

古写真及び現存構造物による針尾無線塔の 施工方法の推定と施工期間の検証

The estimate of the construction method and inspection of the construction period of old photograph
and the Hario wireless tower with the existence structure

小川 健^{1*}, 日比野 誠^{2*}, 岡林 隆敏^{3*}, 松田 浩^{4*}

Ken OGAWA, Makoto HIBINO, Takatoshi OKABAYASHI and Hiroshi MATSUDA

¹正会員 (公財) 長崎県建設技術研究センター技術部技術支援幹(〒856-0026 大村市池田 2-1311-3)

²正会員 博士(工) 九州工業大学准教授 工学部建設社会工学科 (〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町 1-1)

³正会員 工博 長崎大学名誉教授 (〒852-8521 長崎市文教町 1-14)

⁴正会員 工博 長崎大学教授大学院工学研究科工学科 (〒852-8521 長崎市文教町 1-14)

*Corresponding Author, E-mail:matsuda@nagasaki-u.ac.jp

針尾無線塔は、旧日本海軍が 1918(大正 7)年に着手し、1922(大正 11)年に完成させた構造物である。約 100 年を経た現在でも、ひび割れ、鉄筋の腐食もなく健全な姿を維持している。しかしながら、この無線塔の施工方法は現存している数枚の写真以外よく分かっていない。また、3 塔は全く同じ規模の構造物ながら記録に残る施工期間は大きく異なっている。そこで、本論文ではこれらの古写真やコンクリート表面に残る現況から当時の施工方法を明らかにするとともに、3 塔の施工期間の妥当性について考察を行った。

キーワード : Hario wireless towers, concrete mixer, laitance, subsidence crack, “tsukikatame”,

1. はじめに

針尾無線塔(写真-1)は日露戦争において無線通信の重要性を認識した旧日本海軍が、伝播の安定度に不安があった短波通信に代わって長波通信の実現のため、巨大な高さの無線塔施設として針尾送信所の敷地のなかに3塔建設したものである。この3塔の無線塔は、大正時代に建造された塔状構造物のなかでも現存する日本で最も高い構造物であり、かつ、3塔とも現代の構造物と比較しても遜色がない良好な状態を保ち、健全な姿を維持している。しかしながら、針尾送信所建設に関する記録は、終戦時の海軍の工作で焼却されたと考えられ、無線塔の施工技術を推測できる資料は、数枚の写真以外見つけられない。



写真-1 針尾無線塔(参考文献 2)より)

最近、国内では、世界遺産の増加に伴い歴史を実体験できる土木構造物に対する関心も高まり、戦後に建設されたコンクリート構造物の深刻な劣化と相まって、土木遺産の研究は大きなテーマとなってきている。

本稿は、拙著「1922(大正11)年に完成した重要文化財針尾無線塔の施工方法の考察」¹⁾の無線塔建造に関する施工技術に新しい知見を付け加え、新たに3塔で大きく異なる施工期間にも焦点をあてて検証を試みたものである。

2. 針尾無線塔の概要

佐世保市教育委員会の「旧日本海軍針尾送信所学術調査報告書」²⁾によると 3 塔はほぼ同じ規模である。塔体は、コンクリート 1 リフト高さ 1.37m、全高は 100 リフト 137m である。図-1 に 1 号塔の詳細寸法およびコンクリート数量(筆者算出)を示す。

3. 古写真から推定できる施工方法

佐世保市教育委員会の「旧日本海軍針尾送信所学術調査報告書」には、送信局舎や当時使用された無線機等の写真、施工状況写真が掲載されているが、施工方法を推測できる写真はわずか数枚である。以下に、この数枚の古写真から得られた情報をもとに施工方法を考察する。

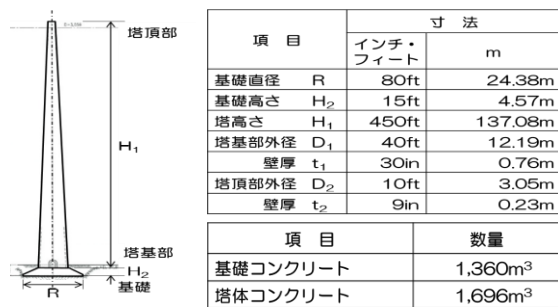


図-1 1号塔の詳細寸法およびコンクリート数量



写真-2(古写真-1) 軌道栈橋写真(参考文献 2)より

3.1 資材搬入用軌道栈橋写真

写真-2(古写真-1)は資材搬入用軌道栈橋である。針尾送信所建設に使用するコンクリート数量は、無線塔が3基 9,150m³、通信局舎が約 3,500m³(筆者算出)、その他の小構造物を考慮すると約 13,000m³にも及ぶ量になる。当時の陸上工事としては膨大なコンクリート数量である。

これらの施設を建造するためには、セメント、砂、砂利、鉄筋、送信局舎設備、そのほか仮設資材を搬入しなければならない。当時は佐世保から針尾島まで現在のような道路は整備されていない。そのため、自ずと海上輸送となる。砂は佐賀県唐津湾に注ぐ松浦川から搬入している³⁾。海上輸送された資材は、無線塔を建設した標高約 50m の台地まで斜面に設置した軌道を利用して巻上機で巻上げ、陸上は軌道栈橋を設置して各構造物まで運搬していた。

3.2 基礎鉄筋組立状況写真

写真-3(古写真-2)は基礎鉄筋組立工完成直前の写真である。以下に各工種について考察する。

(1) 掘削工

3塔の基礎掘削深さはほぼ基礎の高さ約 5m 程度で、1基の掘削数量は約 2,500m³ から 3,000m³ (筆者試算)になる。佐世保市教育委員会の地質調査⁴⁾によると表層が岩塊混じり砂質粘土、支持地盤は N 値 60 以上の安山岩、凝灰角礫岩から成り、人力のみでの施工は難しくダイナマイト併用の人力掘削方法で施工したものとする。

