

黎明期のコンクリート施工技術と
重要文化財「針尾無線塔」の施工方法の考察

令和4年10月

公益財団法人 長崎県建設技術研究センター

小 川 健

目 次

第1章 緒論	1
1.1 本研究の背景と目的	1
1.2 本論文の位置づけ	3
1.3 論文の構成	4
参考文献	6
第2章 針尾無線塔建造に至る時代背景とコンクリート施工技術の変遷	7
2.1 針尾無線塔建造に至る時代背景	7
2.2 針尾無線塔建造に至るコンクリート施工方法の変遷	9
2.2.1 黎明期の主な文献にみるコンクリート施工技術	9
2.2.2 黎明期のコンクリート施工技術の詳細	20
参考文献	34
第3章 針尾無線塔の概要と佐世保鎮守府のコンクリート技術を発展させ 針尾無線塔の計画および建造に携わった技術者	38
3.1 針尾無線塔の概要	38
3.2 佐世保鎮守府のコンクリート技術を発展させ針尾無線塔の計画および 建造に携わった技術者	41
3.2.1 吉村長策	41
3.2.2 真島健三郎	42
3.2.3 吉田 直	44
参考文献	44
第4章 現存する写真から推測できる当時の施工方法	46
4.1 古写真1(資材搬入用軌道栈橋)	46
4.2 古写真2(基礎鉄筋組立状況写真)	47
4.2.1 掘削工	47
4.2.2 鉄筋工	48
4.2.3 基礎コンクリート工	49
4.2.4 内足場工	49
4.2.5 仮設備工(コンクリートミキサー設備)	50
4.3 古写真3(基礎コンクリート完成写真)	51
4.3.1 掘削工	51
4.3.2 基礎コンクリート工	52

4.3.3	内足場工	55
4.3.4	仮設備(クレーン設備)	57
4.4	古写真4(塔本体型枠写真)	58
4.5	古写真5(塔本体施工用コンクリートミキサー写真)	60
4.6	古写真6(通信局舎背後のコンクリートミキサー群と当時のミキサーの変遷)	61
4.7	古写真7(外足場設備の写真)	63
4.7.1	外足場設備	63
4.7.2	塔本体のクレーン設備	66
	参考文献	67
第5章	現存する構造物(無線塔)から推測できる当時の施工方法	69
5.1	塔本体型枠の構造	69
5.1.1	型枠の大きさと円周長の調整・曲面の対応	69
5.1.2	型枠の厚さ	70
5.1.3	外型枠のリフト転用	71
5.1.4	外型枠の締付方法	72
5.1.5	内型枠の施工方法	75
5.2	塔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	75
5.2.1	塔コンクリートの打継目	75
5.2.2	塔コンクリートのひび割れ	76
5.2.3	塔コンクリートの水の分離現象	79
5.2.4	塔本体の型枠の隙間から漏れ出たモルタル	79
5.2.5	塔コンクリートの配合と締固め	79
5.2.6	塔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	81
5.3	塔内部の鋼製ステージとその必要性	81
	参考文献	83
第6章	各工種の施工方法の推測図	84
6.1	塔基礎工	84
6.1.1	基礎掘削工	84
6.1.2	基礎コンクリート工	84
6.2	塔本体工	85
6.2.1	塔足場工	85
6.2.2	塔鉄筋組立工	85

6.2.3	塔型枠の構造と組立解体	86
6.2.4	塔コンクリート打設工	88
第7章	針尾無線塔のコンクリートの健全度	91
7.1	コンクリートの圧縮強度と中性化深さ	91
7.2	塔基部の鉄筋のかぶりと配筋	92
7.3	針尾無線塔のコンクリート健全度のまとめ	92
	参考文献	93
第8章	針尾無線塔のコンクリート健全度の検証	95
8.1	検証試験の概要	95
8.2	検証試験の結果	98
8.2.1	ブリージング量	98
8.2.2	粗骨材の分離度(供試体表面の粗骨材個数の上下段比較)	98
8.2.3	見掛密度	100
8.2.4	圧縮強度	101
8.2.5	細孔径分布試験	102
8.2.6	検証試験結果の考察	103
	参考文献	104
第9章	施工期間の検証	105
9.1	塔状構造物の規模と施工期間	105
9.2	施工期間の算定条件	105
9.3	基礎工事	106
9.3.1	基礎工事の施工数量	106
9.3.2	基礎工事の工程日数	106
9.4	塔本体工事	108
9.4.1	作業制限	108
9.4.2	塔本体工事の施工数量	108
9.4.3	塔本体工事の工程日数	109
9.5	基礎工事・塔本体工事の工程の集計	113
	参考文献	116
第10章	結論	117
	謝辞	119
	付録	120

第1章 緒論

1.1 本研究の背景と目的

我が国の国土は約 70%が山岳地帯であり，平地は周辺を海に囲まれ，また大小の河川が無数に存在しているため，高度成長期を契機に都市間を結ぶ道路や鉄道の社会基盤構造物が沿岸や海上部，山間部，急斜面部を問わずいたるところで集中的に整備されてきた．このような状況を反映して，我が国では社会基盤を支える構造物は必然的に橋梁やトンネルにより維持され，社会生活や産業活動に欠かせない構造物として発達してきた．

しかし現在，高度成長期にメンテナンスフリーとして整備されたこのようなコンクリート構造物の劣化が深刻な社会問題となり危機に瀕している状況にある．新幹線トンネルの施工不良やコンクリートの中性化，塩害に起因した鉄筋の発錆によるコンクリート片の剥落等人命にかかわる事故が発生している．

一方で，戦前に建造された鉄筋コンクリート構造物が全国各都市に数多く存在し，長崎県内においても小河川に架設された橋梁^{1,2)}が挙げられる．このほかに，現在は運用されていないが 1922(大正 11)年に竣工した旧海軍の「針尾送信所の 3 本の無線塔」^{3,4)}は異彩を放っている．

針尾送信所は日露戦争を契機に無線通信の重要性を認識した海軍が，日本周辺の通信網を整備するため佐世保鎮守府に建設したもので，この敷地には 3 本の無線塔が建造されている．

無線塔の内外部には一部ひび割れ(詳細は後述)が認められるが，鉄筋の発錆，コンクリートの剥落等一切見られない．大正期にはこの無線塔より高いコンクリート塔状構造物がいくつか建造されたが，唯一針尾無線塔は現存している．2013(平成 25)年には国の重要文化財に指定されている．

図 1.1-1 に針尾送信所の位置図，写真 1.1-1 に針尾無線塔の全景を示す．



図 1.1-1 位置図(☆印)



写真 1.1-1 針尾無線塔 (旧日本海軍
針尾送信所 学術調査報告書より)

我が国の当時の鉄筋コンクリート技術者は、明治中～後期の海外の文献や海外視察によって見分を広め施工技術の導入を試みようとしたが、海外の先進諸国においてもまだ鉄筋コンクリート構造物は少なく、いろいろな構造物に試みている段階であった。そこで我が国の技術者は各々が関係する分野の構造物に鉄筋コンクリートを積極的に採用し始めた。具体例として前述した小規模橋梁のほかに小規模煙突や油槽⁵⁾、建築物等⁶⁾が挙げられる。このようにして実績を積み上げ、針尾無線塔を建造するに至った。

ところで、このように小規模鉄筋コンクリート構造物が建造された実績は残っているものの、これらの詳細な施工方法を知ることができる記録は非常に少ない。特に軍事施設については極秘扱い⁷⁾とされていたことから、関係担当者の覚書や記憶などによるほかなく、針尾無線塔の施工技術を推測できる資料は、数枚の写真⁸⁾以外何ら現存していない。

このようなことから本研究においては100年を経てもなお健全なコンクリートを維持している無線塔を、当時の技術者が叡智を駆使し、いかに造り上げたのか、施工技術の解明に取り組むとともに、重要文化財の保存活動を長続きさせるためにも土木遺産の価値を解りやすく、そして再認識できるような施工方法の”見える化”の研究にも取り組んだ。

この論文の表題に「黎明期の・・・」という用語を使用した。この時代区分について説明する。わが国における初期のコンクリート施工技術は、コンクリートの配合から施工、養生に至るまで施工責任者に委ねられていたのが現状で、標準として統一されたものはなかった。特に配合の水量については現場の施工性にあわせて調節

していた。そのような中で、1918(大正7)年にAbrams(米)によって圧縮強度と水セメント比に強い相関がある水セメント比説が発表され、1922(大正11)年には日本にも紹介された⁹⁾。このような過程を経て、欧米先進諸国の標準化されたコンクリートの標準仕様と歩調を合わせようとの気運が高まり、1931(昭和6)年に「鉄筋コンクリート標準示方書(初版)」が規定された。

そこで、この標準仕様書が発行された時点を我が国におけるコンクリート技術変遷の節目ととらえて、「鉄筋コンクリート標準示方書(初版)」が発行される以前を黎明期とし、それ以後とを区分した。

1.2 本論文の位置づけ

「鉄筋コンクリート標準示方書(初版)」を制定した土木学会コンクリート調査会委員の九州帝国大学吉田徳次郎教授は当時の現場の施工について1932(昭和7)年発行の「鉄筋コンクリート設計法」¹⁰⁾のなかで次のように述べている。

- (1) 従来、土木建築の工事をする人の間には、コンクリート其の他に關する示方書は、確實に勵行されないのが當然であるとする習慣がある。従って、工事請負者は、示方書通りの施工しない事を豫想して、法外に安い價格で工事を落札し、工費の上から、正當で必要な施工をなす事が出来ない事になる。
- (2) 作業中や、工事監督者が、鉄筋コンクリートに關する十分な智識を有(も)たない為に、主としてコンクリートの重量を利用する構造物の場合に於ける施工の習慣に捕はれて、故意ではないにしても、示方書に従って、完全な施工をする事に努力しない場合がある。
- (3) 鉄筋コンクリート構造は、出来上がりさへすれば、その施工の良否は、後から容易に判らないと云う事が、知らず知らず作業手などの頭に働いて、各自の勞力を省く事のみを考へる様になり易い。

吉田徳次郎のこの3つの戒めは、昭和から平成に至る建設業に従事する技術者にとって胸を刺す言葉である。この戒めに真摯に取り組んでこなかった結果が現在のコンクリートの劣化問題を生じさせたといっても過言ではない。

「鉄筋コンクリート標準示方書」は技術の進展に併せて改訂が重ねられ「コンクリート標準示方書」として現代に受け継がれている。そしてこの示方書は、現場を預かる土木技術者にとっては基本となる道標ともいえるものである。しかし、筆者が所属している機関における研修業務を通じて言えることは、この示方書を十分に把握して

いない技術者がいまだに存在していることである。

次に、国内では、世界遺産の増加に伴い歴史的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、歴史的土木構造物の研究や保存活動は大きなテーマとなってきている。これまで建設することのみを目的としてきた土木技術者も今後はこの方面の活動に必然的に関わることになると考えられる。

これまでの歴史的土木構造物の研究では、建造時の時代背景や使用材料の物性、構造物の耐久性などを評価したものや補修・管理に関する研究が多く、周辺住民、地域住民がどのような保存活動を求めているか、どのようなものに興味を示すのかを明らかにする住民目線や、多くの現場経験を経た土木技術者の目線による研究事例が少ないように推察される。

このようなことから本研究では、第2章で述べる「黎明期の主な文献にみるコンクリート施工技術」と「鉄筋コンクリート標準仕様書(初版)」が規定されるに至った経緯や無線塔が語る先人技術者の苦悩と努力の成果を知ることで、温故知新の精神でコンクリート施工管理に臨む取組姿勢の自己改革を促す資料として、また、現場経験を経た土木技術者の目線で、一般の方にとっても分かりやすい無線塔の建造手順を施工状況推測図として“見える化”し、今後の保存活動に資するための論文として位置付けるものである。

1.3 論文の構成

本論文は10章から構成している。各章の内容を要約すると以下のとおりである。

第1章では本研究の背景と目的について述べ、本論文の位置づけと構成についてまとめた。

第2章では針尾無線塔建造に至る時代背景と明治中期から「鉄筋コンクリート標準仕様書(初版)」が発行されるまでの期間を“コンクリート技術の黎明期”にとらえて、黎明期のコンクリートの施工方法の変遷を当時の文献から明らかにするとともに、針尾無線塔着手直前のコンクリートの製造設備、配合、練り方、接合面の処理、搗固め(つきかため)、養生に至る各工程の施工技術の詳細を整理した。

第3章では針尾無線塔着手時すでに建造されていた長大・高層構造物の概要を土木学会論文集から引用するとともに、この佐世保鎮守府のコンクリート技術を発展させ、無線塔の計画から完成までに従事した技術者について調査した。

第4章では大正時代の国内外の塔状建造物の施工に関する写真や資料を収集し、当時の施工技術を調査するとともに、この施工技術を継承している可能性が高い戦後の塔状建造物の施工に従事した技術者に対して聞き取り調査を行った。そして、これと並行して、現存する数枚の写真、当時の文献、土木学会土木貴重写真コレクション、国内の土木遺産研究者の長崎大学岡林隆敏名誉教授提供による資料、そのほか大正時代に煙突を建造し、現在も存続している会社からの写真の提供等により、基礎工から完成までの各工種の施工方法を検証した。特に仮設備の要であるコンクリートミキサーについては、型式と製造能力を調査した。さらに、針尾無線塔の施工技術の導入元についても解明に取り組んだ。

第5章では無線塔の表面に残る型枠の跡から型枠の構造と仕組みを検証した。また、コンクリート打設時の1層の厚さやさまざまな痕跡からフレッシュコンクリートの性状を推測するとともに、当時の文献や無線塔完成9年後に制定された「鉄筋コンクリート標準示方書(初版)」を手がかりに、締固用具「搗固蝟(詳細後述)」による締固方法の解明に取り組んだ。さらに、塔内部の鋼材ステージの設置理由についても検証した。

第6章では第4、5章において検証した基礎掘削工から塔本体のコンクリート打設までにいたる施工過程を“見える化”する資料として「施工状況推測図」を作成した。特に型枠については、戦後の煙突工事に従事した技術者から昭和40年頃の型枠施工図を入手し、これを参考とした。

第7章では「佐世保市教育委員会無線塔強度調査結果」のデータをもとに、大正時代の搗固法と中性化の進行速度との関係について推論し、無線塔コンクリートの健全度を評価した。

第8章では第7章において推論した搗固法の有効性を裏付ける目的で当時のプレーンコンクリートの配合を再現し、搗固法と戦後の高度成長期に使用されはじめた内部振動機による締固めの比較実証試験を行い、ブリージング量、骨材の分離度、見掛密度、圧縮強度、細孔径分布等について検証した。

第9章では、針尾無線塔の施工期間が当時建造されたほかの高層塔状建造物の施工期間と比較して2倍以上と長く、また、針尾無線塔3本の施工期間もそれぞれ大きく異なる。そこで各工種の歩掛を設定し標準的な施工期間を算出し、実施工期間との差の要因について推論した。

第10章では本研究の成果を要約した。

参考文献

- 1) 岡林隆敏, 島田省三: 長崎市における近代橋梁建設に関する歴史的考察, 土木学会土木史研究第 13 号, pp.47-56 9, 1993.6
- 2) 山根巖: 明治末期における長崎での鉄筋コンクリート橋, 土木学会土木史研究第 19 号, 1999.5
- 3) 電波監理委員会: 日本無線史第十巻 海軍無線史, pp.446-447, 1951.9
- 4) 佐世保市教育委員会: 旧海軍針尾送信所学術調査報告書, 2011.8
- 5) 工学会・啓明会編: 明治工業史土木編, 第九編軍事土木, pp.880-883, 1929.6
- 6) 十川嘉太郎・真島健三郎: 鉄筋コンクリートの思い出, 土木建築工事画報 11 巻 12 号
- 7) 土木学会日本土木史(大正元年～昭和 15 年), pp.774-775, 1965.12
- 8) 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.58-59, 2011.8
- 9) 加賀秀治: コンクリートの品質管理に関する歴史的考察, コンクリート工学, Vol,21, No7, p13, 1983,7
- 10) 吉田徳次郎: 鐵筋コンクリート設計法, pp.6-7, 1932

第2章 針尾無線塔建造に至る時代背景とコンクリート施工技術の変遷

2.1 針尾無線塔建造に至る時代背景

19世紀後半，欧米列強諸国は権益拡大，植民地獲得に意欲を燃やしアジアへ進出してきた。この進出に伴い，それらの諸国と対峙するための旧海軍の根拠地として，1886(明治19)年に日本の沿岸を5海軍区に分け，図2.1-1の各海軍区に鎮守府を置くことを定め，日本の最西端地区を守る要として佐世保に鎮守府¹⁾を設置した。

佐世保は明治初期までは半農半漁の人口4,000人の村であった。1886(明治19)年に佐世保鎮守府の設置決定を契機に佐世保は軍人はじめ役人，商人等が流入することとなり，1889(明治22)年に開庁後は海軍の前線基地としての軍関連施設の整備のほか

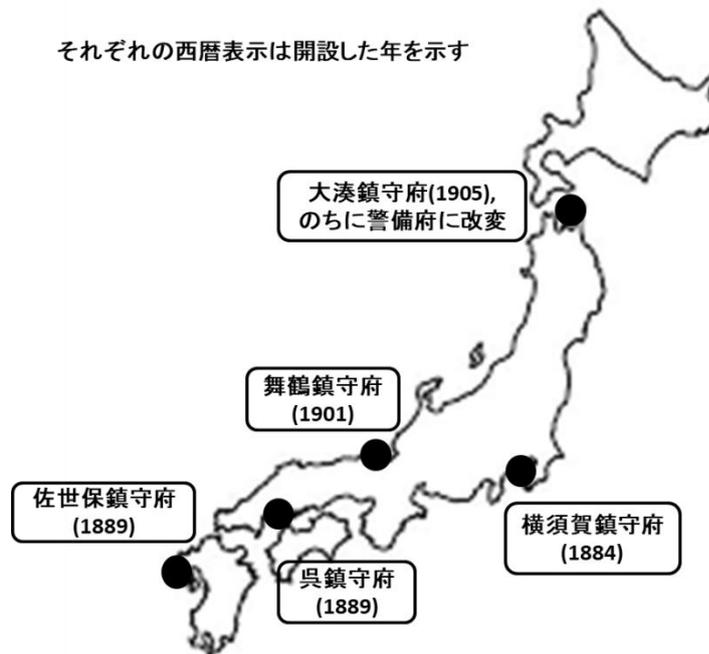


図 2.1-1 海軍の鎮守府位置図

にも、人口の急増に対する道路、水道などの都市基盤の整備も重要な任務としていた。そのようななか、1904(明治37)年には日露戦争が勃発、この戦争において無線通信技術の優劣が勝敗を決する大きな一因であったことから、それまでの通達距離が短い通信技術にかえて、直接、国内の各軍港や遠く離れた艦船及び中国大陸の基地との長距離通信ができる無線通信技術の整備が急務となった。そのため高出力の電波と巨大な高さの無線塔施設が求められ、1913(大正2)年から1922(大正11)年にかけて東京(船橋)、台湾(鳳山)、佐世保(針尾)に高さ100m余から200mの巨大な無線塔が建設されるに至った。無線塔の構造は、船橋、鳳山が鉄塔であったのに対し、最後に着手した針尾無線塔は、当時の鉄鋼資材価格の法外な高騰により窮余の策として鉄筋コンクリート造りで建造された²⁾。図2.1-2は1920(大正11)年までに整備された海軍の陸上無線通信網である³⁾。さらに、逓信省においても1920(大正9)年にアメリカ方面との通信網確立のため高さ200mの鉄筋コンクリート造りの無線塔を建造している⁴⁾。

このように明治中期から始まったコンクリートの技術導入の成果は、大正時代には世界に誇れる高さの鉄筋コンクリート塔状構造物を構築できるまでに発展してきた。そこで次項では、黎明期の土木技術者執筆による文献を通してコンクリート施工技術の変遷について整理した。

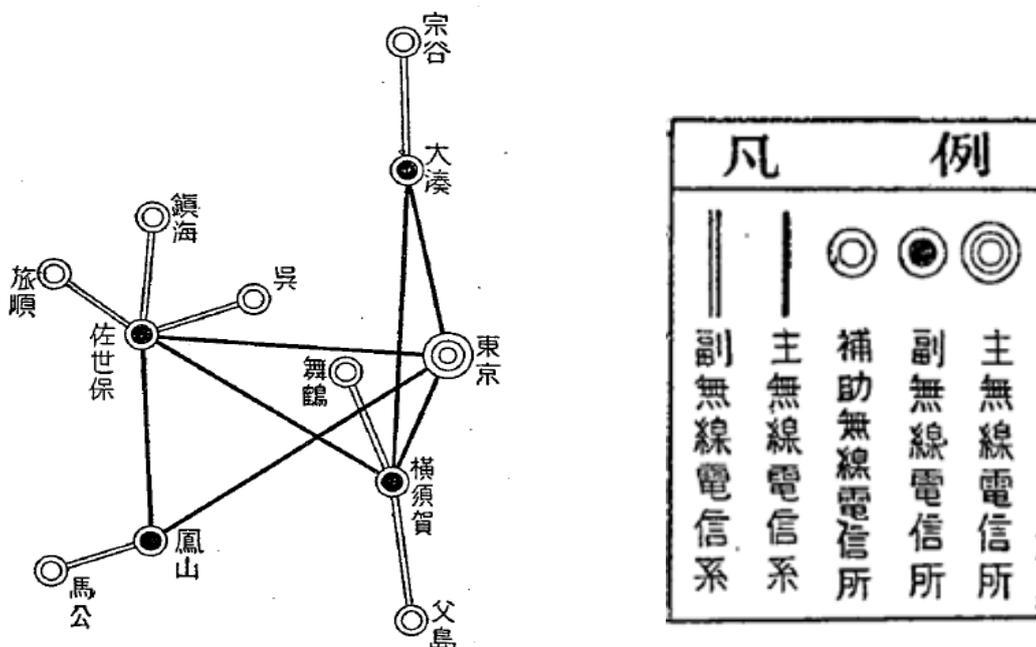


図 2.1-2 海軍の陸上無線通信網
(日本無線史第十巻海軍無線史より)

2.2 針尾無線塔建造に至るコンクリート施工方法の変遷

2.2.1 黎明期の主な文献にみるコンクリート施工技術

黎明期には多くの土木技術者が混凝土(コンクリート)に関する著作物や報告書を執筆している。その中で施工技術(混合機, 配合, 搗固め, 養生, 接合等)について触れている文献の要点について調査した。“搗固め”とは「棒の先で押しつぶす」という意味である。表2.2-1に黎明期の土木技術者の主な文献にみる施工技術の要点を記す。

表2.2-1 黎明期の土木技術者の主な文献にみる施工技術の要点

文献名	著者 (発行年月)	コンクリート施工技術の要点 (カタカナ文をひらがな文に, 漢字・熟語はなるべく原文のままとし, 原文に沿って要約する。)
横浜築港工用材料混凝土塊調査報告書	調査員 高山甚太郎 妻木頼黄 中澤岩太 真野文二 倉田吉嗣 (工学会誌 第149巻 明治27年5月)	<p>横浜築港工事は1期~3期に分けて防波堤や埠頭工事を施工している。この報告書は高山甚太郎博士らが, 1889(明治22)年に着手した横浜築港1期工事の防波堤工事において, 粗製濫造により混凝土塊に亀裂が生じ防波堤に甚大な被害が発生した事件の調査結果をまとめたものである。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 混合器 カレー及びピラサムの特許のもの3機使用 2. 塊(ブロック)混凝土の配合・・・容積配合 セメントメーカーにより2種類 ①セメント：砂：砂利：小割栗石：中割栗石 =5：12：10：15：3(=1：2.4：2：3：0.6) ②セメント：砂：砂利：小割栗石：中割栗石 =4.3：12：10：15：3(=1：2.8：2.3：3.5：0.7) 水量の規定はない。調査員は(全材料の)9~12%が最も適当であると記録している。 3. 塊(ブロック)混凝土の搗固め 1層30cmに達したら4人の工夫が6kgの杵(きね)で搗固め、表面に中割栗石を敷き詰め、さらに投入して同じ作業を繰り返す。 4. 養生 養生について記載なし。下記亀裂原因調査結果によると養生対策は実施されていない。 5. 亀裂の原因の調査結果 <ul style="list-style-type: none"> ・混合器水量の調節が不便で制御できない。 ・セメントの砂に対する分量がやや少ない。 砂のセメントに対する量は2以下を要す。 ・小割栗石の形状が大きく内部に空隙を生じる。 ・搗固めが不十分で内部が粗い。 ・型枠を翌日に撤去し, 日光に暴露して急激な乾燥防御対策をしていない。 ・転置までの規定日数, 海水に沈下するまでの規定日数を守っていない。

<p>築港巻之一(再版)</p>	<p>広井 勇 (明治34年3月)</p>	<p>この文献は東京帝大教授兼北海道庁技師である広井勇が小樽築港事務所長に就任した時期に国内外における経験をもとにまとめたもので、1898(明治31)年に発行した初版を改訂して1901(明治34)年に再版されたものである。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 混合器 間歇式と不断式の二種がある。間歇式はメッセント式混合器が最良であるが、最も広く用いられるものは不断式のケーレー・ラサム式である。 ケーレー・ラサム式は1時間当たり混練能力1~3立坪(5.8~17.5m³)の機種がある。 2. 塊(ブロック)混凝土の配合・・・容積配合 海外の事例を参考にセメント：砂=1：2が最も適当である。セメント：砂：砂利碎石=1：2：4における立坪あたりのそれぞれの量を示している。 水量は原料の質により多少の差があるが、混凝土全体の積量の1割~1割5分で充分である。 3. 混凝土の練り方の名称と欠点 <ul style="list-style-type: none"> ・ 煉込混凝土・・・比較的多量の水を加え全体として粘体となし自然空気を存せざるようなもの。煉込法の欠点は多量の水を用いると固結力が減退すること多し。また、多孔なるを免れず。搗固混凝土と比較して重量におおよそ3%の差がでる。 ・ 搗固混凝土・・・凝結に要する水量程度とし、蒸発や石材の吸収に対し多少余裕を与えるに過ぎざる水量をもって煉る。俗に堅煉りという。層毎に搗固めを施すもの。搗固法の欠点は搗固めが長時間に亘るときは震動の下層において凝結を始めた部分に分離する傾向がある。しかし、試験結果ではその害は認めず。 4. 塊(ブロック)混凝土の搗固め <ul style="list-style-type: none"> ・ 塊の大きさ、長さ2.7m・幅1.8m・高さ1.2m程度の場合、搗固蛸は2人掛のもの2個(重量17kg/個)、1人用4個(重量5.5kg/個)を使用。 ・ 搗固めは上面に水が少し浸み出るをもって適当とする。 ・ 次層投入前に小型の熊手で表面を掻き荒らし、完全に接合させる。 ・ 1層の厚さは5~6寸(15~18cm)を適当とする。 5. 養生 <ul style="list-style-type: none"> ・ 混凝土塊(ブロック)は乾燥防止のため3日間を経て模型(型枠)の側枠を取外し2週間はムシロで覆い、且つおおよそ1週間は水を注ぐ。底板の取り外しは2週間内外である。
<p>鐵筋混凝土橋梁</p>	<p>広井 勇 (明治36年6月)</p>	<p>この文献は広井勇博士が「The reinforced Concrete」を「鐵筋混凝土」と初めて命名し、技術理論のほか鐵筋混凝土の施工方法について我国で最初に触れたものである。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 橋梁構造物の配合・・・容積配合 標準配合はセメント：砂：砂利碎石=1：2：4、粗弱でよいものは1：2.5：5、薄層もしくは局部で填充困難な場合1：3の膠泥(モルタル)を用いてもよい。 2. 混凝土の練り方 混合は硬煉法によるが、局部で搗固めが困難なるとき

(前頁に続く)		<p>はやや水量を増加させ、充実の完全を期さなければならぬ。</p> <p>3. 搗固めと接合</p> <ul style="list-style-type: none"> ・1層の厚さは搗固めの難易による。 ・桁または拱(アーチ)において搗固めで震動により被害があるものは層を薄くして、小形の器具で搗固める。拱脚(アーチ桁を受ける部分)もしくは大形の桁拱にして充分搗固めを施すことができるものは層厚を倍にしてもよい。例えば肋桁(T桁)は5cm層々に搗固め、肋桁の間の梁は2cm厚の層に仕上げるが、拱脚は層厚さ12cmを超過させることあり。 ・混凝土は1層毎に表面を掻き粗け、層々の固着を完全ならしめる。 ・搗固蛸は普通7~16cm角、重量5kg内外の小蛸、局部は小蛸もしくは鉄桿(さお)を用いる。 <p>4. 養生</p> <ul style="list-style-type: none"> ・混凝土填充後は急速の乾燥を予防しなければならない。そのほか混凝土工事に要するすべての注意を怠ってはいけない。 ・模型の取除は、側枠は通常填充後3日以上経て取除き、底部や支材(支保工材)は通常1ヶ月ないし2ヶ月とする。
<p>論説報告 大坂築港における 混凝土塊</p>	<p>島 重治 (工学会誌 第272巻 明治38年3月)</p>	<p>この論説報告は大阪市職員島重治が、1897(明治30)年に着手した大坂築港における南北両突堤の混凝土塊に亀裂が生じた原因の調査結果をまとめたものである。</p> <p>1. 混和機 メーカー不明、円筒型である。10機購入して8機使用</p> <p>2. 塊(ブロック)混凝土の配合・・・セメントは重量、骨材は容積で配合、下記数量を混和機に投入。 セメント：1500ポンド 砂：60立方尺 砂利：90立方尺 (セメント1立方尺=80.51ポンドにより 1500ポンド=18.6立方尺 よってこの容積比率はセメント：砂：砂利= 1：3.2：4.8である。)</p> <p>水量は、夏はセメントと砂の重量の100分の8~9.5、冬は100分の7~8とする。</p> <p>3. 塊(ブロック)混凝土の搗固め 塊の大きさ、長さ1.8m・幅1.5m・高さ1.2mの場合 1層24cm撒布し、6人で約12kgの3個の蛸と4.5kgの羽子板状の胴突を使用して、搗固め方法を3種に規定し施工。 1種：30分搗固めて接合処理せずに次層に取り掛かる。 2種：1種の施工方法と同じであるが、次層投入前に表面を耙(くまで)で掻く。 3種：18分搗固めて表面を耙(まぐわ)で掻き、空気中の暴露時間を減じてすぐに次層を投入する。 1種、2種の方法は搗固めに実際は40分以上かかっており、空気暴露時間が長く接合不充分の可能性があるので最終的に3種の方法を採用して施工。</p>

(前頁に続く)		<p>4. 養生 ムシロで多い水を撒布して乾燥を防ぎ、48時間後型枠撤去、1週間後にムシロを撤去した。</p> <p>5. 亀裂の原因の調査結果 ・水量が多く搗固めが充分できない。 ・セメント量が少ない。</p>
小樽築港工事報文 (前編)	広井 勇 (明治41年7月)	<p>広井勇博士が小樽港の一期工事北防波堤工事(明治30年5月~明治41年4月)の竣工までをまとめた報文である。施工方法の内容は「築港」とほぼ同じ内容であるが、配合に火山灰を使用したことと人力搗固めに代わる圧搾空気を動力とした搗固機を製作して、大幅な労力を削減できたことについての記述がある。</p> <p>1. 混合機 ケーレー・ラサム式を使用、1時間の混合力は10立方メートル(10m³)である。</p> <p>2. 塊(ブロック)混凝土の配合・・・容積配合 標準配合(当初)セメント：砂：砂利碎石=1：2：4 (変更)セメント：火山灰：砂：砂利碎石 =1：0.8：3.2：6.4 水量は混凝土全積量の1割2分~1割4分(砂乾燥度及時期による)とする。</p> <p>3. 搗固めと接合 ・塊(ブロック)の大きさ(幅1.2m長さ3~4m高さ1.8m程度)に対し、人力作業では1層の厚さ6寸(18cm)に達するときは大蛸4挺に各2人配置して1層15分間搗固め、水が表面に滲出したら、小蛸で隅々を搗固めて終了する。 ・1層の搗固めが終わったら熊手で表面を掻き荒らし、次層の充填に掛る。 ・塊(ブロック)混凝土製造時の水量と搗固めは最も厳重な監督を要する。 ・人力搗固作業に代わって圧搾空気による打数能力(毎分500回)の搗固機を製作して毎層2回施し、蛸で四隅と凸凹箇所を搗固め、水が表面に滲出するまで続行する。その結果40人(1日当たり)の労力を節約できた。</p> <p>4. 養生 養生方法についての記載なし。ただし、製造後15日を経て運搬し、置場では空気の流通を良くし、1ヶ月以上を経て沈設するとしている。</p>
土木施工法	鶴見一之 草間偉瑛武 共著 (明治45年1月)	<p>仙台高等工業学校鶴見一之教授と東京帝国大学草間偉瑛武助教授が国内外の土木に関する文献を参考にまとめた文献である。国内の参考文献の冒頭に広井勇の「築港」を列記している。</p> <p>1. 混合機 間歇式と不断式の二種がある。 間歇式・・・原料が完全に混合したのをまって混合機より取り出すもの。 不断式・・・一の口より常に材料を供給を受け、他の口よりは常に混合物を送出するもの。 混合機の図面や写真が掲載されているが、混合機の名称の記載はない。</p>

