

旧犬吠埼霧信号所霧笛舎に使用された鋼材について

THE PRODUCER AND MEASUREMENT OF THE STEEL PARTS OF THE FOGHORN BUILDING OF INUBOUSAKI LIGHTHOUSE

山崎 鯛介^{*1}, 菅野 良一^{*2}, 岡田 忠義^{*3}, 鈴木 悠介^{*4}
 沖森 麻佑巳^{*5}, 伊藤 薫^{*6}, 竹内 徹^{*7}, 藤岡 洋保^{*8}

*Taisuke YAMAZAKI, Ryoichi KANNO, Tadayoshi OKADA,
 Yusuke SUZUKI, Mayumi OKIMORI, Kaoru ITOH,
 Toru TAKEUCHI and Hiroyasu FUJIOKA*

The foghorn building in Inubousaki which was all made of steel was built in 1910. It is ambiguous that the steel used for this building was domestic or imported from Europe, because it was made in incunabula of steel production in Japan (the Imperial Steel Works (Yawata) was founded in 1901). This paper shows that this building can be the oldest building in existence using domestic steel in Japan on the following basis;

- The steel panel (8'×4' Japanese feet) can be produced in Yawata then.
- Assaying the chemical properties of building parts, more copper is gained in steel panels and rivets. It means that the iron ore used for them were probably imported from China that was mainly used in Yawata then.

Keywords : the Meiji period, lighthouse, foghorn building, Inubousaki, steel structure, the Imperial steel works (Yawata)

明治時代, 灯台, 霧笛舎, 犬吠埼, 鋼構造, 官営製鐵所 (八幡)

1 序

旧犬吠埼霧信号所霧笛舎は、1910（明治43）年竣工の平家の建物である。この種のヴォールト状の屋根を持つ鉄造建物は明治後期の灯台にしばしば見られ、その多くは霧笛舎として使われていたが、現存するのは犬吠埼のものだけである。当時の日本では鉄で建物をつくることは決して一般的ではなく、それは国内に鉄材を大量供給できる体制が整っていなかったためであり、もし鉄で建物をつくろうとすると輸入に頼らざるを得ず、その場合は発注から竣工までに時間がかかる上に建設費も高額になった。この観点からすると、明治期の灯台にこのような鉄造建物が複数見られたということは、日本近代技術史上、注目すべきことと言える。

犬吠埼の霧笛舎は、2008年3月をもってその運用を終了したが、現存する唯一の鉄造霧笛舎としての稀少性と歴史的価値の高さを重視し、2009年度には社団法人燈光会によって歴史調査と構造調査が行われた^{注1)}。本稿は、その調査結果を基に犬吠埼の霧笛舎で使用さ

れた鋼材の産地について推定を試みたものである。

明治期に竣工した鉄造建物を対象に、その鋼材の規格・寸法や材料性状を調査した研究としては、幾つかの鉄造灯台の調査報告書^{注2)}や創業期の官営製鐵所（八幡）に建設された工場施設に関する研究、明治初期の軌条材について調べた研究などがある（本稿末尾に参考文献一覧を付す）。本研究では、実測調査や構造調査の結果を分析し、使用鋼材が国産品（官営製鐵所の製品）か輸入品かについて考察を行ったが、その際にはこれら先行研究における知見を適宜参照した。

現存建物の実測調査は、千葉工業大学山崎研究室が2009年7月と10月に2日間行い、構造調査については、2009年6月に事前目視調査（東京工業大学竹内研究室）と配筋調査・サンプル採取（株式会社ジャスト）を行い、その後、新日本製鐵株式会社と株式会社日鉄テクノロジーが鋼素材の材料分析を行った^{注3)}。また、竣工時の建物の様子については、燈光会所蔵の『航路標識管理所第四年報』（1912年）、『航路標識経歴簿写 犬吠埼燈台』（1925年）および古写真^{注4)}

本稿は、『旧犬吠埼霧信号所霧笛舎 調査報告書』（社団法人燈光会発行、2010年1月）の内容の一部に、加筆・修正を加えたものである。

*1 千葉工業大学工学部建築都市環境学科 准教授・博士(工学)

*2 新日本製鐵鋼構造研究開発センター 所長・Ph. D.

*3 新日本製鐵建材開発技術部 グループリーダー・工博

*4 新日本製鐵鋼構造研究開発センター 主任研究員・工修

*5 日鉄テクノロジーサーチ 顧問

*6 日鉄テクノロジーサーチ 技術主幹

*7 東京工業大学大学院理工学研究科 教授・博士(工学)

*8 東京工業大学大学院理工学研究科 教授・工博

Assoc. Prof., Dept. of Arch. and Civil Eng., Chiba Institute of Technology, Dr. Eng.
 General Manager, Steel Structure Research and Development Center, Nippon Steel Corp., Ph. D.

Group Leader, Construction Materials & Products Development Div., Nippon Steel Corp., Dr. Eng.

Senior Researcher, Steel Structure Research and Development Center, Nippon Steel Corp., M. Eng.

Technical Adviser, Nippon Steel Technoresearch

Chief Engineer, Nippon Steel Technoresearch

Prof., Dept. of Arch. and Building Eng., Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

Prof., Dept. of Arch. and Building Eng., Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

を主に用いて検討した。

2 当初部材の保存状況

2-1 建物の概要

現存する旧犬吠埼霧信号所霧笛舎は、内法寸法において長辺 14.26 m、短辺 7.18 m の矩形平面の建物で、軒高^{注5)}が布基礎天端から 3.94 m、最高天井高さが土間床面から 4.86 m となるヴォールト状の屋根を架けた鉄造平家の建物である（図 1）。霧笛舎は同じ敷地内に建つ煉瓦造の灯塔の東に位置し、長軸方向をほぼ南北に向けて置かれている。建物の壁と屋根はすべて鋼板リベット留めで作られ、防水剤が何層にも塗り重ねられており、また腰壁部分には全面的にコンクリートが打たれている。開口部の枠・建具はすべて木製で、窓は上げ下げ式のガラス建具が用いられ、扉を含むすべての開口部の上部には鋼板製の庇が付されている。