写真-3 の掘削法屑にはコンクリート運搬用の外周軌道を設置している。また、写真-3 の正面を拡大した写真-4 には法面の一部を基礎底面まで開削し、その箇所の軌道は丸太を使用した栈橋構造になっており、掘削土搬出や雨水排水を容易にするための工法である。

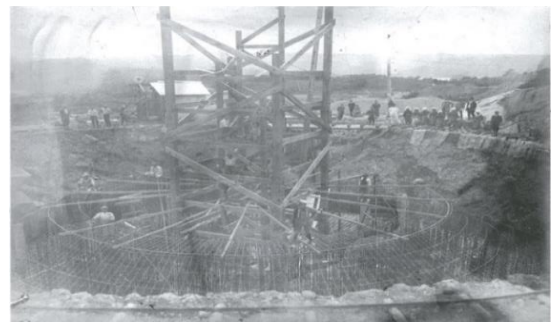


写真-3(古写真-2) 基礎鉄筋組立状況写真(参考文献 2)より



写真-4(古写真-2 の一部を拡大) 開削部と軌道栈橋

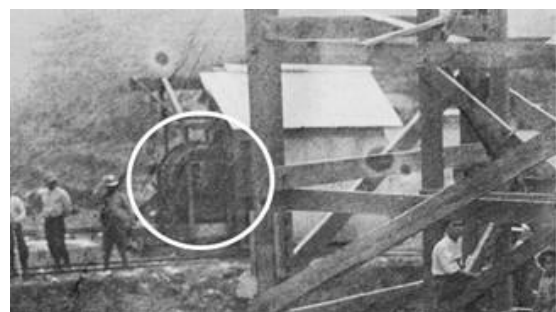


写真-5(古写真-2 の一部を拡大) コンクリートドラム型ミキサー(○印)

(2) 内足場工

写真-3 の中央の木製内足場は二重構造からなり、内側は上下に人荷昇降用の空洞(約 1.5m×1.5m:人の大きさより推定)を保持した足場を設置している。外側の寸法は約 3.5m×3.5m である。

(3) 仮設備(コンクリートミキサー設備)

写真-5 は写真-3 の内足場背後の小屋周辺を拡大した写真である。この基礎に使用する予定の丸い形状をしたコンクリートドラム(円筒)型ミキサー1 基が確認できる。この型のミキサーは、ちょうど針尾無線塔建設に着手した 1918(大正 7)年頃にアメリカから輸入され始めたもので、ドラムを傾けて排出できない「硬ねりには適していない」⁵⁾不傾式である。ところが無線塔の基礎は後述するが硬練りである。コンクリートドラム(円筒)型ミキサーが採用された理由として、新機種でもありその性能を十分に把握できないまま試みたのではないかと推察する。次に当時のドラム型ミキサーの能力について述べる。



写真-6(古写真-3) 基礎コンクリート完成写真
(参考文献 2) より

1916(大正 5)年発行の日比忠彦著「鉄筋混凝土(鉄筋コンクリート)の理論及びその応用(上巻)」には、ドラム型ミキサーの能力について、「最大機種 の 1 回の混練量は 53 立方呎(立方フィート)」⁶⁾との記載がある。

ここで、コンクリートミキサーの規格について記す。アメリカでは、体積を「立方呎(立方フィート)」と表記する。

$$1 \text{ 立方呎(立方フィート)} = (0.3048\text{m})^3 = 0.028\text{m}^3$$

日本では、立方尺の体積を尺貫法の単位「切(さい)」と表記する。

$$1 \text{ 切} = (0.303\text{m})^3 = 0.028\text{m}^3$$

よって 1 立方呎=1 切とみなしてよい。

本題に戻って、高さ約 4.6m、コンクリート数量 1360 m³の基礎コンクリートは、リフト割を少なくし一体性を図ることが求められる構造物である。このミキサーの規格「53 立方呎(立方フィート)」は、約 1.5m³(公称値)に相当する。実施工能力は 70%程度に減少する。無線塔の施工に使用したミキサーがこの機種であれば、1 回の練り混ぜ時間を 5 分⁷⁾として 1 時間に 12m³、昼間 10 時間運転で 120m³となる。単純計算で昼間施工のみでは 11~12 リフトを要することになる。これほどのリフト数では一体性がある構造物を形成することはできない。このことから基礎コンクリートはリフト割を少なくして昼夜作業を取り入れて施工したものと考える。

3.3 基礎コンクリート完成写真

写真-6(古写真-3)は基礎コンクリート完成直後の写真である。この基礎も法面の一部を開削している。写真-3の鉄筋組立施工中の基礎とは別の塔の基礎である。

(1) 基礎コンクリート工

写真-7 は、写真-6 の高さ 4.6m、コンクリート数量 1,360m³の基礎コンクリートを拡大した写真である。現代の施工法であれば、1~2 リフトで施工できる大きさである。この写真から全体のリフト割の区分を見分けることはできないが、基礎天端に養生用ムシロが掛けてある部分が基礎コンクリート最終リフトである。中央の水抜穴(矢印)は、基礎内側凹部に溜まった雨水や養生水を排水するため設置されたもので、凹部底面から上のコンクリート数量 265m³を 2 回(点線)に分けて打設し



写真-7(古写真-3の一部を拡大)
基礎コンクリート(水抜穴の矢印とリフト割の点線)



写真-8 旧日立鉱山精錬所煙突の足場(参考文献9)より

たことを示している。基礎の形状や多くの労力を要する傾斜した仕上げ面積等の制約もあり、その条件に合わせて打設リフトを調整したものと判断する。

当時の配合はまだ容積配合であり、構造物の種類により配合比率を変化させ、鉄筋量や施工性に応じ水量を調整していた。日比忠彦は「堅練は湿土程度にあるものにして永く搗固を続けた後、始めて表面に水露を呈するもので 1 ヶ月内外に強大な圧力を受ける基礎に、中練は粘膠(粘りがあるにかわ)程度にあるものにして搗固に依りて振揺自在なるもので橋台・橋脚等の普通の圧力を受けるものに、軟練は人の重量に堪えず普通の打杵は自重に依りて沈降し早く掬投(すくいなげ)するにあらざれば方匙(シャベル)より流下する程度にあるもので、建物の壁・柱・床等の鉄筋を有する薄い構造物に適す」⁸⁾と記して区分している。この区分によると、この無線塔の基礎は強大な圧力に耐えうる構造物に分類され、硬練により施工されたものと判断する。また、それぞれの軟らかさの表現からスランプ値で示すと硬練り 5cm 程度、中練りを 8cm 程度、軟練り 10cm 以上であったものと考えられる。よって、無線塔の基礎コンクリートは、スランプ 5cm 程度であったものと推定する。