(前頁に続く)		<p>2. 混凝土の配合・・・容積配合 12種類の容積配合例を記載している。鉄筋混凝土の標準配合は比較的セメントに富むセメント：砂：砂利碎石=1：2：4としている。</p> <p>3. 混凝土の練り方と欠点 広井勇の「築港」の記述内容と全く同じであるため説明は省略する。</p> <p>4. 搗固めと接合 広井勇の「築港」の記述内容と全く同じであるので説明は省略するが、接合面は殊更に凸凹に作るべしとしている。このほか、混凝土の種類や鉄筋の有無によって使い分けられていた搗固蝟の図が掲載されている。</p> <p>5. 養生 最初の1週間は注水し湿気を失わないようにする。注水を怠ると十分凝結せず微細な亀裂を組織に生じる。</p> <p>6. 鉄筋混凝土工の注意点</p> <ul style="list-style-type: none"> ・鉄材と混凝土との接着を十分に完全になるようにモルタルが富んだものとする。 ・鉄筋混凝土は水分を増したものをを用うことが多く、塩分を含んではいけない。 ・搗固めに際し十分各部の空隙を充填しなければ多孔になるので、外部から空気が流通し鉄材の酸化を速める場合がある。完全に施工して鉄材の外部に4分(12mm)～4分5厘(13.5mm)の混凝土があれば、水中気中を問わず錆を生ずることはない。 ・鉄材の交叉点は細き鉄線にて結束し、定位置から動かないようにする。
再訂 築港前編	広井 勇 (大正2年7月)	<p>「築港卷之一(再版)」の再訂版である。再訂事項を列举する。</p> <p>1. 混合機</p> <ul style="list-style-type: none"> ・メッセント混合機・・・横浜築港で使用、1日12立坪(約70m³)の能力である。 ・立方(キューブ)混合機・・・最も広く使用されている。1時間1～3立坪(6～17m³)の能力の機種がある。 ・ケーレー・ラサム(CaleyLatham)混合機・・・1時間1～4立坪(約6～23m³)の能力で小樽築港工事で使用している。 <p>2. 塊(ブロック)混凝土の配合・・・容積配合 標準配合はセメント：砂：砂利碎石=1：2：4、水量は原料の質により差があるが、堅煉(搗固法)は混凝土全体の積量の1割～1割5分で充分で、搗固めは表面に水が滲出するまで行う。煉込法は混凝土全体の積量の1割5分～2割の水量を加える。</p> <p>3. 混凝土の練り方の名称と欠点</p> <ul style="list-style-type: none"> ・煉込混凝土・・・煉込混凝土は強度において搗固めたるものに及ばず、2ケ年にわたる試験結果によれば圧縮強度は前者は後者の半分に過ぎず。 ・搗固混凝土・・・搗固法も搗固め不十分なることがあれば、その結果は恐るべきものになる。築港工事に於ける混凝土塊の亀裂の原因の多くはこれにある。

(前頁に続く)		<p>4. 搗固め</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 煉込法に依るときは蝋に代わる鉄棒を使い、尖端(尖った形状)を有するもので内部を、薄端(板状)あるもので周囲を突き、空隙を生じないようにしなければならない。 ・ 搗固めは労苦を要することが多く粗造に流れるので、圧気を用い機蝋を運転する装置(搗固機)を施すことにより、労力を過半に減じたと同時に、製品も極めて良好な結果を得ることができる。 <p>搗固機は小樽築港工事で使用、総重量60貫(226kg)衝程5寸(上下動15cm)毎分250回、1面坪を搗固めるに約3.5分を要する。この作用は人力の比に非(あら)ず。</p> <p>5. 鉄筋混凝土</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 「築港」シリーズで初めて鉄筋混凝土について触れているが、「年数乏しく一考を要する。」と記載し、施工方法に関する詳しい記述はない。
鉄筋混凝土橋梁設計心得	鉄道院 (大正3年公示)	<p>この時代までは技術者個人の考え方で施工していた鉄筋混凝土について、鉄道院が設計心得として公示したものである。</p> <p>1. 鉄筋混凝土橋梁の配合・・・容積配合</p> <p>「一二四混凝土」の場合の許容応力強度の基準を示している。「一二四」とはセメント：砂：砂利碎石=1：2：4を示す。</p> <p>2. 混凝土の練り方</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 乾混凝土・・・水の分量は搗固めの後、表面に僅かに水分の滲出する程度のも。 ・ 湿混凝土・・・水の分量は乾混凝土におけるより多量なるもの。膠灰(モルタル)が礫又は碎石より分離するほど多量であってはならない。 <p>3. 搗固めと接合</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 前に打込んだ層の混凝土がまだ凝結する前に、その表面を掻き荒し、後の層を投入する。 ・ 混凝土は乾湿に応じて相当の搗固めをする。そして、混凝土中に空隙を残存させないように且つ鉄筋の周囲に膠灰(モルタル)が十分に回るよう搗固める。 ・ 鉄筋混凝土に湿混凝土を使用するのは普通だけど搗固めが容易な場所(支柱や床)においては乾混凝土を用い搗固める。この場合、鉄筋には予め膠灰(モルタル)を塗っておく。 <p>4. 養生</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 打ち込んだ混凝土が日光、風雨のために害を被らないように適當の防護をする。 ・ 氷結以下の温度において、防寒の設備がない場合は混凝土を施工してはならない。

<p>鉄筋混凝土の理論及び其応用(上巻)</p>	<p>日比 忠彦 (大正5年1月)</p>	<p>京都帝国大学日比忠彦教授が、鉄筋混凝土に関する著作物が少ないことから、海外の著作物と国内の情報をもとに技術理論のほか施工方法についてもまとめた文献である。</p> <p>1. 混捏機</p> <p>混捏機には二種ある。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・連続混捏機 (Continuou Mixer)・・・機械の一方から原料を入れ他方より絶えず排出するもの。 ・不連続混捏機(Batch Mixer)・・・一回ごとに定量を入れ、排出するもの。 <p>混捏機の型式</p> <ul style="list-style-type: none"> ・回転混捏機 連続混捏機のシカゴ式、ランサム式はドラムを傾けて排出する機種である。一回の混捏量は3～53立方呎(約0.08～1.4m³)の機種がある。スミス式はドラムを傾斜して排出する。1時間の能率は0.5～8立方呎(約3～46m³)の機種がある。 横浜築港では円筒型のカレーラサム式(Carey Latham)を使用している。 立方式(CubeMixer)は箱型で胴を傾けて排出する。この1時間の能率は0.35～9立方呎(2.0～52m³)の機種がある。オースチン(Austin)式はこの一種である。 ・溝型混捏機 単式溝型混捏機は水平半円筒内のパドルが回転して混捏するもの。重力式混捏機はピンがある卸樋に投入して重力によって混捏するものなどがある。 <p>2. 鉄筋混凝土の配合・・・容積配合</p> <p>海外の多くの容積配合の種類を紹介している。その中で我国における配合例と圧縮強度の関係を表にまとめている。一般の鉄筋混凝土に使用する配合例としてセメント：砂：砂利碎石=1：2：4を挙げて説明している。</p> <p>水量は</p> <ul style="list-style-type: none"> ・堅練・・・全材料の重量の4～6% ・中練・・・全材料の重量の7～9% ・軟練・・・全材料の重量の10～13% <p>と目安を示している。</p> <p>3. 混凝土の練り方の名称(技術者により名称は異なると記している)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・堅練・・・地湿(土が湿ったような状態のもの)にして永く搗固めを続けた後、始めて表面に水露を呈するもの。打設後、約1ヶ月内外に強大な圧力を受ける基礎のごときものに使用する。 ・中練・・・粘膠程度のもので搗固めによって揺れ方が自在なるもの。重壁、大アーチ橋、橋脚等普通の圧力を受けるものに使用する。 ・軟練・・・人の重量に堪えず、打杵(うちぎね)は自重で沈降する。スコップで流れ落ちる程度のもの。建物の壁、柱、床等、すべて鉄筋を有する薄き構造物に適する。 <p>4. 搗固めと接合</p> <ul style="list-style-type: none"> ・鉄筋により搗固めが充分に行えないため空積を残すおそれがあるときは中練または軟練を用いるのはやむを得ない。
--------------------------	---------------------------	---

(前頁に続く)		<ul style="list-style-type: none"> ・柱のごとく鉄筋と混凝土は同一の方向に応力を受け、しかも大部分は軸圧を受ける場合は堅練のものを使用し、できる限り薄層毎に搗固めることが必要である。 ・鉄筋の交錯のために搗固めが困難または不可能な場合は軟練を用いる方が却って堅練のものを用いるより緻密なる仕上げを得ることがある。 ・堅練は搗固め不十分の軟練と比べて空積は少ないが、水が不十分で練方が不揃なることを知らないで使用する危険性がある。 ・軟練は充分なる搗固めができないと気泡が残るので、鉄筋を包圍して相互の粘着を確実とする。 ・中練は相当の搗固めをすることで両極端(堅練・軟練)の危険を避けることができる。 ・旧層は洗浄し、その表面を粗笨(そほん・粗雑の意)に搔均し全層を湿潤にして純セメントもしくは優性の膠泥(モルタル)で表面を覆い、次層の混凝土を施工する。 <p>5. 養生</p> <ul style="list-style-type: none"> ・混凝土は凝結中、長き期間散水することを怠ってはいけない。凝結が緩やかな乾湿の変化に抵抗する力が大である。 ・炎暑に際しては充分にその表面の養生に注意し、光線のために表面が急激に乾燥することは厳禁とする。炎暑中は3週間から4週間、1日2回以上散水を要す。 ・厳冬にありては砂及硬料(セメント)を温めることによって氷結を避ける。遅延が著しく経済上の影響がなければ、厳冬中の工事は見合わせた方がよい。
鉄筋混凝土工学	阿部美樹志 (大正5年4月)	<p>鉄道院の阿部美樹志博士が技師の時代に、海外での理論、力学等に関する研究結果をまとめた文献で、広井勇博士が発行にあたって序文を添えている。 施工方法についての詳細な記述は少ない。</p> <p>1. 混製機</p> <p>次のような種類がある。</p> <p>回転式・・・ランサムドラムミキサー、スミスコーンミキサー、キューブミキサーがあり、キューブミキサーの成績が最もよい。</p> <p>混捏機・・・容器に攪拌機があるもの。</p> <p>重力式・・・管の中に障害物があり、上部からセメント、砂、砂利を落として障害物にあたって下底に達する前に混和させるもの。</p> <p>2. 配合</p> <p>容積配合かどうか明記されていないので不明確である。</p> <p>特別な場合を除き・・・1:2:4 煙突の場合・・・1:2:3 ただし、実験は重量配合で実施している。</p> <p>3. 混凝土の練り方</p> <p>搗固混凝土や煉込混凝土の用語は使用していない。 タンク(水槽)の配合例として、堅練りのものより軟かく練りたるものが透水しない。軟かいものがよいといっても無闇に水を増すことはすこぶる危険である、と述べている。</p>

(前頁に続く)		<p>3. 撞(つき)堅めと接合</p> <ul style="list-style-type: none"> ・鉄の周囲を良く搗固め、鉄と混凝土との間に少しも空隙がないようにすることが大切である。 ・外国で使用している鉄筋混凝土用のランマーの図を載せている。 ・水平方向の接合についての注意事項を記載しているが、上下方向の接合についての記述無し。 <p>4. 養生</p> <p>日光、風、雨、寒暑の害を被らないように防備を施す。</p>
土木工学中巻	川口虎雄 (大正5年11月)	<p>熊本高等工業学校川口虎雄教授が、一般の土木技術者に役立てるために土木工学全般にわたる基礎的知識を与えることを目的としてまとめた文献である。特に注目すべきは、数年後に議論されることになるレイタンスの有害性に国内で初めて触れている。</p> <p>1. 捏混機</p> <p>捏混機には二種がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・間歇式捏混機・・・原料を機中にいれ充分に捏混して練上げて取出し、さらに新原料を入れ捏混するもの。 ・不断式捏混機・・・機的一方の口より原料を絶えず供給し、他の口よりは練り上がりの混凝土を絶えず吐き出すもの。 <p>捏混機の型式</p> <ul style="list-style-type: none"> ・桶形捏混機・・・半円筒形や円筒形の桶の中に攪拌用のパドルがあり、絶えず練り上げて混凝土を片方に吐き出すもの。不断式の一つである。 ・箱形(Cube Mixer) 鋼製箱の対角軸の周囲に回転する。箱を傾けて排出する。この機種の改良機にシカゴ箱型がある。 ・スミス形(Smith Mixer) 容器は円錐形で容器を傾けて排出する。 ・ランサム形(Ransame Mixer) 容器は円筒形で容器を傾けて排出する。 ・重力式 卸し桶のなかを重力により落下させて練る機種である。 <p>2. 配合・・・容積配合</p> <p>構造の種類別標準配合(セメント:砂:碎石)が示されている。</p> <p>普通基礎工・・・1:3:6~1:4:8 擁壁、橋台、橋脚・・・1:2.5:5~1:3:6 水槽ほか・・・1:2:4~1:2.5:4.5 アーチ橋・・・1:2:4</p> <p>特に強度を要するもの・・・1:1:2~1:1.5:3</p> <p>搗固法で施工する場合の配合はセメント:砂:碎石砂利=1:2:4としている。</p> <p>鉄筋混凝土の最も普通の配合は1:2:4~1:2.5:5である。</p> <p>水量による区分(硬練・中練・軟練)と対象となる構造物は、</p> <ul style="list-style-type: none"> ・硬練・・・充分に搗固めたる後、表面に水が滲み出

<p>(前頁に続く)</p>		<p>る程度のもので、水は全材料の重量の5%内外。 搗固後、間もなく大なる圧力を受けるものや速やかに型枠を取り外す必要があるものに使用する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・中練・・・混凝土を積み上げれば自己自重により流れ広がる程度のもので、水は全材料の重量の8%内外。特に硬練または軟練にする必要がないものに使用する。 ・軟練・・・中練よりなお一層軟らかなるもの。水は全材料の重量の12%内外。 鉄筋混凝土その他一般に小なる隙間に充分いきわたらせる必要があるもの、表面を滑らかにする必要があるので記載している。 <p>3. 混凝土の練り方の名称</p> <ul style="list-style-type: none"> ・練込法・・・比較的多量の水を加え、軟練りにして詰込む方法である。余り搗かざるも、混凝土は自然に隅々に普及し空隙を生ずることは少ない。 ・搗固法・・・硬練とし一尺(30cm)以内の層毎に搗固むる方法である。搗固の時間長きに失すれば硬化を始めた下層の混凝土に震動を与え硬化を害する。搗固不十分であれば結果は不良にして亀裂を生ずれば搗固めの不十分であることに起因することが多い。蟄使用は労苦多く粗雑になる。圧搾空気を利用する機械蟄を持ちうれば労苦減じ、出来上がりの混凝土の品質は良好である。 蟄の重量は一人用1貫500目(5.6kg) 二人用4貫(15kg)位が適当である。 <p>4. 混凝土施工の注意点</p> <ul style="list-style-type: none"> ・高所から混凝土を落下させると分離する恐れがある。 ・混凝土が硬化を始めるとその表面に汁液が固結して「レタンス(Laitance)」となり悪い結果を及ぼすので除去を要す。 (このレタンスについて「米国混凝土及鉄筋混凝土調査聯合委員會報告(土木学会誌大正6年6月号)」や「新旧混凝土の接合について(土木学会誌大正12年6月号)」の紙上でも議論されている。詳細は後述する。) ・一層の厚さは5～6寸(15～18cm)が適当である。 ・一旦搗固めたる層の上に次の層を置くには下層の表面は粗にして湿らす。 ・鉄筋混凝土では普通の場合より尚一層軟かくしてもよい。硬きものは鉄筋の周囲によく行渡らしむことが困難であるほかに所要の形の仕上げるのが容易ではない。また、均質のものを得ることができない。余り軟らかすぎると混凝土の性質及強度を害すること大なれば、各成分が分離しない範囲においてなるべく軟らかになすことが肝要である。 <p>5. 養生</p> <p>混凝土工が出来上がったら7日間は湿らしたムシロで覆い、常に湿気を保有する。もし表面が乾燥すれば充分なる硬化をなすことができない。</p>
----------------	--	---

鉄筋混凝土設計法	岩崎富久 (大正6年3月)	<p>工學士岩崎富久が鉄筋混凝土の設計法についてまとめたもので、施工方法について記述は少ない。</p> <ol style="list-style-type: none"> 鉄筋混凝土の配合・・・容積配合 鉄筋混凝土の容積配合例を4例記載している。 セメント・砂・砂利碎石=1：2：4， 1：2.5：5， 1：3：6， 1：4：8 その中で広く使用されるものとして1：2：4を挙げている。 その他 鉄道院が公布した「鉄筋混凝土橋梁設計心得」を14章に掲載している。
小樽築港工事報文 (後編)	伊藤長右衛門 (大正13年3月)	<p>北海道庁技師伊藤長右衛門が小樽港の二期工事南防波堤工事（明治41年7月～大正10年7月）の竣工までをまとめた報文である。施工方法に関する新たな情報を記載する。</p> <ol style="list-style-type: none"> 混凝土混合機 ケーレーラサム式を2台設置。前回(北防波堤)よりも混合力が優る。1時間500立方尺(約14m³)の混練能力がある。 混凝土函塊(ケーソン)の配合 セメント：火山灰：砂：碎石=1：0.2：2.2：4.4 函塊の搗固め 1層7寸(21cm)とし搗固蝟による搗固法としたが、若干練込法に依れり。
鉄筋コンクリート 標準示方書(初版)	土木学会 (昭和6年9月)	<p>我が国最初の「鉄筋コンクリート標準示方書」である。</p> <ol style="list-style-type: none"> 配合・・・容積配合 通常、セメント、細骨材、粗骨材の容積比を以て表す。水量は材令28日における圧縮強度に応じて水セメント比を用いる。 28日の圧縮強度105・140・175kg/cm²に対し水セメント比70・60・55%が示されている。 このほか、「ウォーカビリティー試験」としてスランブ試験、フロー試験についても示されている。 搗固め <ul style="list-style-type: none"> コンクリートの填充中及其直後、適当なる器具で十分に搗均し、鉄筋の周囲、型枠の隅々まで行きわたらせる。 薄き壁又は構造上搗均しが困難な箇所は填充後直ちに型枠を軽打する。 硬練りコンクリートを使用する場合は1層15cm以下に填充し、充分搗固める。 養生 <ul style="list-style-type: none"> コンクリート填充後、過早の乾燥、温度、これに加わる荷重及衝撃等の有害な影響を受けないよう保護すべし。 コンクリートの露出面はムシロ、布、砂等で覆い、散水して少なくとも7日間常に湿潤状態を保つ。堰板の乾燥があるときはこれにも散水する。 接合 <ul style="list-style-type: none"> 水平なる接合におけるコンクリート表面は作業を中止した時、レイタンスを除去し表面を充分粗にする。

(前頁に続く)		<ul style="list-style-type: none"> ・水平な接合においてレイタンスの発生を防ぐため、コンクリートの充填が終わった後、接合における過剰の水は排除する。
<p>備考欄</p> <p>我が国における最初の鉄筋コンクリート橋は田辺朔郎(東京帝国大学・京都帝国大学教授)設計・監修の京都府琵琶湖疎水線上に架かるメラン式弧形桁橋梁(付録参照)とされているが、田辺朔郎の著書「水力」「とんねる」や田辺朔郎監修・原田碧の著書「実用鉄筋コンクリート構法」等の文献にはコンクリートの施工方法に関する記述が少なく調査対象から除外した。</p>		

以上が明治中期から1931(昭和6)年制定の「鉄筋コンクリート標準示方書(初版)」が発行されるまでのコンクリート黎明期の施工方法について、当時の主な文献を調査した結果である。

2.2.2 黎明期のコンクリート施工技術の詳細

表 2.2-1 をもとにコンクリート黎明期における施工技術の詳細について整理する。そのまえに、各著者で異なる用語の呼称を原文表記箇所を除いて下記のとおり統一する。「混合機・混合器・混和機・混捏機・混製機・捏混機」は「コンクリートミキサーまたはミキサー」に、「塊混凝土・混凝土塊」を「ブロック」に、「搗固め・撞(つき)堅め・搗固・搗き固め」は「搗固め」に、「堅練・硬練」は「硬練り」に統一して表記する。

(1) コンクリートミキサー

主な文献で確認できる我が国におけるコンクリートミキサーの使用の始まりは、1889(明治22)年に外国人技術者を招聘して着手した横浜築港工事の「横浜築港工事用材料混凝土塊調査報告書」の記録にみることができる。1期工事の防波堤工事に使用した機種は英国カレー及びラサムの特許のミキサーとの記録がある。この工事ではブロックの粗製濫造によって亀裂が生じ甚大な災害が発生しており、この調査報告書の巻末にはこのミキサーの写真2.2-1が掲載されている⁵⁾。また、1897(明治30)年5月に着工した広井勇(小樽築港事務所長のち東京帝国大学教授)指導のもと施工した小樽築港工事の「小樽築港工事報文(前編)」には英国製のケーレー・ラサム式のミキサーを使用したと記録⁶⁾しており、日本における築港工事記録をまとめた広井勇の「再訂築港(前編)」にはこのミキサー⁷⁾図2.2-1を掲載している。次に小樽築港工事着手直後の1897(明治30)年10月に着手した大坂築港工事の「論説報告大坂築港における混凝土

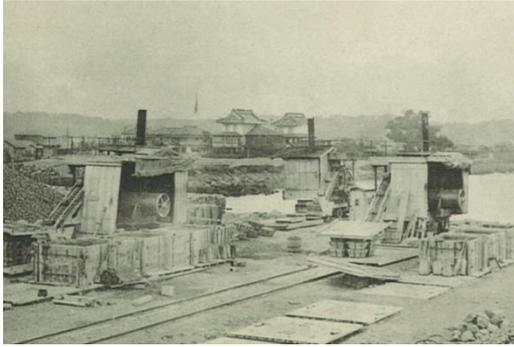


写真 2.2-1 カレー及びラサム式ミキサー(横浜築港工事)

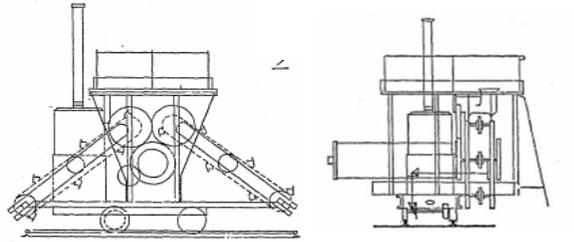


図 2.2-1 ケーレーラサム式ミキサー(小樽築港工事)

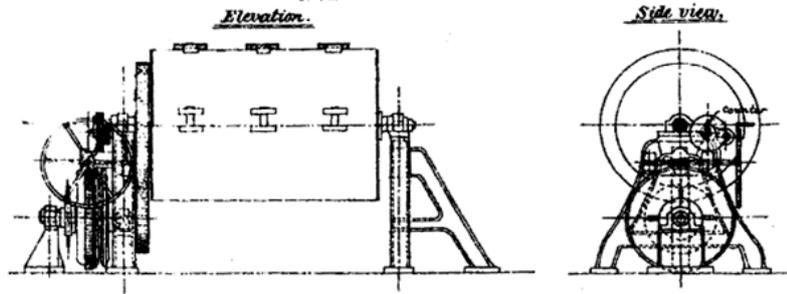


図 2.2-2 大坂築港工事で使用したミキサー

塊」の報告書には中心軸の周りを回転する円筒形の特殊な形状のミキサー⁸⁾ 図2.2-2を掲載している。英文字表記があることからこれも輸入品であることが分かる。

このように我が国の大型工事では当初から外国のミキサーを輸入し使用していたことが確認できる。既往の研究^{9),10)}では、我が国におけるミキサーの使用開始は1902(明治35)年着手の神戸築港工事との研究成果が報告されているが、横浜築港工事までさかのぼることができるようである。

小樽築港工事で使用したケーレー・ラサム式の構造は、三角形の容器内に骨材は両側から鋼製のかき板をチェーンで連結したもので掻き揚げ、セメントは頭部から投入し、水平の回転混合筒より外部に排出する仕組み¹¹⁾となっている。横浜築港工事で使用したカレー及びラサムと小樽築港工事で使用したケーレー・ラサム、発音が異なるが写真と図面を比較すると同一機種であることが分かる。

このほかに広井勇の「再訂築港前編」にはメッセント式ミキサー、立方(キューブ)式ミキサーの機種も確認できる。図 2.2-3 はメッセント式ミキサーである。90度回転するごとに点線の断面になるような奇形の立方体をなしている。この機種は横浜港でも使用したと記載¹²⁾されていることから横浜港ではケーレー・ラサム式とメッセ

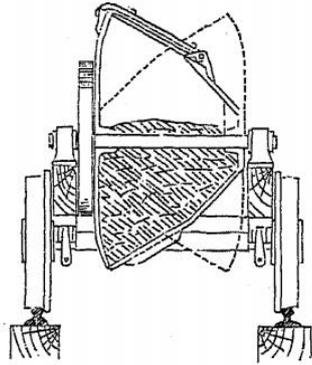


図 2.2-3 メッセント式ミキサーの模式図

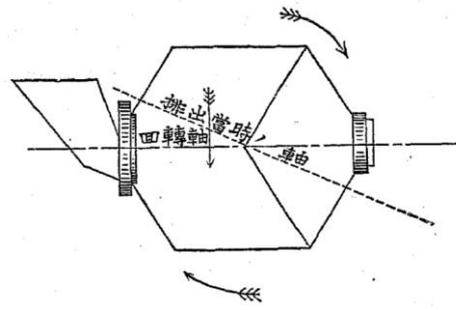


図 2.2-4 キューブ式ミキサーの模式図

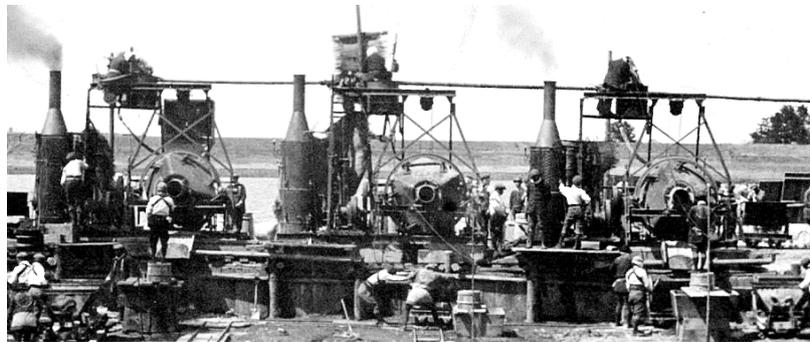


写真 2.2-2 キューブ式ミキサー(利根川萬世水門工事)
(土木学会土木貴重写真ライブラリーより)

ント式ミキサーの2種類を使用していたことになる。

日比忠彦(京都帝国大学教授)の1916(大正5)年発行「鐵筋混凝土の理論及び其応用(上巻)」には胴を傾けて排出できる可傾式の立方(キューブ)式ミキサー¹³⁾ 図 2.2-4 を掲載している。広井勇は「再訂築港前編」のなかで、当時最も広く使用されているのはキューブ型と述べている。このキューブ型が日本に初めて輸入して使用されたのは1902(明治35)年の神戸港築造工事¹⁴⁾である。翌年には住友銀行京都支店の建築工事¹⁵⁾でもキューブ型をアメリカから輸入し使用している。写真 2.2-2 は1916(大正5)年着手の利根川萬世水門工事に使用中のキューブ型ミキサーである。このようにキューブ型ミキサーは可傾式であるため広く使用されていたが、一方で胴の摩耗と衝撃が激しく¹⁶⁾、また立方体の函の隅にコンクリートが付着しやすく効率も良くないという欠点を抱えていた¹⁷⁾。おそらく立方体であるため回転力にムラが生じ、かつ容器内の材料も滑らかに移動できなかったものと推察する。

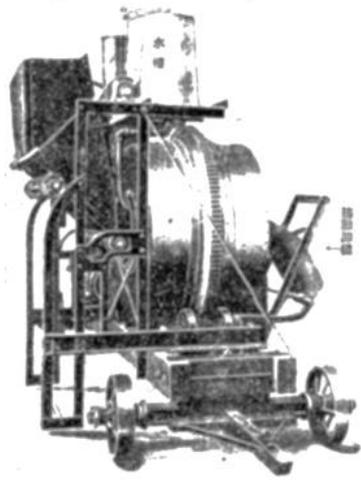


写真 2.2-4 シカゴ式ミキサー
(ドラム形)

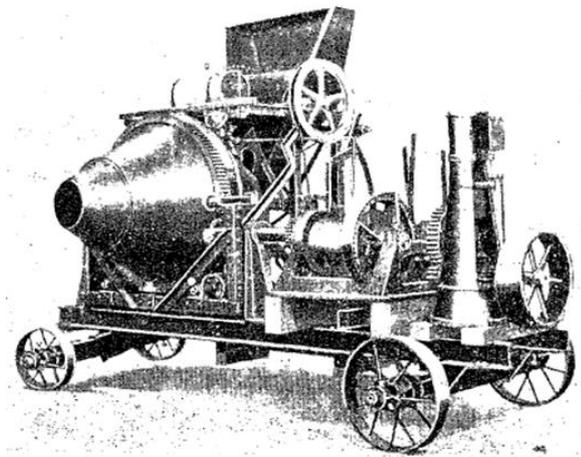


写真 2.2-5 スミス式ミキサー
(円錐形)

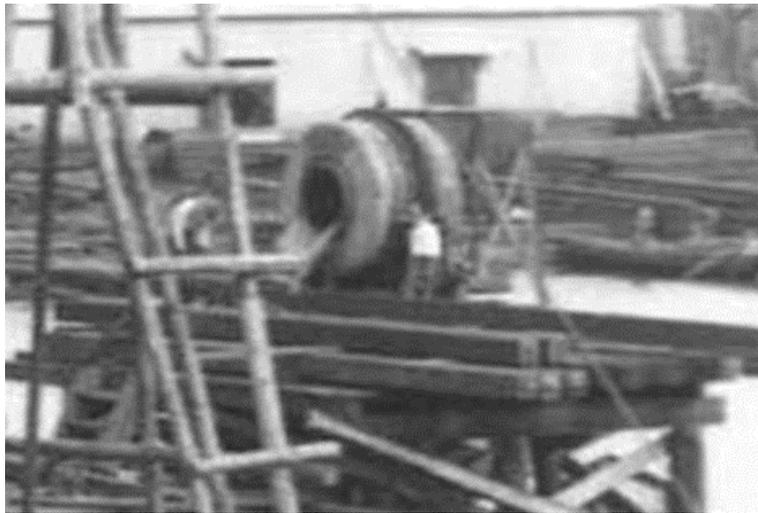


写真 2.2-6 円筒形(ドラム型)ミキサー(新潟萬代橋工事)
(土木学会土木貴重写真コレクションより)

このほか日比忠彦の「鉄筋混凝土の理論及び其応用(上巻)」や阿部美樹志(鉄道院, 博士)の大正 5 年発行「鉄筋混凝土工学」, 川口虎雄(熊本高等工業学校教授)の 1916(大正 5)年発行「土木工学」には, 円錐形(コーン型) 写真 2.2-4 と円筒形(ドラム型) 写真 2.2-5 等のミキサーも紹介している. 円錐形(コーン型)であるスミス式は 1910(明治 43)年に建築の工事¹⁸⁾において使用している. また, これら 3 文献発行時に国内使用実績がなかった円筒形(ドラム型)は 1918(大正 7)年頃から輸入され使用され始めている¹⁹⁾.

