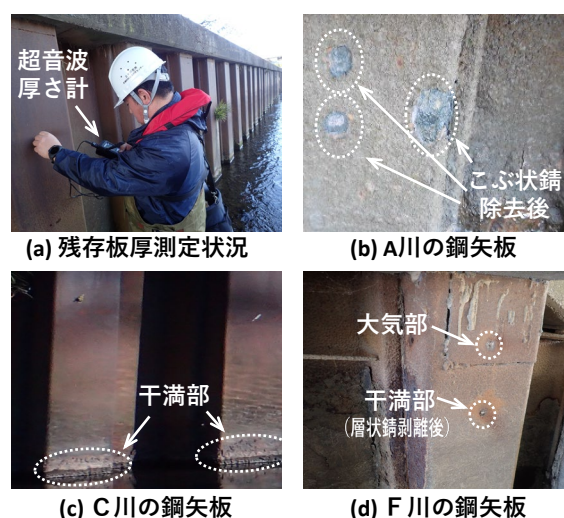


図-7 超音波厚さ計による残存板厚測定

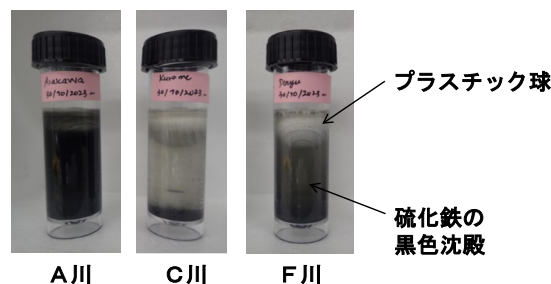


図-8 SRB-BART テスト（23℃恒温槽中で培養）

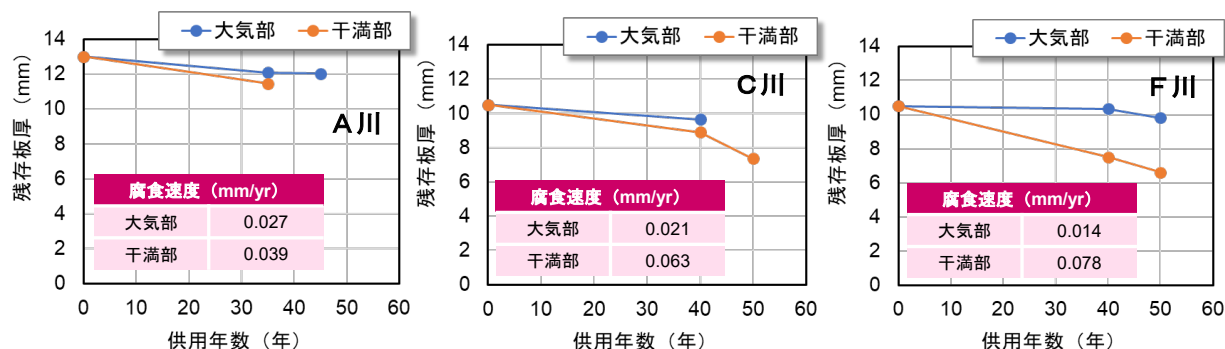


図-9 河川護岸鋼矢板の残存板厚の経時変化

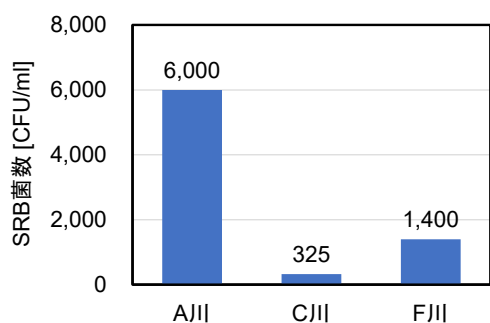


図-10 河川水より検出された SRB 菌数

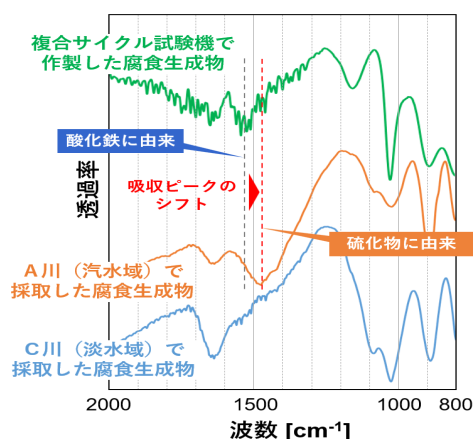


図-11 各種腐食生成物の赤外吸収スペクトル

水の解離:	$8\text{H}_2\text{O} \rightarrow 8\text{H} + 8\text{OH}^-$	(1)
アノード反応:	$4\text{Fe} \rightarrow 4\text{Fe}^{2+} + 8\text{e}^-$	(2)
カソード反応:	$8\text{H}^+ + 8\text{e}^- \rightarrow 8\text{H}$ (金属表面への吸着)	(3)
SRBによる硫酸塩還元:	$8\text{H} \text{ (吸着)} + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{S}^{2-} + 4\text{H}_2\text{O}$	(4)
最終の腐食生成物:	$4\text{Fe}^{2+} + \text{S}^{2-} + 6\text{OH}^- \rightarrow \text{FeS} + 3\text{Fe}(\text{OH})_2$	(5)
