放射光を用いた X 線回折による 耐候性鋼層状剥離さび層の局所構造解析例

原 修 一*

* 住友金属テクノロジー株式会社

A X-Ray Diffraction Analysis on Constituent Distribution of Heavy Rust Layer Formed on Weathering Steel Using Synchrotron Radiation

Shuichi Hara*

* Sumitomo Metal Technology Inc.

A local structural analysis of heavy rust layers with large swelling and laminated layers formed on weathering steel bridges using synchrotron radiation X-ray diffraction (SR-XRD) in SPring-8 have been performed. The main constituent in average composition of the whole layer was spinel-type iron oxide [mainly Magnetite (Fe_3O_4)] and the mass ratio was 30-40 mass%. In contrast the mass ratio of spinel in its local parts, i.e. outer layer, inter-layer and inner layer position was not higher in common but the mass ratio of $\beta\text{-FeOOH}$ was higher. Therefore it indicates that these heavy rust layers have been composed of many layers of spinel poor, rich and poor - cell (SPRaP-cell). Thus SR-XRD is useful for the analysis of the constituent distribution in the rust layer.

Keywords : synchrotron radiation (SR), SPring-8, X-ray diffraction (XRD), SR-XRD, rust layer, weathering steel, atmospheric corrosion, de-icing salt, goethite, akaganéite, lepidocrocite, magnetite, spinel, Rietveld analysis

1. はじめに

1.1 さび層の局所構造とは

Cr, Cu, Ni を微量添加した耐候性鋼は無塗装で用いることができ、我が国鋼製橋梁の約 30% 近くまで広く普及している構造材料である。耐候性鋼は決してメンテナンスフリーではなく、生成するさび層が保護性皮膜として機能しているかを点検し、維持する、すなわち最小限の適切なメンテナンスによってはじめて 100 年超の長寿命を期待できる¹⁾。本報では、設計上想定できなかった環境条件により耐候性鋼に生成した、保護性をもたないさび層の局所構造に焦点を当てる。ここで局所構造とは、広義にはさまざまなキャラクター化によるさび層の詳細な構造、例えば結晶組成比や塩化物濃度の厚み方向の詳細な分布などを意味するが、ここでは狭義に X 線回折 (XRD) で得られるさび結晶相比の分布 (以下さび組成) と定義する。保護性をもたないさび層が生成している場合は、その程度に応じて要因の除去および補修対策が必要となる¹⁾。これらの実施にあたっては、再発防止あるいはコストの観点から、このさび層の局所構造を十分に理解しておくことが望ましいと考えられる。また、その理解は、まだ十分には解明されていない、その生成メカニズムの解明にも役立つと考えられる。

これまで、塩化物の少ない大気環境で生成した良好な保護性さび層構造の詳細なキャラクター化の報告は多く²⁾⁻¹²⁾、層全体の平均さび組成は $\alpha\text{-FeOOH}$ (Goethite, 以下 α) が多く、 $\gamma\text{-FeOOH}$ (Lepidocrocite, 以下 γ) が少なく、 $\beta\text{-FeOOH}$ (Akaganéite, 以下 β) およびスピネル型酸化鉄 (主として Magnetite (Fe_3O_4), 以

下 Spinel) はほとんど検出されないことが知られている。しかし、保護性をもたないさび層の局所構造を詳細に調べた報告は少ない。

1.2 局所構造を明らかにすべきさび層

外観観察において、ほぼ 800 μm から数 mm オーダーに達するほどに厚い多層さび層で、さび層全体が連続的に剥離する特徴をもつ「層状剥離さび^{13), 14)}」(外観 5 段階評価法¹⁵⁾ による外観評価点 1) と呼ばれるさび層がある。また、ほぼ 400 μm より厚いさび層で部分的にふくれ、うろこ状に剥離する「うろこさび^{16), 17)}」(外観評価点 2¹⁵⁾) と呼ばれるさび層がある。両者は実構造物において維持管理上常に問題となるさび層であるが、その局所構造は、実はほとんど知られていない。

層状剥離さび層の生成した耐候性鋼の腐食速度は、経過時間にかかわらず、0.03 から 0.4 mm/年¹⁸⁾ に達するまで広範囲でかつ他のさび層に比して大きいことが知られており、耐荷力に重大な影響を及ぼし有害である。うろこさび層については、腐食速度がほぼ 0.02 mm/年¹⁸⁾ 程度で、比較的小さいが、今後層状剥離さび層に進展していく恐れがないか、維持管理上どう対処すべきか、などの疑問点が未解決である。山間部橋梁の層状剥離さび層は、漏水が強く関与していることが経験的に知られていた¹³⁾ が、最近、大塚ら¹⁹⁾ は層状剥離さび層が長時間のぬれと塩化物により生成することを再現実験により確かめ、その生成メカニズムについて考察している。しかし、これらさび層の生成メカニズムはまだ十分に解明されたとはいえない。