これ以降, 明治から大正初期にかけて広く使用されていたキューブ型ミキサーは内

面が滑らかな円筒形(ドラム型)にしないで駆逐され²⁰⁾、円筒形(ドラム型)は橋梁やダム、建築工事に広く使用されてゆくことになる。写真 2.2-6 は 1929(昭和 2)年着工の新潟萬代橋で使用された円筒形(ドラム型)ミキサーである。

以上がコンクリート黎明期のコンクリートミキサーの変遷である。

(2) 配合

初期のコンクリートは無筋コンクリートの時代で配合は容積配合である。1889(明治 22)年に外国技術者の指導のもと着工した横浜築港工事では、セメント：砂：砂利と割栗石=1：2.8：5.2 で施工している。しかし、ブロック亀裂発生原因の調査報告書「横浜築港工事用材料凝土塊調査報告書」によると、砂の分量に対するセメントの量が少なく海水の侵蝕作用に充分抵抗できないと結論付けている²¹⁾。また、同様にブロックの亀裂の兆候や亀裂が発生した大坂築港工事の「論説報告大坂築港における凝土塊」でも、セメント：砂：砂利=1：3.2：4.8 では、セメント量が少ないとの調査結果である²²⁾。

広井勇は「築港卷之一(再版)」のなかで、海外留学中の数多くの実績からセメント：砂の比率は 1：2 が最良とし²³⁾、小樽築港工事では、セメント：砂：砂利碎石=1：2：4 の配合により着手している。その後、ドイツにおいて、配合の一部に火山灰を利用することにより凝土の海水に対する耐久性が著しく向上すること(ポズラン反応)が実証されたことを受け、広井勇も自ら実験を行い良好な結果(表 2.2-2)²⁴⁾を得たことから明治 35 年から火山灰を配合に取入れ、セメント：火山灰：砂：砂利碎石=1：0.8：3.2：6.4 に変更している²⁵⁾。当然、横浜築港でのブロック亀裂災害も念頭にあったことは明白である。この小樽港は築後約 110 年を経た現在でも、健全な防波堤を維持しており配合の卓抜さを物語っているといえる。なお、火山灰はセメントと同様に「一方糶に九百の網目(1cm²に 900 の網目)」のふるいを備えたを粉末機を使用して選別している²⁶⁾。

次に無筋コンクリートの水量について整理する。表 2.2-1 によると水量は技術者に

表 2.2-2 抗張力試験結果(kg/cm²)

配合(重量比)	セメント：砂	セメント：砂	セメント：火山灰：砂	セメント：火山灰：砂
	1：2	1：3	1：1：2	1：1：5
海中浸水 1 ケ年	31.41	24.07	27.38	25.84
〃 2 ケ年	27.79	23.85	35.41	27.20
〃 3 ケ年	27.36	24.73	31.99	31.06
〃 4 ケ年	28.73	24.51	40.90	31.94

よって全材料の容積や重量に対する割合の目安を示している。このように統一された明確な水量の規定はなくコンクリートの強度に影響する要因としてまだ十分に認識されておらず、施工に必要なコンシステンシーは施工を担当する技術者に委ねられていたことが分かる。

ここで一例として、当時の多くの技術者に影響を与えた広井勇の著書に見る水量の目安について記す。「築港巻の一(再版)」では、コンクリートブロックの水量は全体の積量(練上がり容積)の1割～1割5分²⁷⁾、「小樽築港工事報文(前編)」では多くの実績を積み重ねるなかで1割2分～1割4分²⁸⁾まで絞り込んでいる。これは水セメント比で38～44%に相当すると推定され²⁹⁾非常に硬練りであったことが分かる。

次に、鉄筋コンクリートの配合の調査結果について述べる。我が国での鉄筋コンクリートの施工方法に関する最初の文献は広井勇の1903(明治36)年「鉄筋混凝土橋梁」である。この著書のなかで、鉄筋コンクリートの配合においてもセメント：砂：砂利碎石=1：2：4を標準とし、粗弱でよいものは1：2.5：5と記している³⁰⁾。さらに、鉄道院公示の1914(大正3)年の「鉄筋混凝土設計心得」でも構造物の許容応力強度を1：2：4を例に挙げて説明している³¹⁾。その後も表2.2-1のように多くの技術者が文献を發表しているが、無筋・有筋にかかわらず広井理論を継承してセメント：砂：砂利碎石=1：2：4を標準としていることが確認できる。技術者のなかでも海外で学位を取得した阿部美樹志は「鉄筋混凝土工学」の「鉄筋混凝土煙突」の項のなかで、コンクリートの最大の特徴である耐火性に焦点を当て、海外の配合実績を参考に「1：2：3の調合とするのが普通である、又固練りに失せず成るべく軟かきものを用ゆる。」と記している³²⁾。煙突は壁厚が薄く十分な搗固めが期待できないことから、モルタル分を多くして鉄筋との付着を確実にするための配合である。

一方、鉄筋コンクリートの水量については、構造物の種類や鉄筋量により「硬練、中練、軟練」の用語を使い分け、日比忠彦は「鉄筋混凝土の理論及び其応用(上巻)」のなかで次のように示している³³⁾。全材料とはセメント、砂、砂利の総重量である。

硬練・・・全材料の重量の4～6%

中練・・・全材料の重量の7～9%

軟練・・・全材料の重量の10～13%

また、同様に川口虎雄は「土木工学中巻」のなかで次のように示している³⁴⁾。

硬練・・・全材料の重量の5%内外

中練・・・全材料の重量の8%内外

軟練・・・全材料の重量の12%内外

以上のように両著者とも鉄筋コンクリートの水量はほぼ同じ値を採用している。このような全材料に対する2%程度の水量の差であれば十分に搗固めることで同等の品質のコンクリートが期待できるとの当時の見識によるものである。

その頃海外では、大正7年にアメリカ人Abramsが水セメント比と強度の間には相関関係があるとして「水セメント比説」を発表した。大正11年にはアメリカ留学から帰国した吉田徳次郎がこの説を国内に紹介³⁵⁾、その後、国内での実証研究が進むことでその正しさが認められ、鉄道院では昭和のはじめからこの趣旨を取り入れ設計施工が行われるようになった³⁶⁾。

このように特定の機関で採用されることになった水セメント比説は、昭和6年に公の機関である土木学会の「鉄筋コンクリート標準示方書(初版)」のなかで、配合はセメント、細骨材および粗骨材の容積比をもって表し、材令28日における圧縮強度に応じた使用水量を使用セメントの重量百分率(水セメント重量比)³⁷⁾をもって表すこととした。ここに至ってようやく水量の曖昧な区分に終止符が打たれた。それまでの容積比により設定することを習慣としてきたこともあり、取り違えることがないように「水セメント“重量”比」と表記している。

ここで参考として容積配合1:2:4の2%の水量の差を日比忠彦の「鉄筋混凝土の理論及び其応用(上巻)」に掲載されている例³⁸⁾をもとに水セメント比の差を推定する。

容積配合1:2:4の重量	・・・セメント285kg:砂570kg:砂利1,630kg
全材料の重量	・・・285+570+1,630=2,485kg
2%の水量の差	・・・2,485×0.02=50kg
水セメント比の差	・・・50÷285×100=18%

このように2%の水量の差は水セメント比に換算すると18%もの大きな開きがあることが分かる。

「鉄筋コンクリート標準示方書(初版)」では、このほかに、それまで技術者によって異なっていたセメントの重量についても1,500kgを1m³と規定した。さらに、鉄筋コンクリート標準示方書付録5章の「ウォーカビリティー試験に関する標準方法」のなかでスランプ試験、フロー試験等についても標準方法を示している。

その後も「鉄筋コンクリート標準示方書」は改定され、容積配合については1936(昭和11)年版まで続き、1936(昭和15)年版において容積配合と重量配合の並記となり、1936(昭和24)年版に至ってようやく現代と同じ重量配合に改訂されている。

(3) 混凝土(コンクリート)の練り方の種別

明治22年に着工した横浜築港工事，明治30年に着工した小樽築港工事，大阪築港工事ではコンクリートの練り方の区分の表記はない。明治31年発行の広井勇の「築港卷之一」に至ってコンクリートの一般的な練り方を「搗固混凝土・煉込混凝土」の2種類に区分して説明している。「混凝土は製造の法により分け，煉込・搗固の二種とす。煉込混凝土は比較的多量の水を加へ全体をして粘体となし自然空隙を存せざる様為(な)すものとす。搗固混凝土は混和するに當りセメントの凝結に要する水量を程度とし之に蒸發及び石材の吸収に對し多少の餘裕を與ふるに過ぎざる水量を以て煉り(俗に堅煉りと云ふ)・・・」³⁹⁾と記している。

この後，広井勇は前述の「鐵筋混凝土橋梁」のなかで，「混凝土の混合は所謂(いわゆる)硬煉法により模型(型枠)に填充するに當り成る可く搗固めを施し以て高度の凝結力に達せしむべし。若し(もし)局部にして搗固めの困難なるものあるときは稍(やや)水量を増加し以て専ら充實の完全を期すべし。」⁴⁰⁾と記しており，明治41年に着手した二期工事の「小樽築港工事報文(後編)」において広井勇の後任である伊藤長右衛門(北海道庁技師)は，「塊の製法は第一期工事施工の例に倣ひ(ならい)搗固法に依るの外(ほか若干練込法に依れり。(函塊(ケーソン)の)周壁は，七寸を一層とし・・・搗固蛸を以て搗固めを施す。」と記し，搗固法を標準として施工している⁴¹⁾。また，明治45年1月に発行された鶴見一之(仙台高等工業學校教授)・草間偉瑳武(東京帝國大學助教授)共著の「土木施工法」の練り方の記載内容は広井勇の「築港」と全く同じである。

このように当時は鉄筋コンクリートであっても水量が多い煉込混凝土ではなく搗固混凝土である硬煉法を標準としている。この「鐵筋混凝土橋梁」発表11年後の大正3年に公示された鉄道院の「鐵筋混凝土橋梁設計心得」では，「乾混凝土に於ける水の分量は搗き固めの後，表面に僅に水分の滲出する程度たるべし。湿混凝土に於ける水の分量は乾混凝土におけるより多量なるも混凝土中の膠泥(モルタル)が礫又は碎石より分離する程多量なるべからず。」⁴²⁾と区分している。いずれにしても両文献の用語は異なるものの，コンシステンシーに大きな差はなかったものと推察する。鉄筋コンクリートであっても「搗固法を標準」と位置付けていることについて，広井勇は煉込法と搗固法との比較実証実験を経て，「築港卷之一」のなかで，「搗固めざるに由りセメントの凝結力を減ず，水量の多きと搗固めざるとに由り多孔になるを免れず，重量を測りしに凡そ(おおよそ)百分の三の差あり。」⁴³⁾，さらに「再訂築港(前編)」では「煉込混凝土は強度に於て搗固たるものに及ばず，2か年に亘れる實地試験の結果

によれば抗圧強度に於て前者は後者の半に過ぎず。」⁴⁴⁾等の煉込法の欠点を指摘している。これは煉込混凝土・湿混凝土の積極的な使用を回避するねらいがあったものと判断する。

このようななかで鉄筋コンクリートが明治30年代中頃からしだいに橋梁，煙突，建築，油槽等に使用され普及するにつれて，多くの学者や諸機関が鉄筋コンクリート関連の技術書や心得書を執筆するようになった。代表的な文献として明治45年1月に国内外の文献を参考に高等工業学校の講習教材として発行された鶴見一之・草間偉瑳武共著の「土木施工法」，大正5年1月に海外の膨大な著作物と国内の情報をまとめて発行された日比忠彦の「鐵筋混凝土の理論及び其応用(上巻)」，大正5年4月に海外の土木理論や力学に関する研究成果をまとめて発行した阿部美樹志の「鐵筋混凝土工学」，一般土木技術者を対象に大正5年11月に発行された川口虎雄の「土木工学」等が挙げられる。なかでも日比忠彦と川口虎雄は，前項で述べたように構造物の種類によって「硬練・中練・軟練」に分類し，それぞれの水量を全材料に対する重量比(%)で示している。ここで初めて軟らかいコンクリートを「中練・軟練」に区分している⁴⁵⁾。この区分は，現場技術者によって水量が一致せず，ややもすると施工性を優先させる傾向があることから品質を無視した軟らかいコンクリートを安易に採用することがないように明確に示したものである。

(4) 搗固めと接合面(層境)の処理

我が国におけるコンクリートの施工は，各機関が外国から招聘したお抱え技術者の指導のもとでスタートした。しかし，明治22年に着工し明治29年に竣工した横浜築港一期工事では，前述のように膨大なブロックに亀裂が生じるという大災害が発生した。この調査報告書によると「セメントの砂に対する分量は稍(やや)僅少に過ぎること。小割栗石の形状稍(やや)大に過ぎ内部に空隙を生じたること。搗き固め方，十分ならず内部の構造は粗鬆(そしょう)なること。」等の原因⁴⁶⁾を指摘しており，そのなかに，一層30cmで搗固めたコンクリートブロックの製造法には接合面の処理手順に関する事項は一切確認できない。層厚30cmは表2.2-1の文献を照査する限り最も大きい値である。

この横浜築港一期工事竣工翌年には，我が国未曾有の工事と称された小樽築港工事に着手しているが，広井勇は「小樽築港工事報文(前編)」の中で「混凝土の厚さ六寸に達するときは大蛸四挺に各人夫二名をして二尺乃至四尺持ち揚げ搗固めを始むべし，斯(か)くの如くすること凡そ十五分間にして水の表面に滲出するに及び小蛸を以て更

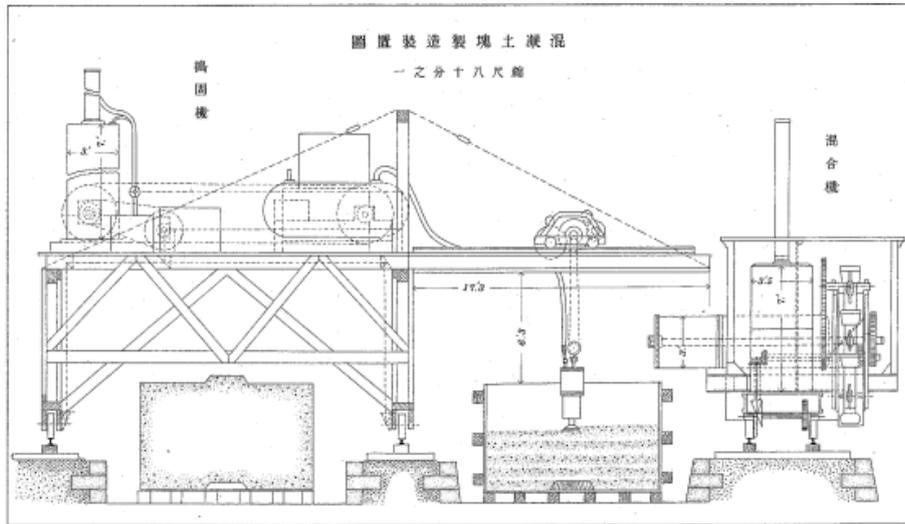


図 2.2-4 混泥土塊製造装置図(右端混合機はケーレーラサム式ミキサー)
(小樽築港工事報文(前編)巻末付録より)

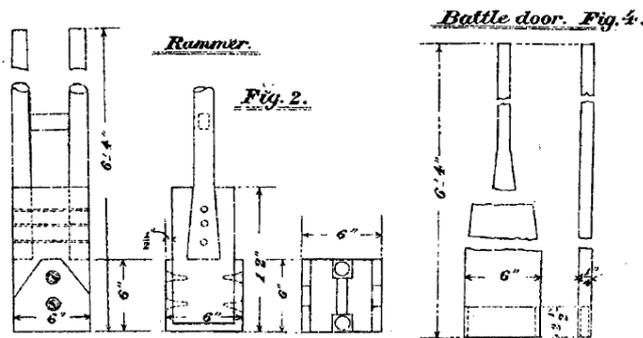


図 2.2-5 左から 12kg のランマー
(蝋)の正面図・側面図・底面図と 4.5kg の
羽子板状の胴突正面図と側面図

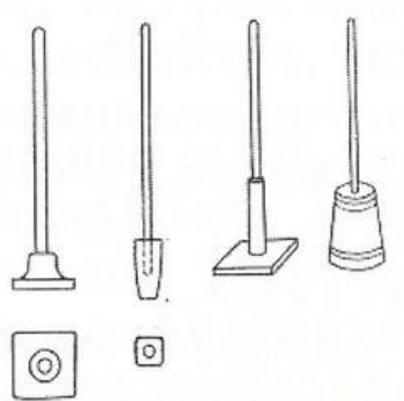


図 2.2-6 搗固蝋 (左 3 本は
金属製, 右は木製)

に隅々を固め搗固めを了すべし。一層の搗固を竣(おわ)る時は熊手を以て其表面を搔き荒らけ更に次層の填充を治むべし。」⁴⁷⁾としている。表面を搔き荒らす作業は横浜港の失敗事例も念頭にあり層境の一体化を図るための策である。防波堤主要部分のブロック(高さ 1.8m)の場合、搗固時間は 10 層 150 分を要することになる。そのため人力作業では作業効率が低く 1 日のブロック製作個数が限定されることから、小樽築港工事の半ばには圧気を使用した搗固能力 500 回/分の搗固機⁴⁸⁾図 2.2-4 を製作して施工、この結果を「再訂築港(前編)」のなかで「気槌は衝面三寸三分角総重量六十貫衝程五寸衝数毎分二百五十にして一面坪(3.2m²)を搗固めるに約三分半を要し人力の比に非ず。」⁴⁹⁾と記載し絶大な威力があったことを示している。おそらく、この搗固

め時間の短縮はコンクリートが新鮮なうちに次層に取り掛かることによって上下層の一体化や品質の均一性にも大きな効果をもたらしたものと考えられる。

次に横浜築港工事と同様にブロックの亀裂破壊を起こした大坂築港工事では 1 層 24cm を表 2.2-1 に記載したように 3 種類の施工方法により搗固めている。1・2 種は搗固め時間に 40 分以上を掛け、2 種はさらに耙(まぐわ(熊手状の器具))で表面を搔き荒らし接合面の処理する方法、3 種は搗固め時間を 18 分に抑えて空気暴露時間短くして耙で表面処理する方法である⁵⁰⁾。この結果、主に 1・2 種施工のブロックに亀裂が発生している。これは層境を一体化させるためには 3 種施工の空気暴露時間を短くして層境の表面の搔き荒らしすることが重要であることを物語っている。

図 2.2-5 は大坂築港工事で使用した外国製の 12kg の蝟と 4.5kg の羽子板状の胴突の図面である。英文字で”ランマー(Rammer)”と表記している⁵¹⁾。

このほか、鶴見一之・草間偉瑳武共著の「土木施工法」や川口虎雄の「土木工学中巻」には先端の形状が異なる図 2.2-6 のような搗固蝟^{52),53)}を載せ、用途を説明している。また、川口虎雄は「従来搗固には一般に手搗の蝟を用いしも労苦多く従て工事が自然に粗雑に流るゝ處(ところ)あり。壓搾空気を利用せる機械蝟を用ふれば大に労苦減じ得るのみならず充分に且つ平等に搗固め得る故出来上りの混凝土の品質は齋等(せいとう(等しいこと))にして良好なり。」と記載している⁵⁴⁾。これは広井論文に倣ったものと考えられる。そのほかの文献も「人力搗固め」の方法は広井論文に沿った手順を記載している。

以下に当時の搗固蝟使用状況を確認できる写真を掲載する。

写真 2.2-7 は 1990(明治 34)年の「佐世保軍水道第一拡張(岡本水源地)調査報告書」

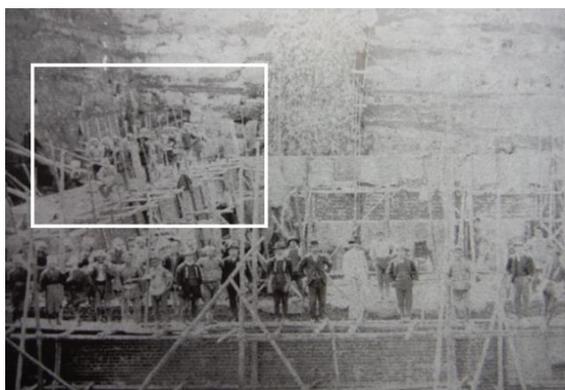


写真 2.2-7 佐世保軍水道第一次拡張工事の貯水タンク工事施工状況写真(佐世保軍水道第一拡張調査報告書より)



写真 2.2-8 白枠内拡大写真

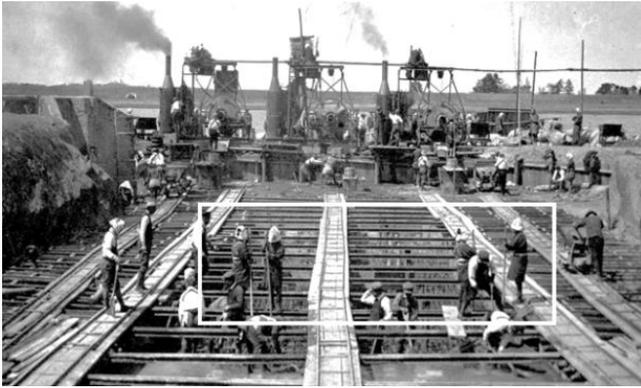


写真 2.2-9 利根川萬世水門工事施工状況
(土木学会土木貴重写真コレクションより)



写真 2.2-10 白枠内右端部の拡大写真と搗固蛸

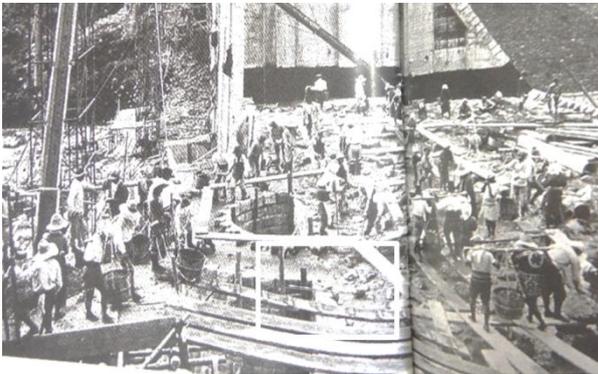


写真 2.2-11 長崎市小ヶ倉ダム施工状況写真(長崎水道百年史(長崎市水道局 1992(平成4年)発行)より)

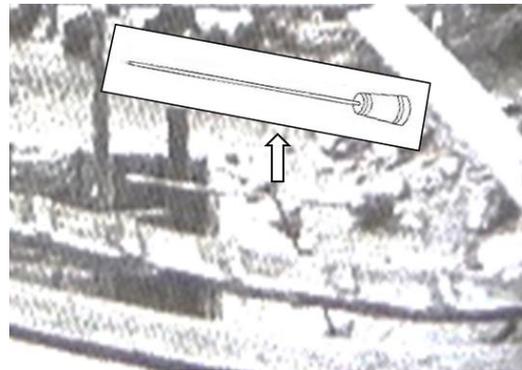


写真 2.2-12 白枠内拡大写真と搗固蛸

の貯水タンク外周壁施工中の写真⁵⁵⁾である。白枠内に柄の長い搗固蛸(棒)を持った労働者が14人ほど確認できる。写真 2.2-8 は白枠部分の拡大写真である。

写真 2.2-9 は1916(大正5)年の利根川萬世水門工事の基礎鉄筋コンクリート施工中の写真である。白枠内に鉄筋コンクリート用搗固蛸を持った女性労働者が4人確認できる。写真 2.2-10 は白枠内右端の女性労働者の拡大写真である。搗固蛸の先端がわずかに膨らんでいることから図 2.2-6 の左から2番目の種類の搗固蛸と判断する。

写真 2.2-11 は1926(昭和元)年の長崎市小ヶ倉ダム施工中の写真である。白枠内に横にして置いてある無筋コンクリート用の搗固蛸が確認できる。写真 2.2-12 は白枠内の拡大写真である。搗固蛸の先端が円錐台状で図 2.2-6 の右端の搗固蛸と同型であることが分かる。

次に、鉄筋コンクリートの搗固めについて整理する。

広井勇の「鉄筋混凝土橋梁」の発行から土木学会の「鉄筋コンクリート標準示方書（初版）」の発行まで28年間もの期間がある。この間の鉄筋コンクリートの搗固方法について文献を照査すると、当初は硬練りを標準としていたが、家屋、橋梁、擁壁等各種の鉄筋コンクリート構造物が普及するにつれて、広井は「混凝土の混合は所謂（いわゆる）硬煉法により模型に填充するに當り成る可く搗固を施し以て高度の凝結力に達せしむべし、若し局部にして搗固の困難なるものあるときは稍（やや）水量を増加し以て専ら（もっぱら）充實の完全を期すべし。」⁵⁶⁾、鶴見一之・草間偉瑛武は「鐵材と混凝土との接着を十分完全ならしむべく鐵材に接する混凝土は殊に「モルタル」を富ましめ、混凝土としては水分を増したるものを用ふること多く・・・搗固に際し十分各部の空隙を充填せざれば多孔になる。」⁵⁷⁾、日比忠彦は「鉄筋混凝土工事にありては橋台・重壁等の外（ほか）堅練を使用して充分なる搗固を爲すことは殆んど不可能なる場合多きのみならず、水湿混凝土を用ふるときは其鐵筋の周囲を完全に包圍し得る點に於て寧ろ之を推奨する。」⁵⁸⁾などと微妙に変化してきている。緻密なコンクリートを生成する硬練りか、それともしっかりと充填できる軟練りか、この二律背反する問題にいかに対応するか技術者の苦悩の跡が見て取れる。一方、搗固め層厚は鉄筋量によって異なるようである。鉄筋コンクリートの層厚を記載した文献は少なく、広井勇は橋梁（アーチ橋）では、箇所異なるが最大で12cm⁵⁹⁾、伊藤長右衛門は小樽築港工事（後編）で函塊（ケーソン）は21cm⁶⁰⁾で施工したと記録している。このように技術者の裁量に任されていたようである。そして「鉄筋コンクリート標準示方書（初版）」



写真 2.2-13 塚原ダムで使用された振動機と同型タイプの（ ϕ 10cm（左）と ϕ 15cm（右））の写真（（株）林製作所（現社名 エクセン（株）提供））

に至って前述したように「所要強度に応じて試験のうえ水セメント重量比を定めることとし、3種類の材令28日における所要強度の標準の水セメント重量比を示している。搗固めは適当な器具で十分に搗均し、硬練りコンクリートを使用する場合は層厚は15cm以下」⁶¹⁾とのみ規定している。

以上のように、コンクリート黎明期の搗固方法の経緯を列記したが、現代で使用するような内部振動機はまだ普及していない。内部振動機は昭和9年国鉄信濃川工事局がフランス製⁶²⁾を輸入し初めて使用している。また、国内のダムでは昭和10年に宮崎県塚原ダム建設工事においてフランス製⁶³⁾、アメリカ製のほか国産初めての数種類の型式の製品も使用している^{64),65)}。写真2.2-13は塚原ダムに納入した国産最初の振動機と同型タイプ(直径10cmと15cm)の振動機の写真である。

このようにして国内で使用され始めた内部振動機であるが、使用方法については何ら統一されたものはなく、「鉄筋コンクリート標準示方書(昭和15年版)」に至って「振動機を使用する場合には、コンクリートの配合、水量、振動時間其の他に關し責任技術者の支持を受くべし。」と条項が追加された。

次に、接合面の処理について整理する。

ブロック亀裂崩壊を起こした横浜築港工事では、1層30cmを16ポンド(約7kg)の杵(きね)で搗固め、その中に中割栗石を並べた後、次層に取り掛かっており、接合面の処理をした記述はない⁶⁶⁾。一方、小樽築港工事途中からは前述のように搗固機を使用して徹底した搗固めを行い、接合面はその表面を掻き荒らし次層の充填に取り掛かることとしている。この処理方法により、13,000個余りの塊のなかで一つの作り損じがなかった実績を残している⁶⁷⁾。この偉大なる成果はその後の技術者に多大なる影響を与え、この処理方法が継承されていくことになる。

このような経緯のなかで、川口虎雄が1916(大正5)年発行「土木工学」において新旧コンクリートの打継面において「混凝土が硬化を始むるや其表面に汁液が滲出し固結してレタンス(Laitance)となり悪結果を及ぼす故(ゆえ)之を除去するを要す。」⁶⁸⁾と指摘しており、我が国で初めてレイタンスについて触れている。その後も、レイタンスが構造に与える影響について1917(大正6)年の「米國混凝土及鐵筋混凝土調査聯合委員會報告」⁶⁹⁾やその後の15年間に亘る多くの技術者の論説報告や討議^{70), 71), 72), 73)}を経て、ようやく1931(昭和6)年発行の「鉄筋コンクリート標準示方書(初版)」のなかの「接合」の節で「水平なる接合に於けるコンクリート表面は作業を中止したる時、レイタンスを除去し表面を充分粗にすべし」と規定された。最新版(2017制定)の「コンクリート標準示方書(施工編)」でもこの「粗にする。」表現は受け継がれている。

(5) 養生

ブロックが亀裂崩壊を起こした横浜築港工事では、コンクリート打設完了後一切養生を行っていない。報告書には亀裂崩壊原因の一つに「塊製作の翌日に至り模型(型枠)を撤し・・・日光に暴露して凝固せしむるを常とす。急乾の處あるときに於ても別に充分なる豫防を施したることなきか如し。」⁷⁴⁾と指摘している。

広井勇は「築港卷之一」のなかで「混凝土塊は製造の後凡そ三日間を経て其側(側面の型枠)を取外し得べしと雖も(いえども)急に乾燥するを防ぐが為に少くも二週間は筵(むしろ)を以て之を掩ひ(おおい)、凡そ一週間は絶えず水を注ぎ置くべし。」⁷⁵⁾と記し、また、鶴見一之・草間偉瑳武は「土木施工法」のなかで「型を取放して後二週間は湿布、湿筵の類にて被包(ひほう)し最初1週間は屢(しばしば)注水し湿気を失わざらしむることを忘るべからず。往々注水を怠るため十分の凝結をなすを得ず微細なる亀裂を其組織に生ずることあり。」⁷⁶⁾と詳しく説明している。

このように当時の技術者は、横浜築港工事以後、養生の重要性を唱えているが公の標準的な養生方法を規定したものはなかった。その後、1931(昭和6)年に至って、「鐵筋コンクリート標準示方書(初版)」が制定され、この示方書の第二節・養生の項において「コンクリートの露出面は筵(ムシロ)、布、砂等を以てこれを覆い、これに散水して少なくとも7日間常に湿潤状態を保つ。」⁷⁷⁾と規定されるに至った。

以上が黎明期のコンクリート施工技術の変遷である。

参考文献

- 1) 佐世保市史編纂委員会編纂：佐世保市史 通史編下巻，pp.53-58，2003.4
- 2) 電波監理委員会：日本無線史第十巻 海軍無線史，pp.46-56，1951.9
- 3) 電波監理委員会：日本無線史第十巻 海軍無線史，p418，1951.9
- 4) 電波監理委員会：日本無線史第一巻上 無線技術史，pp.49-53，1951.9
- 5) 高山甚太郎，妻木頼黄，中澤岩太，眞野文二，倉田吉嗣：横浜築港工事用材混凝土塊調査報告書，工学会誌 149 巻，pp.215-266，1894.5
- 6) 広井勇：小樽築港工事報文(前編)，pp.92-93，1908.7
- 7) 広井勇：再訂築港(前編)，pp.177-179，1913.7
- 8) 島重治：大阪築港に於ける混凝土塊，工学会誌 272 巻，PL.VI，1905.3
- 9) 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

- 10) 岡田清：土木における練りませ・締固め・養生の移り変り，コンクリート工学 Vol.19, No.5, p.71, 1981.5
- 11) 広井勇：小樽築港工事報文(前編)，p.92, 1908.7
- 12) 広井勇：再訂築港(前編)，pp.176-177, 1913.7
- 13) 日比忠彦：鉄筋混凝土の理論及び其の応用(上巻)，pp.127-128, 1916.5
- 14) 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
- 15) 高橋久雄，中根淳：建築におけるコンクリート施工機械の移り変り，コンクリート工学 Vol.19, No9, p.64, 1981.9
- 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.4, 1952.6
- 17) 吉田徳次郎：コンクリート及び鉄筋コンクリート施工法，p.168, 1942.
- 18) 高橋久雄，中根淳：建築におけるコンクリート施工機械の移り変り，コンクリート工学 Vol.19, No.9, p.64, 1981.9
- 19) 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
- 20) 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
- 21) 高山甚太郎，妻木頼黄，中澤岩太，眞野文二，倉田吉嗣：横浜築港工事用材混凝土塊調査報告書，工学会誌 149 卷，p.265, 1894.5
- 22) 島重治：大阪築港に於ける混凝土塊，工学会誌 272 卷，p.120, p.154, p.161, 1905.3
- 23) 広井勇：築港卷之一(再版)，pp.176-179, 1901.3
- 24) 広井勇：小樽築港工事報文(前編)，pp.132-134, 1908.7
- 25) 広井勇：小樽築港工事報文(前編)，p.142, 1908.7
- 26) 広井勇：小樽築港工事報文(前編)，p.97, 1908.7
- 27) 広井勇：築港卷之一(再版)，p.181, 1901.3
- 28) 広井勇：小樽築港工事報文(前編)，p.145, 1908.7
- 29) 長瀧重義：コンクリートの長期耐久性(小樽港百年耐久性試験に学ぶ)，技報堂出版，p.96, 1995.11
- 30) 広井勇：鉄筋混凝土橋梁，工学会誌 253 卷，p.291, 1903.6
- 31) 鉄道院：鉄筋混凝土設計心得，pp.222-223, 1914.

- 32) 阿部美樹志：鐵筋混凝土工学，pp.274-277，1916.
- 33) 日比忠彦：鐵筋混凝土の理論及び其の応用(上卷)，pp.116-117，1916.5
- 34) 川口虎雄：土木工学中卷，pp.397-399，1916.11
- 35) 長瀧重義，中山紀男，白山和久：やさしいコンクリートの知識(その9) 配合(調合)，コンクリート工学，Vol.16，No12，p.74，1978.12
- 36) 鉄道院：鐵道技術發達史Ⅲ第2編施設2，p.1729，1959.1
- 37) 土木学会：昭和六年土木学会鐵筋コンクリート標準示方書(初版)，p.9，1931.9
- 38) 日比忠彦：鐵筋混凝土の理論及び其の応用(上卷)，p.115，1916.5
- 39) 広井勇：築港卷之一，pp.174-175，1898.8
- 40) 広井勇：鐵筋混凝土橋梁，工学会誌253卷，p.291，1903.6
- 41) 伊藤長右衛門：小樽築港工事報文(後編)，p.146，p.152，1924.3
- 42) 鉄道院：鐵筋混凝土設計心得，p.229，1914.
- 43) 広井勇：築港卷之一，p.175，1898.8
- 44) 広井勇：再訂築港(前編)，pp.132-134，1913.7
- 45) 日比忠彦：鐵筋混凝土の理論及び其の応用(上卷)，p.116，1916.5
- 46) 高山甚太郎，妻木頼黄，中澤岩太，眞野文二，倉田吉嗣：横浜築港工事用材混凝土塊調査報告書，工学会誌149卷，p.265，1894.5
- 47) 広井勇：小樽築港工事報文(前編)，pp.145-146，1908.7
- 48) 広井勇：小樽築港工事報文(前編)，卷末付録，1908.7
- 49) 広井勇：再訂築港(前編)，pp.179-180，1913.7
- 50) 島重治：大阪築港に於ける混凝土塊，工学会誌272卷，p.134，1905.3
- 51) 島重治：大阪築港に於ける混凝土塊，工学会誌272卷，卷末PL.VI，1905.3
- 52) 鶴見一之・草間偉瑳武：土木施工法，p.78，1912.1
- 53) 川口虎雄：土木工学中卷，p.431，1916.11
- 54) 川口虎雄：土木工学中卷，p.430，1916.11
- 55) 佐世保市教育委員会：佐世保軍水道第一拡張(岡本水源地)調査報告書，p.78，2009.3
- 56) 広井勇：鐵筋混凝土橋梁，工学会誌253卷，p.291，1903.6
- 57) 鶴見一之・草間偉瑳武：土木施工法，pp.92-93，1912.1
- 58) 日比忠彦：鐵筋混凝土の理論及び其の応用(上卷)，p.226，1916.5
- 59) 広井勇：鐵筋混凝土橋梁，工学会誌253卷，p.292，1903.6
- 60) 伊藤長右衛門：小樽築港工事報文(後編)，p.152，1924.3

- 61) 土木学会：昭和六年土木学会鐵筋コンクリート標準示方書(初版)， pp.9-13， 1931.9
- 62) 林茂木(林自動車社長 現社名エクセン(株))：米寿記， p.42， 1972.
- 63) 土木学会日本土木史(大正元年～昭和 15 年)， pp.1025-1026， 1965.12
- 64) 岡田清：土木における練りませ・締固め・養生方法の移り変り， コンクリート工学， Vol.19， No.5 ， p.73， 1981.5
- 65) エクセン(株)社内報 EXEN news， 第 6 号， 1991.
- 66) 高山甚太郎， 妻木頼黄， 中澤岩太， 眞野文二， 倉田吉嗣：横浜築港工事用材混凝土塊調査報告書， 工学会誌 149 卷， p.241， 1894.5
- 67) 故広井工学博士記念事業会編：工学博士 広井勇 伝， 工事画報社， p.51， 1930.
- 68) 川口虎雄：土木工学中巻， p.429， 1916.11
- 69) 米國混凝土及鐵筋混凝土調査聯合委員會報告：土木学会誌第 3 卷第 3 号， pp.806-807， 1917.6
- 70) 土木学会誌第 9 卷第 3 号：新旧混凝土ノ接合に就て， pp.471-480， 1923.6
- 71) 坂田時和：新旧混凝土の接合に就て， 土木学会誌第 10 卷第 1 号， pp.169-172， 1924.2
- 72) 長屋修吉：最新研究の基本知識 コンクリートの話， 工事画報 10 月号， pp.3-12， 1926
- 73) 吉田徳次郎：再び新旧コンクリートの接合に就て， 土木学会誌第 16 卷第 3 号， pp.105-112， 1930.3
- 74) 高山甚太郎， 妻木頼黄， 中澤岩太， 眞野文二， 倉田吉嗣：横浜築港工事用材混凝土塊調査報告書， 工学会誌 149 卷， p.241， 1894.5
- 75) 広井勇：築港卷之一， pp.190-191， 1898.8
- 76) 鶴見一之・草間偉瑳武：土木施工法， pp.82-83， 1912.1
- 77) 土木学会：昭和六年土木学会鐵筋コンクリート標準示方書(初版)， p.14， 1931.9