建物内部（図 2）は独立柱や間仕切り壁のない一室空間で、床を土間床とし、床面には機械基礎が設置され、配管用ピットが掘られている。小屋組には屋根面に沿った円弧状の上弦材と下弦材の間を「W字型」に結んだトラスがあり、室内に露出している（図 3）。壁面にはアングル材が 1.09 ～ 1.26 m 間隔で柱状に配され、壁の鋼板とリベット留めされている。この柱は足下がコンクリートの布基礎にアンカーされ^{注6)}、上部は曲線状に切り抜かれた鋼板プレートを介して小屋組と一体化され、梁間方向の架構を形成している。このように、霧笛舎の構造形式はアングル材を主体とした骨組みと鋼板の屋根・壁をリベットで接合し一体化したものとなっており、他の建築構造形式に類似例を見ない特異な形式といえる。

2-2 竣工時との比較

竣工時の建物については、社団法人燈光会所蔵の資料からその概略を知ることができる。まず竣工時の霧笛舎の平面規模については、

犬吠埼灯台設立時からの経緯をまとめた「航路標識経歴簿写・犬吠埼燈台」（以下「経歴簿」と略す）^{注7)}に「霧笛舎鉄造 桁行四十七尺三分 梁間二十三尺六寸四分」および「機械舎基礎 桁行四十七尺三分 梁間二十三尺六寸四分」（14.25 m × 7.16 m）と書かれており、上屋と基礎の数値が一致していることから見て、布基礎の中心線上に上屋の壁芯を揃えた真々寸法である可能性が高い。現存建物の実測値は、内法寸法で桁行 14.26 m × 梁間 7.18 m であり、壁鋼板の厚さは 5 ～ 6 mm 程度であることから、竣工時の建物と現存建物の規模は一致していると見て良い。敷地内の配置については、『航路標識管理所第四年報』（明治 45 年発行）の配置図と現状がほぼ一致しており、また「経歴簿」を見ても大正期に増改築の記録はないので、竣工時から建物の増築・移動はないと考えられる。

外観・内観について、それぞれ現時点で最も古い時期の写真と考えられる古写真（図 4・図 5）と現状を比較すると、共通点と相違点を認めることができる。共通点は、外観については壁鋼板の目地割

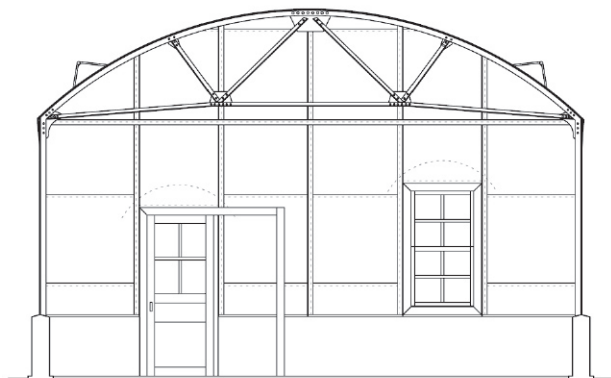


図 3 犬吠埼霧笛舎 実測梁行断面図（山崎研究室作成）



図 1 犬吠埼灯台霧笛舎 現状外観（西面・南面）

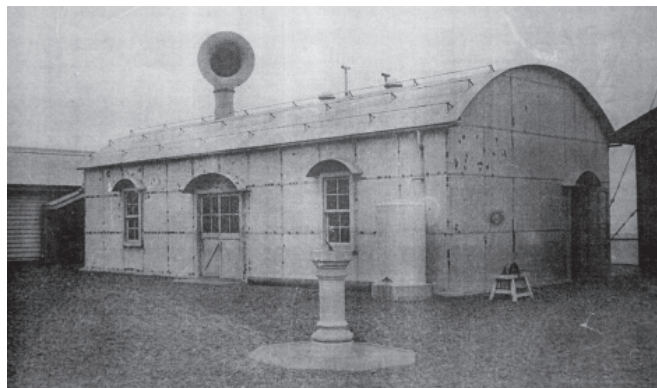


図 4 犬吠埼灯台霧笛舎 旧状外観（撮影時期不明、仲田博史氏所蔵）



図 2 犬吠埼灯台霧笛舎 現状内観（北側を見る）

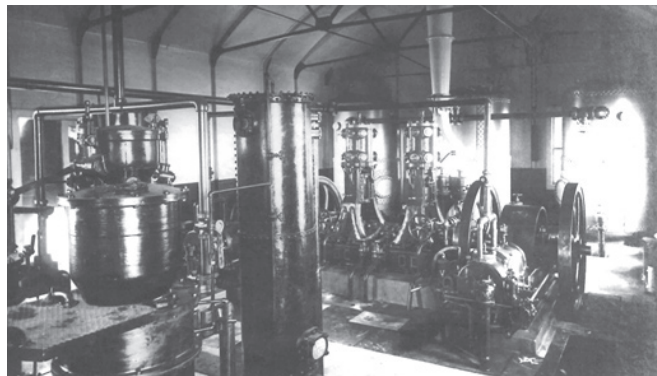


図 5 犬吠埼の霧笛舎 旧状内観（撮影時期不明、燈光会所蔵）

りやヴォールトの曲率、開口部の位置や形がほぼ一致しており、内観では小屋組の形式が一致している。

2-3 後世の改修箇所

一方、両者の主な相違点としては、コンクリート腰壁の付設、軒・ケラバの削除、ラッパの位置変更が挙げられる。

まずコンクリート腰壁について、腰壁の高さは布基礎天端から約780 mmでちょうど窓枠の下端と一致し、厚さは233 mmで布基礎の巾(350 mm)の面内に納まっている。なお、今回の構造調査でコンクリート腰壁の内部をX線撮影して調べた結果^{注8)}、腰壁の内部に6 mm φの鉄筋が縦筋298 mm、横筋312 mm間隔でダブルに配されていることが確認できた。また、同時に腰壁内部の鋼板の腐食状況を調べた結果、X線画像に孔食と思われる陰影が複数確認された。これらのことから、コンクリート造の腰壁は、壁鋼板の腐食に対する補強工事として実施されたものと考えられる。よって、現存建物の壁鋼板については当初材と考えられる。

次に、軒・ケラバに注目すると、古写真(図4)ではヴォールト屋根の鋼板が平側・妻側ともに外壁より外に伸びて平側では軒庇を、妻側ではケラバを形成していたことが確認できるが、現存建物にはいずれも見られない。鋼板の小口(切断面)が露出する軒先・ケラバは最も錆びやすい部位と考えられることから、潮風に起因する腐食が進み、後世に切断・撤去された可能性が高い。また現存建物の内部天井を見ると、屋根と軒の接合部周辺において壁鋼板上端が腐