以上の必要性から、本報では実際の耐候性鋼橋梁に生成した層状剥離さび層の局所構造を明らかにする試みの一つとして、放射光を用いた X 線回折 (SR-XRD) の解析例^{20), 21)} を紹介し、その有効性を述べる。

* 〒660-0891 尼崎市扶桑町 1-8 (1-8, Fuso-cho, Amagasaki, 660-0891 Japan)

2. さび層局所構造解析方法

これまで耐候性鋼さび層のさび組成は、ほとんど実験室 X 線回折 (Labo-XRD) による層全体の平均さび組成によって検討されてきた。しかし、層状剥離さび層のようにさび層が厚い場合は層平均組成だけで議論することは十分でなく、局所構造を調べる必要がある。これまでの一般的 Labo-XRD では経験上、定量精度を維持するため 300 mg の試料が標準²²⁾とされていたために局所解析はほとんど不可能に近かった。放射光を用いる SR-XRD は放射光の高い平行度により、Labo-XRD に比して高分解能、高 S/N 比の XRD パターンの取得が期待される。さらに SR-XRD は光源の輝度が高いため、1 mg 未満ほどの微量試料でも定量解析が期待でき、局所解析に最適と考えられる。

2.1 試料採取法

2.1.1 局所採取法

ここで局所採取法とは、さび層の剥離性を利用し、カッターナイフなどを用いて狙いとするさび層位置より上部のさび層を剥離除去させ、任意の露出したさび層表面層から試料粉末を採取する簡便な方法をいう²⁰⁾。この表面層において約 20 mm×20 mm の面積をカッターナイフで掻き取り、粉末さび試料数 mg を採取する。試料粉末は、めのう乳鉢にて丁寧に均一にすりつぶした後、リンデマンガラス製キャピラリー (外径 0.3 mm) 先端部約 20 mm 長さ (挿入さび量約 0.7 mg) に均一に封入する。

用いた層状剥離さび層サンプル A, B はいずれも漏水部に生成していたもので、兵庫県山間部橋梁 (経過年数 7 年) で採取した。サンプル A は A 橋梁床版亀裂部直下の桁中央位置、サンプル B は B 橋梁の桁端部位置に生成していた。

図 1 にサンプル A²⁰⁾ の断面写真、模式図および局所試料採取位置である外層、層状隙間 (中間層) および内層の 3 か所を示す。鋼面に近接した界面さび層は容易に採取できないため、内層は鋼側に近いボイドとみるべきであろう。サンプル B²⁰⁾ はこの種のさび層に特徴的な色調に注目した局所採取法であって、図 2 中に示すように、黒色部とその外層の一部が剥離して露出した鮮やかなオレンジ色の橙色部とした。外観検査において橙色部は層状剥離さび層を見分ける場合の目安となりうる。サンプル A の外層から別途採取した褐色粉末を褐色部とし、上記と対照した。

2.1.2 段割り試料採取法

層状剥離さび層サンプル C は高知県山間部 C 橋梁 (経過年数 10 年) の桁端部漏水部で採取した。サンプル C を、電動グラインダーによってほぼ 0.5~1 mm ずつ段階的にさび層を切削除去し、その切削面それぞれについてカッターナイフを用いてさび粉末を各数 mg 採取し、上記と同様にしてキャピラリー封入試料とする。本方法の試適用例²¹⁾を図 3 に示す。本方法は、さび層を構成するオキシ水酸化鉄が加工熱を受けて Hematite ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) の生成などに変質の危険性がある。今回試行した結果、電動グラインダーによる切削層表面から最初にカッターナイフで採取した試料は捨てるなどの対策をとった。こ

図 1 層状剥離さび層サンプル A の (a) 断面図, (b) 模式図および局所試料採取位置²⁰⁾

図 2 層状剥離さび層サンプル B の色調別の局所試料採取位置²⁰⁾

図 3 層状剥離さび層の段割り試料採取状況²¹⁾

のように、本方式の場合のデータの取り扱いに十分注意する必要がある。小型フライス盤のような装置を用い、切削層厚さの精度管理を向上させるなど改善の余地は多く残っている。