(2) 足場工

写真-8 は我が国で最初の世界一の高層煙突として外足場方式で建造され、1915(大正 4)年に完成した高さ 156m の旧日立鉱山精錬所煙突である。資材の荷揚げ設備はなく、すべて背負って運搬するため強風時は非常に危険を伴う作業であったと、日立鉱山社員で設計者の宮長平作は回想している⁹⁾。写真-9 は、同様に宮長平作が設

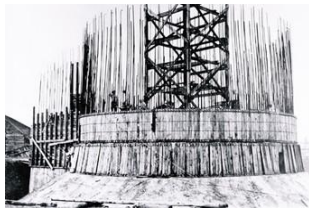


写真-9 旧日鉱佐賀関
精錬所煙突(JX 金
属(株)提供)

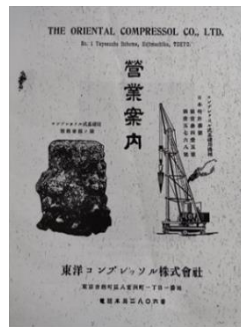


写真-10 東洋コンプレ
ッソル(株)営業案内(現社
名 東洋テクノ(株)提供)

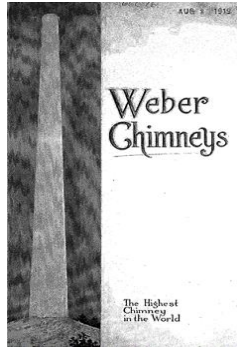


写真-11 1919(大正 8)年
ウェーバーチムニー
社 PR 誌

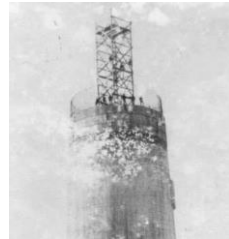


写真-12 旧通信省原町
無線塔(原町無線塔物語著
者二上英朗氏提供)

計し 1916(大正 5)年に完成した高さ 168m の旧日鉱佐賀関精錬所煙突である。内足場方式を採用している。内足場方式を選択した理由として、九州は台風の上陸地であること、工事事故や人的災害の発生率も少ないこと、仮設機材・機器・労力・工事期間が少なく経済性においても優れていることを挙げている¹⁰⁾。この内足場方式は 1905(明治 38)年 9 月にアメリカのウェーバーチムニー社が日本の特許を取得したことを受けて、このシステムを導入した東洋コンプレッソル(株)(現社名東洋テクノ(株))が施工している。写真-10 は東洋コンプレッソル社の営業案内である。発行時期は不明であるが煙突工事の社内実績のなかに旧日鉱佐賀関精錬所煙突(世界第一)との記載がある^{11)、12)}。

写真-11 は 1919(大正 8)年のウェーバーチムニー社 PR 誌¹³⁾である。このなかにはすでに日本国内において 97 本もの鉄筋コンクリート煙突の施工実績がリストアップされており、旧日鉱佐賀関精錬所煙突写真が 1 ページ目を飾っている。

次の写真-12 は同様に内足場方式を採用して 1921(大正 10 年)に完成した高さ 201m の福島県の旧通信省原町無線塔である。この無線塔も完成時は世界一を誇っていた塔状構造物である。写真-6 には、針尾無線塔(1922(大正 11 年)に完成)の内足場全体の姿が写っていたが、針尾無線塔は前述したように軍事施設のため詳細な記録は残っていない。内足場の構造が旧日鉱佐賀関精錬所煙突、旧通信省原町無線塔と同様の構造であることから、この技術が採用されたことが推察される。



写真-13(古写真-4) 塔体型枠写真(参考文献 2)より)

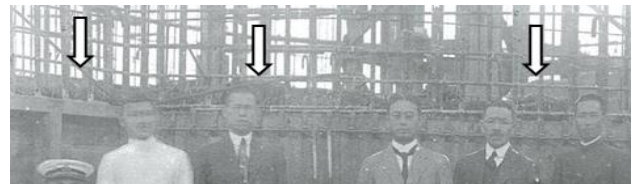


写真-14(古写真-4 の一部を拡大)
鉄筋の間に配置された養生用ムシロ(矢印)

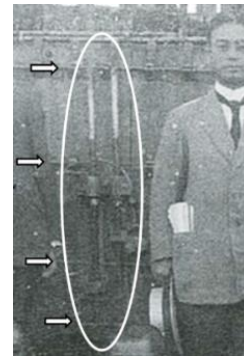


写真-15(古写真-4 の一部を拡大)4 条のワイヤー(矢印)
と締付器具(○印)

3.4 塔体型枠写真

写真-13(古写真-4)は、塔体コンクリート 1 リフト目打ち込み後、高さ 1.37m の型枠を背にして集合した工事関係者を撮影したものである。ポケットに書類を入れた人物は建設を指揮した吉田直主任技師である。

写真-14 は写真-13 の一部を拡大したものでコンクリート上面の鉄筋の間には、ここでも養生用ムシロ(矢印)が確認できる。コンクリート断面の大小にかかわらず養生に取り組んでおり細かな配慮が確認できる。

写真-15 は、写真-13 の中央部を拡大したものである。○印は型枠施工の重要な要である締付器具と 4 条(矢印)の締付材と考えられるものが写っている。針尾無線塔より先に着工した旧日鉱佐賀関精錬所煙突工事では「型枠厚さ 38mm 高さ 1.65m に対し締付ワイヤー 10mm4 条」との記録がある¹⁴⁾。旧日鉱佐賀関精錬所煙突工事施工中の写真-9 でも 4 条の締付材が確認できる。