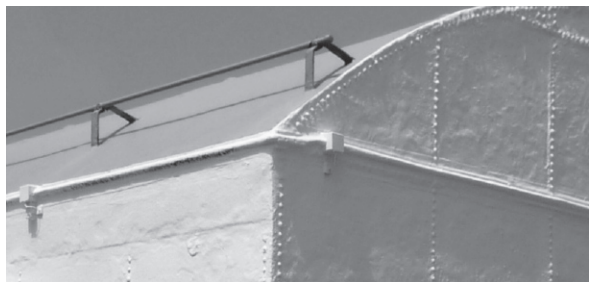


図6 霧笛舎軒廻り詳細(平側壁上部に筋状の溶接跡あり)



図7 霧笛舎内部軒廻り詳細(屋根面に筋状の溶接跡あり)

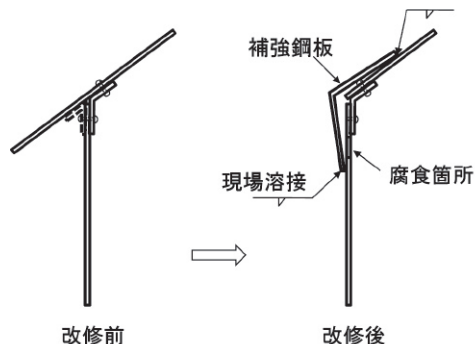


図8 軒廻りの補修・補強方法の推定図

食している箇所が見られ、これは結露による腐食の可能性も考えられる。現存建物の軒廻りを見ると、外壁上部と内部の屋根面に筋状の溶接跡が確認でき(図6・図7)、また外形から判断して軒部には「く」の字状の鋼板が外部より被せられていることが予想されるが、これは軒先・ケラバの鋼板突出部を削除して腐食の進行を防ぐとともに、既に腐食した箇所を鋼板で補強したものと推察される(図8)。

ラッパの位置については、竣工時はヴォールトの頂点にあったことが古写真および『航路標識管理所第四年報』の断面図から確認できるが、現状はヴォールトの頂点より東側(海側)に位置しており、これは機械設備の更新に伴い、ラッパの位置が変更されたものと考えられる。現存建物では竣工時にラッパがあったと思われる位置に大きな穴と後日塞がれた形跡を確認することができる(図9)。以上、軒廻りの補強跡やラッパ旧位置の補修跡などから判断して、現存建物の屋根鋼板もまた、当初材と考えられる。

3 使用鋼材の寸法・規格

3-1 鋼板の寸法

現存建物の壁・屋根に使用されている鋼板の寸法を調査するにあたり、外観では壁・屋根ともに防水剤が何重にも塗り重ねられ継ぎ目を目視で判断することが難しく、一方、内観では鋼板の継ぎ目にアングル材が重なり、やはり目視で正確に判断することは難しい状態であった。そこで、まず実測調査結果に基づいて霧笛舎の現状平面図を作成し、リベットの中心位置を基準に柱間寸法(真々)を整理し、それを基に鋼板の寸法(幅)を割り出すことを試みた。その結果、柱間ごとの寸法は1,093 mm～1,264 mmと、かなりのばらつきが見られたが、壁面から2スパンずつ柱間寸法を合算すると、桁行・梁間方向いずれにも共通して2,351 mm～2,375 mmと、ほぼ一致した数値が得られた。この等間隔の柱位置に注目して壁鋼板とアングル材の納まりを確認したところ、複数箇所では鋼板の継ぎ目を確認することができ、一方、それ以外の柱位置では鋼板に継ぎ目がないことが複数箇所でも確認できた。これら鋼板の継ぎ目以外の位置に立つ柱は、鋼板の座屈や変形を抑えるための補強材として用いられたと考えられる。このリベットの中心を基準にした壁鋼板の幅(柱2スパンの実測値)は、平均値で2,362 mmとなった(図10)。

高さ方向については、西面の内壁に1スパンのみ腰壁を打っていない箇所が存在し、納まりの詳細を確認することができた。壁鋼板



図9 旧ラッパ位置の補修跡

は布基礎天端から軒まで3枚で継がれており、下端は布基礎天端に沿って室内側から外側のアングル材にリベット留めされ、上端は「く」の字に鈍角に曲げられた断面の軒桁にリベット留めされていた。リベット中心を基準とした高さ寸法は、下段・中断の2枚がいずれも1,170mmで、上段のみ990mmとやや短くなっていた。

これらリベット中心を基準に実測した壁鋼板の幅・高さ寸法にアングル材の幅(62mm)を加えて算出した鋼板の外寸は、中・下段において2,424mm×1,232mmとなり、尺寸に換算すると8.00尺×4.07尺という、極めて端数の小さい寸法となった(図11)。

同様に屋根面の鋼板について見ると、壁面の柱位置に対応して屋根面にもヴォールト鋼板に沿ってアングル材がリベット留めされて

おり、このうちトラスは壁から2スパンごとの位置に組まれていた。すなわち、壁鋼板の継ぎ目とトラスの位置は一致しており、屋根鋼板の桁行方向の長さや壁鋼板の幅が一致していることが確認できた。

梁間方向については、ヴォールトの曲面が鋼板7枚で継がれており、曲面に沿って鋼板の長さを実測したところ、リベット真々寸法に先の重ね幅を加えた寸法が、両端部を除くと1,187mm～1,222mm(平均1,213mm)と、ほぼ4尺となった。両端部は1,025mm(西)、1,030mm(東)と短い、これは当初そのまま外部に伸びて軒庇を形成していたためと考えられる。

以上のように、犬吠埼の霧笛舎に使用された鋼板は、壁面上段と屋根両端の軒先部分以外は外形寸法がほぼ一致していることが確認できた。壁面上段の鋼板については軒高を優先してあらかじめ成の低いものが使用され、屋根両端部では軒先部分が後日切断されたと考え、犬吠埼の霧笛舎に使用された鋼板は、8尺×4尺の1種類のみであったと考えられる。なお、鋼板の厚みは、若干の塗装を含んだ状態の実測値で約6mmであった。