2.2 X線回折方法

2.2.1 SR-XRD を用いた局所解析

大型放射光施設 SPring-8, BL19B2 のデバイシェラーカメラを用いて粉末 SR-XRD を行った^{20), 21)}。使用した X 線の波長は $\lambda = 0.075$ nm (16.46 keV), ビームサイズは 0.3 mm 厚 $\times$ 約 3 mm 幅である。測定試料は結晶粒の選択配向によるデータの質の劣化を抑制するため、試料スピナーで X 線照射中に 3 回転/秒の速度で回転させた。X 線の照射時間は 5 min 間照射, 回折像はイメージングプレートで記録した。これから一次元データを切り出し, 回折パターン ($2\theta = 0 \sim 77^\circ$ 範囲, 0.01° 間隔) を得た。

2.2.2 さび質量比の求め方の一例

SR-XRD におけるさび組成比の定量に内部標準法は用いなかった。これは試料が微量であるため内部標準物質を混入することが困難なためである。ここでは簡易な Labo-XRD 内部標準法による平均組成の定量値を参照して求める方法²⁰⁾ を示す。

SR-XRD において得られた回折ピークのプロファイルを α , β , γ , Spinel(s) の 4 相で同定する。各相のさび組成を求めるために使用した回折ピークは, α は $2\theta = 10.3^\circ$ 近傍の (110), β は $2\theta = 5.7^\circ$ 近傍の (110), γ は $2\theta = 6.8^\circ$ 近傍の (200), Spinel は $2\theta = 14.5^\circ$ 近傍の (220) である。これら回折ピークを Lorentz 関数でフィットして, 積分強度 I を求める。

次に, あらかじめ Labo-XRD 内部標準法により定量したさび層片試料 A の層全体平均組成のそれぞれ $M_{\alpha A}$, $M_{\beta A}$, $M_{\gamma A}$, M_{sA} によって, 同一試料 A の SR-XRD におけるそれぞれの回折ピーク強度 $I_{\alpha A}$, $I_{\beta A}$, $I_{\gamma A}$, I_{sA} を規格化し, 他のすべてのさび層片試料の SR-XRD 強度をさび組成比に比例換算する。例えば試料 X 中の α について $M'_{\alpha X} = (I_{\alpha X}/I_{\alpha A}) M_{\alpha A}$ を求め, 他の 3 相についても同様にそれぞれ $M'_{\beta X}$, $M'_{\gamma X}$, M'_{sX} を求め, 最後にこれら 4 相の M' 合計が 100 mass% になるように換算し直し, それぞれ $M_{\alpha X}$, $M_{\beta X}$, $M_{\gamma X}$, M_{sX} を得る。結局, 求めるさび組成比は次式によって算定した。ここに符合 i, j はそれぞれ α, β, γ, s を表す。

$$M_{iX} = M_{iA} (I_{iX}/I_{iA}) / \left(\sum_j M_{jA} (I_{jX}/I_{jA}) \right)$$

この場合の定量精度は Labo-XRD の定量精度に依存するため, 相対誤差は 1~5% 範囲内にあると考えられる。

3. さび層局所構造解析結果

3.1 層状剥離さび層

3.1.1 層平均さび組成

サンプル A の層平均さび組成を調べるために用いた Labo-XRD (リガク RU-2000, Co K α 使用 $\gamma = 0.17889$ nm)

図4 層状剥離さび層サンプル A の層平均 Labo-XRD パターン (ZnO 内部標準法)²⁰⁾

パターン²⁰⁾ を図 4 に示す。図中, 角度 2θ は放射光で利用した X 線の波長に換算しており, ZnO は内部標準物質である。また, 定量に用いた各相のピーク位置にのみ面指数を示す。このパターンの示すさび組成は, α, γ のみからなる一般的さび層と異なっており, 塩化物環境を示す β が含まれ, Spinel ピークが高い特徴がある。

さび組成比定量結果を表 1 に示す。Spinel が 40 mass% でもっとも高く, 次いで α が 38 mass%, β が 16 mass%, γ が 6 mass% であった。本結果はさびサイエンス研究会 (主査: 北海道大学 大塚教授) における中山の層状剥離さび層の層平均 XRD 定量結果²³⁾ と同様の結果である。