写真-16 は、前述のウェーバーチムニー社の PR 誌に掲載されているハンドルが付いたワイヤー締付器具(○印)

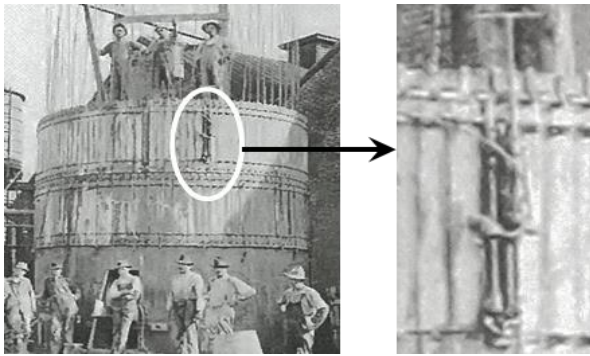


写真-16 ウェーバーチムニー社 PR 誌に掲載されている型枠締付用と考えられるハンドルが付いた器具（右は○印部分の拡大写真）

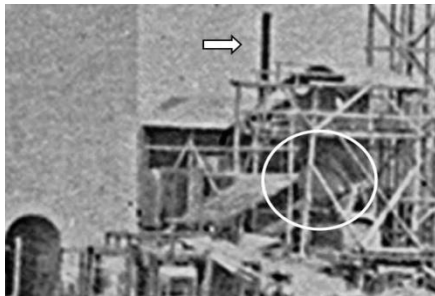


写真-17(古写真-5) 1号塔体施工中のコンクリートミキサー（○）と動力用蒸気ボイラーの煙突（矢印）（参考文献 2）

と考えられる写真である。針尾無線塔のワイヤー締付器具とはほぼ同じ形状をしており、針尾無線塔の施工がウェーバーチムニー社のシステムで施工されたものと判断できる。

3.5 塔体施工用コンクリートミキサー写真

写真-17(古写真-5) は 1 号塔体コンクリート施工中のミキサー室周辺の写真である。このミキサー（○印）は、立方体の水平対角軸を中心に回転し、胴を傾けて容易にコンクリートを排出できるキューブ（立方体）型との名称で呼ばれていた可傾式のミキサーである。塔体は、基礎コンクリートより軟らかく中練り（詳細後述）のため、排出が容易なキューブ型が選択されたものと判断する。

キューブ型ミキサーは、針尾無線塔完成直前に着手した同じ旧海軍の呉海軍工廠敷地開削工事においても使用され、その型式は「アメリカ Austin 社キューブ型 56S」との記録¹⁵⁾がある。針尾無線塔も同型を使用していた可能性が高い。「56」は 56 立方呎（立方フィート）、1 回の練り混ぜ量は 1.57m^3 （公称値）である。実施工能力は 70% 程度に減少する。1 回の練り混ぜ時間を 5 分として 1 時間の練り混ぜ量は約 13m^3 となる。塔体コンクリート 1 リフト目の最大数量 37m^3 （筆者算出）に容易に対応できる機種である。写真-18 は、左上に不鮮明であるが「April 26. 1916」の印字がある Austin 社のキューブ型ミキサーのカタログ写真である。



写真-18 Austin キューブミキサーのカタログ（1916(大正 5)年）（筆者所属（公財）長崎県建設技術研究センター所有）

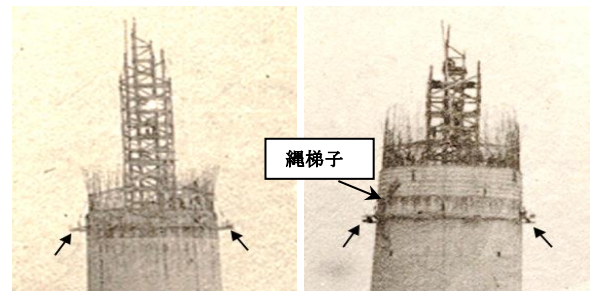


写真-19(古写真-6) 外足場写真（左）最上位リフト施工中の足場（右）上から 3 リフト目型枠解体中の足場（参考文献 2）より

3.6 当時のミキサーの変遷

前述したように、無線塔着工時不傾式であったドラム型はその後アメリカにおいて可傾式に改良され、1935(昭和 10)年に至って輸入され使用されるようになった¹⁶⁾。このように、針尾無線塔の施工時期はキューブ型からドラム型への移行期にあたり、可傾式のキューブ型と不傾式のドラム型が併用されていたことが分かる。

3.7 外足場

(1) 外足場設備

写真-19(古写真-6) は施工中の外足場と先行する内足場を写したものである。両写真とも外足場は 1 段（矢印）である。左写真では最上位リフトの型枠の下段に設置されている。右写真では上から 3 リフト目の下段に設置されている。また、宙づりになった昇降用縄梯子も確認できる。このように 1 段の外足場を上下に昇降させて施工していたことを示している。

次に、現代の塔状構造物施工業者に残っている足場の施工方法に関する資料を調査した。写真-20 は昭和 37 年の施工状況写真である。外足場はなくロープ作業や縄梯子作業である。図-2 は詳しい年代は不明であるが昭和 40 年代の施工図である。型枠に取り付けたブラケット足場と型枠解体用の吊足場を使用している。安全管理に重きを置いた現代の施工方法に近づいてきている。

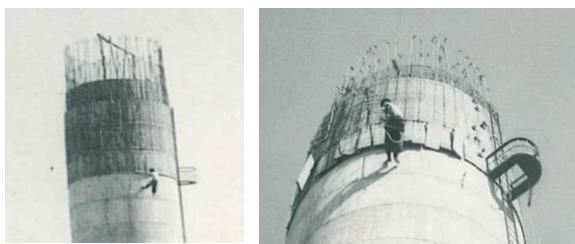


写真-20 昭和 37 年の煙突型枠解体中の写真
(大正鉄筋コンクリート(株)提供)