3-2 アングル材の寸法

アングル材については、実測値で一辺約50mmと約75mmの2種類が使用されていた。一辺約75mmのアングル材は、柱材、トラスの上弦材(弧状)と、いずれも鋼板を支持する主要構造材として使用されていた。部材の最大長さは、トラスの上弦材に用いられた3,930mmが最長で、他に頭繋ぎの部材(3,588mm)や柱(3,390mm)など、いずれも4m(または13尺)を超えない程度であった。一方、一辺約50mmのアングル材は、トラスの下弦材(3ツ折れ)および繋ぎ材と、いずれも短い部材に使用されていた。

鋼材の厚みは、若干の塗装を含んだ状態の実測値で約11mmであった。いずれもインチに換算すると2インチ、3インチになり、現時点ではメートル法、フィート・インチ法のどちらか判断できない。

4 鋼素材の成分分析

本章では、現存建物から試験体採取して鋼素材の成分分析を行い、その結果から鋼材の製造方法と原材料の産地を推定する。

4-1 調査試料と分析方法

試験体として、アングル材、鋼板、リベットのそれぞれについて以下のものを採取した。

- 1) アングル材; 50×50×7.5mm
…西面から採取したもので長さ約175mmに切り出したもの。
- 2) 鋼板; 約6.0mm
…西面・東面から採取したもの、約30×30mm²片ずつ。
- 3) リベット; 約10mmφ
…採取したアングル材に付随していたもの2片。

これらの調査試料に生成している表面錆を研削除去・エタノール液中にて洗浄後、以下の方法にて含有微量成分を求めた。

分析元素

[C], [Si], [Mn], [P], [S], [Cu], [Ni], [Cr], [Mo], [V], [Ti],
[T-Al], [N], [O] の14元素

分析方法

[C], [S]…燃焼赤外線吸収法 装置: CS444型 (LECO製)
[N], [O]…不活性ガス融解熱伝導法 装置: TC-600型 (LECO製)
他の金属元素…ICP発光分光分析法

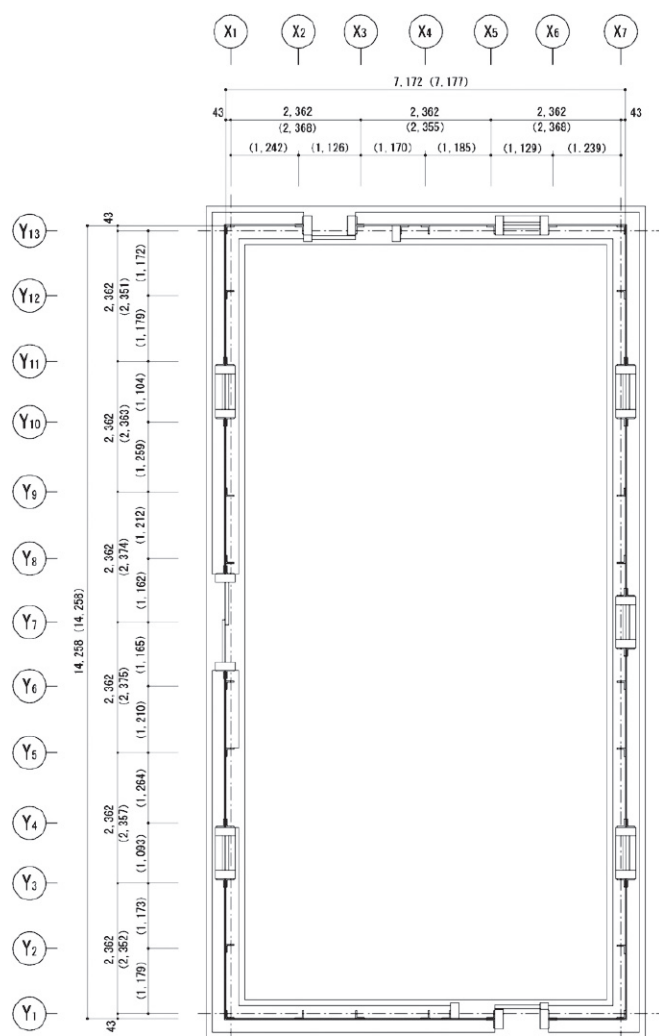


図10 犬吠埼灯台霧笛舎 実測平面図(カッコ内数値が実測値)
※窓枠・アングル材などの部材は柱間の倍の縮尺で表示

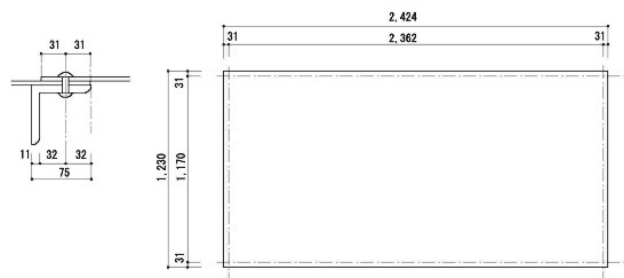


図11 壁鋼板の継ぎ目の詳細と鋼板1枚の寸法(推定)

装置：ICAP-757 型（日本ジャーレルアッシュ製）

4-2 調査結果

分析結果を下表に示す。いずれの部材とも現代の鋼材と比較し、燐 (P)・硫黄 (S)・銅 (Cu)・窒素 (N)・砒素 (As) 含有量の高いことが特徴的である。特に、鋼板とリベット中の銅含有量は0.2～0.4%にも及ぶ。

4-3 当時の製鋼法と精錬能力

以下、まず犬吠埼の霧笛舎に使用された鋼材が製造されたと考えられる1910年前後の国内・海外の製鋼法について概観し、その事実認識に基づいて下表の成分分析結果の評価と製造箇所（国内材か海外材か）の推察を行なう。

製鋼法には転炉法と平炉法があり、当時の転炉法には酸性転炉（ベッセマー転炉）と塩基性転炉（トーマス転炉）があった。ヨーロッパで得られる鉄鉱石には燐が多く含まれていたため、炉壁の耐火煉瓦が酸性酸化物（珪石）でできた酸性転炉では鉱石に含まれる燐の除去に限界があり、また燐を含む鋼鉄は割れやすい欠点があったことから、当時のヨーロッパではこれらの転炉法以外に、燐の除去が容易な平炉法も用いられていた。