参考までに, さび層の保護性は層平均さび組成比 α/γ^* (質量比 $\alpha = M_\alpha$, 組成比 $\gamma^* = M_\gamma + M_\beta + M_s$) および $(\beta + s)/\gamma^*$ [組成比 $(\beta + s) = M_\beta + M_s$] の範囲により分類評価できるという知見に基づく保護性指標 (Protective Ability Index, PAI)¹⁸⁾ を用いてみると, 表 1 に示すごとく, サンプル A は保護性がなく ($\alpha/\gamma^* = 0.6$ よって $PAI_{\alpha/\gamma^*} < 1$), かつ活性 (Active) なさび層 [$(\beta + s)/\gamma^* = 0.9$ よって $PAI_{(\beta+s)/\gamma^*} > 0.5$] と評価することができる。

3.1.2 SR-XRD 結果による Spinel 板状積層構造

サンプル A の層平均および局所さび層の SR-XRD パターン²⁰⁾ を図 5 に示す。同一試料であるサンプル A の層平均の Labo-XRD パターン (図 4) に比べて SR-XRD のパターンは, 少試料かつ短時間照射にもかかわらずプロファイルが明瞭で, α, β, γ 相および Spinel 相それぞれの

表 1 層状剥離さび層サンプル A の層平均さび組成定量結果²⁰⁾

さび相	質量比 (mass %)				保護性指標 (PAI)	
	α -FeOOH	β -FeOOH	γ -FeOOH	Spinel	α/γ^*	$(\beta + s)/\gamma^*$
サンプル-A	38	16	6	40	0.6	0.9

$$\gamma^* = \gamma + \beta + s$$

図5 層状剥離さび層サンプル A の SR-XRD ($\lambda=0.075$ nm) パターン²⁰⁾

図6 層状剥離さび層サンプル A の局所さび層組成²⁰⁾
 M_x ($x = \alpha, \beta, \gamma, s(\text{Spinel})$)

相対ピーク高さだけでなく、半値幅も差が明瞭である。これらのパターンより抜き出した各 α , β , γ , Spinel 相のピークプロファイルは Lorentz 関数で良くフィットした。

サンプル A の層平均、局所さび層に対する各さび組成比 (M_α , M_β , M_γ , M_s) 算定結果を図 6 に示す。局所さび層は層平均と比べて明らかに異なるさび組成を示す。すなわち、層平均の M_s は局所さび層すべてに比べて著しく高く、マトリックス中の M_s が著しく高いことを意味する。局所さび層の M_s は全体に低い、その中では外層から内層の方向に高い傾向がある。また、 M_β は外層で高く、中間層でやや高いことが特徴的である。各層ともに M_γ は一様に低く、局所的な変化はほとんどみられなかった。

同様に、サンプル B のさび色調別の XRD 解析結果²⁰⁾ をサンプル A 褐色部の結果と合わせ図 7 および図 8 に示す。サンプル A 褐色部 (外層部) は層平均に比して、著しく高い M_β と低い M_s を示す。褐色部のこのような傾向は図 6 の外層とよく一致している。サンプル B は層平均の M_s が高い点でさび層 A と同様の結果を示している。橙色部 (中間層) は層平均に比して、 M_β , M_γ が高く、 M_α が特に高い。黒色部 (外層下面) は高い M_β を示す。層平均に比して橙色部、黒色部の M_s は低い。これらサ

図7 層状剥離さび層サンプル A, B の SR-XRD ($\lambda=0.075$ nm) パターン²⁰⁾

図8 層状剥離さび層サンプル A, B の局所さび層組成比較²⁰⁾ M_x ($x = \alpha, \beta, \gamma, s(\text{Spinel})$)

ンプル B の結果はサンプル A の結果とよく一致している。

以上から、層状剥離さび層サンプル A, B は共通して層平均では Spinel 比が高く、局所さび層である外層・層間では Spinel 比が低く、 β 比が高い傾向を示すことが明らかとなった。このように SR-XRD を用いることで層状剥離さび層の層断面方向に Spinel 比および β 比の分布をもつ積層状局所構造の存在が強く示唆された。これらの結果を踏まえ、層状剥離さび層のマクロな模式図²⁰⁾ を図 9 に示す。積層する層の境界位置には点列状ボイド (Linearly Arrayed Void, LAV) が並ぶ。

合わせて Spinel 組成 (M_s 分布) の概念図を図 9 右に模式図に合わせて示す。このように 1 つの層を周期とする Spinel 相の周期的濃度分布はさび層生成条件の相違を示唆し、層状剥離さびの生成メカニズムを考察する上で重要な手がかりを与えると考えられる。そこで、この特徴的な Spinel 比の山形の濃度分布をもつ板状の層が積層し、LAV によって仕切られた構造をモデル化して図 10²⁰⁾ に示す。すなわち、積層する各層では層境界近傍で Spinel が poor であり、それ以外の大部分 (マトリックス)