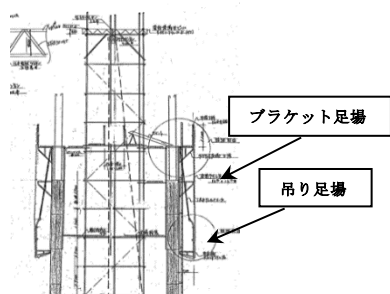


図-2 昭和 40 年代の施工図

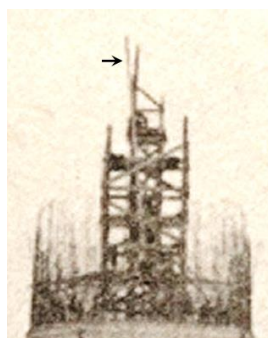


写真-21 内足場塔頂部
拡大写真

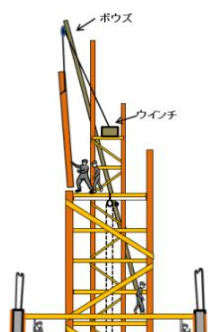


図-3 足場支柱組立状
模式図

(3) 塔体のクレーン設備

写真-21 は写真-19 の右写真の頭頂部を拡大したものである。この写真では内足場本体を構成している部材と明らかに異なる少し傾いた部材(矢印)が確認できる。塔頂部において重量物作業を行うにはクレーン設備が必要である。特に内足場の支柱を上方から吊り下ろすには欠かせない設備が必要である。この設備は一般に”ボウズ”と呼ばれているものである。このボウズの先端に滑車を取り付ければ簡易なクレーン設備として利用できる。図-3 はボウズ使用中の内足場組立状況模式図である。現代でもクレーンを搬入できない山間部における塔状構造物の施工には、このボウズに代わるものが使用され、「台棒工法」の名称で受け継がれている。写真-22 は台棒工法(矢印)の写真である。

4. 現存する構造物(無線塔)から推測できる当時の施工方法

4.1 塔体型枠の構造

(1) 外型枠のリフト転用

無線塔の外型枠単体の寸法は、幅 14cm・高さ 1.37m、



写真-22 台棒工法 (三和テッキ(株)提供)

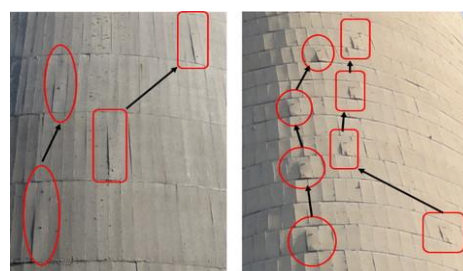


写真-23 外型枠の転用
(左) 下位リフト (右) 上位リフト

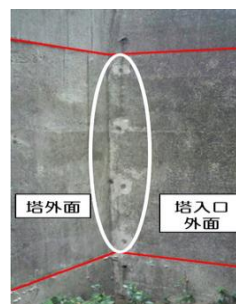


写真-24 締付用ワイヤーを通した 4 段の鞘管跡(○印)

内型枠は幅 12cm・高さ 1.37m である。写真-23 は外型枠の転用状況を示す写真である。特徴ある外型枠跡から、下位リフトの左写真は 2 リフト毎に、上位リフトの右写真は 3 リフト毎に転用したことが分かる。下位リフトは 1 サイクルの施工数量が多いため、2 リフト分の型枠を準備することでロスタイムなく施工できたものとする。しかし、上位リフトの施工にともないサイクルタイムは短くなり 3 リフト分の型枠が必要となったものと判断する。ちなみに、塔基部の外径 12.5m の 2 リフト分の型枠は、外径 8m の箇所では 3 リフト分として転用できる。

(2) 外型枠の締付方法

写真-15 には、かすかに 4 条の締付用ワイヤーと推測できるものが写っていたが、これを裏付ける証拠が塔入口側面を写した写真-24 で確認できる。上下の赤線の間は 1 リフト 1.37m である。塔入口コンクリートには、ワイヤーを通した 4 段の鞘管(外景 34mm 鋼管)が埋め込まれたまま残されている。針尾無線塔も旧日鉱佐賀関精錬所煙突工事と同じシステムを採用していることから、前述したように厚さ 38mm の型枠を 4 条の 10mm のワイヤーにより締め付けたものと判断する。

以上が型枠の締付システムである。我が国における高

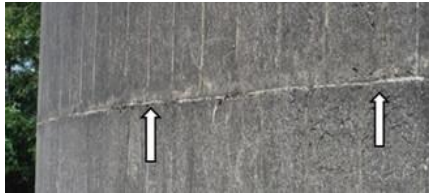


写真-25 打継目のイタンス (矢印)

層塔状構造物の施工は 1905(明治 38)年にこの技術が日本に導入されて以後、日本のパテントを取得¹⁷⁾したウェーバーチムニー社のもとで東洋コンプレッソル社が手掛け、針尾無線塔においてもこの工法が継承されていたことを証明している。

4.2 塔体コンクリート表面の諸現象から推察できるコンクリートの性状

以下の各項目において、塔体コンクリート表面の諸現象の写真を解説し、節末にコンクリートの性状についてまとめる。

(1) 塔体コンクリートの打継目

写真-25 はコンクリートを締固めた後、遊離した内部の水が上昇するブリージング現象に伴って、セメントの石灰分や骨材の微粒分が上昇して表面に堆積した乳白色の 2～3mm 程度の泥状の層であるレイタンスを写したものである。

「レイタンスの有害性」について国内で初めて川口虎雄が 1916(大正 5)年発行の「土木工学」のなかで触れている¹⁸⁾。翌年には、1917(大正 6)年「米国混凝土及鉄筋混凝土調査聯合委員會報告」のなかで「乳皮(Laitance)は混凝土間の付着力を妨害する。」¹⁹⁾と報告されたことによって真剣な議論が始まる。その後、昭和 6 年 9 月に発行された「鉄筋コンクリート標準示方書(初版)」のなかで「接合面はレイタンスを除去し表面を十分粗にすべし」と規定された。無線塔建造当時はレイタンスの有害性についての認識がなく除去されなかったものと考えられる。