第3章 針尾無線塔の概要と佐世保鎮守府のコンクリート技術 を発展させ、針尾無線塔の計画および建造に携わった技術者

3.1 針尾無線塔の概要

針尾無線塔の概要を記述するまえに、大正時代のコンクリート造りの長大・高層構造物の概要について記す。

まず、当時の建造物は多くが鉄骨造りであり、鉄筋コンクリート構造物は少ない。建築物では1920(大正9)年に施行された「市街地建築物法」の高さ制限¹⁾により、丸の内ビル8階建て高さ31m²⁾である。次に、橋梁では愛媛県の豊秋橋(T型桁)橋長155m³⁾、ダムでは岐阜県の大井ダム(重力式)堤高53m⁴⁾がある。一方、塔状コンクリート構造物は、茨城県の旧日立鉱山精錬所煙突156m⁵⁾、大分県の旧日鉱佐賀関精錬所煙突168m⁶⁾、福島県の旧逓信省原町無線塔201m⁷⁾、そして、この海軍の針尾無線塔の137m(3本)である。旧日立鉱山精錬所煙突は排煙の亜硫酸ガスの影響で劣化し平成5年(築後78年)に下3分の1を残して倒壊、旧日鉱佐賀関精錬所煙突はコンクリートが健全であるにもかかわらず、昭和43年(築後61年)に塔頂部8mが宇和島沖地震の際に折損している。調査結果では打継目の施工不良が原因ではないかと推定している⁸⁾。



写真 3.1-1 旧日立鉱山精錬所煙突(ジャパンエナジー大煙突の記録より)

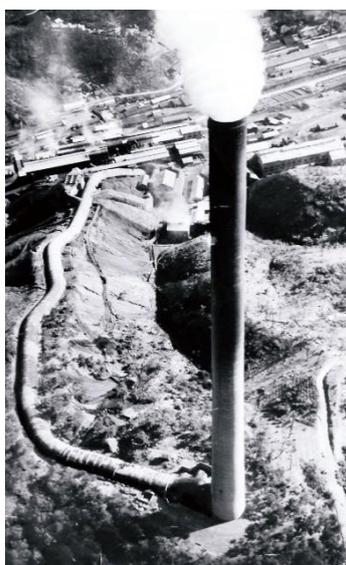


写真 3.1-2 旧日鉱佐賀関精錬所煙突(JX 金属(株)提供)



写真 3.1-3 旧逓信省原町無線塔(「原町無線塔物語」著者二上英朗氏提供)

旧逓信省原町無線塔は昭和40年代からひび割れ、剥落が発生、昭和57年(築後62年)に老朽化により解体されている。

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」⁹⁾によると3本の無線塔は、送信局舎を中心に1辺1000尺(303m)の正三角形の頂点の位置に配置されている。3塔はほぼ同じ規模である。塔本体は、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3.1-1に無線塔の配置図、図3.1-2に1号塔の詳細寸法およびコンクリート数量(筆者算出)、図3.1-3に円形基礎の断面寸法と断面別の基礎コンクリートの数量(筆者算出)を示す。

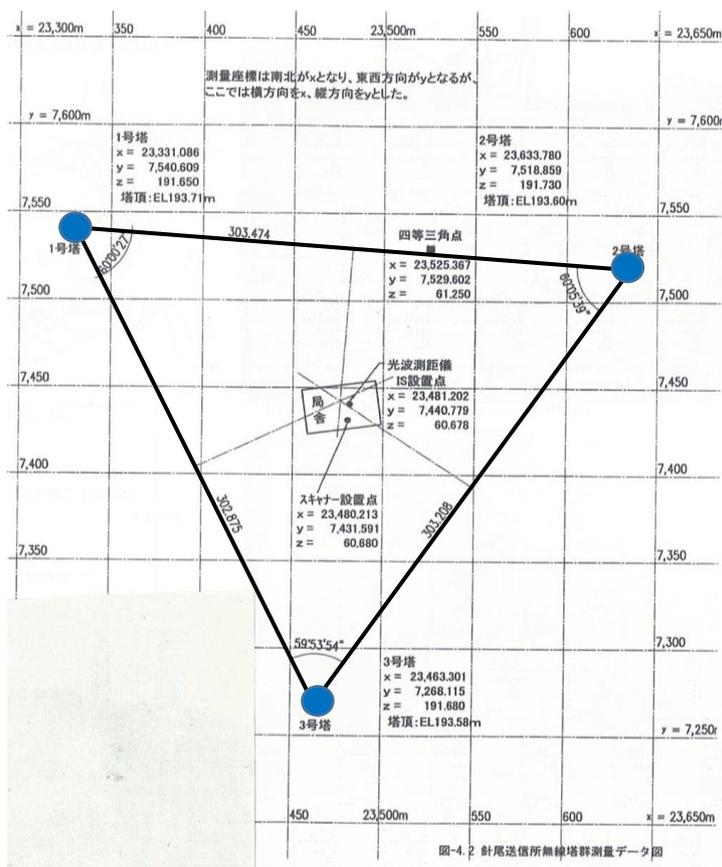


図3.1-1 針尾無線塔の配置図(佐世保市教育委員会無線塔強度調査結果より)

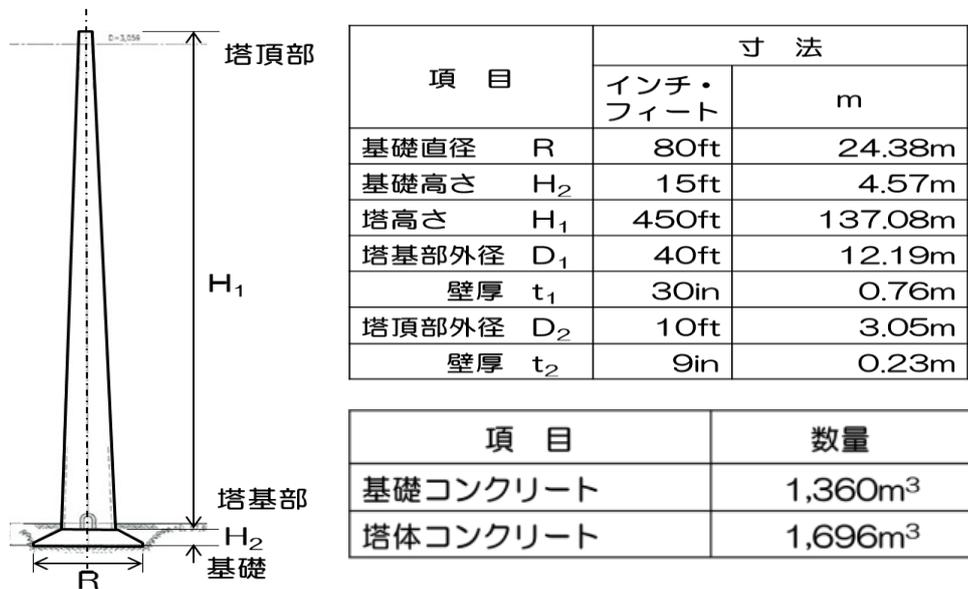


図 3.1-2 1号塔の詳細寸法およびコンクリート数量

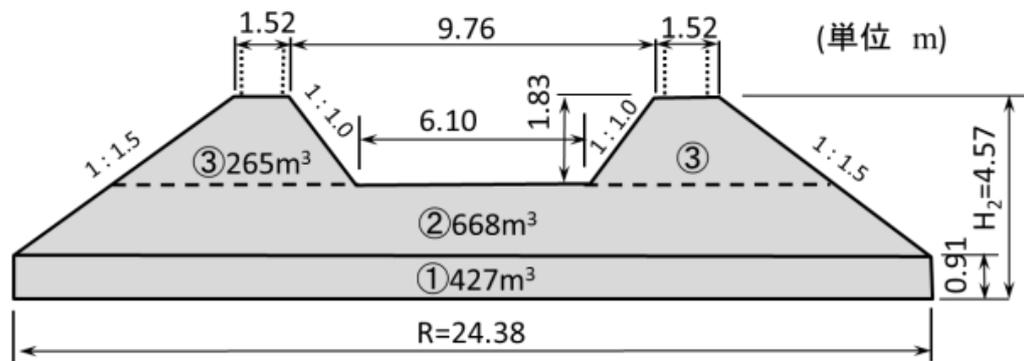


図 3.1-3 円形基礎の断面寸法 (m) と断面別コンクリート数量 (m³)

3.2 佐世保鎮守府のコンクリート技術を発展させ、針尾無線塔の計画 および建造に携わった技術者

明治時代末期から大正時代の初期にかけては、ちょうど、日本における鉄筋コンクリート技術の揺籃期にあたり、佐世保鎮守府建築科の技術者は、海軍施設や佐世保市内の都市基盤を整備するため鉄筋コンクリート構造物の建設に挑んでいた。そのようななかで無線塔が建造されることとなった。以下に、佐世保鎮守府のコンクリート技術を発展させ針尾無線塔の計画から完成までに従事した 3 人の技術者について記す。3 人の写真は「長崎水道創設 100 周年」「旧日本海軍針尾送信所学術調査報告書」より引用した。

3.2.1 吉村長策(1860(万延元)年～1928(昭和3)年)



工部大学卒業後、1年間助教授を務め、1944(明治19)年に長崎県に赴任、港湾工事や水道工事の工師長として調査・測量・設計・監督に従事している¹⁰⁾。1891(明治24)年には大阪市に転任、日本で最初の重力式コンクリートダムである布引五本松ダムを完成させた後、各都市の水道事業に従事、1899(明治32)年に佐世保鎮守府に転任した¹¹⁾。翌年には、北海道庁の小樽築港工事から海軍に配属された真島健三郎も加わり、海軍所管の多くの港湾構造物を完成させている。またこの間に、長崎市の水道事業第1回拡張事業の顧問として本河内低部貯水池のコンクリートダム、我が国最初の鉄筋コンクリートアーチ橋(写真3.2-1)を完成¹²⁾させ、佐世保鎮守府建築科のコンクリート技術の基礎を築いた技術者である。1920(大正9)年には海軍省建築局の前身、臨時海軍建築本部長に就任、1923(大正12)年に退官している¹³⁾。ちなみに後任として海軍省建築局長に就任したのは真島健三郎である。

吉村長策は退官後1926(大正15)年から1927(昭和2)年まで土木学会の第14代会長も務めている¹⁴⁾。



写真 3.2-1 本河内低部ダム貯水池放水路アーチ橋(上部の橋梁は国道 34 号線日見バイパス)(筆者撮影)

3.2.2 真島健三郎(1873(明治 6)年～1941(昭和 16)年)



真島健三郎は札幌農学校工学科在学中に、後年「港湾工学の父」と呼ばれた広井勇の指導を受け 1896(明治 29)年に卒業後すぐに、広井勇が責任者として従事していた北海道庁の小樽築港工事に助手として工事にあたった¹⁵⁾。「小樽築港工事報文前編 職員及工事関係人」¹⁶⁾のなかに真島健三郎の旧姓“西條健三郎”の名で記録されている。

この工事の大きな特徴は、コンクリートの徹底的な搗固めと、広井勇がドイツで学んだセメントに火山灰を混入することによって耐海水性を向上させる技術¹⁷⁾を採用して成功を収めていたことであった。同時期、多くの港湾施設整備を急ぐ海軍の佐世保鎮守府の第一船渠工事が 1895(明治 28)年に完成したが、セメントの耐海水性の不良により漏水する事故が発生していたことから、真島健三郎は 1900(明治 33)年に海軍に移り、このドッグ工事に火山灰を混入する技術を用いて見事に完成させた¹⁸⁾。海軍への移動について広井勇の推薦があったことは想像に難くない。写真 3.2-2 は佐世保海軍工廠第一船渠施工状況の写真である。

1903(明治 36)年には諸外国の鉄筋コンクリート構造物の視察に出向き、帰国後には 100 坪の建築物、高さ 24m～45m の煙突、3000 トンの油槽タンク等の構造物に我が国で初めて鉄筋コンクリートを採用している¹⁹⁾。そのほか、当時海軍最大と評された幅 363m、長さ 576m、高さ 15m の立神係船地を土堤による海上締切施工で完成させている^{20), 21)}。写真 3.2-3 は立神係船地の完成写真、写真 3.2-4 は現在の写真である。

真島健三郎は針尾無線塔の設計を終えたのち、無線塔着手直前の 1917(大正 6)年には呉鎮守府の建築課長として転出、1923(大正 12)年海軍省建築局長に就任している。この年の 9 月には関東大震災が発生、震災後、耐震設計の研究を進め、翌年には「地震動による構造体の振動時相」について土木学会に論文を発表、1930(昭和 5)年には「地震と建築」を出版している。翌年には土木学会副会長に就任²²⁾、1932(昭和 7)年海軍を退職している。



写真 3. 2-2 佐世保海軍工廠第一船渠
施工状況(長崎県の土木遺産より)

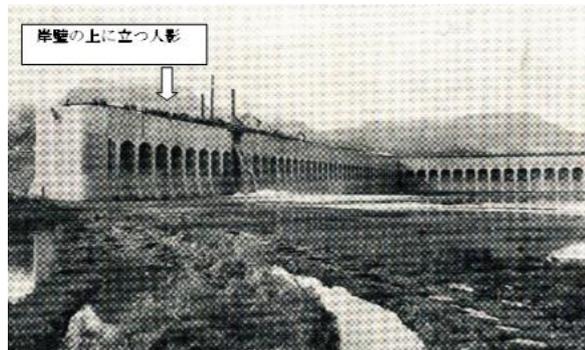


写真 3. 2-3 立神係船地完成写真
(針尾送信所学術報告書より)



写真 3. 2-4 現在も供用されている立神係船地(写真 3. 2-3 の完成写真は矢印
方向から撮影したもの)(佐世保市ホームページより)

3.2.3 吉田 直(1884(明治 17)年～1955(昭和 30)年)



1908(明治 41)年東北帝大北海道農科大学土木学部卒業後、海軍省に入省し横須賀鎮守府に所属、1912(明治 45)年から真島健三郎のもとで佐世保鎮守府建築科に勤務、のちに建築科長を務めている²³⁾。1917(大正 6)年に主任技師として針尾無線塔建造予定地の現地調査をするとともに大分県の旧日鉱佐賀関精錬所煙突、福島県の旧逓信省原町無線塔などの調査を経て針尾無線塔の設計に取り掛かり、配合に火山灰²⁴⁾を取入れて、1918(大正 7)年に建造に着手し

1922(大正 11)年に完成させた。

無線塔完成後は、佐世保市内の初の転石(ころびいし)コンクリート重力ダムの設計も担当、その後、横須賀鎮守府建築部長に転任し、1933(昭和 8)年に、真島健三郎と同じく海軍省建築局長に就任している²⁵⁾。局長在職中には横須賀、呉、佐世保、大湊などのドッグ計画の指導も行っている²⁶⁾。この間の昭和 11 年には土木学会常務委員²⁷⁾も務め、1941(昭和 16)年に海軍を退職している。

参考文献

- 1) 内務省：市街地建築物法施行令，1919.4
- 2) 大澤昭彦：建築高さの歴史的変遷(その 1)，土地総合研究，p.21，2008.
- 3) 小林茂敏，河野広隆，丹野弘：耐久性の優れたコンクリート構造物(道路構造物)，土木学会論文集，第 378 号/V-6，p.38，1987.2
- 4) 水越達雄：コンクリートダムの施工方法の変遷，土木学会論文集，第 384 号/V-7，p.2，1987.8
- 5) 土木学会誌第 3 巻第 4 号：日立鉱山の現況，p.1120，1917.8
(株)ジャパンエナジー，大煙突の記録，pp.99-102，1994.6
- 6) 大森房吉：震災予防調査会報告書，第 97 号甲，pp.18-20，1921.8
- 7) 電波監理委員会：日本無線史第二巻 無線技術史下，pp.219-220，p.274，1951.9
- 8) (株)ジャパンエナジー，大煙突の記録，pp.228-232，pp.245-249，1994.6
- 9) 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.
- 10) 長崎市水道局編：『'91 長崎水道創設 100 周年 NAGASAKI WATER 100』，p.12，1991.5

- 11) 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.60， 2011.
- 12) 長崎水道局：長崎水道百年史， pp.166-167， p179， 1992.
- 13) 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.60， 2011.
- 14) 土木学会 2022HP 会長紹介： pp.1-3，
- 15) 原口征人・今尚之・佐藤馨一：土木学会土木史研究 札幌農学校の土木工学教育に関する研究， 第 18 号， p.27， 1998.5
- 16) 広井勇：小樽築港工事報文(前編)， pp.166-169， 1908.7
- 17) 広井勇：小樽築港工事報文(前編)， pp.132-136， 1908.7
- 18) 工学会・啓明会編：明治工業史土木編， 第九編軍事土木第九篇， 軍事土木， pp.880-881， 1929.6
- 19) 十川嘉太郎・真島健三郎：鉄筋コンクリートの思い出， 土木建築工事画報 11 卷 12 号， pp.263-266， 1935.12
- 20) 工学会・啓明会編：明治工業史土木編， 第九編軍事土木第九篇， 軍事土木， pp.882-883， 1929.6
- 21) 土木学会日本土木史(大正元年～昭和 15 年)， pp.780-781， 1965.12
- 22) 土木学会略史創立 40 周年記念： pp.13-15， 1934.10
- 23) 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.61， 2011.
- 24) 土木学会日本土木史(大正元年～昭和 15 年)， p.784， 1965.12
- 25) 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.61， 2011.
- 26) 土木学会日本土木史(大正元年～昭和 15 年)， p.784， 1965.12
- 27) 土木学会略史創立 40 周年記念： pp.13-15， 1934.10

第4章 現存する写真から推測できる当時の施工方法

佐世保市教育委員会発行の「旧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、施工方法を推察できる写真はわずか数枚である。

この章ではこの数枚の写真から得られた情報をもとに以下に考察する。

4.1 古写真1(資材搬入用軌道棧橋)

針尾送信所建設に要するコンクリート数量は、無線塔が3基 $9,150\text{m}^3$ 、通信局舎が約 $3,500\text{m}^3$ (筆者算出)¹⁾、その他の小構造物を入れると約 $13,000\text{m}^3$ にも及ぶ量になる。当時の陸上工事としては膨大な数量である。

これらの施設を建造するためには、セメント、砂、火山灰、砂利、鉄筋、送信局舎のレンガ、通信設備、そのほか仮設材の足場材、型枠材、軌道等の多くの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²⁾。火山灰は九州各地を調査の結果、唐津産が最良³⁾と確認されたことからこの火山灰を使用した可能性が高い。このようにして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、陸上は軌道棧橋を設置して各構造物まで運搬していた。写真4.1-1は資材搬入用軌道棧橋の写真である。



写真 4.1-1 (古写真 1) 軌道棧橋

4.2 古写真2(基礎鉄筋組立状況写真)

写真 4.2-1 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。

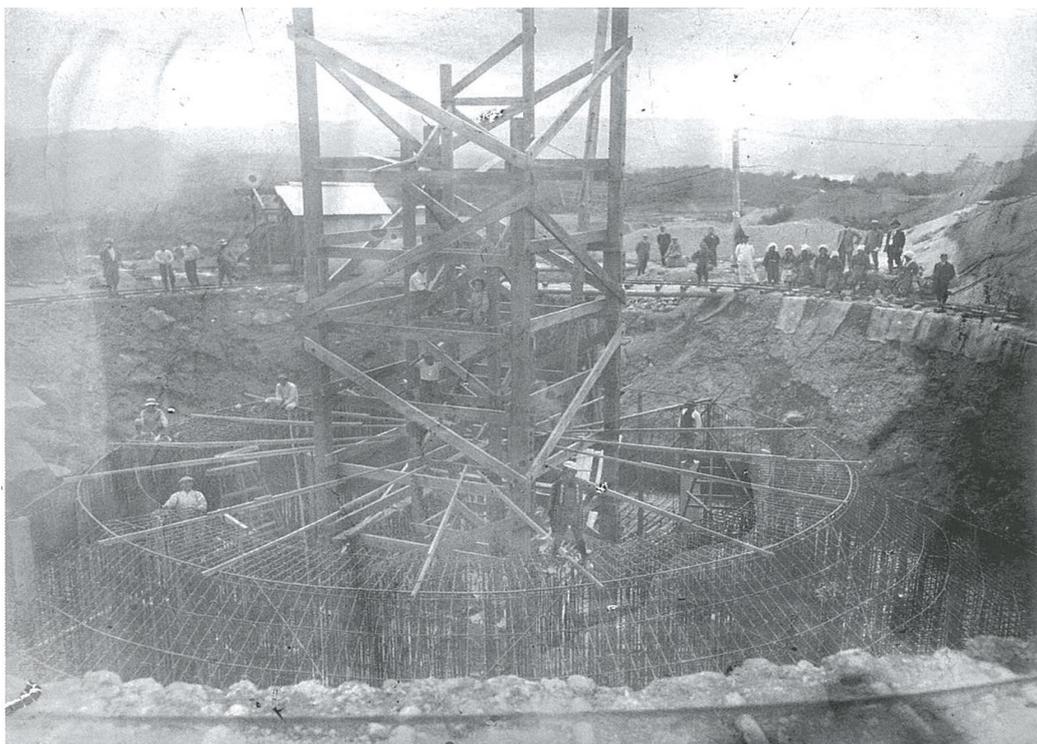


写真 4.2-1(古写真2) 基礎鉄筋組立状況写真

4.2.1 掘削工

3塔の基礎掘削深さは地形によって異なるが、掘削深さを基礎の高さ5m程度とすると、1基の掘削数量は約 $2,500\text{m}^3$ から $3,000\text{m}^3$ (筆者試算)になる。ちょうどこの大正時代後半から大規模工事において建設機械化の進展が始まるが、当工事では掘削数量も少ないことから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 4.2-1 の掘削法肩にはコンクリート運搬用の外周軌道を設置しており、正面には法面の一部を基礎底面まで開削し、その箇所の軌道が丸太を使用した栈橋構造になっている。写真 4.2-2 はその部分を拡大したものであるが、軌道栈橋は2か所(矢印)確認できる。

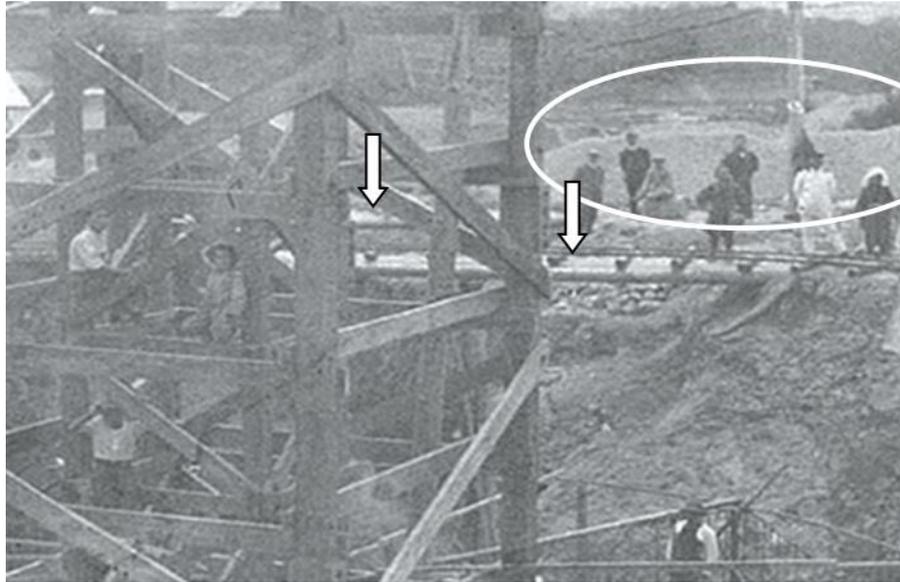


写真 4.2-2 軌道棧橋

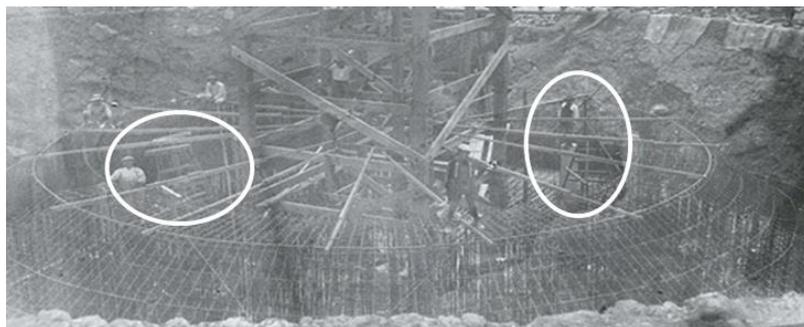


写真 4.2-3 基礎鉄筋組立状況

軌道棧橋にした理由は、無線塔の外側が緩やかに低くなっている地形を利用して、開削部分から掘削土の搬出や作業中の雨水の自然排水を容易にするための方策である。手前の軌道がこの基礎の外周軌道で、奥の軌道は、無線塔を建造するための資材を近くの港から現地へ搬入するために設置されたものである。また、工事関係者の背後に一様に白っぽい色をした小山(○印)があるが、これは港から運搬されてきたコンクリート用の骨材ではないかと推察する。

4.2.2 鉄筋工

写真 4.2-3 は写真 4.2-1 鉄筋組立状況の拡大写真である。
高さ約 4.6m の基礎鉄筋を脚立(左○)や箱状の物体(右○)を足場として利用し組み立てて



写真 4.2-4 基礎コンクリート養生用ムシロ

いる。現代であれば足場を基礎全面に 1~2 段組み立てて施工する高さである。また、基礎上部の中心から放射状に延びる木材は鉄筋天端の円形の位置出し用に取り付けられたものである。この方法は現代においても簡便な方法として継承されている。

4.2.3 基礎コンクリート工

外周法肩には、コンクリートをトロッコに積載して運搬し、基礎コンクリートを打設するための軌道が一周している。また、写真 4.2-4 は写真 4.2-1 右側法肩部を拡大したものである。基礎コンクリートの養生用ムシロ(○印 詳細後述)が確認できる。明治時代からコンクリートの養生はコンクリート施工の重要な一工程として組み込まれおり、無線塔工事でも実施されていたことを証明している。

4.2.4 内足場工

写真4.2-5は写真4.2-1中央の木製内足場の拡大写真である。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。四隅の支柱には巨大な軸力が作用することから当て板を添え、ボルト締め(○印)して接続している。

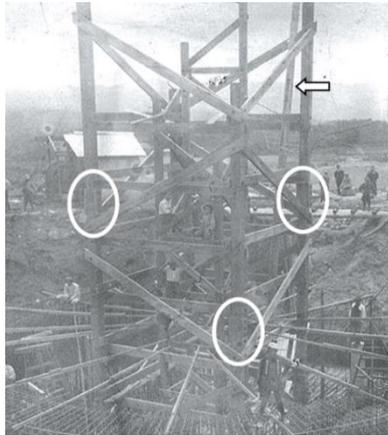


写真 4.2-5 木製内足場

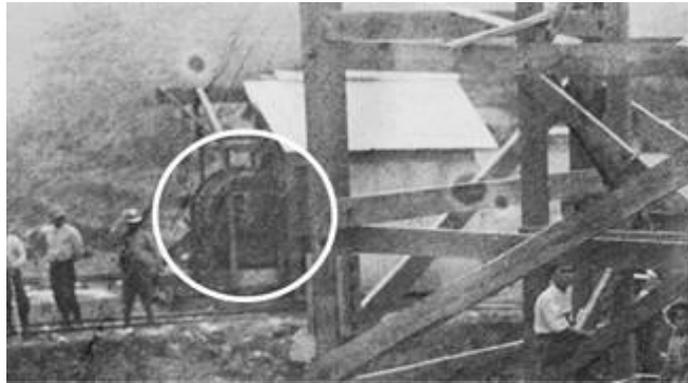


写真 4.2-6 コンクリートドラム型
ミキサー(○印)

ところで、この内足場を組み立てるには人力のみでは不可能である。足場の支柱を順次継ぎ足してゆくには支柱を吊上げる機能を備えたものが必要である。この写真にはその役目を果たすための通称”ボウズ(矢印)”と呼ばれるものも映っている。詳しくは後述する。

4.2.5 仮設備(コンクリートミキサー設備)

写真 4.2-6 は、写真 4.2-1 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)型ミキサーが確認できる。旧日本海軍では、針尾送信所着手前の 1916(大正 5)年に、高さ 15m・南北 576m・東西 364m にも及ぶ巨大な佐世保港立神係船地のコンクリート岸壁を完成させており、軍事施設である無線塔施工においても当時入手可能な最大のミキサーが調達できたものと推察する。

当時の海外のコンクリート理論についてまとめた 1916(大正 5)年発行の日比忠彦著「鉄筋混凝土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)」⁴⁾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、「53立方呎(立方フィート)」は、約 1.5m^3 (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⁵⁾として1時間に 12m^3 、連続運転20時間で 240m^3 になる。機械の調整やロスタイムが発生したとしても、1昼夜で 200m^3 程度の練り混ぜ能力は十分あったものと推測する。

4.3 古写真3(基礎コンクリート完成写真)

次の写真 4.3-1 は基礎コンクリート打設完了直後の写真である。写真 4.2-1 の基礎とは別の基礎である。

4.3.1 掘削工

この基礎も周囲の地山の一部を開削しているが、軌道は地表面の起伏の影響により法肩を一周していない。

写真4.3-2は、写真4.3-1の基礎開削部を拡大したものである。開削部両側の表土の切土勾配は $60^\circ\sim 70^\circ$ 、それが法尻近くになると緩やかになり、その周囲には岩塊が



写真 4.3-1(古写真3) 基礎コンクリート完成写真

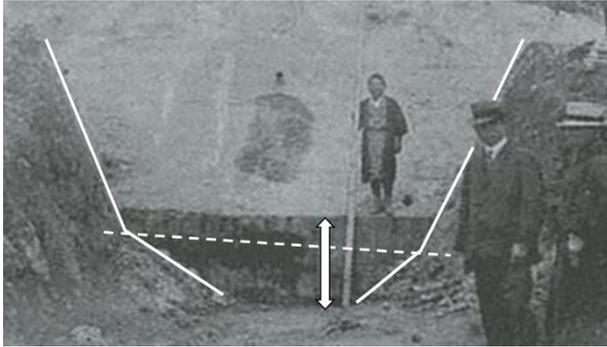


写真 4.3-2 切土勾配(実線)・表土と基礎岩盤の境界(点線)および塔基礎鉛直面高さ(矢印)

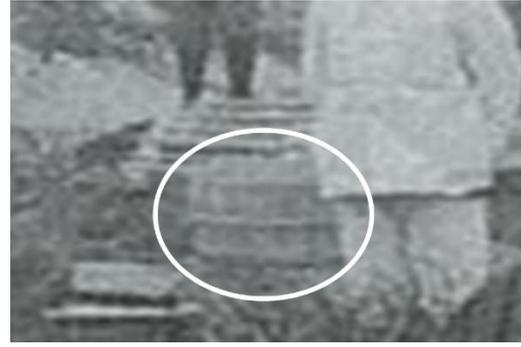


写真 4.3-3 コンクリート運搬用桶(○印)



写真 4.3-4 長崎市小ヶ倉ダムで使用された運搬用桶(○印)
(長崎水道 100 周年創設 100 周年より)

確認できる。この勾配の変化点が、表土と基礎岩盤の境界(点線)と考えられる。基礎コンクリートの矢印の高さが90cmであることから、この箇所では、基礎岩盤に60～70cm根入れしていることを示している。

4.3.2 基礎コンクリート工

写真 4.3-3 は写真 4.3-1 の基礎右側を拡大したものである。白い軍服姿の軍人の背後に、円形のコンクリート運搬用桶らしきものが写っている。ほぼ同時期に施工された長崎市の「小ヶ倉ダム」の施工写真(写真 4.3-4)には少し小さい桶にコンクリートを入れて、天秤棒の両端を2人で担いで運搬している状況を確認できる⁶⁾。さらに、この軍人の右側背後を拡大した写真 4.3-5 には、基礎コンクリート上部へ向かう

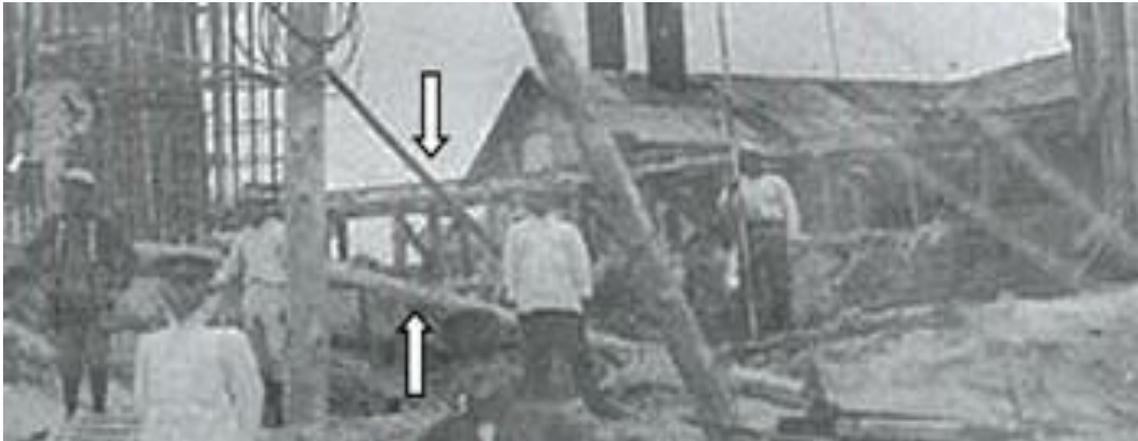


写真 4.3-5 軌道栈橋(下向き矢印)と作業通路栈橋(上向き矢印)

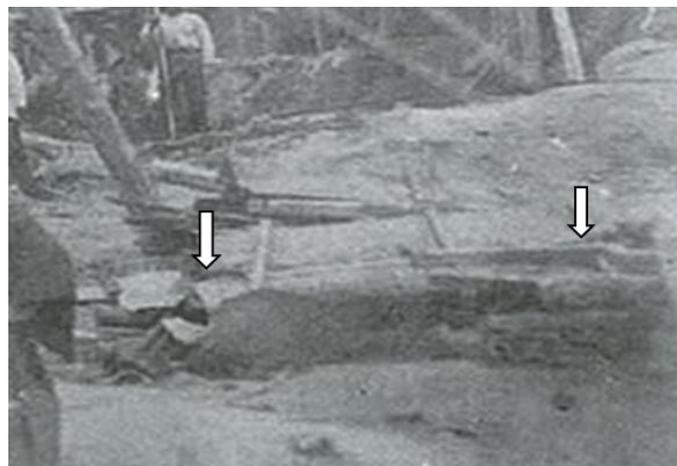


写真 4.3-6 コンクリート打設用シュート(矢印)

栈橋(矢印)が 2 つ見える。下向き矢印は右側のコンクリートミキサー室から基礎天端へのコンクリート運搬用軌道栈橋であり，上向き矢印は作業通路栈橋である。

次に写真 4.3-6 は，写真 4.3-1 の右端を拡大したものである。この写真には非常に興味深いものが写っている。当時の用語で「樋卸し(といおろし)」と呼ばれていたコンクリート打設用シュートである。桶から落下させたコンクリートを受けてシュートに導く木杵(右矢印)と，トタンらしきものを U 型に加工したシュート(左矢印)が写っている。内足場や栈橋，外周軌道から勾配をつけたシュートを利用して，指定した位置にコンクリートを落下させていたことを示している。