国内では、1898（明治31）年の第12回臨時帝国議会で官営製鐵所（八幡）の建設が承認され、方針として酸性転炉と平炉を導入することが決定された。しかし、酸性転炉は1901（明治34）年に稼働を開始したものの作業が円滑に進まず、1904（明治37）年に再び稼働を開始したが精錬能力（脱[P]や脱[N]など）の限界や耐火物（空

気底吹き用羽口など）の耐久性に限界があって生産能力やコストにおいて十分な競争力を示すに至らず、そのため、1908（明治41）年には合併法（最初は転炉で次に平炉で精錬する処理法）が開始された。一方、塩基性の製鋼法である平炉法は、精錬能力やコストで安定して実力を付けたので、当初から徐々に生産量を伸ばしていった。このように1910年頃の官営製鐵所（八幡）では、酸性転炉法と平炉法および合併法といった、3種類の製鋼法が使用されていた。

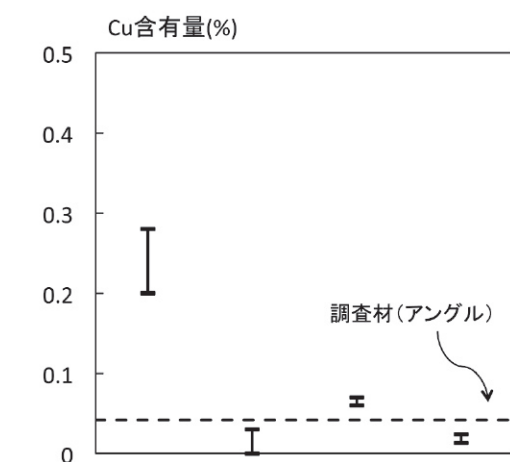
先行研究^{注9)}では、これら製鋼法による精錬能力（脱[N]、脱[P]能力）の違いについて、一般に転炉法では空気を底吹きするため[N]の含有値が大きく、そのうち酸性転炉については酸性耐火物しか使用できないために脱[P]能力に限界があるのに対し、平炉法では空気を吹き込まないため[N]の含有値が少なく、また塩基性耐火物を使用してスラグを活用する精錬法ゆえに、原料スクラップの種類・特性によって左右されるものの、スラグ中に[P]を移行させ溶鋼内からの脱[P]を良好に実行させることが可能であり、よって「酸性転炉鋼と平炉鋼の判別には、製鋼法の相違から、P量とN量を比較し双方の多い鋼を酸性転炉鋼とすることが有効と考えられる」（p.75）との見方を示している。

また同論文では、1902年から1940年までに生産された国内外の軌条材について[P]、[N]の値を調査し、[P]の値については当時の日本の酸性転炉では平均値で見ても0.070%以下を得ることが困難であったのに対し、平炉材は1920年以降に登場しているが[P]の値に0.040%以下が得られていること、一方、[N]の値については、酸性

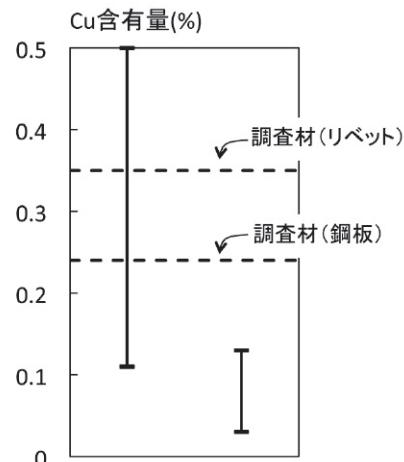
表1 調査部材の化学成分（wt%）

	[C]	[Si]	[Mn]	[P]	[S]	[Cu]	[Ni]	[Cr]	[Mo]	[V]	[Ti]	[T.Al]	[N]	[O]	[As]
アングル	0.047	0.004	0.47	0.062	0.063	0.042	0.037	0.013	<0.002	<0.002	<0.0045	0.002	0.0148	0.0224	0.04
鋼板	0.12	0.004	0.47	0.017	0.053	0.24	0.053	0.01	0.002	<0.002	<0.0045	0.001	0.0054	0.0102	0.04
リベット	0.083	0.004	0.4	0.026	0.063	0.35	0.023	0.006	0.004	<0.002	<0.0045	0.001	0.0053	0.0085	0.04

※ As（砒素）は参考値



製造年	1901年	1900～1910年	1928年	1878～1888年
製造所	官営製鐵所（八幡）			英国
炉法	酸性転炉			
文献	文献9)	文献11)	文献9)	文献10)



製造年	1901年	1878～1888年
製造所	官営製鐵所（八幡）	英国
炉法	平炉	
文献	文献9)	文献10)

図12 調査材の[Cu]含有量の比較

転炉では国内外を問わず 0.0080% (80ppm) 以下の製造は難しいのに対し、平炉においては空気を吹込まないことやスクラップによるインプット量減などにより、[N] 値 0.0050% (50ppm) が得られていることを明らかにしている^{注10)}。

4-4 成分分析結果の評価と製造箇所の推定

以上のような精錬炉（酸性転炉、平炉）の特徴をふまえ、先の表に示した今回の成分分析結果のうち [P]、[N]、[Cu] について検討を加え、調査鋼材の製鋼法および製造箇所（国内材か海外材か）の考察を行う^{注11)}。

1) 脱 [P]、脱 [N] 能力に基づく製鋼法の推定

前頁の表より、アングル材は [P]=0.062%、[N]=0.0148% (148ppm) であり、鋼板は [P] = 0.017%、[N] = 0.0054 (54ppm)、リベットは [P] = 0.026%、[N] = 0.0053% (53ppm) であった。すなわち、アングル材の [P]、[N] の値は鋼板・リベットに比べていずれも高い値を示していることがわかる。

先に示した当時の軌条材の [P] の値、[N] の値と比較すると、アングル材の [P] (0.062%) は、酸性転炉の領域の低目部かつ平炉法の最上部に位置しており^{注12)}、酸性転炉・平炉どちらも断定できない。しかし [N] (148ppm) については明らかに酸性転炉の領域に入っている。それに対し、鋼板、リベットは [P]、[N] とも同程度の低いレベルであり、いずれの成分も酸性転炉では得られない平炉法のレベルである。