(2) 塔体コンクリートの沈下ひび割れ現象・水の分離現象・モルタルの型枠隙間への逸脱現象

写真-26 は外壁の沈下ひび割れ現象を写したものである。コンクリート内の余分な水が打設直後のブリージング水となって上昇し、内部に空洞が生じることにより、コンクリートの自重で沈下現象が発生し沈下ひび割れを引起す。この現象は締固め終了数時間後に発生する。このほかコンクリートのなかの水が分離して発生したジャンカや型枠の隙間にコンクリートのモルタル分が逸脱して硬化した現象もみられる。これらは硬練りより軟らかいコンクリートを使用した場合に発生する現象である。

(3) 塔体コンクリートの配合と締固め

塔状構造物コンクリートの配合は、旧日立鉱山精錬所煙突がセメント：砂：碎石=1：1.5：3²⁰⁾、旧日鉱佐賀関精錬所煙突が 1：2：3.5²¹⁾、旧通信省原町無線塔が 1：2：4²²⁾、針尾無線塔がペーストに富むセメント：火山灰：砂：

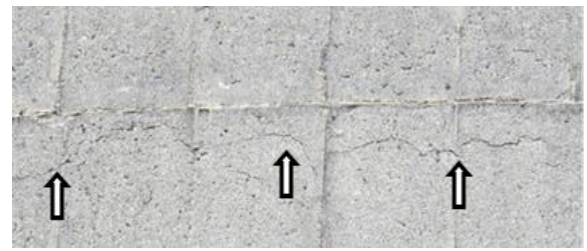


写真-26 外側の沈下ひび割れの現象 (矢印)

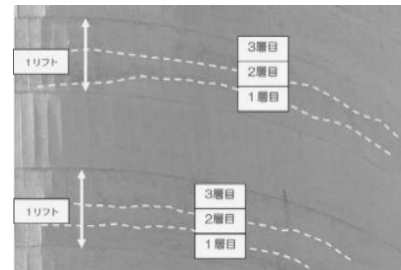


写真-27 1 リフト内のコンクリートの層境

碎石：砂利=1：0.2：2：1：2.5 の記録がある²³⁾。配合に火山灰を取り入れているのは針尾無線塔のみである。この理由としては、小樽築港工事において広井博士により、火山灰には耐海水性に優れ長期強度の増進に効果があることが実証され、広井博士の薫陶を受けた佐世保鎮守府技師真島健三郎、真島の指導を受けた吉田直が、周囲を海で囲まれ飛沫塩分が心配される環境に配慮して決断したものと推測する。

さらに、針尾送信所で使用する用水は周辺に水源が乏しいことから、貯水井(井戸)と貯水池(300t・700t)を設置して確保していたようである²⁴⁾。コンクリートに使用する真水の必要性について、すでに 1903(明治 36)年発行の広井博士著「鉄筋混凝土橋梁」のなかで「砂及砂利碎石は清浄にして鐵の腐食を生ずべき酸類の附随せざるものたるべし」²⁵⁾と述べており、真水の使用は鉄則となっていたことが分かる。

次に針尾無線塔の締固めについて述べる。

写真-27 は 1 リフト高さ 1.37m を 3 層に分けて締固めたことを示している写真である。その 1 層の厚さは単純計算で 40 数 cm となる。層厚からも硬練りでないことは明らかである。3 塔全体でも層境が明瞭な箇所やコールドジョイントは皆無に近く、内部振動機を使用する現代の施工法と比較しても、搗固蛸(つきかためたこ)のみに頼るほかなかった時代の構造物としては驚くべき成果である。ちなみに、広辞苑によると「搗く」とは「棒の先で押しつぶす」という意味である。

(4) コンクリート表面の諸現象から推察できるコンクリート性状のまとめ

以上のように、コンクリート表面に残る諸現象は、すべて軟らかいコンクリートを打設した場合に観察される現象である。ところが、この構造物は前述したように軟練りを使用する壁・柱・床等の薄い部材が多い建築物

表-1 高層塔状構造物の規模と施工期間

高層塔状構造物の名称	竣工年	高さ	施工期間
旧日鉦佐賀関精錬所煙突	1916(大正6)年	168m	1年3か月
旧通信省原町無線塔	1921(大10)年	201m	1年7か月
針尾無線塔	1921(大11)年	137m	1号塔3年7か月 2号塔3年8か月 3号塔2年8か月

表-2 基礎工事の施工数量(筆者試算)

工種	単位	数量
掘削	m ³	3,100
中央足場工	空 m ³	123
鉄筋	t	96
型枠	m ²	70
コンクリート	m ³	1,360
埋戻	m ³	1,550

に該当しない。よって、塔のすべてのリフトが1層の高さ40数cmとして中練りコンクリートを使用し、長時間の搗固めによって建造されたことを証明している。

5. 施工期間の検証

基礎工事・塔体工事に分けて所要日数を算出する。紙面の制限もあり計算結果のみを記載する。

5.1 高層塔状構造物の規模と施工期間

表-1は針尾無線塔と同じ内足場方式を採用して施工された鉄筋コンクリート高層塔状構造物の施工期間について、佐世保市教育委員会の「旧日本海軍針尾送信所学術調査報告書」から引用した比較表である。針尾無線塔の施工期間は着工と竣工の期日以外記録はなく、ほかの塔と比較すると約2倍程度の期間を要している²⁶⁾。しかも、針尾無線塔の3塔の規模はまったく等しいにも関わらず1・2号塔と3号塔の施工期間の差は1年にも及ぶ。そこで針尾無線塔の各工種の数量を細かく算出し、戦後の塔状構造物施工業者の情報や筆者の蓄積した長年の施工実績歩掛をもとに施工期間の妥当性を検証した。

5.2 施工期間の算定条件

屋外作業では雨天、強風および休日による作業不能日を考慮しなければならない。例として小樽築港工事のブロック製作工事では1年の製作月数6か月180日の内150日を作業可能日²⁷⁾とし、作業可能日率を約80%に設定して工程を管理したと記録している。無線塔工事では1年を通してこの80%を採用して施工期間を試算した。