写真 4.3-7 基礎コンクリート(水抜穴の矢印とリフト割の点線)

写真 4.3-7 は、写真 4.3-1 の高さ 4.6m、コンクリート数量 1,360m³(図 3.1-2, 図 3.1-3 参照)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。

次に基礎コンクリートのスランプを推定する。無線塔建造当時はまだスランプという概念はない。アメリカの標準示方書、ドイツ鉄筋コンクリート協会の標準規定を参考にわが国でもコンクリートの試験方法の標準を得ることが急務となり、大正 15 年に当時の土木建築関係機関の代表者が「コンクリート應圧強度試験に関する標準」⁷⁾について協議したなかの試験項目の一つとして、「スランプ試験」が規定された。

前述したように無線塔着手当時の配合はまだ容積配合であり、構造物の種類によって配合比率を変化させ、鉄筋量や施工性に応じて水量によって軟らかさを調整していた。この軟らかさを表現する方法として、「堅練は打固め後約一ヶ月内外にして強大なる圧力を受くる基礎の如き凡(すべ)て質量的のもの、中練は重壁・大拱(アーチ)・、橋臺・橋脚等普通圧力を受くるもの、軟練は建物の壁・柱・床・水管・水槽等凡て鉄筋を有する薄き構造物に適す。」⁸⁾と 3 つの用語を使い区分していた。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、「堅練」により施工されたものと推察する。この3つの用語を単純にスランプ値と置き換えるのは早計であるが、堅練をスランプ 5cm 程度、中練を 8cm 程度、軟練を 10cm 以上とすると、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される。さらに、施工性からこの基礎のスランプを推定すると、基礎の外側表面勾配(約 1:1.5)では、スランプ 8cm の練上がり直後のコンクリート打設は基礎表面を流れ落ちて仕上げが難しい。このことからスランプは 5cm 程度であったものと推定される。

4.3.3 内足場工

写真 4.3-1 には、針尾無線塔の内足場全体の姿が写っている。我が国で最初の高層煙突は外足場方式で建造した高さ 156m の旧日立鉱山精錬所煙突(写真 3.1-1)である。資材はすべて背負って荷揚げ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。写真 4.3-8 は足場全体の写真、写真 4.3-9 は巨大足場の前での記念写真である⁹⁾。

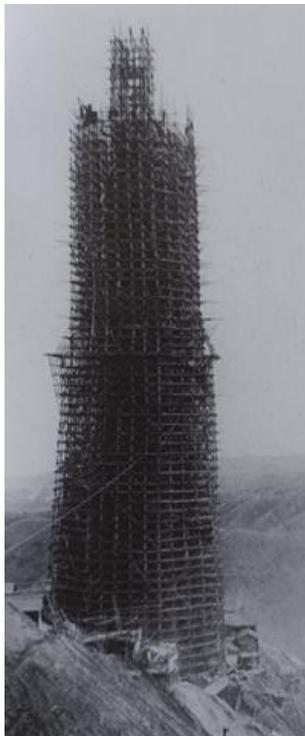


写真 4.3-8 旧日立鉱山精錬所煙突の足場

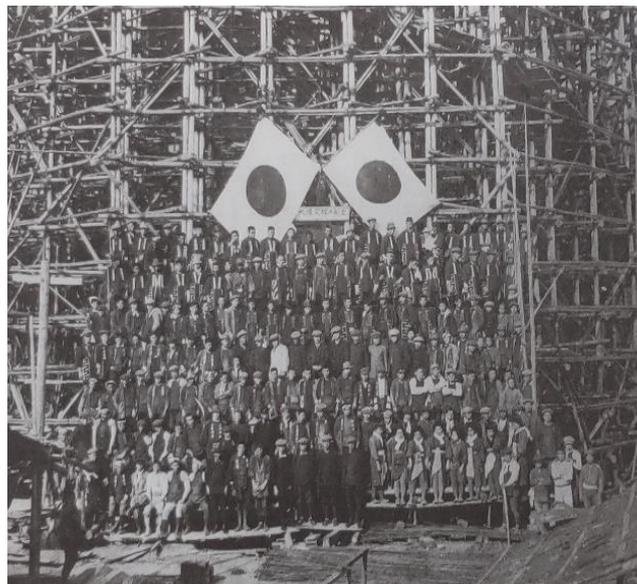


写真 4.3-9 旧日立鉱山精錬所煙突完成時の記念写真

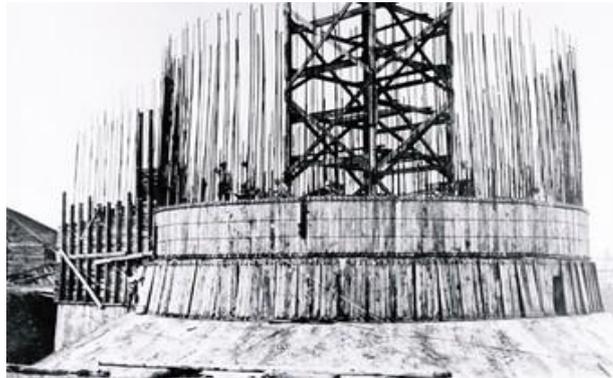


写真 4.3-10 旧日鉱佐賀関精錬所煙突 (JX 金属(株)提供)



写真 4.3-11 旧逓信省原町無線塔(原町無線塔物語著者二上英朗氏提供)

写真 4.3-10 は、同様に宮長平作が設計した旧日鉱佐賀関精錬所煙突（1916(大正 5)年完成，平成 25 年に解体）着手直後の写真である。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内足場方式が少ないこと，仮設機材・機器・労力・工事期間が少なく経済性において優れていることを挙げている¹⁰⁾。また，写真 4.3-11 は同様に内足場方式を採用して 1921(大正 10 年)に完成した福島県の旧逓信省原町無線塔である。両方とも完成当時は世界一を誇っていた塔状構造物である。

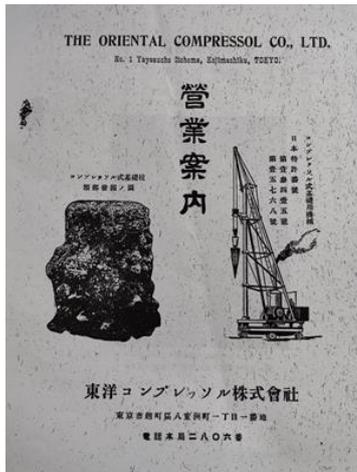


写真 4.3-12 東洋コンプレッソル(株) 営業案内 (現社名 東洋テクノ(株) 提供)

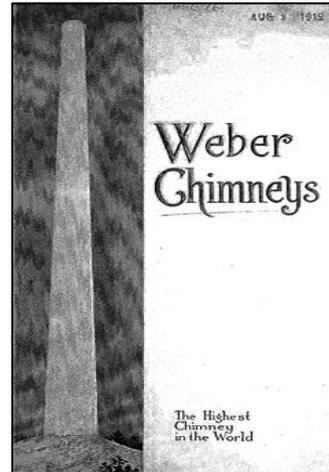


写真 4.3-13 1919(大正 8)年のウェーバーチニー社 PR 誌

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うけて、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 4.3-12 は東洋コンプレッソル社の営業案内である。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)}。

針尾無線塔は前述したように軍事施設のため詳細の記録は残っていないが、内足場の構造が同様の形状であることから、この技術が採用されたことが推察される。

写真 4.3-13 は 1919(大正 8)年のウェーバーチムニー社 PR 誌¹³⁾ (長崎大学岡林名誉教授提供)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。

4.3.4 仮設備 (クレーン設備)

写真 4.3-14 は、写真 4.3-1 (現存写真 3) の内足場背後右側を拡大したものである。木製支柱の簡易なデリッククレーン(矢印)が写っている。無線塔工事に使用した資機材は海上輸送され、近くの港から軌道を利用して現地に搬入されたことが分かっている。このクレーンは、資機材荷卸し用として設置されたものである。



写真 4. 3-14 デリッククレーン(矢印)



写真 4. 4-1(古写真 4) 塔本体型枠写真

4. 4 古写真 4(塔本体型枠写真)

写真4. 4-1は、塔本体1リフト目のコンクリート打設後、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。中央(上着ポケットに書類)は、無線塔建設を指揮した建築科の吉田直主任技師である。

塔1リフト目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。コンクリートの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。

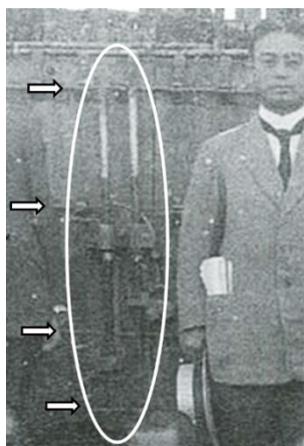


写真 4. 4-2 4 段のワイヤー(矢印)と締付器具(○印)

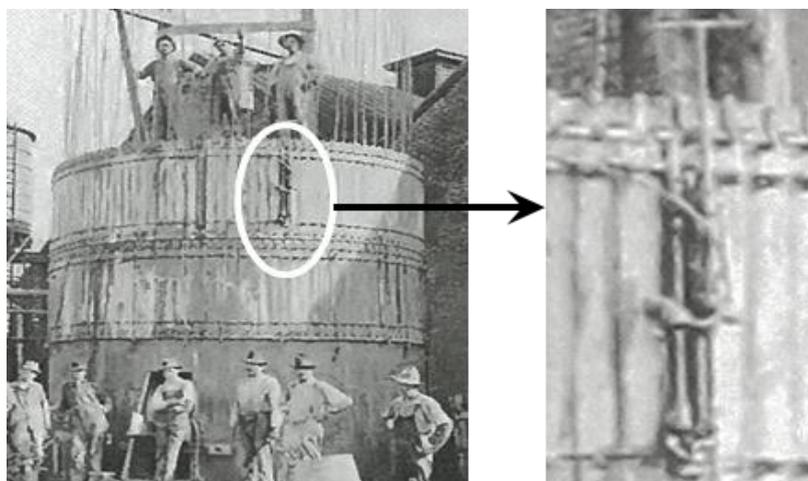


写真 4. 4-3 ウェーバーチムニー社 PR 誌に掲載されている型枠締付用と考えられるハンドルが付いた器具(右は○印部分の拡大写真)

写真4. 4-2は、写真4. 4-1の中央部を拡大したものである。

型枠施工の重要な要である締付方法を推察できるものが写っている。現代でも円形型枠は、丸鋼やワイヤー、なまし鉄線により外周を締付けることがある。この写真は、不鮮明であるが、型枠に取付けた金物に4段(矢印)の締付材を載せかけているように見える。この写真を大きく拡大すると締付材が微妙に波打っていることから、ワイヤーではないかと推察する。また、○印はワイヤーの締付器具と考えられる。

写真 4. 4-3 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)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。

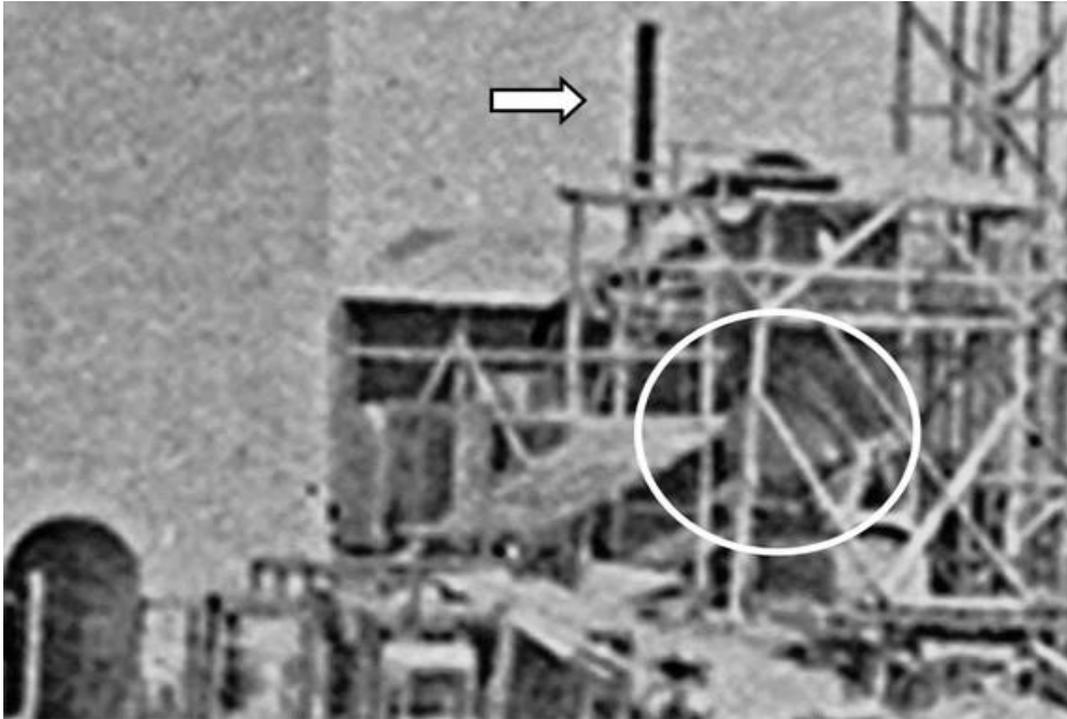


写真 4.5-1 (古写真 5) 1号塔本体施工中のコンクリートミキサー(○)と動力用蒸気ボイラーの煙突(矢印)

4.5 古写真5(塔本体施工用コンクリートミキサー写真)

写真 4.5-1 は 1号塔本体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、前述したように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みキサーである。塔本体は基礎コンクリートより軟らかく中練(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。この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¹⁴⁾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)、「S」は side loading(横から材料を投入)の頭文字を表し¹⁵⁾、1 回の練り混ぜ量は 1.57m³(公称値)である。実施工能力は約 70%程度に減少する。1 回の練り混ぜ時間を 5 分として練り混ぜ量は 1 時間で約 13m³となる。塔本体の最大打設量(1 リフト目)のコンクリート数量 37m³(筆者算出)に容易に対応できる機種である。無線塔完成以前、民間建築工事では、10 切(1 回の練り混ぜ量 0.28m³)のみキサーが最大であったとの記録¹⁶⁾もあるなか、軍事施設の整備には、民間では調達できないような最新の外国の機種を輸入して臨んでいたことがうかがえる。

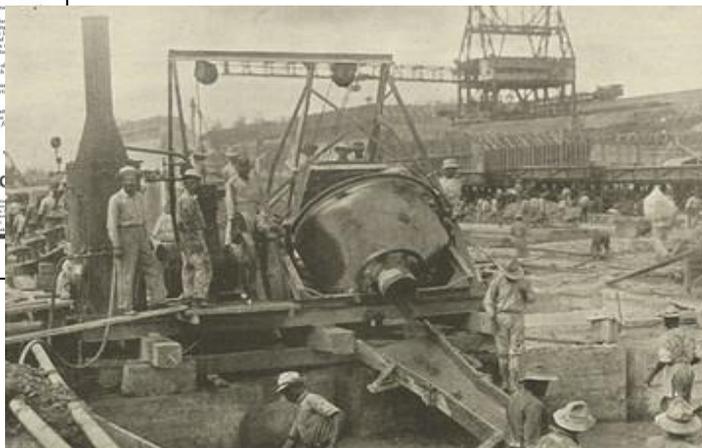


写真 4.5-2 オースティンキューブミキサーカタログ(1916(大正5)年)とミキサー部分の拡大写真(筆者所属:(公財)長崎県建設技術研究センター所有)

写真4.5-2は、左上に「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とミキサー部分の拡大写真である。この写真の左端に写っている煙突状のものは、写真4.5-1でも確認できた動力用蒸気ボイラーである。さらに、1916(大正5)年に着手した利根川萬世水門工事で使用されたミキサーの設備、2章の写真2.2-2と細部に至るまでまったく同じ構造であることも分かる。

4.6 古写真6(通信局舎背後のコンクリートミキサー群と当時のミキサーの変遷)

写真4.6-1には、手前に港からの資材運搬用軌道栈橋、その後ろに幅約36m・奥行き22m・高さ16m・屋根厚さ80cmの鉄筋コンクリート造り3連アーチ構造(矢印)の通信局舎¹⁷⁾、さらに、その背後には基礎工事でも使用されたミキサーより小型のドラム型ミキサー(○印)が、正面向き3基、背面向き1基の計4基が確認できる。これは、通信局舎や周辺構造物の異なるコンクリートの配合や数量に対して、迅速に対応できるように多くのミキサーを準備したものと推察する。

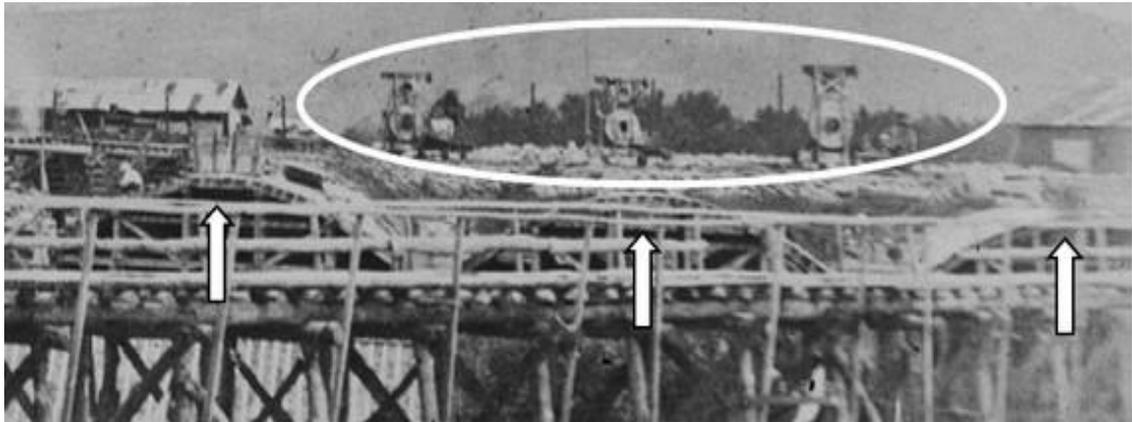


写真 4.6-1 (古写真 6) 3 連アーチ構造(矢印)の通信局舎と通信局舎背後の
コンクリートミキサー群(○印)

ここで、針尾無線塔建設時前後の日本における主なコンクリートミキサーの変遷について触れる。

当時の文献において、日本で初めてコンクリート混合機(ミキサー)の使用が確認できるのは、前述したように明治 22 年に着手した横浜港修築第一期工事におけるケーレーラサム式混合機である。混合能力は時間当たり 1~4 立方坪(5.8~23.3m³)程度¹⁸⁾である。また、1897(明治 30)年に起工した小樽築港工事でも同機が使用されている。

1902(明治35)年には、神戸港の築造工事においてキューブ型ミキサーが使用されている。1913(大正2)年に発行された広井勇著の「再訂築港前編」にはケーレーラサム式混合機と並記して、当時もっとも広く使用されていたのは立方形の対角を貫通する軸により回転する立方混合機(キューブミキサー)であり、その混合能力は時間当たり 1~3 立方坪(5.8~17.5m³)程度と記されている¹⁹⁾。

その後、キューブ型は可傾式のため盛んに使用されることとなったが、キューブ型の特徴として、回転時の胴の磨耗と衝撃が激しいうえに函の隅にコンクリートが付着しやすい欠点があったことから、アメリカにおいて円筒のドラム型が開発され、ちょうど無線塔工事に着手した1918(大正7)年に日本にも輸入され始めている²⁰⁾。しかし、このドラム型は不傾式であるため、コンクリートの排出が容易ではなく「堅練には不向き」で主に建築現場において使用されることとなった²¹⁾。

ところで、3 章において、無線塔基礎工の堅練コンクリートにドラム型を使用したことについて触れたが、このドラム型の特徴である「堅練には不向き」であることとは整合しない。この理由として考えられるのは、輸入直後のドラム型最新機種でもあり、その性能を十分に把握することもなく使用を試みたのではないかと推察する。

その後、ドラム型はアメリカにおいてさらに可傾式に改良され、1935(昭和10)年

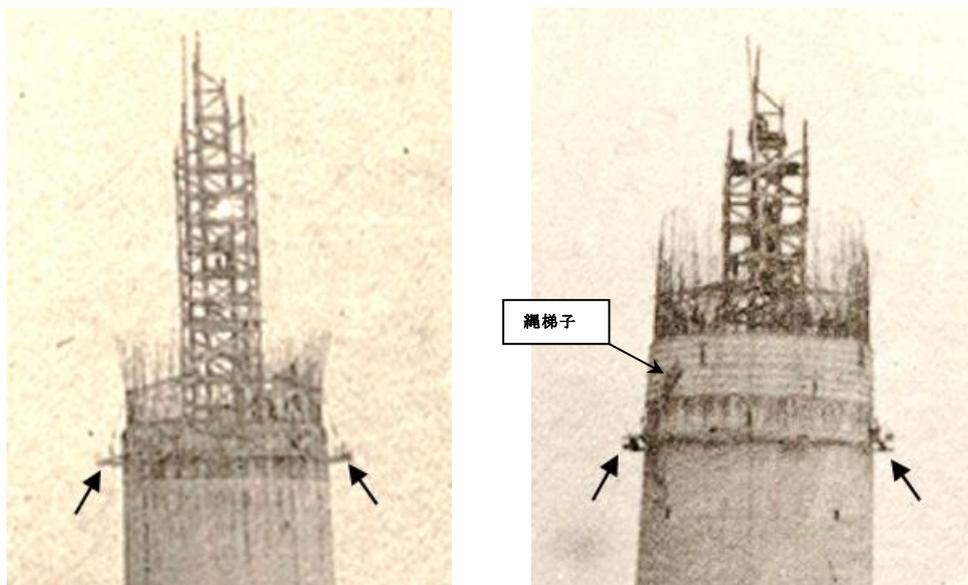
に至って輸入され使用されるようになった²²⁾。このように、針尾無線塔の施工時期は、キューブ型からドラム型への移行期にあたり、可傾式のキューブ型と不傾式のドラム型が併用されていたことが分かる。

4.7 古写真7(外足場設備の写真)

4.7.1 外足場設備

写真4.7-1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。写真-左(a)では最上位リフトの型枠の下段に、写真-左(b)は、上から3リフト目の下段に足場が設置されている。また、宙づりになった昇降用縄梯子も確認できる。しかも写真-左(b)には、矢印の先に型枠解体作業中の作業員の人影も確認できる。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。

外足場を構成している1組の足場の大きさを、仮に長さ2m・幅80cm程度の鋼製枠と木製足場板からなる構造とした場合でも、重量はわずか30数kg程度(筆者算出)であり、2人の人力作業により対応できる重量である。今回の調査のなかで、昭和40年頃も外足場をロープを使って人力により昇降させていたとの情報を当時の技術者から得



4.7-1(古写真7) 外足場(矢印)
左(a):最上位リフト施工中の足場 右(b):上から3リフト目型枠解体中の足場

ることができた。全周の外足場を数ブロックに分割し、それに見合う労働者を動員することによって短時間で昇降できたものと推察する。

一方、針尾無線塔着手以前に施工された旧日鉱佐賀関精錬所の煙突工事では外足場はない(写真 4.7-2)。旧逓信省の原町無線塔工事でも同様に外足場がない(写真 4.7-3)。この外足場無施工の記録が、前者は「久原鉱業会社佐賀関精錬所の大煙突」²³⁾、後者は「震災予防調査会報告第 97 号甲」²⁴⁾のなかに記載されている。

この 2 つの外足場を無施工した状況について、針尾無線塔の吉田直主任技師は着手前に調査を終えているので、外足場を設置せずとも施工できることを知っていたはずであるが、針尾無線塔では外足場を施工している。これは、針尾は他の 2 塔と比較して 3 本もの軍事施設の無線塔を建造することでもあり、工程の維持と施工性の向上を目指して設置したものと考えられる。さらに、明治末期から大正にかけて特に鉱山の採掘作業において事故が多発していたこともあり、大正元年にアメリカから移入された「セーフティーファースト」²⁵⁾の気運の高まりを考慮した可能性も考えられる。当時は「安全専一(せんいち)」と訳され、標識を作って職場内に掲示して注意喚起を促していた。現代では「安全第一」との呼称で引き継がれている。

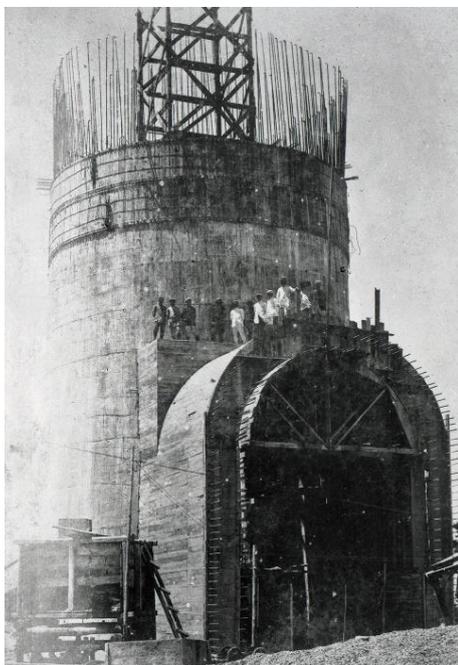


写真 4.7-2 旧日鉱佐賀関精錬所煙突工事施工中の写真(JX 金属(株)提供)



写真 4.7-3 旧逓信省原町無線塔工事施工中の写真(原町無線塔物語著者二上英朗氏提供)

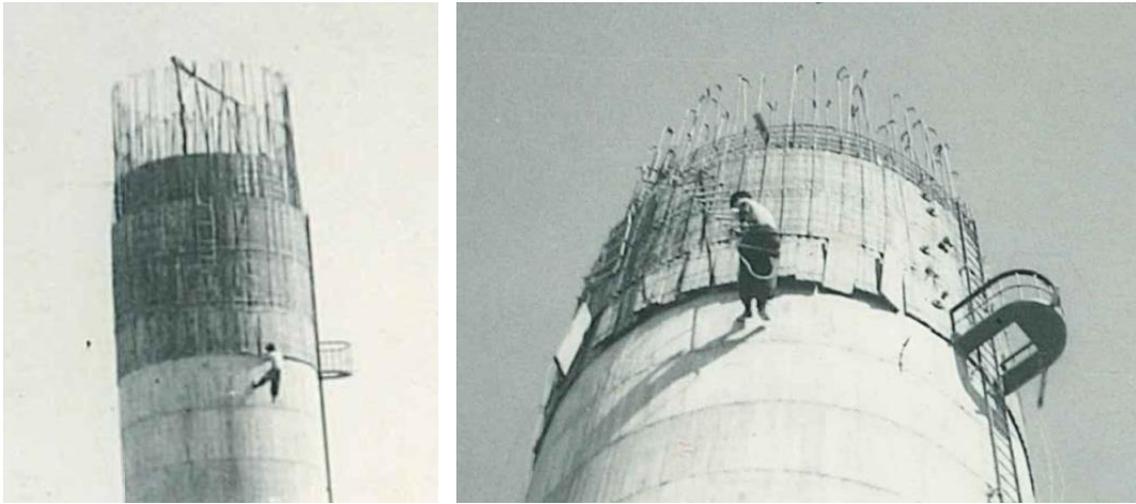


写真 4. 7-4 昭和 37 年の施工状況写真(大正鉄筋コンクリート(株) 提供)

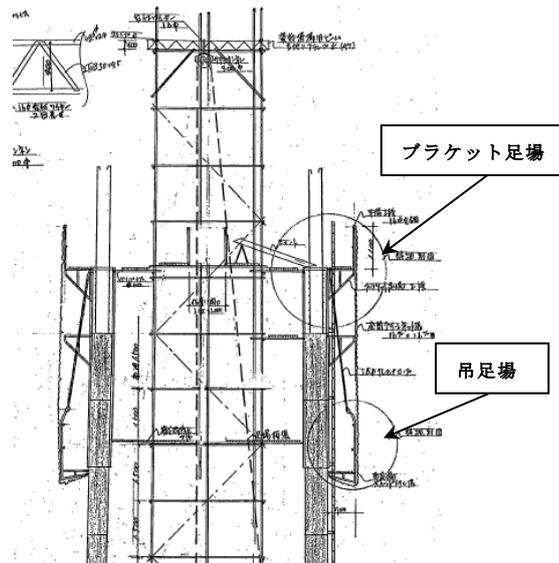


図 4. 7-1 昭和 40 年代の施工図
(大正鉄筋コンクリート(株) 提供)

次に、現代の塔状構造物施工業者に現存している足場の施工方法に関する資料を調査した。写真 4. 7-4 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。戦後のこの当時は「安全第一」と唱えるだけで現場に生かされてはいないようである。図 4. 7-1 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。ちょうど「労働安全衛生法」の公布(昭和 47 年)を間近に控えた時期と重なる。

4.7.2 塔本体のクレーン設備

写真4.7-1の右(b)写真の塔頂部を拡大したものが写真4.7-5である。この写真では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。写真4.2-5において木製内足場の矢印の部材を「通称”ボウズ”」と呼ぶ、と説明したが、それがこれにあたる。

塔頂部において重量物作業をする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すには欠かせない設備が必要である。この“ボウズ”の先端に滑車を取り付ければ簡易なレーン設備として利用できる。図4.7-2は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4.7-6は台棒工法(矢印)の写真である。

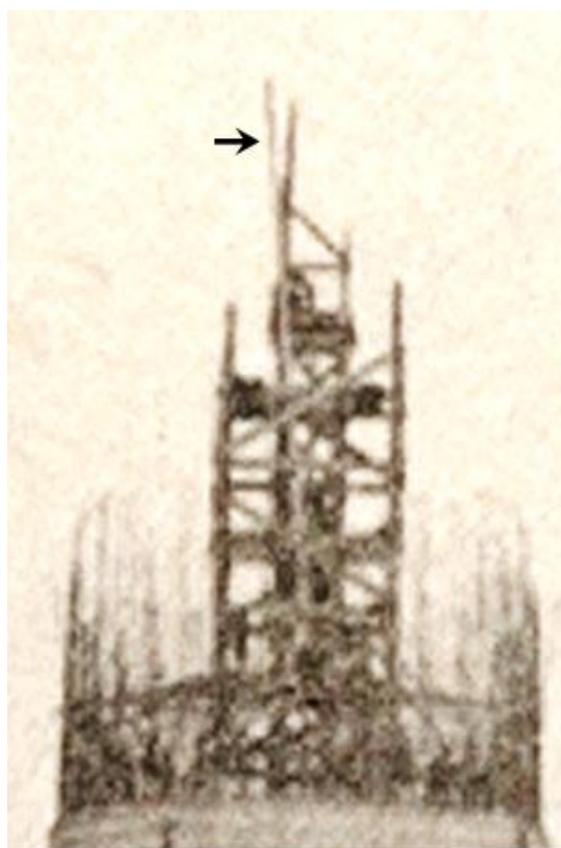


写真 4.7-5 内足場塔頂部拡大写真

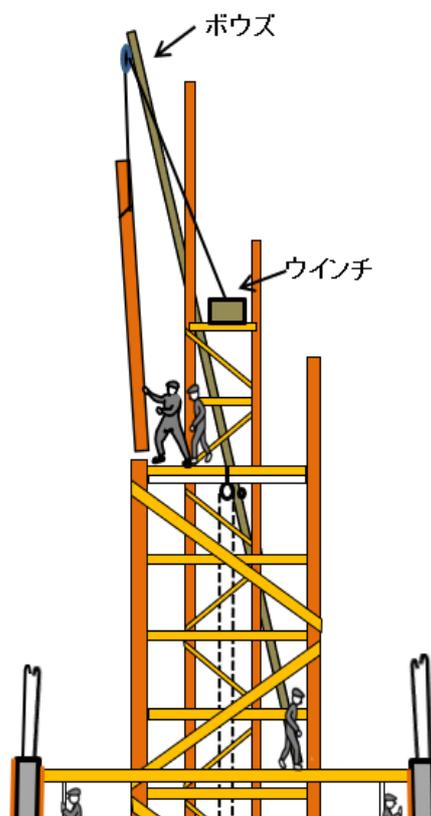


図 4.7-2 足場支柱組立状況模式図



写真 4. 7-6 台棒工法 (三和テッキ(株)提供)

参考文献

- 1) 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.10-15， 2011.8
- 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.25， 2011.8
- 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.50， 2011.8
- 4) 日比忠彦：鐵筋混凝土(鉄筋コンクリート)の理論及びその応用(上巻)， p.125， 1916.
- 5) 谷口三郎：土木施工法-土工・基礎工・混凝土工， p.542， 1933.
- 6) 長崎水道局編：' 91 長崎水道創設 100 周年 NAGASAKI WATER 100， pp.28-29， 1991.5
- 7) 佐野利器，永山彌次郎，濱田稔：コンクリート応圧強度試験に関する標準について，建築雑誌 489 号， pp.3-7， 1926.11
- 8) 日比忠彦：鐵筋混凝土(鉄筋コンクリート)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， pp.111-117， 1994.6
- 10) (株)ジャパンエナジー，大煙突の記録， p.117， 1994.6
- 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：久原鋳業会社佐賀関精錬所の大煙突， pp.1463-1464， 1916.10
- 13) Weber Chimneys:The Highest Chimney in the World,1919.8
- 14) 岡本直樹：機械化土工のあゆみ，土木施工， p.68， 2009.8
- 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， 1952.6

- 16) 高橋久雄, 中根淳: コンクリートと施工法, 建築におけるコンクリート施工機械の
移り変わり, 日本コンクリート工学会, コンクリート工学, Vol.19, No.9, p.66,
1981.9
- 17) 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.10-15, 2011.8
- 18) 広井勇: 再訂築港(前編), pp.177-179, 1913.7
- 19) 広井勇: 再訂築港(前編), p.177, 1913.7
- 20) 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
- 21) 烏田専右: 建築における練りませ・締固め・養生方法の移り変わり, 日本コンクリー
ト工学会, コンクリート工学, Vol.19, No.4, p.59, 1981.4
- 22) 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
- 23) 土木学会誌第 2 巻第 5 号: 久原鉱業会社佐賀関精錬所の大煙突, pp.1463-1464,
1916.10
- 24) 大森房吉: 震災予防調査会報告書, 第 97 号甲, p.27, 1921.8
- 25) 中災防産業安全運動 100 年記念事業: 写真と年表で辿る産業安全運動 100 年の軌跡
運動の夜明け(大正時代), p.1, 2021.5