全体の反応:	$4\text{Fe}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{FeS} + 2\text{OH}^-$	(6)

図-12 硫酸塩還元菌が関与する鋼材の腐食反応

腐食生成物のスペクトルも合わせて示している。各スペクトルを比較すると、 1500 cm^{-1} 付近の吸収ピークに違いがあることがわかる。CCT による腐食生成物では、酸化鉄に由来するものと考えられる吸収が 1530 cm^{-1} に認められるが、これが A 川鋼矢板の腐食生成物では低波数側にシフトした。スペクトルの解析結果から、A 川鋼矢板で見られたピークは硫化物に由来するものと推察される。硫酸塩還元菌のような微生物は鋼材の腐食を促進する場合があることが知られており、一般には微生物腐食と呼ばれている。そのメカニズムは不明な部分も多いが、古くから知られている硫酸塩還元菌による腐食のメカニズムは図-12 に示した通りである。すなわち、A 川鋼矢板では硫酸塩還元菌による微生物腐食を生じ、その結果硫化鉄 (FeS) のような硫化物を含む腐食生成物が生成され、これが図-11 に示した赤外吸収ピークのシフトや、特徴的な

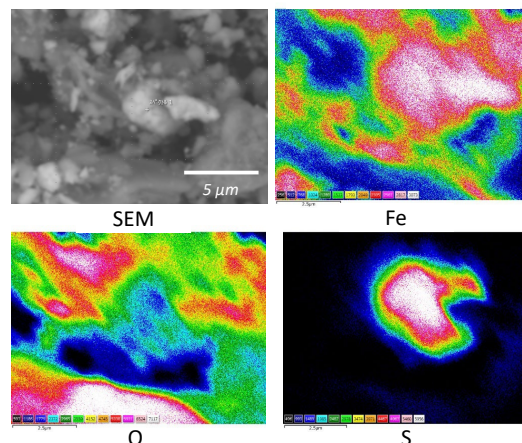


図-13 A 川の鋼矢板より採取したこぶ状錆の元素分析結果

こぶ状さびの形成に繋がったことが示唆される。

一方、このこぶ状錆の元素分析を行った結果、Fe 元素と S 元素のマッピング像から、こぶ状錆には局所的に硫化鉄 (FeS) が生成していることが明らかとなった (図-13)。この結果からも、A 川鋼矢板では硫酸塩還元菌による微生物腐食が生じ、その結果硫化鉄 (FeS) のような硫化物を含むこぶ状錆が生成されたものと考えることができる。このような形態の腐食は、菌数が少ない C 川、F 川では認められなかった。