図9 層状剥離さび層サンプル A の局所構造と Spinel 質量比分布²⁰⁾

図10 層状剥離さび層の局所構造 (SPRaP セル) モデル²⁰⁾

図11 層状剥離さび層 C の段割り試験による SR-XRD パターン²¹⁾

では Spinel が rich になっている。筆者らはこの板状積層構造を構成する特徴的な Spinel Poor, Rich and Poor の単位構造をその頭文字から SPRaP セルと名付けた。

3.1.3 段割り試験による知見

層状剥離さび層サンプル C の断面方向の XRD パターン²¹⁾ を採取順に並べて図 11 に示す。ただし、この XRD パターンはピーク比が組成比に対応するような規格化を行っていないので、定性的な傾向しか示せないが、図 5 および図 7 と見比べることはできる。層状剥離さび層の Spinel 比率は平均的に高いが、一部の層で低く、その層

図12 うろこさび層サンプル D の SR-XRD ($\lambda = 0.075\text{nm}$) パターン²⁰⁾

図13 うろこさび層サンプル D の局所さび層組成²⁰⁾
 M_x ($x = \alpha, \beta, \gamma, s(\text{Spinel})$)

では β, γ 比率は高くなっている。この傾向は、別の地域環境で生成した層状剥離さび層の局所さび層採取法から推察した SPRaP セル構造 (図 10) の考え方を補強する結果となっている。

3.2 うろこさび層との比較

層状剥離さび層とうろこさび層の違いを議論するため、うろこさび層サンプル D を採取した。サンプル D は高知県山間部 D 橋梁下り線部において、近接し段差を有する D 橋梁上り線部路面走行車両からの凍結防止剤を含んだ飛散物がかかる外桁から採取した。サンプル D²⁰⁾ について、層平均以外に外層および内層の 2 つの局所構造を調べた。外層はうろこさび層片の天空側から採取した試料を、また内層はうろこさび層片の鋼面側から採取した試料を指す。その XRD および定量結果²⁰⁾ をそれぞれ図 12 および図 13 に示す。うろこさび層の層平均は、層状剥離さび層平均と比べて M_s が少ない傾向を示した。うろこさび層内部の詳細は不明であるが、少なくとも内外層の各さび組成比は層平均とほとんど変わらない傾向を示した。以上のことから、うろこさび層はさび層内外層にさび組成の大きな変化はみられず、局所構造が層状剥離さび層とは異なることを示唆すると考えられる。

4. ま と め

以上, SR-XRD を利用することにより, 実橋梁で生成した層状剥離さび層の局所構造が少しずつ明らかになってきた。得られた知見をまとめると以下ようになる。

- (1) 調べた複数の層状剥離さび層は層平均では Spinel 比が高いのに対して, 局所さび層の外層, 中間層, 内層では Spinel 比が低く, β 比が高い共通の傾向を示した。
- (2) 層状剥離さび層の構造モデルとして, Spinel 比が断面方向に Poor-Rich-Poor の山形濃淡分布の単位構造 (Spinel Poor, Rich and Poor cell, SPRaP セル) をもち, 点列状ボイド (LAV) で区切られた構造が考えられる。
- (3) 調べたうろこさび層は層状剥離さび層に比して, Spinel 比が低く, 層断面方向のさび組成比分布をほとんど示さなかった。

このように, SR-XRD は微量試料で解析が可能なため, 特に厚いさび層中の局所構造を詳細に検討する場合に極めて有効と考えられる。ただし, 今後の課題として, 試料の採取方法はさらに工夫, 改善が必要であり, 定量方法はリートベルト法 (Rietveld analysis)^{24), 25)} の適用による標準化が望ましいと考えられる。