以上のように、精錬法から判断するとアングル材は酸性転炉で、鋼板・リベットは平炉法である可能性が高い。しかし、当時は国内、海外とも酸性転炉、平炉の併存期であることから、[P]、[N] では国内材と海外材の判断は難しいといえる。

2) [Cu] 含有量に基づく鋼材製造箇所の推定

[Cu] は、鋼の精錬過程では [Si] や [Mn]、[Fe] に比べて酸化されにくい元素である。よって考察する場合は、鋼製品そのものの成分値をまず判断し、その次に使用する原料（鉱石やスクラップ）の判別をする必要がある。前頁の表では、アングル材のみ [Cu]=0.042%と、鋼板の 0.24%、リベットの 0.35% に比べて低い値となっている。

『北九州市産業技術史調査研究 八幡製鐵所の設備・技術の変遷』第3分冊「製鋼設備」には、官営製鐵所（八幡）の作業開始時（明治34年）における鋼材成分および機械試験の結果が酸性転炉・平炉ともに掲載されており^{注13)}、当初の国内材の [Cu] 値について知ることができる。これによると国内材の [Cu] 値は、平炉材が 0.11%～0.5% のレベル（操業条件：銑鉄 3～8t、スクラップ 9～15t、合計 17～20t）にあり、酸性転炉材は高炉溶銑 [Cu] = 0.26%、鋼分析値 [Cu] = 0.20～0.28% のレベルとなっている^{注14)}。一方、当時の海外材について見ると、平炉材については現時点で文献が入手できていないが、原理的には平炉法と同じパドル法で製造された錬鉄レールが [Cu] = 0.031～0.13% を示していること^{注15)}、酸性転炉材については、[Cu] = 0.013～0.024% であったこと^{注16)} が、19世紀後半に輸入されたレールの成分分析の結果において示されている。

以上をまとめると、酸性転炉／平炉、国内材／海外材の [Cu] 成分値の分布は図12のようになる。国内の平炉鋼の [Cu] 値は海外の平炉法の錬鉄より高いが、それは当時の日本では鉄鉱石の多くを朝鮮・中国大陆に頼っており（輸入割合；90～98%）、特に中国鉄鉱石（大冶鐵山）が銅含有量の高い鉱石であったことが影響したと考えられ

る^{注17)}。当事国内では平炉でも 20～40% の銑鉄を使用しており、先に示した銑鉄中の [Cu] 値 (0.26%) は、鉄鉱石成分に起因して高くなったと推定され、これは当時の官営製鐵所（八幡）における鉱石の産地と使用量、銅成分率から算出した結果とほぼ一致する^{注18)}。

これらの分布に対して、今回の調査結果を図12中に点線で示す。酸性転炉と考えられるアングル材については、製造箇所としては海外材と国内材の両方の可能性があり、明確に断定できない。しかし平炉法と考えられる鋼板、リベットについては、海外材のパドル法の [Cu] 値である 0.1% 以下には該当しないため、国内材の可能性があると考えられる。

5 鋼材の生産時期について

5-1 霧笛舎の施工時期

霧笛舎に使用された鋼材の加工（裁断・曲げ・孔開け）は、いずれも航路標識管理所本所の敷地内にあった横浜製作場において行われたと考えられる。それは、『航路標識管理所第四年報』の「製作并ニ修繕品」という欄に、「鉄造機械舎」が 1909（明治42）年には3基製作されたと書かれていること、同資料の「横浜製作場固定資本ニ属スル器具機械表」という欄に、横浜製作場内の「鐘工場」に「大型屈撓機械」が 1875（明治8）年3月に、また「穿孔及裁板機械」が 1898（明治31）年2月に購入されたと書かれていることから判断できる^{注19)}。ただし横浜製作場には製鋼工場がないことから、鋼材自体は別の場所（海外あるいは官営製鐵所）から購入したと考えられる。

現地での建物の施工時期について、「経歴簿」には基礎工事が 1909（明治42）年5月24日に着工し同年7月30日に竣工したこと、霧笛装置の製作が同年11月16日に着手し翌1910年3月6日に終了したことが書かれているが^{注20)}、上屋建物についての記載はない。上屋建物の組立ては、基礎工事終了後かつ霧笛装置の製作前の期間に着手した可能性が高いと考えられるが、それ以前に横浜製作場での加工や仮組み・解体、輸送などの手間が入ることを考慮すると、鋼材自体の生産時期はどんなに遅くとも 1909（明治42）年4月以前であろうと考えられる。

5-2 明治末期における官営製鐵所（八幡）の製造品目

明治末期における官営製鐵所（八幡）の製品カタログは、現在確認できるものでは 1911（明治44）年発行のもの^{注21)} が最も古く、同書には 11 種類の薄板鋼板と 14 種類の山形鋼が掲載されているが、同様の製品が第一期拡張工事（1906～1910年）の途中である 1909（明

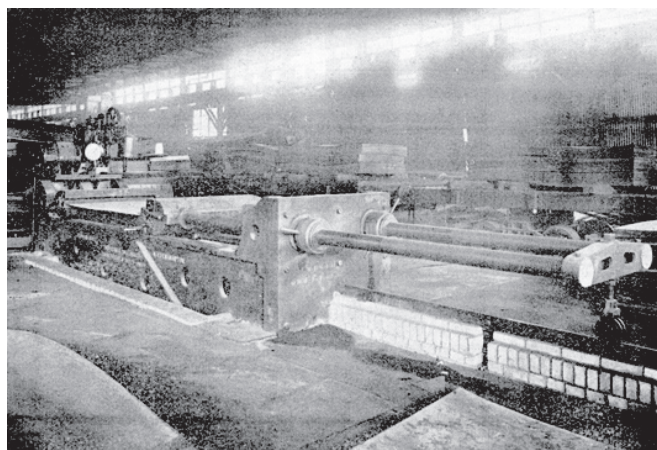


図13 官営製鐵所の中板圧延機（『鉄と鋼』1930年、第4号より）

治 42) 年 4 月の時点で既に製品化されていたとは考えにくい。それ以前の官営製鐵所(八幡)の鋼材生産状況を知る手がかりとして、永田五郎「本邦圧延作業の発達及び現状」^{注 22)}があり、これを読むと 4～5 mm 厚の鋼板については「中板工場」の項目に詳しく、ここでは本格的な中板工場が稼働し始める 1924 (大正 13) 年以前の製鋼設備について、以下のような記述が見られる。