水温、pH、電気伝導率、溶存酸素濃度、SRB 菌数等の水質パラメータと鋼矢板の腐食速度との相関分析を行った結果から、腐食速度は主に、塩化物濃度や水の濁度に関連する電気伝導率の影響を受けること、特に SRB 菌数が多い箇所においては局所的な腐食が大きな速度で進行するリスクがあることが明らかとなった。

6. まとめ

本研究の結果から、地際・水際付近や、鋼矢板が跳水を受けて乾湿繰り返しが発生するような箇所では顕著な板厚減を伴う腐食が生じ易いことが明らかとなった。また、汽水・淡水域における腐食速度は、主に河川水の電気伝導率や SRB 菌数に左右されることを把握した。特に SRB 菌数の多い箇所では、進行の速い孔食状の腐食が局所的に生じるリスクが高まるため、これを念頭に置いた適切な点検・診断が求められる。

参考文献

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局：報道発表資料「水管理・国土保全局所管施設（河川・ダム・砂防）の集中心点検の結果について」, <http://www.mlit.go.jp/common/001012551.pdf>

A STUDY ON CORROSION DAMAGE TO STEEL SHEET PILE IN RIVER ENVIRONMENTS

Research Period: FY2023-2025

Research Team: Materials and Resources Research Group

Author: TOMIYAMA Tomonori

SHIMABUKURO Chihiro

Abstract: In order to understand the corrosion characteristics and its progression of steel sheet piles in brackish and freshwater environments, field surveys such as visual inspections, thickness measurements and analysis of water quality and corrosion products for those structures along seven rivers in the Kanto region were conducted. The results of the field surveys indicated that corrosion accompanied by significant thickness reduction tends to occur in areas where sheet piles are subjected to splash water and frequently repeat drying-wetting conditions. Also the approximate corrosion rates for each of these locations were determined. Furthermore, Pearson correlation analysis between corrosion rates and various water quality parameters revealed that the corrosion rate of steel sheet piles in brackish and freshwater areas is primarily influenced by electrical conductivity, and that there is a risk of rapid localized pitting corrosion, particularly in areas with high SRB (Sulphate Reducing Bacteria) counts.

Keywords: River revetment, Steel sheet piles, Corrosion, Brackish water, Freshwater, Bacterial corrosion, Pitting corrosion

論文リスト

● 学術誌等による成果普及

査読付論文・国内（計 1 本）

- a-1) Wint Thandar, Tomiyama Tomonori: Influence of Applied Stress on Corrosion of Weathering Steel, 鋼構造年次論文報告集(CD-ROM), Vol. 33, pp. 69-76, 2025.11

学会発表等その他（計 5 本）

- e-1) Wint Thandar, Tomiyama Tomonori: Corrosion Potential of Carbon Steel in River Water: Considering on Sulphate-Reducing Bacteria, 土木学会全国大会年次学術講演会（Web）, Vol. 80th, I-115, 2025
- e-2) 富山禎仁、ウイント タンダー：汽水・淡水域における河川護岸鋼矢板の腐食挙動に関する調査、土木学会全国大会年次学術講演会（Web）、Vol.80th、I-114、2025
- e-3) Wint Thandar, Tomiyama Tomonori, Sugiura Kunitomo: Investigation of Plastic Strain Distribution of Corroded Weathering Steel by Digital Image Correction Method (DIC), 土木学会全国大会年次学術講演会（Web）, Vol. 79th, .CS9-68, 2024
- e-4) 富山禎仁、ウイント タンダー：汽水・淡水域における河川護岸鋼矢板の腐食形態に関する検討、土木学会全国大会年次学術講演会（Web）、Vol. 79th、I-276、2024
- e-5) Wint Thandar, Hui Shen, Sugiura Kunitomo: Corrosion Behavior and Mechanical Degradation of Weathering Steel in Simulated Environment, 土木学会全国大会年次学術講演会（Web）, Vol. 78th, CS1-05, 2023