5.3 基礎工事

(1) 基礎工事の施工数量

無線塔の基礎コンクリートの鉄筋量を示す記録を見つけることはできなかったが、一般に基礎コンクリートの鉄筋量は構造物の種類によってコンクリート1m³当たり

表-3 基礎工事の所要日数(筆者試算)

工種	所要日数
準備工(労働者の手配、資材調達等)	30日
仮設工事(軌道設備、ミキサー室等)	30日
掘削工	16日
中央足場工	3日
鉄筋工	12日
型枠工	3日
コンクリート工	15日
埋戻工	8日
計	117日

表-4 塔体工事のリフト区間別平均数量(筆者試算)

工種	単位	1~20L	21~42L	43~64L	65~86L	87~100L
外足場工(外型枠1リフトの面積)	掛 m ²	49	41	32	23	16
内足場工(内側の1リフトの空容積)	空 m ³	105	73	45	24	12
鉄筋工(1リフトの鉄筋量)	t	4	3	2	1	1
型枠工(1リフトの内外型枠面積)	m ²	91	76	60	43	30
コンクリート工	m ³	33	23	15	8	5

一般に約50~100kgと大きな幅がある。今回は筆者の経験をもとに70kg/m³として試算した。表-2に無線塔基礎工事の施工数量を示す。

(2) 基礎工事の所要日数

基礎工事の所要日数試算結果を表-3に示す。

5.4 塔体工事

(1) 作業制限

無線塔の塔体工事は次の3項目の作業制限を課して施工に取り組んでいたことが分かっている²⁸⁾。

・作業制限1・・・1日の作業高(1リフト)は4ft6in(1.37m)とする。

・作業制限2・・・上層リフトの施工は24時間以上経過後。

・作業制限3・・・型枠撤去は48時間以上経過後とする。

作業制限1の1リフト高さ1.37mを基準とし、作業制限2, 3は工程算出結果をもって判断する。

(2) 塔体工事の施工数量

塔体は上位リフトほど直径が小さくなり各リフトの施工数量は減少する。そこで、佐世保市教育委員会の「旧日本海軍針尾送信所学術調査報告書」の1号塔測量図²⁹⁾をもとに、工程計算を簡略化するため高さ方向を5分割にし、それぞれの工種の平均数量を代表値として計算を行った。鉄筋量は塔体1リフト目の配筋調査結果³⁰⁾から塔体コンクリート1m³当たり101kg/m³を得たので、この値をコンクリート数量に乗じて算出した。表-4は塔体各工種のリフト区間別平均数量である。

(3) 塔体工事の所要日数

塔体工事の所要日数試算結果を表-5に示す。

5.5 基礎工・塔体工の所要日数の集計

基礎工事・塔体工事の所要日数集計表を表-6に示す。

工種	1～ 20L	21～ 42L	43～ 64L	65～ 86L	87～ 100L	片 付	計
外足場工	10	9	9	9	4	—	—
内足場工	23	20	11	9	7	—	—
鉄筋工	23	20	17	14	9	—	—
型枠工	28	31	31	31	20	—	—
コンクリート工	35	58	61	50	29	—	—
計	119	138	129	113	69	30	598

- ・作業制限1の「1日の作業高(1リフト)は1.37mとする。」については、この値を基準に工程算出したので条件を満たしている。
- ・作業制限2の「上層リフトの施工は24時間以上経過後」とした理由は、コンクリート硬化初期段階の翌日に、上層リフトのコンクリート打設時の作業荷重や衝撃が作用することがないように配慮した制限である。この制限について塔体工事の工程算出過程のサイクルを照査すると、100リフトすべてにおいて24時間以上経過したのち上層コンクリート作業を開始しており制限を満足した結果となった。
- ・作業制限3の「型枠撤去は48時間以上経過後とする。」とした理由は、養生期間を確保し強度を促進させるための制限である。塔体下層部は1リフトの各工種の施工数量が多いため、施工サイクルは長く2リフト分の型枠を準備することで制限を満足する結果となった。施工サイクルが短い中間層以上についても下層部の2リフト分の型枠を3リフト分に転用することで制限を満足する結果となった。

実際の施工現場では、予定工程を遵守するための工程管理のほか資材管理、労務管理、安全管理も重要な管理項目である。なかでも針尾無線塔の特徴として、資材はすべて海上輸送されることで、荒天リスクは陸上に比べはるかに大きい。筆者も冬期の輸送不能日が作業可能日を上回る体験や冬期は作業休止を条件に設計された工事

構造物名	リフト(リフト数)	所要日数
基礎工事	—	117 日
塔体工事	100L	598 日
総計		715 日 約 2 年

一方、1・2号塔は3号塔より1年早く着工したにもかかわらず3塔の竣工は1921(大正11)年4月～7月とほぼ同時期である。しかも、3塔の平均施工期間は約3年4か月にもなる。これほどの工程遅延は現場に起因するものではなく国内外の情勢の動向が関係していたのではと考える。

工程遅延の要因をこの表から推察するに、一つ目として、無線塔の着工時期が第一次世界大戦(1914～1918)の終結により東シナ海の軍事的な緊張も和らぎ始めた頃であり、急務となっていた無線通信整備の緊急性が薄らいできたこと、二つ目に、他国に優る軍事力を保持するため、先進諸国間の熾烈な軍拡競争がスタートし、我が国においても 1919～1921(大正 8～10)年の国家予算の約30%が空母や多くの戦艦などの建造費に充てられ³¹⁾、後方陸上設備である無線塔の建造予算に影響を与えたこと、の2点が挙げられる。

その後、軍拡競争により各国の経済負担が増大するに
および、1921(大正 10)年 11 月にアメリカの提案による
ワシントン軍縮会議が開催、翌年 2 月に軍縮条約が締結
され、旧日本海軍においては、艦齢十数年の戦艦・巡洋
戦艦のほか計画中の戦艦・空母など 20 数隻の処分が決定
し、軍縮条約締結直後の 1922(大正 11)年 4~7 月につ