第5章 現存する構造物(無線塔)から推測できる当時の施工方法

5.1 塔本体型枠の構造

5.1.1 型枠の大きさと円周長の調整・曲面の対応

無線塔の外型枠単体(標準枠)の寸法は、幅 14cm・高さ 1.37m、内型枠は幅 12cm・高さ 1.37m である。塔は高くなるにしたがって直径は小さくなり、円周長も短くなる。上下幅が同じ型枠を使用すると上側が少しずつ円周方向に傾いてくる。そのため、この傾きを補正する型枠が必要となってくる。写真 5.1-1 は、その傾きと、それを補正している型枠(補正枠)の設置状況をよく示している写真である。

また、型枠を一周組み立てると、最終枠は、その隙間に合う型枠(調整枠)が必要となる。写真5.1-2はこの状況がよく分かる写真である。両側の型枠aは幅14cmの標

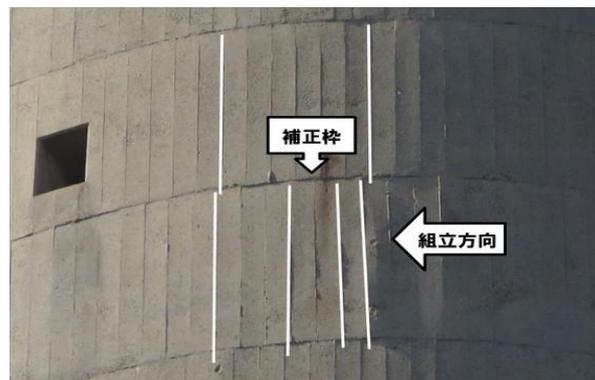


写真 5.1-1 型枠傾き補正枠

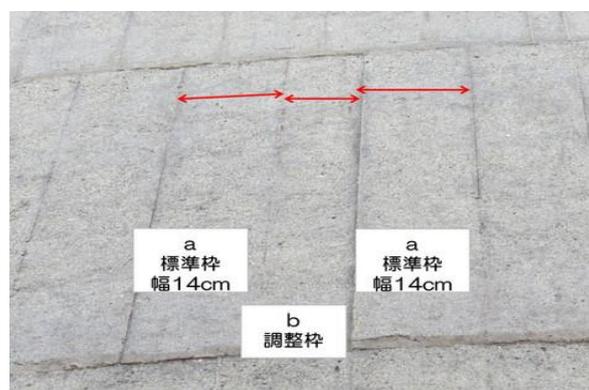


写真 5.1-2 型枠円周長調整枠

準枠、型枠bは円周長の調整枠である。調整枠は各リフトのいたるところで確認できる。

次に型枠をどのようにして曲面に対応させているのかを調査した。型枠は単体で組み立てると非常に不効率である。また、数枚が横につながった連枠とした場合、重量が嵩み作業性は低下する。写真 5.1-3 は塔基部円周方向の曲面を上方から写したものである。茶色線は標準枠(幅 14cm)の縦ライン、赤線は水平方向の表面形状を示す。塔本体の外面は幅 28cmの平面により構成されていることが分かる。木製型枠は 14cmの単体型枠 2 枚を組み合わせて、2 連枠として取り扱ったことを示している。

5.1.2 型枠の厚さ

写真5.1-4は3号塔入口の写真である。入口のコンクリートは、塔本体と同時に打設している。入口外面上部には、塔本体型枠下端部をアーチ状にくり抜いてコンクリートを打設したために、型枠の厚さを示す跡が写真の矢印部に残っている。写真 5.1-5はその局部を写したものである。この矢印の幅は厚さ約4cmの型枠を使用したことを示している。



写真 5.1-3 外型枠曲面の形状



写真 5.1-4 塔入口
(型枠厚さ跡 矢印)

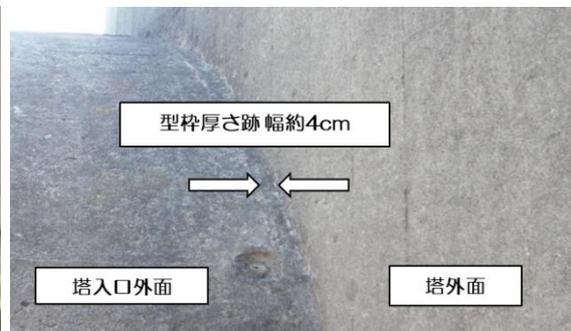


写真 5.1-5 型枠厚さ (矢印)

5.1.3 外型枠のリフト転用

写真5.1-6は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(a)写真は2リフト毎に、上位リフトの右(b)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推察する。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。針尾無線塔より先に完成した旧日鉱佐賀関精錬所煙突は針尾無線塔の基部直径より約5m大きいので、ここも2リフト分の型枠を準備して施工に取り掛かっている。

次に、型枠解体転用時の1単位の大きさについて検証した。一般に下位リフトの型枠を解体して上位リフトに転用する場合は、横方向に連なった大枠として取り扱ったほうが効率的である。しかし、当時は現代のようなクレーンは存在しない。また、塔頂部は風も強いので、機能的にも劣るウインチを使用して大枠を鉄筋上部から引き込み、内部の限られた作業床に倒して型枠ケレン(清掃)作業をすることになり、これは非常に困難な作業である。このようなことから、大枠の大きさは自ずと制限される。

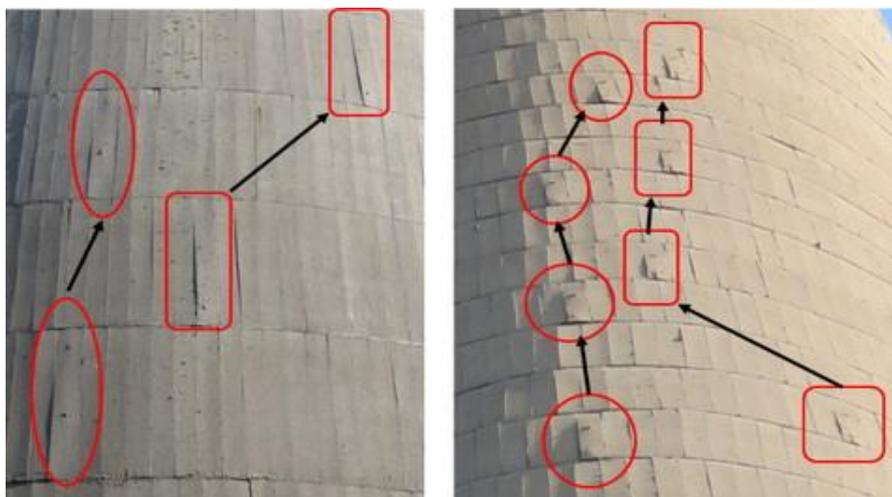


写真 5.1-6 外型枠の転用
左(a) : 下位リフト 右(b) : 上位リフト

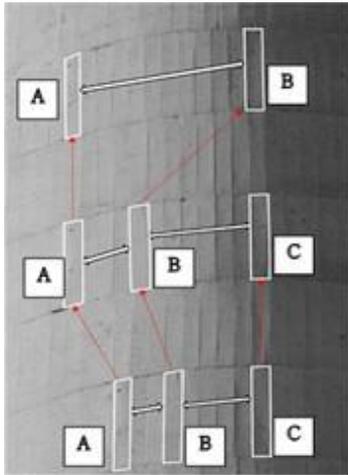


写真 5. 1-7 特定の型枠の移動先

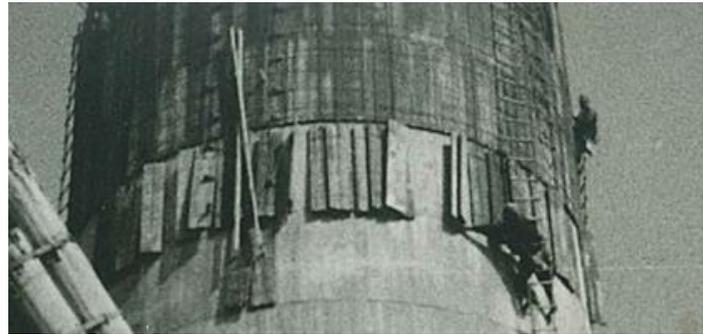


写真 5. 1-8 昭和 37 年の塔型枠解体中の写真(大正鉄筋コンクリート(株)提供)

写真5.1-7は、同じリフトの特定の型枠が次にどこに移動したかを示した写真である。紙面の関係で分かりやすく拡大できないが、型枠A・B・Cの移動先の枠と枠の間隔はそれぞれ異なる。そこにはまったく規則性はない。このような箇所は数多く確認できる。したがって、型枠解体組立作業は大枠ではなく、2連枠を1単位として取扱ったことを示している。2連枠は10kg程度(筆者試算)であり非常に軽い。必要な労働者数さえ動員すれば全周の型枠を短時間で引き上げることができる。写真5.1-8は昭和37年の塔型枠解体中の写真である。この工事では縄梯子を利用して解体した2~3連型枠をロープで吊り下げており、大枠として取り扱っていない。

5.1.4 外型枠の締付方法

吉田主任技師は設計に際し旧日鉦佐賀関精錬所煙突、原町無線塔の施工方法を調査している²⁾。佐賀関の標準枠の型枠高さは5呎5吋(1m65cm)、幅5吋(13cm)、厚さ1吋半(38mm)、締付ワイヤーは3/8吋(10mm)4条である³⁾。原町の型枠高さは4呎6吋(1m37cm)、幅と厚さとワイヤーの仕様は不明である⁴⁾。両塔とも東洋コンプレッソル社の施工になることから原町の型枠厚さと締付ワイヤーは佐賀関と同じ仕様で施工されたものと判断する。

写真5.1-9は旧日鉦佐賀関精錬所煙突、写真5.1-10は原町無線塔の外型枠拡大写真である。両塔とも4段の締付ワイヤーを配置して施工している。

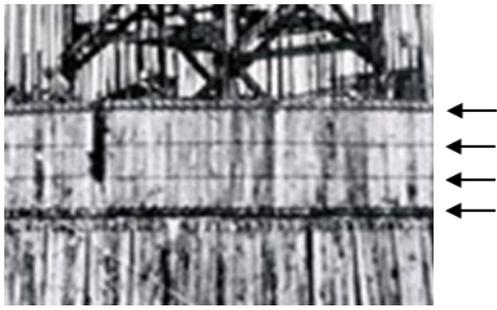


写真 5.1-9 旧日鉱佐賀関精錬所煙突の4段の型枠締付ワイヤー



写真 5.1-10 原町無線塔の4段の型枠締付ワイヤー

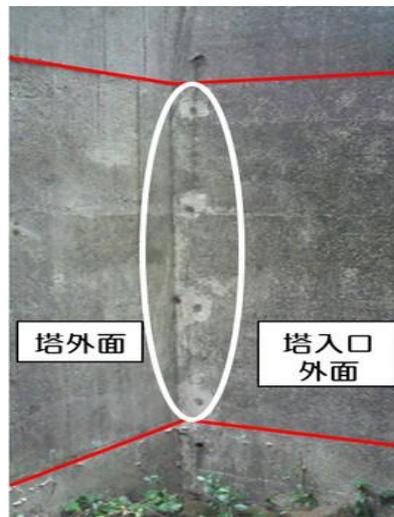


写真 5.1-11 締付用ワイヤーを通した4段の鞘管跡(○印)

針尾無線塔でも、4章の**写真4.3-2**にかすかに4段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5.1-11**で確認できる。上下の赤線の間は1リフトである。塔入口コンクリートには、ワイヤーを通した4段の鞘管(外径34mm鋼管)が埋め込まれたまま残されており、入口の内壁でも確認できる。4段の締付用ワイヤーを鞘管に通し、外型枠外周を締付けたことは明らかである。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厚さ1吋半(38mm)の型枠を3/8吋(10mm)のワイヤーにより締め付けたものと判断する。図5.1-1は塔入口部分の鞘管を取付けた箇所の詳細模式図である。

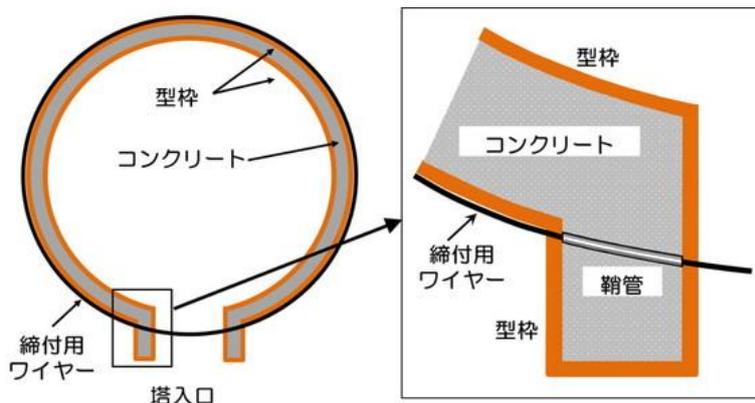


図 5.1-1 締付金具取付模式図
 左(a): 締付用ワイヤー平面図 右(b): 鞘管取付状況図



図 5.1-2 締付金具取付詳細模式図

写真 5.1-12 締付金具取付跡

次にワイヤー締付金具本体と型枠との固定方法を検証する。

写真 5.1-12 のような四角いコンクリートの小さな突起物が 1 枠に 2 個，1 リフトに 4 か所確認できる。1 組の締付金具を型枠の穴を通した上下 2 本のボルトで型枠に固定している。図 5.1-2 は締付金具取付部の詳細模式図である。

以上が型枠の締付システムである。我が国における大規模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⁵⁾したウェーバーチムニー社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採用されていたことを証明している。

5.1.5 内型枠の施工方法

無線塔内部は非常に暗くコンクリート表面に残る内型枠の全体像は確認できない。内型枠単体の寸法は、前述したように幅は外型枠より 2cm 狭い 12cm、高さは外枠と同じ 1.37m である。内型枠も円周長の調整や転用等、外型枠と同様の方法で施工されたものと判断する。詳細は後述する。

5.2 塔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。

5.2.1 塔コンクリートの打継目

コンクリートの打継目やひび割れ部には乳白色の生成物を見かけることがある。この生成物には2種類ある。一つ目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、セメントの石灰分の微粒子や骨材の微粒分が上昇して表面に堆積した乳白色の泥状の層であるレイタンス、二つ目はコンクリートの隙間に浸入した水に水酸化カルシウムが溶出し、打継目やひび割れ部の表面に浸出して結晶化する白華現象である。白華現象は水が垂れ落ちたような模様となる。

写真5.2-1は無線塔のコンクリート打継目に見られる乳白色の2～3mm程度のレイタンスの層(矢印)を写したものである。このような現象は各リフトの打継目で確認できる。写真5.2-2は道路構造物などの打継目の白華現象を写したものである。レイタンスと白華現象は根本的に生成過程が異なる。このことから、無線塔の乳白色の物質はレイタンスであることは明白である。



写真 5.2-1 無線塔の打継目のレイタンス(矢印)



写真 5.2-2 道路構造物などの打継目の白華現象

前述したように「レイタンスの有害性」については川口虎雄が1916(大正5)年発行の「土木工学」のなかで国内で初めて触れている⁶⁾。翌年には、「米國混凝土及鐵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。」⁷⁾と報告されたことによってに真剣な議論が始まる。その後、針尾無線塔が完了した翌年の1923(大正12)年6月には九州帝国大学の吉田徳次郎が「新旧混凝土ノ接合ニ就テ」のなかで「新旧混凝土の継手を有効ならしめる方法として旧混凝土の表面のレイタンスを除去し・・・」と報告⁸⁾している。また1926(大正15)年10月に鉄道省の長屋修吉が「膠着力が弱い比重の軽い分子が表面に浮き出て膠着を悪くする。」⁹⁾、さらに昭和5年7月に内務省の宮本武之輔が「レイタンスの層は平行なる應裁力に對しては可なりその強度が減損するのではあるまいか。例へば地震の時などに柱が裁力や振(ねじる)力の作用を蒙る場合の如きがその例である。」¹⁰⁾等の議論が続き、ようやく昭和6年9月に発行された「鐵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。

このように無線塔建設当時は、まだレイタンスの有害性について議論が始まったばかりで、その認識がなく除去されなかったものとする。ただし、真島健三郎は小樽築港工事において打継目は「熊手で表面を搔き荒らし、次層の充填に掛る。」ことを鉄則としていたことから、レイタンスが残っている箇所があるものの無線塔の工事でも搔き荒らし作業は実施したものと推察する。

5.2.2 塔コンクリートのひび割れ

無線塔の内側には縦方向の数条の乾燥ひび割れと沈下ひび割れ、外側には微細な沈下ひび割れが確認できる。内側のひび割れは、完成当時すでに確認されており、支障がないと結論付けられている¹¹⁾。写真5.2-3はその写真である。



写真 5.2-3 完成当時発生していたと考えられる乾燥収縮ひび割れ(右向き矢印)と沈下ひび割れ(上向き矢印)

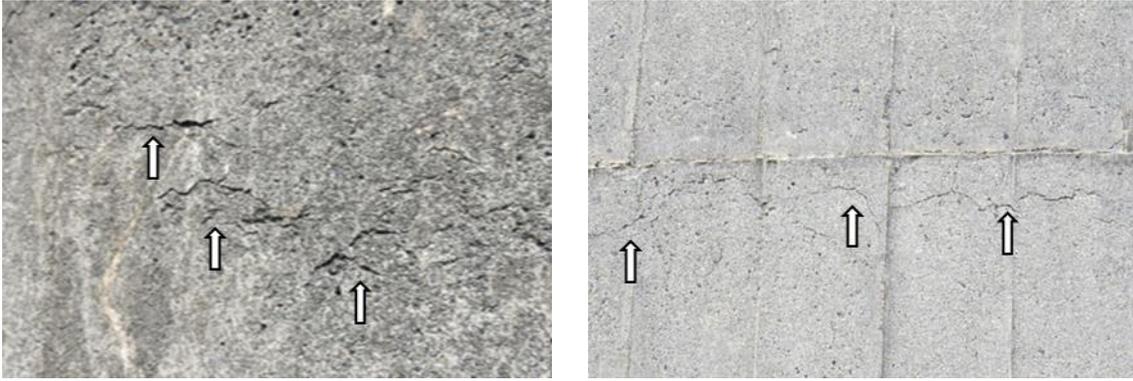


写真 5. 2-4 外側の沈下ひび割れの現象(矢印)

写真 5. 2-4 は外側の微細な沈下ひび割れの現象を写したものである。外側の乾燥収縮ひび割れは確認できない。前述したように当時の鉄筋コンクリートは、施工性を考慮して水を加えることにより軟らかさを調整していた。余分な水は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き起こす。この沈下現象は中練り・軟練りの場合に見られる現象で締固め後数時間のちには発生する。

当時はまだ沈下ひび割れについての認識はなく、吉田徳次郎は無線塔完成19年後の1940(昭和15)年にコンクリートの沈下現象の有害性を指摘している。「土木建築工事画報昭和十五年四月号:鉄筋コンクリートに関する最近の問題一二について」のなかで「水平位置の丸鋼の下部に水膜が生ずるためにコンクリートとよく附着しない」。さらにこの対策として外国の実験例を取り上げ「コンクリートを打ってから4時間後に再び振動を加えたものは振動を加えなかったものより30%乃至50%高い附着強度を示す。」と指摘している¹²⁾。

この再振動については、この指摘、16年後の「昭和31年制定コンクリート標準示方書〔鉄筋コンクリート標準示方書〕」に「下部コンクリートがいくぶん固まり始めているときに、上部コンクリートを打ちたす場合には、上部コンクリートを締め固めるさいに振動機を下部コンクリート中にさし込み下部コンクリートが再振動締固めをうけるようにしなければならない。」とあり、再振動を上下層の一体化を目的として規定している¹³⁾。その後、数度の改訂を経て「2007年制定コンクリート標準示方書〔施工編〕」において「再振動を行う場合には、コンクリートの締固めが可能な範囲でできるだけ遅い時期がよい。」、また、「再振動を適切な時期に行うと、コンクリートは再び流動性を帯びてコンクリート中にできた空げきや余剰水が少なくなり、コンクリート強度および鉄筋との付着強度の増加、沈下ひび割れの防止などに効果があ

る。」と解説している¹⁴⁾。

これは 1970 年頃から始まった高度経済成長期に建設された構造物において、深刻なコンクリートの劣化が社会問題化することでコンクリートの耐久性が議論となり、信頼性のあるコンクリート構造物の実現のために規定されたものである。吉田徳次郎が 1940(昭和 15)年に再振動の必要性を指摘した 67 年後にこの目的に合致したものに改訂され、吉田徳次郎の先見性にただただ驚かされるばかりである。

写真5.2-5は2010(平成22)年頃より使用され始めた再振動に適した長尺の高周波バイブレーターである。この機種の本機部分はすべて鋼材を使用しているため鉄筋に接触しないように垂直に深く挿入することができる。

ここで現代の構造物に見られる沈下ひび割れ現象の代表例の写真(筆者撮影)を掲載する。写真5.2.6は型枠セパレーターコーン周辺に発生した沈下ひび割れ現象、写真5.2.7は橋脚の柱部と梁部の断面変化部に発生した沈下ひび割れ現象、写真5.2.8は中空三角ブロック(80t)の梁基部に発生した沈下ひび割れ現象である。すべて再振動を掛けていれば防ぐことができたひび割れである。特に写真5.2.7は断面変化部において柱部のコンクリートの沈下を待って施工するべきところを、連続して打設したことによるものである。



写真 5.2-5 長尺高周波バイブレーター



写真 5.2-6 型枠セパレーターコーン周辺に発生した沈下ひび割れ現象



写真 5.2-7 T型橋脚の断面変化部に発生した沈下ひび割れ現象



写真 5.2-8 中空三角ブロック(80t)に発生した沈下ひび割れ現象



写真 5.2-9 打継目の型枠隙間から
漏水した水の分離現象



写真 5.2-10 型枠の隙間に
漏れ出たモルタル (○印)

5.2.3 塔コンクリートの水の分離現象

写真5.2-9は、コンクリート打設中にコンクリートのなかの水が分離して打継目の型枠隙間から漏水し、骨材が露出してジャンカ状になった状況を写したものである。この現象も水が多い中練り・軟練りの場合に見られる現象である。

5.2.4 塔本体の型枠の隙間から漏れ出たモルタル

写真5.2-10は、型枠の隙間にコンクリートのモルタル分が漏れ出て硬化した現象を写したものである。約100年を経た現在でも当時のまま壁面に残っている。これも沈下ひび割れや水の分離現象と同様、中練り・軟練りのコンクリートを使用した場合に見られる現象である。

5.2.5 塔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=1：1.5：3¹⁵⁾、旧日鉱佐賀関精錬所煙突が1：2：3.5¹⁶⁾、原町無線塔が1：2：4¹⁷⁾、針尾無線塔がペーストに富むセメント：火山灰：砂：碎石：砂利=1：0.2：2：1：2.5の記録がある¹⁸⁾。火山灰を配合に取り入れているのは針尾無線塔のみで、広井勇、真島健三郎の系譜を受け継ぐ設計者吉田直が、周囲を海で囲まれ、常時塩分を含んだ潮風が吹く環境にあることに配慮して決断したものと判断する。

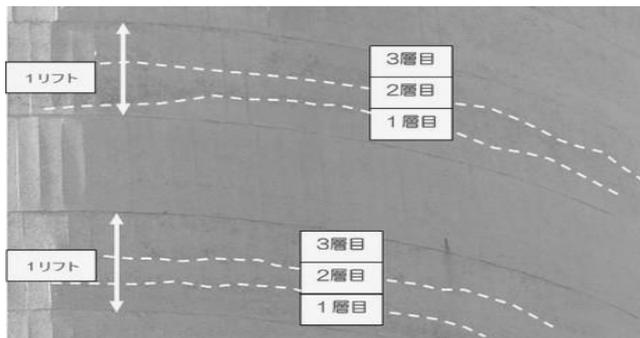


写真 5.2-11 1リフト内のコンクリートの層境

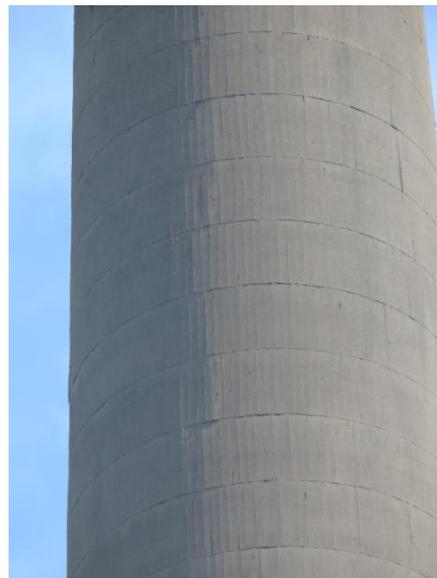


写真 5.2-12 層境やジャンカがない見事な出来栄

ところで長崎県には 2015(平成 27)年に世界文化遺産に登録された端島,通称”軍艦島”の鉄筋コンクリート高層住宅群がある。

このなかには針尾無線塔着前の 1916 (大正 5) 年に完成した鉄筋コンクリート 7 階建住宅(30 号棟)もある。しかし現在では、鉄筋腐食による劣化が激しく人が近寄ることができないほどの状況にある。日本建築学会では 1929(昭和 4)年設定の「コンクリート及鉄筋コンクリート標準仕様書」¹⁹⁾のなかで塩分規制を初めて規定しており、軍艦島に関する既往の研究²⁰⁾では内在する異常な塩化物イオン量の調査結果から、コンクリートに海水や海砂を使用したのではないかと推論している。

次に針尾無線塔の締固めについて述べる。

コンクリートの締固め方法について日比忠彦は、「柱状の構造物は堅練で、できるだけ薄層で搗固めよ、鉄筋の交錯があるため堅練で搗固めが困難である時は、むしろ軟練を用いて十分に搗固めたほうが、緻密な仕上げが得られる場合もある。」²¹⁾と記載している。

写真 5.2-11 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ジャンカ(豆板)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、2 章の図 2.2-6 に示すような搗固蝟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。写真 5.2-12 は層境やジャンカがない見事な出来栄の写真である。おそらく長時間搗固めたのではないか

と推察される。

2章の写真2.2-7は同じ佐世保鎮守府が無線塔に着手する9年前の明治42年に完成させた「佐世保上水道第一拡張工事」の浄水池工事の写真である。この写真の左側奥に搦固蛸を持った14人程の労働者が写っている。この天端幅が60cmの狭い壁の構造物の搦固め作業に多くの労働者が配置されている。筆者は50cm×50cmの面積を直径10cmの搦固蛸でくまなく搦固める実験をしたところ約2分を要した。搦固蛸の底は一定の面積を有しているため、搦く作業も引上げる作業もコンクリートの抵抗でスムーズな動作ができない。上記浄水池工事において仮に14人の半数の7人を1グループとして1人ずつ並んで搦固め作業を進めた場合、延長50cm1層に対し7人×2分で14分を要することになる。このように佐世保鎮守府では搦固作業を重要な工程と位置づけ相当な手間を掛けていたことが推察できる。これはひとえに明治33年に佐世保鎮守府に着任していた真島健三郎の指導によるものである。

5.2.6 塔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について検証してきたが、この結果は、すべて中練り・軟練り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、長時間の搦固めによって建造されたことを証明している。

5.3 塔内部の鋼製ステージとその必要性

写真5.3-1は塔内部の井桁状の鋼製ステージである。高さ137mの区間に10段ほど設置されている。木製の内足場がこの鋼製ステージの中央部分に固定されていたことは明らかである。しかし、塔躯体の施工は、この内足場のみでは施工できない。内足場と塔内壁面との空間を埋める足場(作業床)が必要である。作業床は、鋼製ステージの上に木製支柱を立ち上げ、必要な床高さ毎に足場板を隙間なく敷きつめたものと判断する。なお、鋼製ステージ下の円形状のものは、3塔完成後の塔頂部を結ぶ空中線が、風圧等の影響で切断されないように設置された緩衝装置設備(ダンパー)の一部である。



写真 5.3-1 塔内部の井桁状の
鋼製ステージ



写真 5.3-2 測量用重錘
(大正鉄筋コンクリート(株)提供)

ところで、塔構造物を鉛直に施工するには、塔の中心点を上方に移してゆく測量技術が必要である。現在でも、高い塔や煙突の測量には簡便な方法として重錘が使用されているが、当時も重錘を使って、固定された上方の鋼製ステージに中心点を随時移設していったものとする。写真5.3-2は現在も使用されている重錘である。腕の太さと比較するとその大きさが分かる。

このほか塔内部には、塔頂部に向かってまっすぐ伸びる写真 5.3-3 の鋼製タラップや写真 5.3-4 の塔頂部を結ぶ空中線の展張用ウインチも現存している。



写真 5.3-3 昇降用タラップ



写真 5.3-4 空中線展張用ウインチ

参考文献

- 1) 土木学会誌第2巻第5号：久原鋳業会社佐賀関精錬所の大煙突， p.1463， 1916.10
- 2) 土木学会日本土木史(大正元年～昭和15年)， p.780， 1965.12
- 3) 土木学会誌第2巻第5号：久原鋳業会社佐賀関精錬所の大煙突， p.1463， 1916.10
- 4) 大森房吉：震災予防調査会報告書， 第97号甲， p.25， 1921.8
- 5) Weber Chimneys:The Highest Chimney in the World， 1919.8
- 6) 川口虎雄：土木工学中巻， p.429， 1916.11
- 7) 土木学会誌第3巻第3号：米国混凝土及鉄筋混凝土調査総合委員会報告， p.806， 1917.6
- 8) 吉田徳次郎：新旧混凝土ノ接合ニ就テ， 土木学会誌第9巻第3号， pp.471-480， 1923.6
- 9) 長屋修吉：最新研究の基本知識 コンクリートの話， 工事画報10月号， pp.3-12， 1926.10
- 10) 宮本武之輔：再び新舊コンクリートの接合に就いて， 土木学会誌第16巻第7号， pp.477-479， 1930.7
- 11) 土木学会日本土木史(大正元年～昭和15年)， p.780， 1965.12
- 12) 吉田徳次郎：鉄筋コンクリートに関する最近の問題一二について， 土木建築工事画報， p.142， 1940.4
- 13) 土木学会：昭和31年制定コンクリート標準示方書〔施工編〕， p.24， p.74， 1958.5
- 14) 土木学会：2007年制定コンクリート標準示方書〔施工編〕， p.121-122， 2008.3
- 15) (株)ジャパンエナジー：大煙突の記録， pp.102-105， 1994.2
- 16) 土木学会誌第2巻第5号：久原鋳業会社佐賀関精錬所ノ大煙突， p.1463， 1916.10
- 17) 大森房吉：震災予防調査会報告書， 第97号甲， p.25， 1921.8
- 18) 土木学会日本土木史(大正元年～昭和15年)， p.780， 1965.12
- 19) 建築学会 コンクリート及鉄筋コンクリート標準仕様書， pp.3-4， 1929.4
- 20) 楠 麻希， 今本啓一， 野口貴文， 下澤和幸：軍艦島構造物群の劣化調査， コンクリート工学年次論文集， Vol,35， No.1， 2013
- 21) 日比忠彦：鉄筋混凝土の理論及びその応用(上巻)， p.117， 1916.5

第6章 各工種の施工方法の推測図

6.1 塔基礎工

6.1.1 基礎掘削工

3塔の基礎掘削深さは地形によって異なる。掘削深さを基礎の高さ程度とすると1基の掘削数量は約 $2,500\text{m}^3$ から $3,000\text{m}^3$ （筆者試算）になる。ちょうどこの大正時代後半から建設機械化の進展が始まるが、掘削数量も少ないことからダイナマイト併用の人力掘削方法とし、4章の写真4.1-2で確認できたように周囲の地山を一部開削した地盤に軌道を敷設して、低くなっている外側の斜面にトロッキ運搬処理したものとする。図6.1-1に基礎掘削状況推測図を示す。

6.1.2 基礎コンクリート工

基礎コンクリートは法肩に外周軌道がある写真4.1-1、ミキサー室から基礎天端へ延びる軌道栈橋や作業通路栈橋がある写真4.1-2の状況から、法肩の軌道や内足場への軌道栈橋を利用して打設したことは明らかである。図6.1-2に基礎コンクリート打設状況推測図を示す。

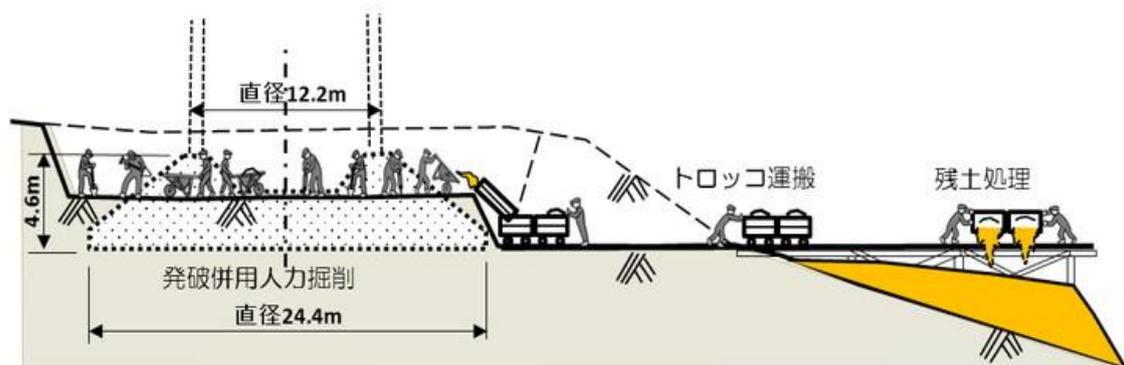


図 6.1-1 基礎掘削状況推測図

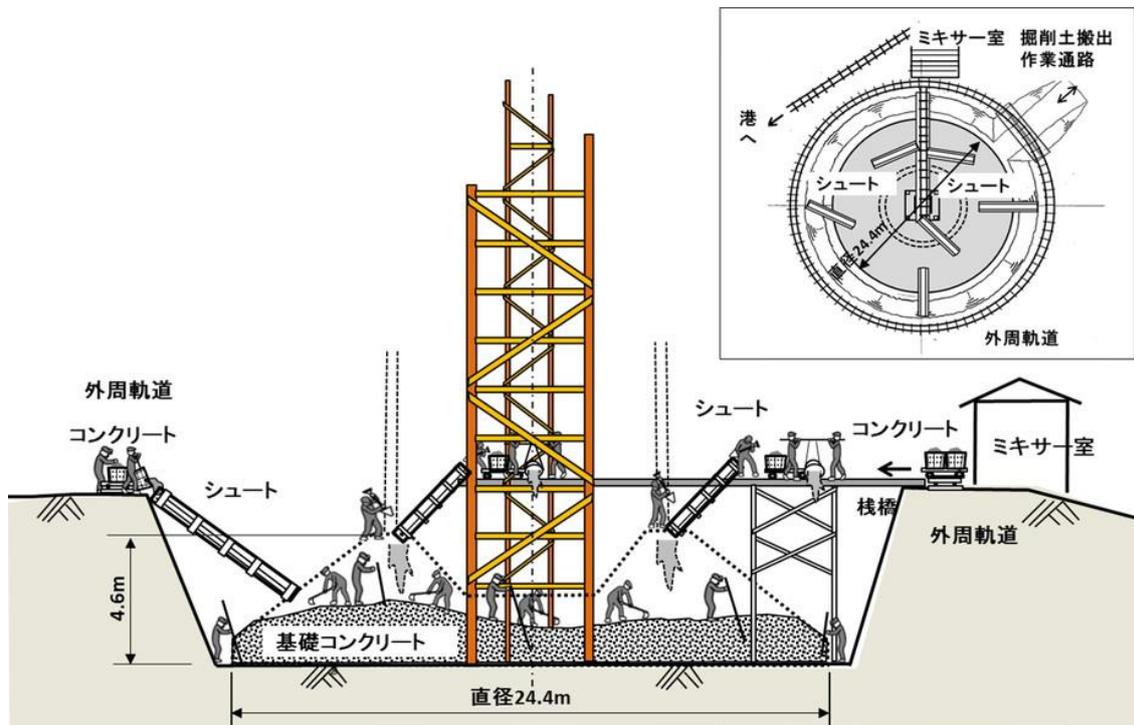


図 6.1-2 基礎コンクリート打設状況推測図（右上の枠内は平面図）

6.2 塔本体工

6.2.1 塔足場工

前述したように、塔内部の足場は、中央部の内足場と鋼製ステージの上に組上げた作業床を隙間がないように敷き詰め、外足場は型枠に取付けた専用の金物(後述図 6.2-3 型枠施工図参照)に差し込んで固定したり、ロープにより吊下げて使用したものとする。図 6.2-1 に足場平面推測図を示す。