「此外に 750 mm×1,800 mm 二重 pull-over 式の中板工場あり。明治 34 年 (1901) より作業をなし後数回の改良を経て今日に至るものなるが、此ロール機に依りて普通 1 mm 乃至 3 mm 厚さの鋼板を製造しつつあり。近來 Steel car 用の鋼板をも製作し始めたり。現在製作せるものは厚 2～6 mm、3'×6' 及 4'×8' のものなるが圧延後粗矯正をなし 800℃位の温度を保てる焼鈍炉内に於て焼鈍し、之を抽出して更に roller 矯正機を以て矯正す。板の冷却後尚歪の存するものは牽引矯正機を以て両端を掴み、水圧力によりて材料が其の降伏点を超ゆる程度迄之を引張り、表面の小皺又は歪を取去り全く平滑なる状態となす。(Fig25 を見よ)」^{注 23)}

ここで紹介されているロール機(図 13)を用いれば、犬吠埼の霧笛舎で用いられた 8 尺×4 尺の鋼板を製作することは可能である。一方、2 種類のアンクル材については、1916 (大正 5) 年以前については製造実績が確認できず、国産の可能性は低いと考えられる^{注 24)}。

以上をまとめると、犬吠埼の霧笛舎で使用された鋼材のうち、薄板鋼板については当時の官営製鐵所(八幡)で製作することは可能であったと考えられるが、アンクル材については国産材・輸入材いづれとも現時点では判断できない。

6 結論

本研究では、現存する唯一の鉄造霧笛舎である犬吠埼灯台の霧笛舎(1910 年)について、文献調査と実測調査、材料分析を行って使用された鋼材の産地を推定し、鋼材が国内材であるか海外材であるか明らかにすることを試みた。

まず、竣工時の資料や古写真と現状を比較して建物の改修内容を把握した結果、壁面やヴォールト状の屋根に使用されている鋼板は当初のものであることが確認できた。次に実測調査を行って建物に使用されている鋼板・アンクル材の寸法を割り出したところ、鋼板には 8 尺×4 尺の薄板鋼板(6 mm 厚)の 1 種類のみが使用されていたこと、アンクル材には一辺約 50 mm と 75 mm (あるいは 2 インチと 3 インチ)の 2 種類が使用されていたことが明らかになった。

構造調査では、鋼材のサンプリング、成分分析を実施し、技術史的観点からその製造方法と原材料の産地を推定した。その結果、鋼板、リベットについては平炉法、アンクル材については酸性転炉法により得られた素材であること、さらに鋼板、リベットについては銅の含有量が多く見られるという特徴があることがわかった。これらの分析結果と当時の国内外の鉄鉱石産出事情および製鉄設備の整備状況を合わせて考えると、特に鋼板とリベットについては安定供給に入り始める頃の官営製鐵所(八幡)の生産品である可能性が高いことがわかった。

これらの部材を創設時の官営製鐵所(八幡)で製作されていた鋼材の規格・寸法と比較すると、鋼板については官営製鐵所(八幡)で製作することが可能であり、アンクル材についてはこの時期には同じ寸法の部材を製造していないことから、海外材であった可能性

も考えられる。

以上の結果から判断して、犬吠埼灯台の霧笛舎は、現存する国産の鋼材を使用した鋼構造物としては最古のものの一つであると考えられ、よって当該建物は建築史上の価値のみならず、技術史的観点からも極めて価値の高い建物であると指摘できる。今後は、文化遺産として後世に永く伝えていくべきことが望まれる。

謝辞

本稿を作成するにあたり、実測調査および資料閲覧に関して社団法人燈光会事務局長の近藤利明氏と鈴木照秋氏、犬吠埼プラントン会会長の仲田博史氏にお世話になりました。また、松尾宗次氏には初期の八幡製鐵所に関する数多くの助言をいただき、開田一博氏には新日本製鐵所資料室の資料閲覧に関してお世話になりました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 『八幡製鐵所八十年史』, 1980
- 2) 永田五郎: 本邦圧延作業の発達及び現状, 『鐵と鋼』, 第 16 年・第 4 号, pp. 383-425, 1930
- 3) 松尾宗次: 製鐵所初期の圧延作業: 鉄道レール製造技術を中心に, 『政治経済学・経済学史学会 2003 年度・秋期学術大会開催校シンポジウム 官営八幡製鐵所創成期像の再構成』, pp. 101-124
- 4) 西尾一政, 山口富子, 榎本弘毅, 岡崎睦, 松永守央: 八幡製鐵所ベッセマー転炉鋼製レールの製造法と材質, 『金属』, Vol. 76, pp. 75-79, 2006. 1
- 5) 西尾一政, 山口富子, 榎本弘毅, 岡崎睦: 我が国の鉄道創成期に使用されたレールの変遷, 『金属』, Vol. 78, pp. 63-68, 2008. 3
- 6) 沖森麻佑巳: 日本の製鋼転炉の導入と発展に関する技術論(上), 『金属』, Vol. 79, pp. 63-68, 2009. 6
- 7) 沖森麻佑巳: 日本の製鋼転炉の導入と発展に関する技術論(下), 『金属』, Vol. 79, pp. 63-67, 2009. 7
- 8) 開田一博: 『日本における鉄骨構造建築の導入と発展過程に関する研究—官営八幡製鐵所の創設期から昭和初期における工場建築の設計と建設—』, 博士論文, 九州共立大学, 2009. 1
- 9) 『北九州市産業技術史調査研究 八幡製鐵所の設備・技術の変遷・第 3 分冊・製鋼設備』, 北九州産業技術保存継承センター, 2009
- 10) 大石徹: 鉄道創成期に輸入されたレールの記録 —鉄道開業初期のレールの刻印と履歴など—, 『金属』, Vol. 78, pp. 73-80, 2008. 2
- 11) 社会鉄鋼工学会: 鉄の歴史 —その技術と文化—, 『フォーラム第 6 回公開論文』, pp. 96-103, 2004. 7