謝 辞

本報は文部科学省の平成 18 年度 SPring-8 戦略活用プログラム課題として行った 2 回の実験の成果を活用させていただいた。

参 考 文 献

- 1) Japanese Society of Steel Construction (JSSC), Technical Report, No.73 (2006).
- 2) T. Misawa, M. Yamashita, Y. Matsuda, H. Miyuki and H. Nagano, *Tetsu-to-Hagané*, **79**, 69 (1993).
- 3) M. Yamashita, H. Miyuki, T. Matsuda, H. Nagano and T. Misawa, *Corros. Sci.*, **36**, 283 (1994).
- 4) M. Yamashita, H. Miyuki, H. Nagano and T. Misawa, *Zairyo-to-Kankyo*, **43**, 26 (1994).
- 5) H. Okada, Y. Hosoi, K. Yukawa and H. Naito, *Tetsu-to-Hagané*, **55**, 355 (1969).
- 6) H. Kihira, S. Ito and T. Murata, *Corros. Sci.*, **31**, 383 (1990).
- 7) J. T. Keiser, C. W. Brown, *Corros. Sci.*, **23**, 251 (1983).
- 8) D. C. Cook, R. Balasubramanian, S. J. Oh and M. Yamashita, *Hyperfine Interactions*, **122**, 59 (1999).
- 9) M. Yamashita, T. Misawa, H. E. Townsend and D. C. Cook, *J. Japan Inst. Met.*, **64**, 77 (2000).
- 10) T. Kamimura and S. Nasu, *Mater. Trans. JIM*, **41**, 1208 (2000).
- 11) T. Okada, Y. Ishii, T. Mizoguchi, I. Tamura, Y. Kobayashi, Y. Takagi, S. Suzuki, H. Kihira, M. Itou, A. Usami, K. Tanabe and K. Masuda, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **39**, 3382 (2000).
- 12) T. Kamimura, T. Doi, T. Tazaki, T. Kuzushita, S. Morimoto and S. Nasu, Proc. 2nd Int. Conf. on Environment Sensitive Cracking and Corrosion Damage, p.190 (2001).
- 13) M. Miura and S. Hara, Proc. 145th Symposium, p.35, JSCE (2004).
- 14) M. Miura, Proc. 36th Seminar, p.21, JSCE (2005).
- 15) H. Kihira, K. Shiotani, H. Miyuki, T. Nakayama, M. Take-mura and Y. Watanabe, Journals of structural mechanics and earthquake engineering, Japan Society of Civil Engineers (*Doboku-Gakkai-Ronbunshu*), **745** /I-65, 77 (2003).
- 16) S. Hara, M. Miura, Y. Uchiumi, T. Fujiwara and M. Yamamoto, *Corros. Sci.*, **47**, 2419 (2005).
- 17) S. Hara, M. Miura, Y. Uchiumi, T. Fujiwara, T. Yamamoto, *Zairyo-to-Kankyo*, **54**, 337 (2005).
- 18) S. Hara, T. Kamimura, H. Miyuki and M. Yamashita, *Corros. Sci.*, **49**, 1131 (2007).
- 19) T. Otsuka, M. Yamashita, K. Tamura, T. Ishikawa, Proc. of 160th Symposium, p.24 JSCE (2007).
- 20) S. Hara, M. Yamashita, T. Kamimura and M. Sato, *J. Jpn. Inst. Met.*, **71**, 346 (2007).
- 21) S. Hara, M. Yamashita and M. Sato, Proc. JSCE Materials and Environments 2007, p.271, JSCE (2007).
- 22) T. Nakayama, H. Kihira, K. Shiotani, H. Miyuki, M. Take-mura, M. Yamashita and T. Nishimura, Proc. 132nd Symposium, p.65, JSCE (2001).
- 23) T. Nakayama and Research report of SABI (Rust) chemistry (2005) (unpublished).
- 24) 中井 泉, 泉富士夫編, 粉末 X 線回折の実際ーリートベルト法入門ー, 朝倉書店 (2002).
- 25) <http://homepage.mac.com/fujiiozumi/>

要 旨

耐候性鋼橋梁に生成した, 大きなふくれと多層をなす, いわゆる層状剥離さびと呼ばれる厚いさび層の局所的組成分布を SPring-8 の放射光による X 線回折を用いて行った解析事例を紹介した。このさび層の層平均組成はマグネタイトのようなスピネル型酸化鉄が主体であり, 30~40 mass% を占めた。これに対して, 局所, 例えば外層, 層間, 内層においては, 共通してスピネル型酸化鉄の組成割合は高くなく, むしろ β -FeOOH の比率が高かった。このことから, このさび層はスピネル型酸化鉄の組成比が高い層, 低い層の積層した多層構造 (SPRaP-cell) をもつことを示唆した。この事例が示すように, 放射光による X 線回折をさび層の組成分布解析に用いることは有効であると考えられる。

キーワード 放射光, SPring-8, X 線回折, さび層, 耐候性鋼, 大気腐食, 凍結防止剤, β -FeOOH, スピネル型酸化鉄, マグネタイト