6.2.2 塔鉄筋組立工

塔本体鉄筋工の施工状況を示す写真は現存していない。塔頂部への資材運搬において最も大きな課題は曲線状の帯鉄筋の運搬である。このような施工条件の場合、外部の索道を利用することが一般的であるが、塔の遠景写真に索道らしきものは写っていない。帯鉄筋は径が細いため人力により容易に加工できることから、直線状の鉄筋を内足場内の空洞部を通して吊上げ塔頂部にて加工したものと推察する。

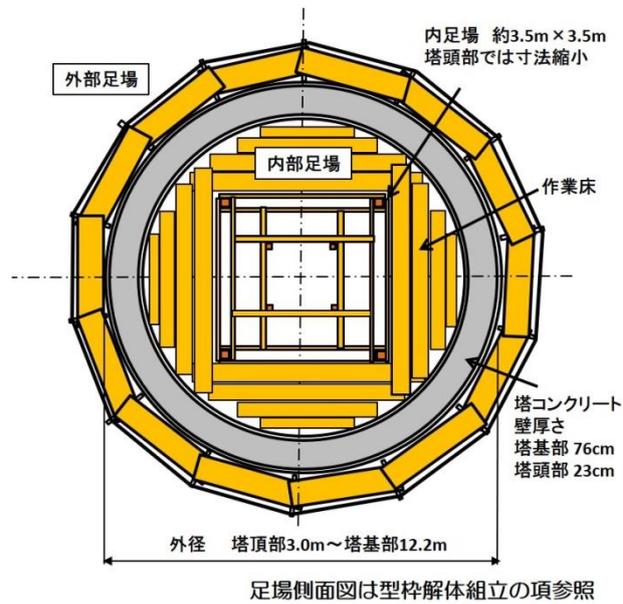


図 6. 2-1 足場平面推測図

6. 2. 3 塔型枠の構造と組立解体

図 6. 2-2 は昭和 40 年頃のある煙突工事の型枠施工図の一部である。型枠は高さ 1,500mm・幅 150mm・厚さ 30mm の 2 連枠である。外型枠はなまし鉄線 7 段締付け、内型枠は丸鋼 $\phi 19$ を 3 段配置し、内梁によって押えつけるような構造になっている。

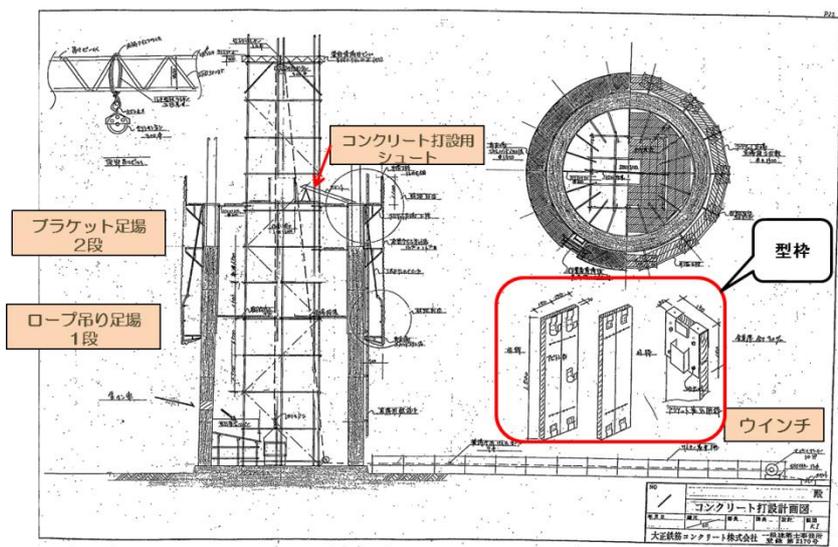


図 6. 2-2 昭和 40 年頃の煙突工事施工図
(大正鉄筋コンクリート(株)提供)

図6.2-3は施工図の型枠の拡大図である。図6.2-4に示す通り内外型枠の上下端部は型枠ずれ止め防止用の平鋼を挿入する仕組みになっている。そのほか、ブラケット足場のフックを差し込む金物も取付けられている。ここで図6.2-3○印と針尾無線塔の写真6.2-1の締付用ワイヤーを載せかけている金物(最上段矢印部)とを比較してみると同じような形状をしていることが分かる。

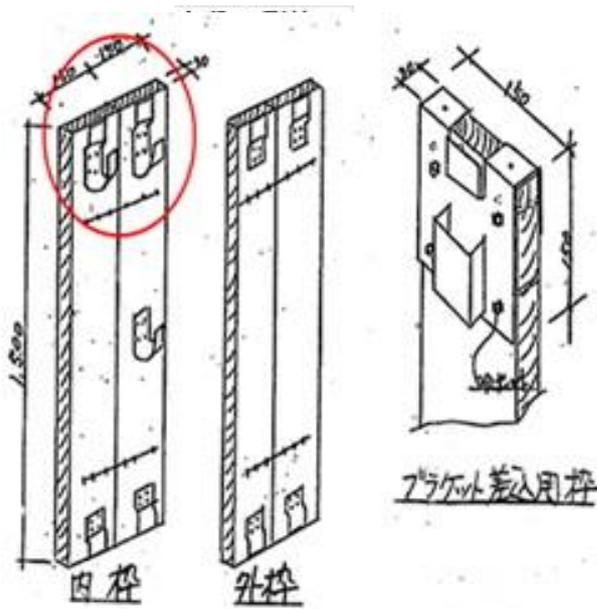


図 6.2-3 型枠施工図

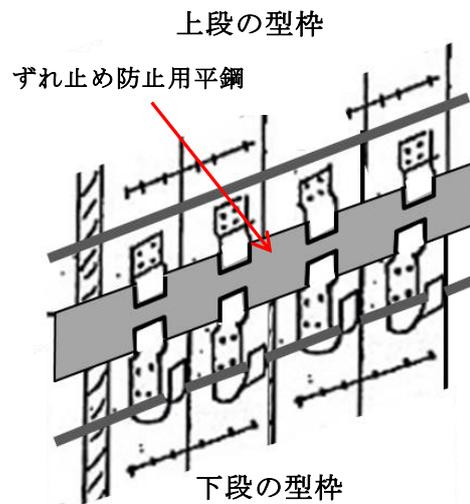


図 6.2-4 上下段型枠ずれ止め防止用平鋼



写真 6.2-1 型枠締付ワイヤー取付金物(矢印)と模式図

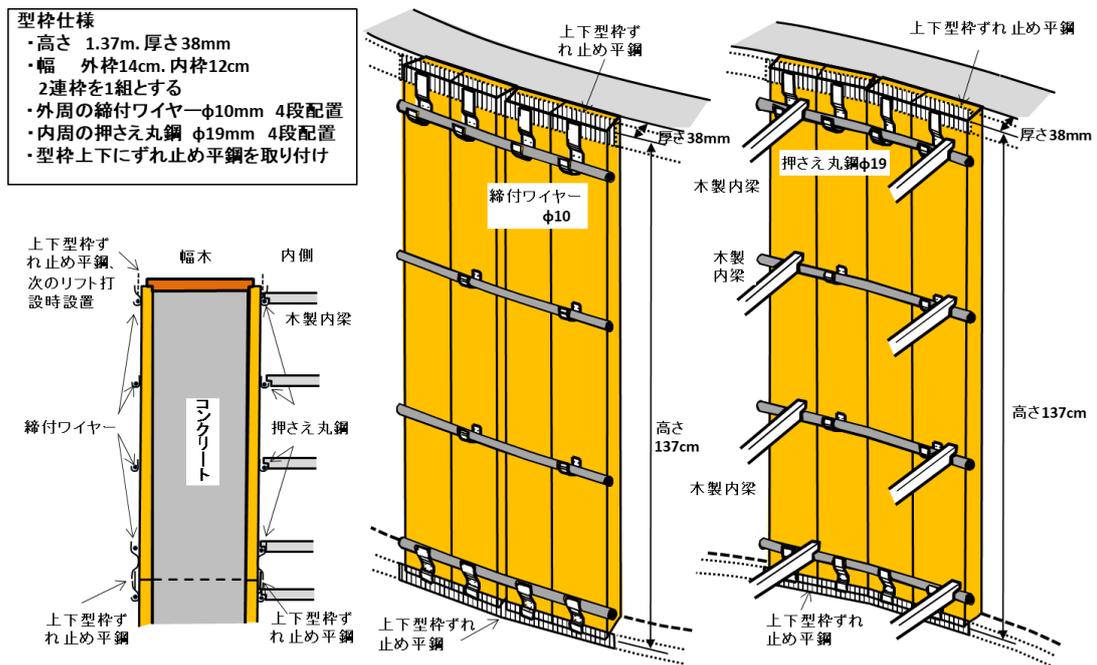


図 6.2-5 型枠構造詳細図

左 (a) 型枠断面図

中 (b) 外型枠詳細図

右 (c) 内型枠詳細図

現代では、向かい合う型枠の間隔を保持するためにセパレーターを使用する。大量に使用され始めた時期が昭和30年以降であることから、この時期まで外周をワイヤーやなまし鉄線を使用して締付け、内側を丸鋼により押えつける工法が継承されてきたものとする。そこで、図6.2-3の型枠施工図と写真6.2-1をもとに、当時の針尾無線塔の型枠の仕様と構造推測図を図6.2-5に、塔型枠解体組立状況推測図を図6.2-6に、塔型枠平面推測図(4分の1部分図)を図6.2-7に示す。

6.2.4 塔コンクリート打設工

内足場の中央部は4章で述べたように地上部から塔頂部まで、人荷昇降用の空洞(約1.5m×1.5m)を保持した構造となっている。昭和40年頃の煙突工事の施工図によると、この木製足場が単管足場に変わり、中央部は同じく空洞になっている。この空洞内をウインチによりコンクリートバケットを吊上げ、塔頂部においてシュートを使用して打ち込み、内部振動機による締固め方法が採用されている。大正時代と昭和40年頃の施工方法は、締固め方法を除いて大きな相違はなく、無線塔施工時の技術がそのまま継承されていることがうかがえる。図6.2-8に塔コンクリート打設状況推測図を示す。

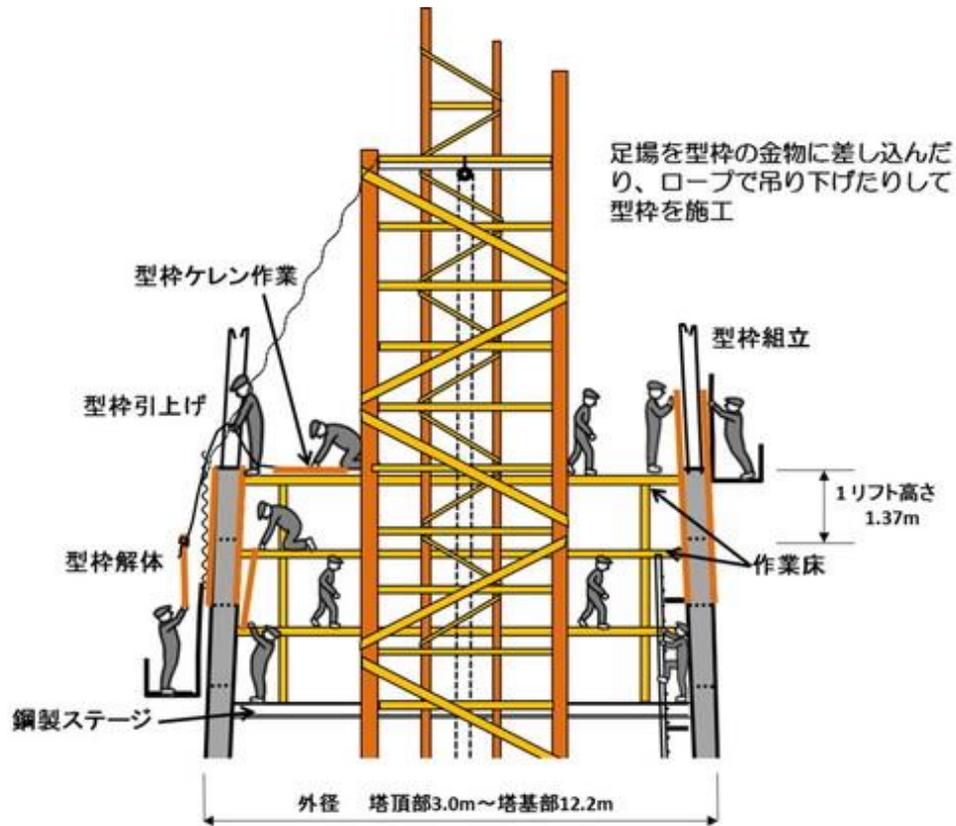


図 6.2-6 塔型枠解体組立状況推測図

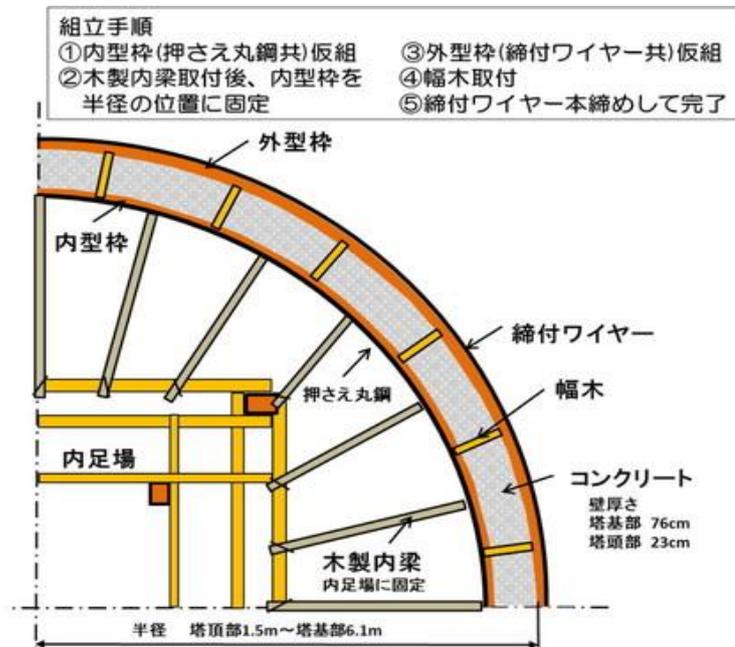


図 6.2-7 塔型枠平面推測図(4分の1部分図)

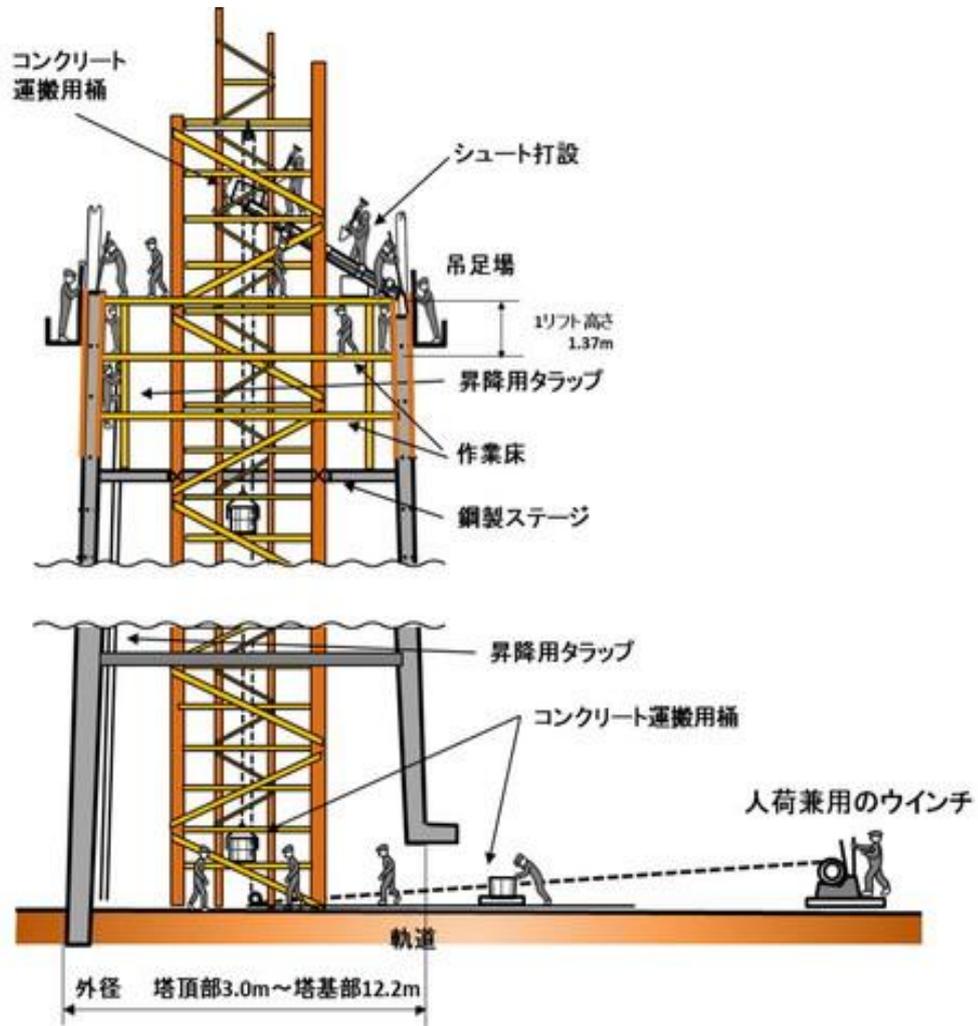


図 6.2-8 塔コンクリート打設状況推測図

第7章 針尾無線塔のコンクリートの健全度

7.1 コンクリートの圧縮強度と中性化深さ

塔基部3箇所のコンクリート圧縮強度と中性化深さの調査結果を「佐世保市教育委員会無線塔強度調査結果」より表7.1-1に転記する。

コンクリートが空気中の二酸化炭素を吸収してアルカリ性が低下する現象を炭酸化といい、さらに進んでpHが11程度以下になる現象を中性化という。中性化は鉄筋の不動態皮膜を損い耐腐食性を低下させる。写真7.1-1は鉄筋かぶり部分のフェノールフタレイン溶液噴霧後の状況で、朱色に着色した部分はアルカリ性が保持できていることを示している。左の外部写真において一部に白色に写っている部分があるが、これは木漏れ日の影響によるものである。

表 7.1-1 塔基部コンクリート圧縮強度と中性化深さ

	圧縮強度(N/mm ²) 3個の結果	中性化深さ(mm) 3個の平均値
外部	23～25	20
内部	27～34	38

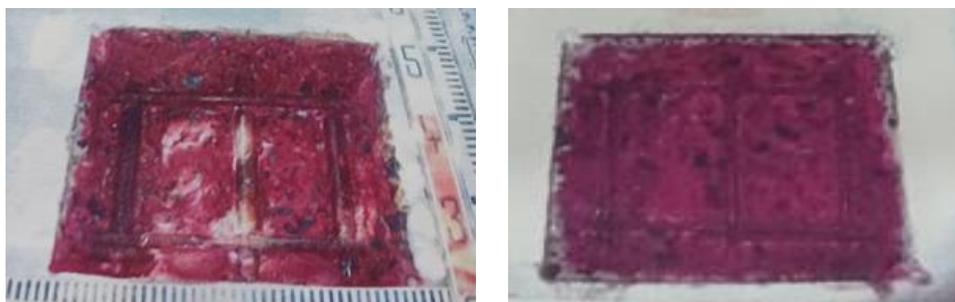


写真 7.1-1 塔基部コンクリート中性化試験結果
左： 外部 右：内部

7.2 塔基部の鉄筋のかぶりと配筋

塔基部鉄筋のかぶりと配筋を表7.1-2に同じく転記する。中性化の進行が鉄筋まで及んでいないため、まったく腐食もなく健全な状態である。

表 7.1-2 塔基部鉄筋のかぶりと配筋

	かぶり (mm)	配筋(錆は全くなく健全である)
外部	88	軸鉄筋(縦方向) $\phi 32-177@$
		帯鉄筋(円周方向) $\phi 19-200@$
内部	95	軸鉄筋(縦方向) $\phi 16-177@$
		帯鉄筋(円周方向) $\phi 13-250@$



写真 7.2-1 塔基部の発錆がみられない鉄筋
左：外部 右：内部

7.3 針尾無線塔のコンクリート健全度のまとめ

近年、戦後の高度成長期に施工されたコンクリート構造物の劣化が問題になっているが、この針尾無線塔の調査結果は、ほぼ100年を経ようとしている現在でも極めて健全な状態を維持していることを証明している。

ここで注目すべきことは中性化深さである。中性化の要因として、一般にコンクリートを構成する材料や配合、施工方法、養生方法と期間、周辺環境等があげられる。特に配合の水セメント比の大きさに影響される。一般に、水セメント比が小さいと緻密な組織が生成され、反対に大きいと空隙が多い組織となる可能性がある。緻密な組織の生成は炭酸ガスの侵入を抑制できる。この無線塔の中性化深さは、外部平均

20mm, 内部平均 38mm であり, 当時のほかの構造物と比較しても中性化の進行は遅い方である²⁾.

しかも, この無線塔の中性化の進行は内部より外部が遅い. 中性化の進行に関する既往の研究^{3),4)}において, 「雨水がかかる構造物の外部は内部に比べて湿潤状態に置かれることが多く, 炭酸ガスの拡散が進まないことにより中性化の進行が遅くなる。」との成果が示されている. 無線塔の外部の中性化の進行が遅いことも同様の要因によるものと判断する. このほかに, 昭和 13 年から 15 年に建造されたの軍事施設のなかには, 容積配合, セメント:砂:砂利=1:2:4 以上にペーストに富み, 混和剤(減水剤)を使用した現代の同じ強度レベルのコンクリートより毛細管空隙が少なく, 緻密なコンクリートがあるとの研究成果も報告⁵⁾されている. この時期, 海軍省建築局長の職(昭和 8 年から 16 年)にあるのは針尾無線塔の建造を指導した吉田直である. これらの軍事施設の配合や施工方法についても吉田直が指導した可能性も考えられる.

ところで針尾無線塔の容積配合はセメント:火山灰:砂:砕石:砂利=1:0.2:2:1:2.5 である. コンクリートの耐久性に寄与する火山灰をセメントの成分の一部と考えるとセメント+火山灰:砂:砕石+砂利=1:1.7:2.9 となり骨材が少なくペースト分が多い配合といえる.

一方, 戦後の高度成長期のコンクリートの施工方法は, コンクリートポンプ車を使用して圧送し内部振動機を使って締固める方法が一般的になった頃であるが, コンクリートポンプ車の出現は大量施工が可能となった一方で, 圧送しやすい軟らかい配合が求められるようになった. こうして施工された構造物の中には無線塔の中性化速度を上回る構造物も多く発生している.

大正時代のコンクリートの締固方法は搗固蝟による搗固法であり, 何度も述べてきたが「堅練は表面に水を呈するまで永く搗固めよ, 中練は相当なる搗固めをせよ, 軟練は充分なる搗固めをせよ。」と唱えており, おそらく長時間をかけて搗固めていたことが読み取れる. この長時間の搗固めが緻密なコンクリートを生成し, 中性化の抑制にも寄与しているのではないかと判断する.

参考文献

- 1) 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.
- 2) 沢木大介:長期間経過した実構造物中のセメント硬化体のキャラクター化, 東京工業大学博士論文, pp.90-128, 2010.

- 3) 和泉意登志, 押田文雄: 経年建築物におけるコンクリートの中性化と鉄筋の腐食, 日本建築学会論文報告集, 第 406 号, p.5, 1989.12
- 4) 本名英里香, 阿久津裕則, 氏原菜摘, 伊代田岳史, 濱崎仁: 異なる環境条件が中性化進行に与える影響とその診断法の検討, (一社)日本非破壊検査協会シンポジウム, p.319, 2015.8
- 5) 沢木大介, 田中敏嗣, 黒田一郎, 米倉亜州夫: 竣工から約 70 年を経た構造物から採取したコンクリートの諸性状, 日本コンクリート工学会, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.1, p.601, 2008.

第 8 章 針尾無線塔のコンクリート健全度の検証

8.1 検証試験の概要

大正時代の無線塔の搦固めと戦後の高度成長期の内部振動機による締固めの施工方法の相違が、コンクリートの性状にどのような影響を与えるのか、同一容積配合のプレーンコンクリートを用いて試験体を作製し、ブリージング量、粗骨材の分離度、中性化速度と相関性が高い見掛密度・圧縮強度・細孔径分布と容積について、下記の要領で比較試験を実施し検証した。

試験体の大きさは内部振動機(φ40)の作用範囲を考慮して 50cm の立方体とした。試験体は搦固法 2 個、内部振動機締固法 1 個の型枠を準備し、図 2.2-6 を参考に、写真 8.1-1 のような先端直径 10cm の搦固蝟を試作して搦固め試験体を作製した。詳細な試験概要を表 8.1-1 に、試験体区分を表 8.1-2 示す。

そのほか搦固め状況を写真 8.1-2 に、完成した試験体を写真 8.1-3 に、コア採取位置図を図 8.1-1 にそれぞれ示す。



写真 8.1-1 試作した金属製の搦固蝟(先端直径 10cm)

表 8.1-1 試験概要

<p>配 合</p>	<p>1. プレーンコンクリート セメント：普通ポルトランドセメント 容積配合：当時の鉄筋コンクリートの標準配合 は、セメント C:砂 S:砂利 G=1:2:4 であったが、軍事施設 は富配合であったとの報告を参考に 1:2:3 とした。 2. スランブ：水量 W を調節して中練 8cm とした。 3. 水セメント比：59%となった。 4. 空気量：打設直前の試験結果は 0.5%であった。</p> <p style="text-align: center;">配合表(kg/m³)</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>セメント C</th> <th>砂 S</th> <th>砂利 G</th> <th>水 W</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">310</td> <td style="text-align: center;">735</td> <td style="text-align: center;">1095</td> <td style="text-align: center;">182</td> </tr> </tbody> </table>	セメント C	砂 S	砂利 G	水 W	310	735	1095	182
セメント C	砂 S	砂利 G	水 W						
310	735	1095	182						
<p>試験体の寸法</p>	<p>一辺 50cm の立方体 型枠の内側には漏水防止用のビニール袋を取付けた。</p>								
<p>打 設</p>	<p>工場で練り始めてから 30 分後に打設開始，60 分後に打設完了， 打設時の気温 5～6℃</p>								
<p>締固方法</p>	<p>1. 搗固め 試験体は A, B の 2 水準 搗固蛸は直径 10cm を使用 2. 内部振動機締固め 試験体は C の 1 水準 内部振動機は φ40mm を使用 3. 締固時間 “相当なる搗固め時間”について、黎明期の文献のなかに手がかりと なるものは一切見当たらない。そこで今後の研究の出発点の“試案” として、搗固蛸にて試験体 50cm 四方をくまなく 1 巡するのに要する 搗固時間 2 分を基準に、次のような搗固時間とした。内部振動機によ る締固めは現代の標準の時間 15 秒とした。 ・試験体 A の搗固め (以下 A 法と略す) 搗固時間：工場で練り始めて、60 分後から 22 分間に 1 巡×3 回 搗固め(延べ 6 分間搗固め) ・試験体 B の搗固め (以下 B 法と略す) 搗固時間：搗固め過ぎた場合の変化を調べるために、工場で練り 始めて、60 分後から 46 分間に 4 巡×3 回搗固め(延べ 24 分間搗固 め) ・試験体 C の締固め (以下 C 法と略す) 締固め時間：工場で練り始めて、70 分後に内部振動機で 15 秒間締 固め</p>								
<p>養生とコアの採取</p>	<p>冬期につき試験体は 6 日間の湿潤保温養生，保温養生温度 10～15℃ その後 11 日目まで屋外湿潤養生，12 日目にコア採取，コアの直径は、 JIS 規格に基づいて骨材寸法の 3 倍以上の φ100mm，高さ 200mm とし た。 コアは 28 日目の圧縮試験当日まで屋外自然養生</p>								
<p>試験項目</p>	<p>1. ブリージング量 2. 粗骨材の分離度(供試体表面の粗骨材個数の上下段比較) 3. 見掛密度 4. 圧縮強度 (上段下段に分けて 3 本ずつ採取コアの平均値) 5. 細孔径分布</p>								

表 8.1-2 試験体の区分

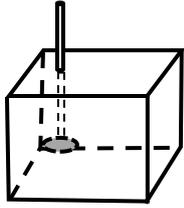
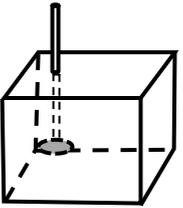
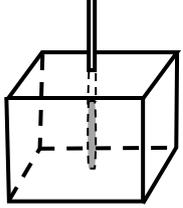
大正時代の搗固め (2水準)		高度成長期の締固め
試験体A	試験体B	試験体C
搗き棒(先端直径10cm)で 1回2分、22分間に3回 延べ6分間の搗固め	搗き棒(先端直径10cm)で 1回8分、46分間に3回 延べ24分間の搗固め	内部振動機φ40で中心部 を15秒間締固め
		



写真 8.1-2 搗固め状況



写真 8.1-3 完成した試験体

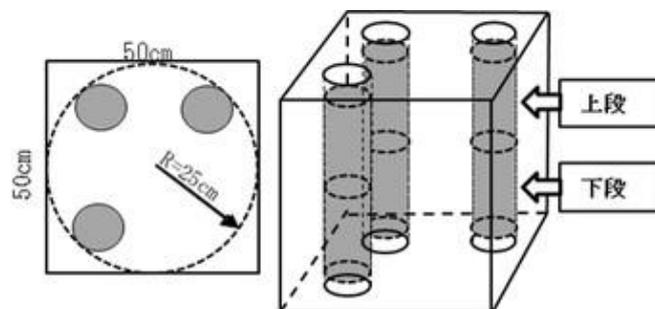


図 8.1-1 コア採取位置図
左(a)平面図 右(b)採取位置模式図

8.2 検証試験の結果

8.2.1 ブリージング量

図8.2-1はブリージング量の測定結果である。

ここでのブリージング量は一辺50cmの立方体から表面に上昇してきた水の総量を示す。ブリージング量は、内部振動機によるC法より搗固蛸によるA・B法が多く、特に長時間搗固めたB法は内部振動機締固めC法の3倍にも及ぶ量に達した。

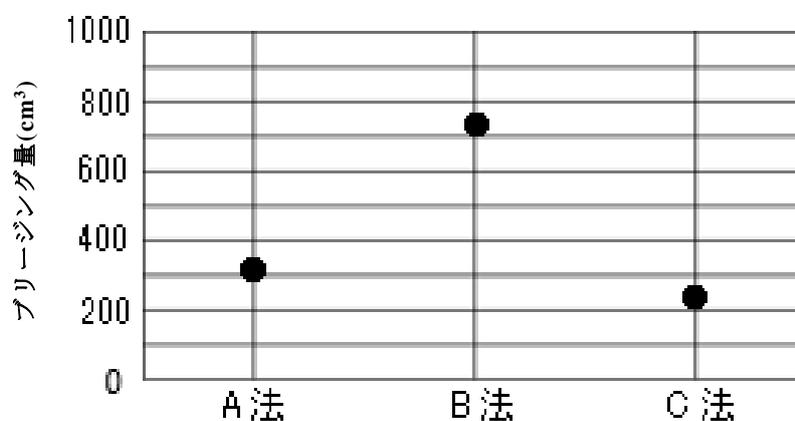


図 8.2-1 締固め方法 A・B・C とブリージング量の関係

8.2.2 粗骨材の分離度 (供試体表面の粗骨材個数の上下段比較)

供試体表面の上下段の粗骨材個数を算出し、上下段の比を分離度の指標ととらえて比較することに有意性があるものと判断し、検証した。

写真 8.2-1, 写真 8.2-2, 写真 8.2-3 は試験体 A・B・C のコア写真である。それぞれ左 3 本が上段表面の粗骨材個数、右 3 本が下段表面の粗骨材個数である。この上下段の粗骨材個数の分離状況を比較したのが表 8.2-1 である。表のなかで「分離度」とは上下段の粗骨材個数の比を表す。