注

- 注 1) 調査の結果は『旧犬吠埼霧信号所霧笛舎調査報告書』(社団法人燈光会、2010 年 1 月)にまとめられた。
- 注 2) 明治期の鉄造灯台の構造特性については、日本航路標識協会『明治期燈台の保全』(2001 年)で全般的に触れられている他、個別の詳細な調査結果については『開埼灯台老朽度調査報告書』(日本マリンギンナル株式会社、1983 年)、『姫埼灯台構造調査設計報告書』(第九管区海上保安本部・八千代エンジニアリング株式会社、1992 年)などがある。またこれらの調査結果を比較した研究として、鈴木孝「明治期に建設された鉄造灯台の鋼材物性比較について」『航路標識技術要報』第 39 号、2000 年、pp. 64-77)がある。
- 注 3) 鋼素材の分析は、菅野良一、岡田忠義、鈴木悠介(以上、新日本製鐵株式会社)、沖森麻佑巳、伊東薫(以上、日鉄テクノロジー)が担当した。
- 注 4) 古写真は、社団法人燈光会および犬吠埼プラントン会会長・仲田博史氏所蔵のものを主に用いた。
- 注 5) 軒高の測定位置(上端)は、「く」の字プレートの中心線(屈折部)とした。この位置は柱(アンクル材)の頂部とも一致しており、その実測値(3,390 mm)と「経歴簿」の記載寸法(11 尺 2 寸)が一致した。
- 注 6) 内壁西面に一箇所だけコンクリート腰壁を打設していない箇所があったため、そこでアンクル材の納まりを目視で確認した。
- 注 7) 「経歴簿」は、本省からの通達や工事履歴などの記録をそれぞれの灯台

- ごとにまとめたもので、大正4年頃に作成の指示が出され、大正14年6・7月頃に各灯台から航路標識管理所に提出されたと考えられる。
- 注8) 2009年6月27日に株式会社ジャスト(担当:森田修平)が実施し、電磁波レーダ法およびX線撮影法をそれぞれ5箇所ずつ行った。
- 注9) 参考文献4(p.75)
- 注10) 参考文献4(pp.77-79)および参考文献6(pp.67-68)
- 注11) その他の元素について、[C] [Si] [Mn] [S] [V]については分析結果では国内材・海外材の区別は難しく、[Ni] [Cr] [Mo] [Ti] [Al] [O]は合金鉄添加で調整される元素成分であるため今回は考察対象としない。また[As]については、分析結果を比較検討するための国内材・海外材の[As]の値に関する文献が見あたらないため、考察対象から外した。
- 注12) 参考文献4の図2「P量の製造年次と製鋼法による変化」(p.77)によれば、[P]値では酸性転炉法の下限值が約0.058%(1905年頃)、平炉法の上限値が0.06%(1932年頃)となっている。
- 注13) 参考文献9参照。平炉は第3-4表(p.60)、酸性転炉は第3-11表(p.76)が掲載されている。いずれも『第一製鋼工場60年の歩み』(八幡製鐵所、1967年)からの転載。
- 注14) ちなみに、1926(大正15)年の技術記録では[Cu]=0.06%を得ている(参考文献9の第3-17表(p.81)参照)ことから、技術習熟が進めば溶鋳炉から出てくる[Cu]成分値によっては、酸性転炉でも0.06%が可能であったと考えられる。さらに参考文献11には、1900～1910年で[Cu]0.03%以下の酸性転炉での値が示されている。
- 注15) 参考文献10の表9(P.78)参照。英国DARLINGTON IRONの鍊鉄レールについて、参考文献5ではパドル法で製造されたことが書かれている。
- 注16) 参考文献10の表11(P.79)参照。酸性転炉材の特徴を示す英国CHARLES CAMMELの鋼製品(1878～1888年)の[Cu]の値が示されている。
- 注17) 『八幡製鐵所八十年史 資料篇』所収
- 注18) 当時の官営製鐵所(八幡)で銑鉄の製造に使用した鉄鉱石については、岡本菊太郎『帝国製鐵所 熔鋳部報告書』(明治44年8月、大阪大学工学部

- 図書館所蔵)に詳しい。使用鉄石の主な産地は大冶(清国)、毀栗、載寧、安岳(以上朝鮮:p.198)で、それぞれの3箇月分の使用量に銅成分率(順に0.544%、0.015%、0.047%、0.002%:pp.199～203)を掛け合わせると、銑鉄に含まれる銅成分率は約0.2%になる。この他に、古谷精一『製鐵所製鋼部平炉工場報告』(明治43年7月、大阪大学工学部図書館所蔵)によれば、官営製鐵所(八幡)の平炉では、「炉床ノ凹凸甚シキ場合ニ於テ其ノ凸所ニ之レヲ投入シ床ヲ一様平坦ニナサントスルニ用ヒラル」(p.130)、「平炉ニ使用スル原料鉄石ハ全部清国大冶鐵山ヨリ輸入セラル、赤鐵鉱ナリ」(p.129)とあるように、平炉の炉床の補修にも大冶の鉄石を用いていたことが書かれているが、これによる[Cu]値の増加分は0.007%に留まる。
- 注19) 『日本燈台史』(燈光会、1969年)には、それぞれ「大型バンディングマシン」、「ボンチング・シヤリングマシン」と訳されている(p.495)。
- 注20) 工事期間について、経歴簿には「敷地構造機械舎基礎第三吏員退息所便所廊下貯炭庫ハ明治四十二年五月廿四日霧笛ハ同年十一月十六日起工ヨリ敷地構造機械舎基礎ハ同年七月三十日吏員退息所廊下便所貯炭庫ハ同年九月三十日霧笛ハ四十三年三月六日落成ニ至ル 約十一ヶ月ニ渉ル」(造営期間)と書かれている。
- 注21) 表題には『日本帝国製鐵所製品目録 明治四十四年』と書かれており、中表紙に英語で「The Imperial Steel Works:」と書かれている。
- 注22) 参考文献2(p.416)
- 注23) 現在、CiNiiで閲覧可能な同論文のPDFデータには、手書きで加えられた校正らしき書き込み(引用文の下線部分。下線も手描き)があり、それによれば8×4尺の製造も可能であったと考えられる。
- 注24) 参考文献2より、一辺50mmのアンクル材は第三小形工場(大正6年7月～)で、一辺75mmのアンクル材は中形工場(大正5年6月～)で製作されているが、明治42年の時点での官営製鐵所(八幡)の製作実績は確認できていない。

(2011年6月3日原稿受理, 2011年9月14日採用決定)