1918(大正7)年												1919(大正8)年												1920(大正9)年												1921(大正10)年												1922(大正11)年																																																																																			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																																																																								
1号塔												第一次世界大戦終結												*パリ講和会議												*ヴェルサイユ条約												国際連盟発足												所要期間3年7ヶ月												ワシントン軍縮会議開始												ワシントン軍縮条約締結																																															
												2号塔																																																																																																																							
												3号塔																																																																																																																							

*パリ講和会議
 *ヴェルサイユ条約

第1次世界大戦の戦後処理のための敗戦国とロシアを除いた連合国がドイツとの平和条約を討議した会議
 第一次世界大戦における連合国とドイツ国の間で締結された講和条約の通称
 日本は戦勝国として旧ドイツの山東半島や南洋諸島の権益継承を得る。

て針尾無線塔は完成することになる。

以上のように第一次世界大戦の終結による緊張緩和とその後の軍拡競争による国際情勢に翻弄され、その結果無線塔の建造が順調に進捗しなかったものと推定した。

6. おわりに

古写真と現存する構造物から土木遺産である針尾無線塔の施工方法と3塔の施工期間の妥当性の考察を行った。

その結果、コンクリート表面に微小な沈下ひびわれや水の分離現象が認められるものの、健全な状態を維持していることが分かった。おそらく長時間かけて“空気を追い出せ、水を追い出せ”とひたむきに締め固めたものと推察する。また、異常に長い施工期間については前述したように着工と竣工の期日以外の記録を見つけることができず当時の国際情勢に焦点をおいて検証を試みた。その結果、推定であるが二つの要因を導きだすことができた。

最後に、針尾無線塔は波長が長い長距離通信用として建造されたが、その後の短波技術が向上するにつれて旧日本海軍では昭和10年ごろから短波重用時代³²⁾となり、針尾無線塔の長波を主体とした塔としては短命に終わった。このような歴史を辿った針尾無線塔であるが、2013(平成25)年には重要文化財に指定され国民の関心が高まるなか、今後も続く土木遺産としての価値に疑問を挟む余地はない。

謝辞

本研究の調査にあたり、『旧日本海軍針尾送信所学術調査報告書』を提供いただきました佐世保市教育委員会、貴重な助言をいただきました長崎県技術士会、煙突施工中の資料や写真等の提供をいただきました『原町無線塔物語』著者二上英朗氏、JX金属(株)、大正鉄筋コンクリート(株)、京誠工業(株)、(株)名興機械製作所、三和デッキ(株)の各皆様にお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 小川 健：1922(大正11)年に完成した重要文化財「針尾無線塔」の施工方法の考察，土木学会論文集D2 土木史 76 巻 1 号，2020.
- 2) 佐世保市教育委員会：旧海軍針尾送信所学術調査報告書，p.21，2011.
- 3) 佐世保市教育委員会：旧海軍針尾送信所学術調査報告書，p.25，2011.
- 4) 佐世保市教育委員会：佐世保市教育委員会無線塔強度調査結果，清水建設，2009.
- 5) 河上房義：建設の機械化，コンクリートミキサーの話，建設機械化施工協会，第28号，p.6，1952.
- 6) 日比忠彦：鉄筋混凝土の理論及びその応用(上巻)，p.125，1916.

- 7) 谷口三郎：土木施工法-土工・基礎工・混凝土工，p.542，1933.
- 8) 日比忠彦：鉄筋混凝土の理論及びその応用(上巻)，p.116，1916.
- 9) (株)ジャパンエナジー，大煙突の記録，1994.
- 10) (株)ジャパンエナジー，大煙突の記録，p.117，1994.
- 11) 東洋コンプレッソル営業案内：p.47，発行期日不明
- 12) 土木学会誌第2巻第5号：久原鉦業会社佐賀関精錬所の大煙突，pp.1463-1464，1916.
- 13) Weber Chimneys : The Highest Chimney in the World，1919.
- 14) 土木学会誌第2巻第5号：久原鉦業会社佐賀関精錬所の大煙突，pp.1463-1464，1916.
- 15) 河上房義：建設の機械化，コンクリートミキサーの話，建設機械化施工協会，第28号，p.6，1952.
- 16) 河上房義：建設の機械化，コンクリートミキサーの話，建設機械化施工協会，第28号，p.6，1952.
- 17) Weber Chimneys : The Highest Chimney in the World，1919.
- 18) 川口虎雄：土木工学中巻，p.429，1916.
- 19) 土木学会誌第3巻第3号：米國混凝土及鐵筋混凝土調査聯合委員會報告，p.806，1917.
- 20) (株)ジャパンエナジー：大煙突の記録，pp.102-105，1994.
- 21) 土木学会誌第2巻第5号：久原鉦業会社佐賀関精錬所ノ大煙突，p.1463，1916.
- 22) 大森房吉：震災予防調査会報告書，第97号甲，p.25，1921.
- 23) 土木学会日本土木史(大正元年～昭和15年)，p.780，1965.
- 24) 佐世保市教育委員会：旧海軍針尾送信所学術調査報告書，pp.36-38，2011.
- 25) 広井勇：鉄筋混凝土橋梁，工学会誌 253 巻，p.291，1903.
- 26) 佐世保市教育委員会：旧海軍針尾送信所学術調査報告書，p.59，2011.
- 27) 広井勇：小樽築港工事報文(前編)，pp.70-71，1908.
- 28) 土木学会日本土木史(大正元年～昭和15年)，p.780，1965.
- 29) 佐世保市教育委員会：旧海軍針尾送信所学術調査報告書，p.22，2011.
- 30) 佐世保市教育委員会：佐世保市教育委員会無線塔強度調査結果，清水建設，2009.
- 31) 海軍歴史保存会：日本海軍史，第2巻通史第3編，pp.102-115，1995.
- 32) 電波監理委員会：日本無線史第十巻 海軍無線史，pp.75-101，1951.

(2022.06.30 受付)