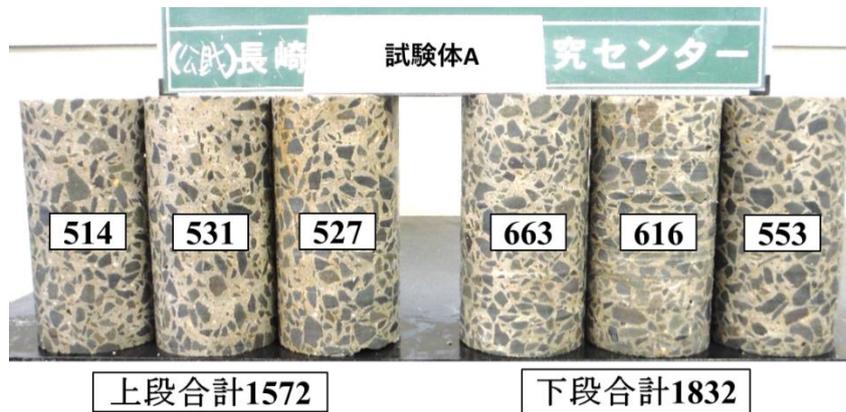


写真 8. 2-1 試験体 A の上下段の粗骨材個数

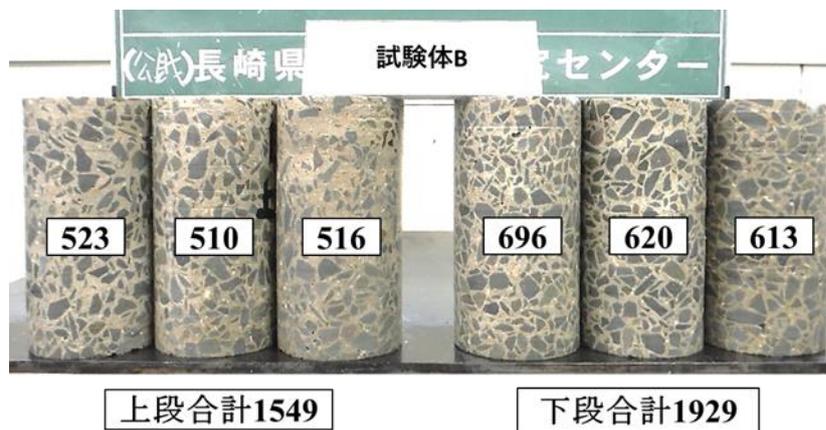


写真 8. 2-2 試験体 B の上下段の粗骨材個数

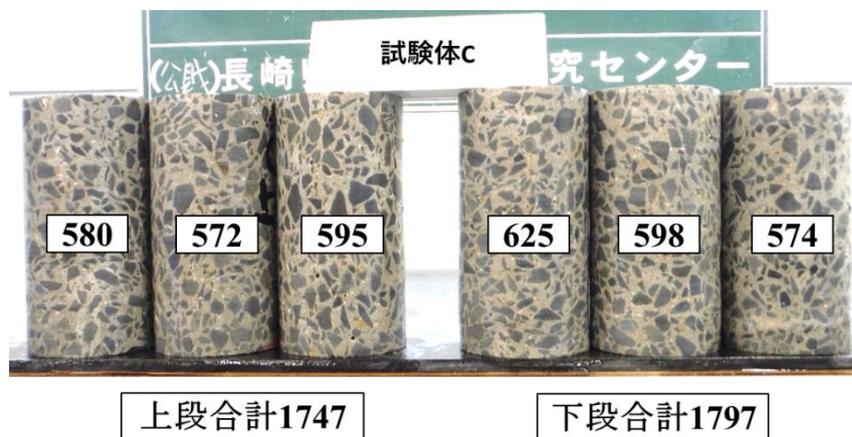


写真 8. 2-3 試験体 C の上下段の粗骨材個数

表 8.2-1 供試体表面の粗骨材個数と分離度

試験体		試験体A	試験体B	試験体C
		延べ6分間搗固め	延べ24分間搗固め	内部振動機15秒間締固め
供試体3本の表面の 平均粗骨材個数	上段	524	516	582
	下段	611	643	599
	計	1135	1159	1181
分離度(上段/下段の比)		(1.17)	(1.25)	(1.03)
現代の内部振動機締固め 試験体Cの分離度を1して比較		(1.14)	(1.21)	(1.00)

試験体 A・B・C の上下段合計粗骨材個数は 1135・1159・1181 である。3 つのデータは中央値から上下 2%の範囲にあり、3 体ほぼ均一な信頼できる試料と判断して以下のように評価した。

最初にそれぞれの試験体の上下段比に着目すると、試験体 C では上下段比 1.03 であり、現代の内部振動機による 15 秒間の締固め作業においてはほとんど粗骨材の沈降は認められなかったことを示している。既往の研究においても 60 秒以内の加振動は材料分離が発生するほどの影響がないとの成果もある¹⁾。

一方、試験体 A・B では上下段比 1.17, 1.25 である。直径 10cm の蛸により粗骨材が押し沈められ、明らかに搗固め作業の影響があったことが分かる。次に内部振動機試験体 C の分離度を 1 とすると、試験体 A・B の分離度は 1.14 と 1.21, となり、特に延べ 24 分間の搗固めた試験体 B においては 20%以上にも及ぶ差が生じる結果となった。

以上のように、コンクリート黎明期の長時間に亘る搗固め作業は、現代の内部振動機と比較して粗骨材の分離現象を伴っていたことが推察できる。

8.2.3 見掛密度

図8.2-2は見掛密度の測定結果である。

見掛密度の上下段平均値(g/cm³)は、A 法 2.36, B 法 2.37, C 法 2.36 である。平均値は A・B・C 法によって大きな差は見られないが、A・B 法では上段に比べて下段が明らかに大きな値を示した。搗固め効果の表れと判断する。

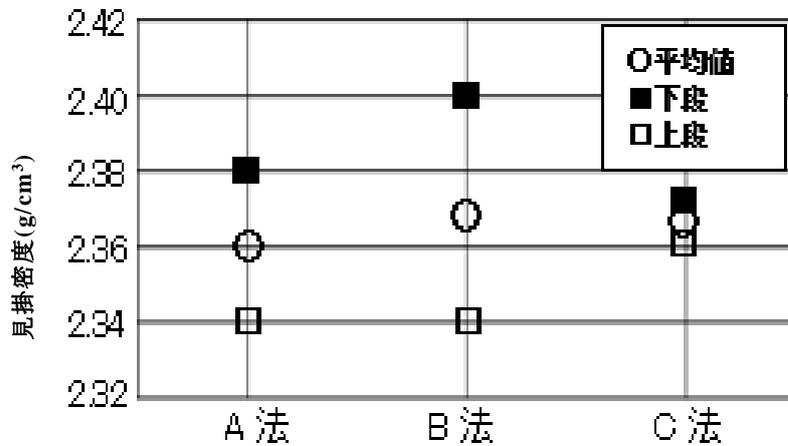


図 8.2-2 締固方法 A・B・C と見掛密度の関係

8.2.4 圧縮強度

図8.2-3は圧縮強度の測定結果である。

大正時代から現代までセメントの粒径，粒度分布および化学組成は大きく変化し，品質は比較できないほど改良されている．そのため今回は，4週圧縮強度そのものの数値ではなく締固方法の相違による相対的な強度の比較に視点を置いて検証した．

圧縮強度試験の上下段平均値(σ_{28} N/mm²)は，A法40.5，B法39.6，C法39.1である．図で受ける印象ほどの差はないが，C法の内部振動機締固法より搗固法がわずかであるが高い値を示すといえる．

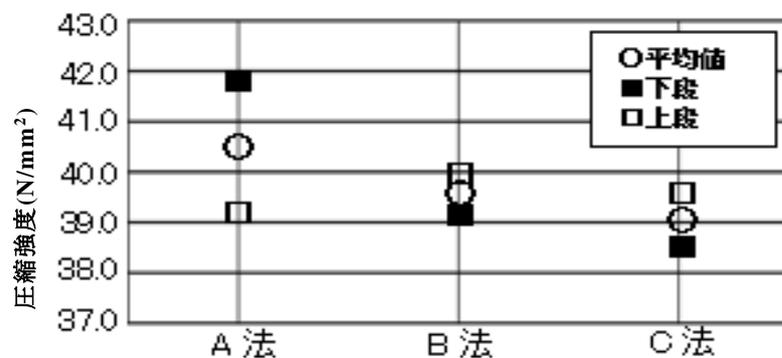


図 8.2-3 締固方法 A・B・C と圧縮強度の関係

8.2.5 細孔径分布試験

無線塔施工当時のコンクリートの種類は、混和剤を用いないプレーンコンクリートのため、空気量は現代に比べて非常に少ない。今回の試験体作製時の空気量測定でも0.5%と少ない結果となった。空気量は中性化抵抗性を示す指標のひとつであるが、特に積算細孔容積が小さいほど緻密なコンクリートであり、中性化に対する抵抗性は大きいといえる。

試験片を各試験体の高さ方向中央部付近から採取し、水銀圧入式ポロシメーターにより、強度や耐久性に関係する0.002~200 μm の範囲の細孔量を測定した。一般的なコンクリートのエントラップトエアは25 μm 以上といわれている。図8.2-4の細孔直径に対する細孔容積の分布は、各細孔直径にかかわらず、ほぼ同様の傾向を示すが、A法は0.01 μm 以下と0.5~1 μm の範囲で他の試料より減少する傾向を示す。

図8.2-5の細孔直径と積算細孔容積の関係と表8.2-2の細孔数値データによると、それぞれの積算細孔容積に大きな差はないが、積算細孔容積はA法<B法<C法の順で搗固法が内部振動機締固法より少ない結果となり、より緻密なコンクリートを生成できたものと考えられる。

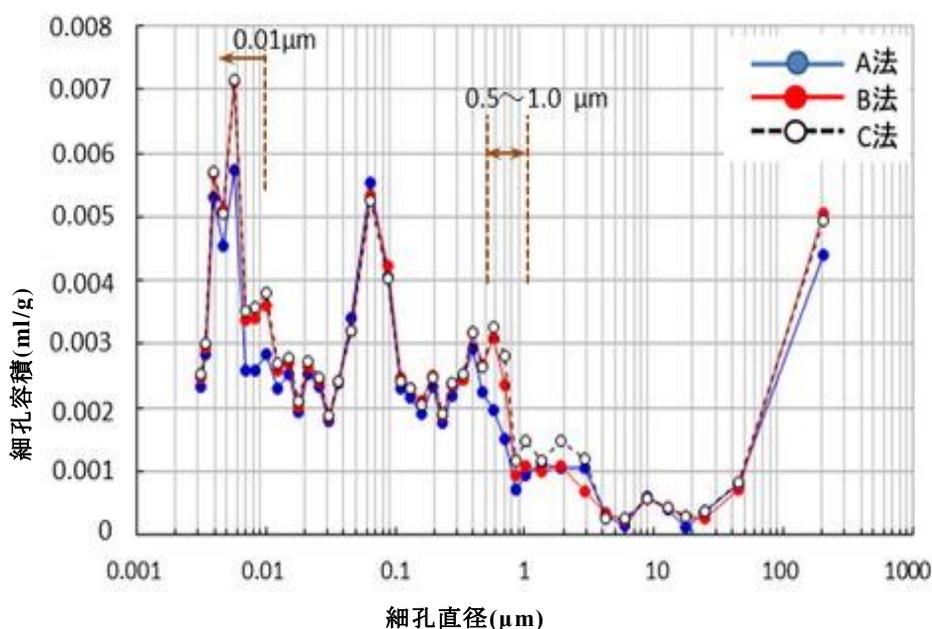


図 8.2-4 細孔直径と細孔容積の関係

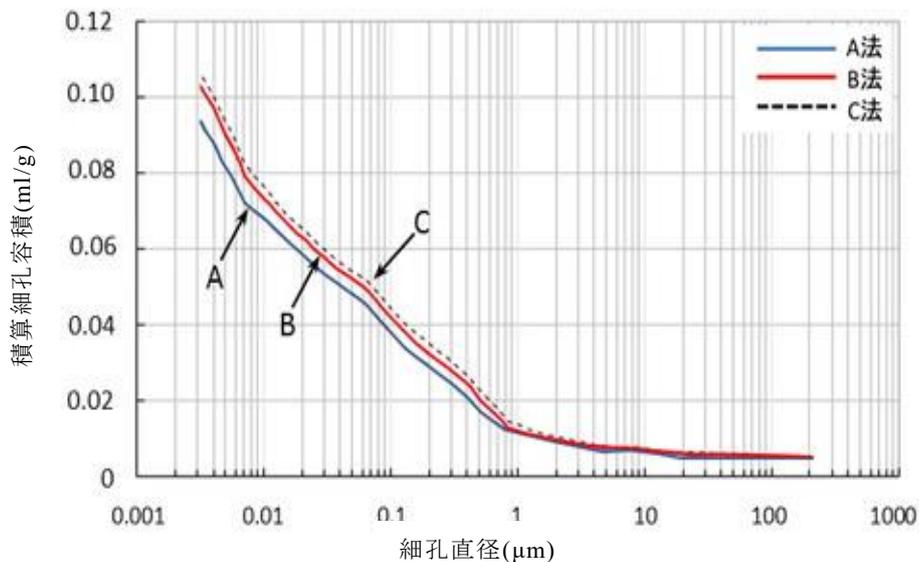


図 8. 2-5 細孔直径と積算細孔容積の関係

表 8. 2-2 細孔数値データ

項目	単位	A 法	B 法	C 法
全細孔容積	ml/g	0.0934	0.103	0.106
細孔率	%	18.7	20.1	20.7

細孔率：試料容積に対する細孔容積の割合

8.2.6 検証試験結果の考察

(1) 締固め方法とブリージング量・見掛密度・圧縮強度

ブリージング量は内部振動機によるC法に比べて搗固めたA・B法が多く、特に延べ24分間搗固めたB法は搗固め2回目の3巡目からは、搗固蝟を試験体の底まで容易に挿入できなくなるとともに、モルタル分が表層に集中し、ブリージング量は最大値を示した。その結果B法の見掛密度はわずかに高くなったものの、圧縮強度は延べ6分間搗固めたA法より小さい値となった。このように、B法は、長時間（延べ24分間）の搗固め過ぎにより材料分離現象が発生したが、コンクリートの品質を低下させるほどの影響がなかったことを示す結果となった。

(2) 締固方法と積算細孔容積

「相当なる搗固め」の A・B 法は，戦後の高度成長期の内部振動機による 1 回の締固めの C 法より，積算細孔容積は少ない結果となった。

(3) 検証試験まとめ

今回，中性化の進行に影響する要因として締固方法も関係しているのでは，との視点で試験を実施した。

その結果，見掛密度試験の平均値は3法ほぼ同じ値であるが上段に比べて下段が大きい値を示し，圧縮強度はC法に比べA・B法が大きい値を示す結果となった。また，全細孔容積についてはC法に比べA・B法が少ない値を示し，空隙が少ないコンクリートを生成できたといえる。

このように今回の試験の結果は，コンクリート黎明期の「相当なる搗固め」は緻密なコンクリートを生成することに寄与し，中性化の抑制に有効な締固方法であったものと推察した。ただし，今回はそれぞれ試験体が少なく信頼性に疑問が残るため，適正な「相当なる搗固め」の時間については今後の課題としたい。

参考文献

- 1) 梁 俊，丸谷剛，坂本淳：土木学会第 67 回年次学術講演会，過振動を受けたコンクリートの品質変動，V-565，2012. 9

第9章 施工期間の検証

9.1 塔状構造物の規模と施工期間

表 9.1-1 は針尾無線塔と同じ内足場方式を採用して施工された高層塔状構造物の施工期間の比較表である。針尾無線塔の施工期間はほかの塔と比較して約 2 倍程度を要している¹⁾。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、さらに塔状構造物の戦後の施工業者の情報や筆者の蓄積した長年の施工実績(歩掛)をもとに標準的な施工期間を算出して比較検証した。

表 9.1-1 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	外径	施工期間
旧日鉱佐賀関精錬所煙突	1916(大正 6)年	168m	基部 13.00m 塔頭部 8.36m	1 年 3 か月
旧逓信省原町無線塔	1921(大正 10)年	201m	基部 16.7m 塔頭部 1.2m	1 年 7 か月
針尾無線塔	1921(大正 11)年	137m	基部 12.19m 塔頭部 3.05m	1 号塔 3 年 7 か月 2 号塔 3 年 8 か月 3 号塔 2 年 8 か月

9.2 施工期間の算定条件

当時の作業時間帯は一般に季節によって変更しており、小樽築港工事では一年を 6 つに区分して作業時間を設定していた。平均すると休憩時間を除いて 1 日約 8 時間作業²⁾である。

次に作業可能日率を設定する。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。小樽築港工事のブロック製作工事では天候が温暖な 4 月中旬から 10 月中旬までの 6 か月 180 日の内 150 日を作業可能日とし、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³⁾。一方、針尾無線塔は九州に位置しており小樽に比べてはるかに気象条件は良く 1 年を通して作業が可能である。針尾無線塔でも小樽築港工事と同じ条件で 1 日 8 時間作業、作業可能日率は 1 年を通して 80%と仮定し、工程を算出した。なお、工程を検討するうえで、確保すべき日数

を暦日日数といい、実作業日数を作業可能日率 80% で除した値を用いる。

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ある。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を経験したことがある。このほかに、現場では不測の事態が発生することもある。一旦問題が発生すると工事は滞り、工事完了までの見通しが不確定になる場合もある。そのため工程計画にはある程度の余裕が必要である。しかし、今回の工程算出にはこのような余裕はまったく含まないものとした。

9.3 基礎工事

9.3.1 基礎工事の施工数量

施工数量の中で鉄筋数量の記録はない。土木構造物基礎工の鉄筋量は一般に構造物の種類によってコンクリート 1m³ 当たり 50~100kg と幅がある。今回は筆者の経験をもとに 70kg/m³ とした。基礎の施工数量を表 9.3-1 に示す。

表 9.3-1 基礎の施工数量

工 種	単 位	数 量
掘 削	m ³	3,100
中央足場工(3.5m×3.5m×10m)	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

9.3.2 基礎工事の工程日数

表 9.3-2 は基礎工事の工程算出表である。準備工や仮設工事は暦日日数を与えて、この期間内に作業を終えるように設定した。

表 9.3-2 基礎工事工程算出表

工種	工程算出	暦日日数
準備工	暦日日数 30 日以内で終了させるものとする。	30 日
仮設工事	基礎工周囲の軌道設備, 砂や砂利置場造成, ミキサー室, 簡易クレーン等の整備 暦日日数 30 日以内で終了させるものとする。	30 日
掘削工	施工数量 3,100m ³ 基礎掘削底面積 10m ² 当たり 2 人 1 組の編成 底面積は約 490 m ² につき 49 組の施工が可能 1 日の施工量 5 m ³ /組×49 組=245 m ³ /日 施工実日数は 3,100 m ³ ÷245 m ³ =12.7 日 暦日日数は 12.7 日÷0.8=16 日	16 日
中央足場工	掘削完了後すぐに着手 1 日の中央足場工編成人員を 5 人とする。 1 日の施工量 15 空 m ³ /人×5 人=75 m ³ /日 施工実日数は 123 空 m ³ ÷75 m ³ /日=1.7 日 暦日日数は 1.7 日÷0.8=3 日	3 日
鉄筋工	施工数量 96t 1 日の鉄筋工編成人員を 15 人とする。 1 日の施工量 0.7t/人×15 人=10.5t/日 施工実日数は 96t÷10.5t/日=9.2 日 暦日日数は 9.2 日÷0.8=12 日	12 日
型枠工	施工数量 70 m ² 1 日の型枠工編成 4 人とする。 1 日の施工量 8m ² /人×4 人=32 m ² /日 実施工日数は 70 m ² ÷32 m ² /日=2.2 日 暦日日数は 2.2 日÷0.8=3 日	3 日
コンクリート工	施工数量 1,360 m ³ 基礎コンクリートの打設回数は不明である。5 回に分けて打設したものと仮定する。 1 回の打設量は 1,360 m ³ ÷5 回=272 m ³ /回 基礎コンクリート用ミキサーの能力は 1 昼夜で 200 m ³ である。 (4.2-5 仮設備の項参照)。 実施工日数は 272 m ³ ÷200 m ³ /回×5 回=7.8 日 コンクリートは作業を中断できないので夜間工事を考慮する。コンクリート打設翌日は打継目処理と養生が始まる。これに要する 暦日日数 1 日×5 回=5 日を確保する。その後の養生はほかの作業と並行作業ができるので計上する必要はない。 コンクリート打設と打継目処理の暦日日数は 7.8 日÷0.8+5 日=15 日	15 日
埋戻工	施工数量 1,550 m ³ 作業員編成は 2 人 1 組編成, 1 日の積込運搬能力を 10 m ³ /日 25 組の編成とする。敷均し作業は別途配置する。 1 日の施工量 10 m ³ /日×25 組=250 m ³ /日 施工実日数は 1,550 m ³ ÷250 m ³ /日=6.2 日 暦日日数は 6.2 日÷0.8=8 日	8 日
	基礎工事暦日日数 計	117 日

9.4 塔本体工事

9.4.1 作業制限

土木学会日本土木史によると、針尾無線塔の本体工事では次の3点の作業制限を設定していたことが記録されている⁴⁾。

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「1日の作業高(1リフト)は1.37mとする。」は、1日のコンクリート打設高さは1.37mまでとした制限である。
- ・作業制限2「上層リフトの施工は24時間以上経過後」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。
- ・作業制限3「型枠撤去は48時間以上経過後とする。」は、養生期間を確保し圧縮強度を促進させるための方策である。

以上の条件を基に工程を算出する。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は工程日数を試算し、その結果を最後に照合する。

9.4.2 塔本体工事の施工数量

塔本体は上位リフトほど直径は小さくなり各リフトの施工数量は減少する。そこで工程計算を簡略化するため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⁵⁾の高さ方向を5分割にして、それぞれの工種の平均数量を代表値として工程計算を行った。鉄筋量は1リフトの配筋調査結果からコンクリート1m³当たり101kg/m³を得たので、この値を各リフトのコンクリート数量に乗じて鉄筋量を算出した。表9.4-1に各工種のリフト区間別平均数量を示す。

表 9.4-1 塔本体の各工種のリフト区間別平均数量

項 目		リフト区間別平均数量				
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

9.4.3 塔本体工事の工程日数

各工種の歩掛の考え方と塔本体基礎工事の工程算出表をそれぞれ表 9.4-2、表 9.4-3 に示す。

表 9.4-2 対象工種の歩掛の考え方

工 種	歩掛対象の考え方
外足場工	足場の数量は一般に掛け m ² または空 m ³ で表す。外足場は吊足場を昇降させて1リフトの型枠組立解体のための足場である。歩掛は1リフトの外型枠面積を対象とする。 工程算出歩掛を20掛 m ² /人とした。
内足場工	内足場は内側の空間に作業床を組立て使用するので、1リフトの内側の空容積を対象とする。 工程算出歩掛を15空 m ³ /人とした。
鉄筋工	鉄筋工は前述したようにコンクリート 1m ³ 当たり1リフト目の鉄筋量 101kg/m ³ を根拠として算出した。 工程算出歩掛を600kg/人とした。
型枠工	型枠工は1リフトの内外型枠面積を対象とする。 工程算出歩掛を7m ² /人とした。
コンクリート工	コンクリート工の工程はミキサーの製造能力、コンクリートを入れた桶の巻揚機の能力、頭頂部での打設能力が関係する。 ミキサーの製造能力は4章で求めたキューブミキサーの1時間13m ³ である。能力は十分である。またコンクリート打設は作業員を動員することにより対応できる。最終的に工程は巻揚機の能力に左右される。塔状構造物施工業者より「一般の巻揚機の巻揚速度は20～30m、卸し速度は巻揚速度に比して相当早い。」との情報を入手したので、工程算出歩掛を巻揚げ、卸し速度とも30m/分と仮定して計算した。 コンクリート工事は中断できないため夜間工事を考慮する。コンクリート打設翌日は打継目処理と養生が始まる。これに要する歴日日数1日を確保する。その後の養生はほかの作業と並行作業できるので計上する必要はない。

表 9.4-3 塔本体工事工程算出表

リフト区分(リフト数)	工 程 算 出	歴日日数
1～20L(20L)	外足場工数量 49 掛 m ² 1日の足場工編成人員を 8人とする. 1日の施工量 20 掛 m ² /人×8人=160 掛 m ² /日 施工実日数は 49 掛 m ² ÷160 掛 m ² =0.4 日 歴日日数は 0.4 日÷0.8×20L =10 日	10 日
	内足場工数量 105 空 m ³ 1日の足場工編成人員を 8人とする. 1日の施工量 15 空 m ³ /人×8人=120 空 m ³ /日 施工実日数は 105 空 m ³ ÷120 空 m ³ =0.9 日 歴日日数は 0.9 日÷0.8×20L=23 日	23 日
	鉄筋工数量 4t 1日の鉄筋工編成人員を 8人とする. 1日の施工量 600kg/人×8人=4.8t/日 施工実日数は 4t÷4.8t=0.9 日 歴日日数は 0.9 日÷0.8×20L =23 日	23 日
	型枠工数量 91m ² 1日の型枠工編成人員を 12人とする. 1日の施工量 7 m ² /人×12人=84m ² /日 施工実日数は 91m ² ÷84 m ² =1.1 日 歴日日数は 1.1 日÷0.8×20L=28 日	28 日
	コンクリート工数量 33 m ³ 写真 4.3-3 に基礎工事に使用した大きな桶が映っていた。人物の大きさから直径 60cm 高さ 50cm 程度の大きさである。この桶にコンクリートを 80%入れたとして 0.11 m ³ になる。 基礎から中間リフトまでの高さは $h=10L \times 1.37m = 14m$ 巻揚げ卸し時間は $t=14m \div 30m/分 \times 2 = 1 分$ 1リフトの打設時間 $H=33 m^3 \div 0.11 m^3 \times 1 分$ $= 300 分 = 5 時間$ 施工実日数は 5 時間 ÷ 8 時間/日 = 0.7 日 打継目処理歴日日数 1 日 × 20L = 20 日 コンクリート打設と打継目処理の歴日日数は 0.7 日 ÷ 0.8 × 20L + 20 日 = 38 日	38 日
	塔本体 1～20L 歴日日数計	122 日
21～42L(22L)	外足場工数量 41 掛 m ² 1日の足場工編成人員を 8人とする. 1日の施工量 20 掛 m ² /人×8人=160 掛 m ² /日 施工実日数は 41 掛 m ² ÷160 掛 m ² =0.3 日 歴日日数は 0.3 日÷0.8×22L =9 日	9 日
	内足場工数量 73 空 m ³ 1日の足場工編成人員を 8人とする. 1日の施工量 15 空 m ³ /人×8人=120 空 m ³ /日 施工実日数は 73 空 m ³ ÷120 空 m ³ =0.7 日 歴日日数は 0.7 日÷0.8×22L=20 日	20 日

リフト区分(リフト数)	工 程 算 出	歴日日数
21～42L(22L)	鉄筋工数量 3t 1日の鉄筋工編成人員を 8 人とする. 1日の施工量 600kg/人×8 人=4.8t/日 施工実日数は 3t÷4.8t=0.7 日 歴日日数は 0.7 日÷0.8×22L =20 日	20 日
	型枠工数量 76m ² 1日の型枠工編成人員を 10 人とする. 1日の施工量 7 m ² /人×10 人=70m ² /日 施工実日数は 76m ² ÷70 m ² =1.1 日 歴日日数は 1.1 日÷0.8×22L=31 日	31 日
	コンクリート工数量 23 m ³ 基礎から中間リフトまでの高さは $h=31L \times 1.37m=43m$ 巻揚げ卸し(往復)時間は $t=43m \div 30m/分 \times 2=3$ 分 1リフトの打設時間 $H=23 m^3 \div 0.11 m^3 \times 3$ 分 $=628$ 分 = 11 時間 施工実日数は 11 時間÷8 時間/日=1.4 日 打継目処理と養生歴日日数 1 日×22L=22 日 コンクリート打設と打継目処理の歴日日数は $1.4 日 \div 0.8 \times 22L + 22 日 = 61 日$	61 日
	塔本体 21～42L(22L) 歴日日数計	141 日
43～64L(22L)	外足場工数量 32 掛 m ² 1日の足場工編成人員を 6 人とする. 1日の施工量 20 掛 m ² /人×6 人=120 掛 m ² /日 施工実日数は 32 掛 m ² ÷120 掛 m ² =0.3 日 歴日日数は 0.3 日÷0.8×22L =9 日	9 日
	内足場工数量 45 空 m ³ 1日の足場工編成人員を 8 人とする. 1日の施工量 15 空 m ³ /人×8 人=120 空 m ³ /日 施工実日数は 45 空 m ³ ÷120 空 m ³ =0.4 日 歴日日数は 0.4 日÷0.8×22L=11 日	11 日
	鉄筋工数量 2t 1日の鉄筋工編成人員を 6 人とする. 1日の施工量 600kg/人×6 人=3.6t/日 施工実日数は 2t÷3.6t=0.6 日 歴日日数は 0.6 日÷0.8×22L =17 日	17 日
	型枠工数量 60m ² 1日の型枠工編成人員を 8 人とする. 1日の施工量 7 m ² /人×8 人=56m ² /日 施工実日数は 60m ² ÷56m ² =1.1 日 歴日日数は 1.1 日÷0.8×22L=31 日	31 日

リフト区分(リフト数)	工 程 算 出	歴 日 日 数
前頁より続く		
43～64L(22L)	<p>コンクリート工数量 15 m³ 基礎から中間リフトまでの高さは $h=53L \times 1.37m=73m$ 巻揚げ卸し(往復)時間は $t=73m \div 30m/分 \times 2=5$ 分 1リフトの打設時間 $H=15 m^3 \div 0.11 m^3 \times 5$ 分 $=682$ 分 = 12 時間 施工実日数は 12 時間 \div 8 時間/日 = 1.5 日 打継目処理と養生歴日日数 1 日 \times 22L = 22 日 コンクリート打設と打継目処理の歴日日数は $1.5 日 \div 0.8 \times 22L + 22 日 = 64 日$</p>	64 日
	塔本体 43～64L(22L) 歴日日数計	132 日
65～86L(22L)	<p>外足場工数量 23 掛 m² 1日の足場工編成人員を 4 人とする. 1日の施工量 20 掛 m²/人 \times 4 人 = 80 掛 m²/日 施工実日数は 23 掛 m² \div 80 掛 m² = 0.3 日 歴日日数は 0.3 日 \div 0.8 \times 22L = 9 日</p>	9 日
	<p>内足場工数量 24 空 m³ 1日の足場工編成人員を 6 人とする. 1日の施工量 15 空 m³/人 \times 6 人 = 90 空 m³/日 施工実日数は 24 空 m³ \div 90 空 m³ = 0.3 日 歴日日数は 0.3 日 \div 0.8 \times 22L = 9 日</p>	9 日
	<p>鉄筋工数量 1t 1日の鉄筋工編成人員を 4 人とする. 1日の施工量 600kg/人 \times 4 人 = 2.4t/日 施工実日数は 1t \div 2.4t = 0.5 日 歴日日数は 0.5 日 \div 0.8 \times 22L = 14 日</p>	14 日
	<p>型枠工数量 43m² 1日の型枠工編成人員を 6 人とする. 1日の施工量 7 m²/人 \times 6 人 = 42m²/日 施工実日数は 43m² \div 42m² = 1.1 日 歴日日数は 1.1 日 \div 0.8 \times 22L = 31 日</p>	31 日
	<p>コンクリート工数量 8m³ 基礎から中間リフトまでの高さは $h=75L \times 1.37m=103m$ 巻揚げ卸し(往復)時間は $t=103m \div 30m/分 \times 2=7$ 分 1リフトの打設時間 $H=8 m^3 \div 0.11 m^3 \times 7$ 分 $=510$ 分 = 9 時間 施工実日数は 9 時間 \div 8 時間/日 = 1.2 日 打継目処理と養生歴日日数 1 日 \times 22L = 22 日 コンクリート打設と打継目処理の歴日日数は $1.2 日 \div 0.8 \times 22L + 22 日 = 55 日$</p>	55 日
	塔本体 65～86L(22L) 歴日日数計	118 日

リフト区分(リフト数)	工 程 算 出	歴 日 日 数
87～100L(14L)	外足場工数量 16 掛 m^2 1日の足場工編成人員を4人とする. 1日の施工量 20 掛 $m^2/人 \times 4人 = 80$ 掛 $m^2/日$ 施工実日数は 16 掛 $m^2 \div 80$ 掛 $m^2 = 0.2$ 日 歴日日数は $0.2日 \div 0.8 \times 14L = 4$ 日	4 日
	内足場工数量 12 空 m^3 1日の足場工編成人員を2人とする. 1日の施工量 15 空 $m^3/人 \times 2人 = 30$ 空 $m^3/日$ 施工実日数は 12 空 $m^3 \div 30$ 空 $m^3 = 0.4$ 日 歴日日数は $0.4日 \div 0.8 \times 14L = 7$ 日	7 日
	鉄筋工数量 1t 1日の鉄筋工編成人員を4人とする. 1日の施工量 600kg/人 $\times 4人 = 2.4t/日$ 施工実日数は $1t \div 2.4t = 0.5$ 日 歴日日数は $0.5日 \div 0.8 \times 14L = 9$ 日	9 日
	型枠工数量 30 m^2 1日の型枠工編成人員を4人とする. 1日の施工量 7 $m^2/人 \times 4人 = 28m^2/日$ 施工実日数は $30m^2 \div 28m^2 = 1.1$ 日 歴日日数は $1.1日 \div 0.8 \times 14L = 20$ 日	20 日
	コンクリート工数量 5 m^3 基礎から中間リフトまでの高さは $h = 92L \times 1.37m = 127m$ 巻揚げ卸し(往復)時間は $t = 127m \div 30m/分 \times 2 = 9$ 分 1リフトの打設時間 $H = 5 m^3 \div 0.11 m^3 \times 9$ 分 $= 410$ 分 = 7 時間 施工実日数は 7 時間 $\div 8$ 時間/日 = 0.9 日 打継目処理と養生歴日日数 1日 $\times 14L = 14$ 日 コンクリート打設と打継目処理の歴日日数は $0.9日 \div 0.8 \times 14L + 14日 = 30$ 日	30 日
	塔本体 87～100L(14L) 歴日日数計	70 日
片付け工	型枠片付け工, 足場片付け工, 簡易クレーン解体工, ミキサ室解体工, 塔周辺の整地工等 歴日日数 30 日で終了させる.	30 日

9.5 基礎工事・塔本体工事の工程の集計

基礎工事・塔本体工事の工程集計表を表 9.5-1 に示す.

表 9.5-1 基礎工事・塔本体工事の工程集計表

構造物名	リフト(リフト数)	歴日日数
基礎工事	—	117 日
塔本体工事	1～20L(20L)	122 日
	21～42L(22L)	141 日
	43～64L(22L)	132 日
	65～86L(22L)	118 日
	87～100L(14L)	70 日
	片付け工	30 日
総計		730 日 (2 年)

現在、1号塔と3号塔は一般に公開されている。最初に着手した1号塔の表面を仰ぎ見みるとリフトごとにいびつに変形した形状をなし、労働者はまだ作業に不慣れで未熟であったことが推察される。最後に着手した3号塔は学習効果が発揮され、施工期間も短く素晴らしい出来栄である。

ここで工程計算結果と施工時の次の3点の作業制限を照合する。

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

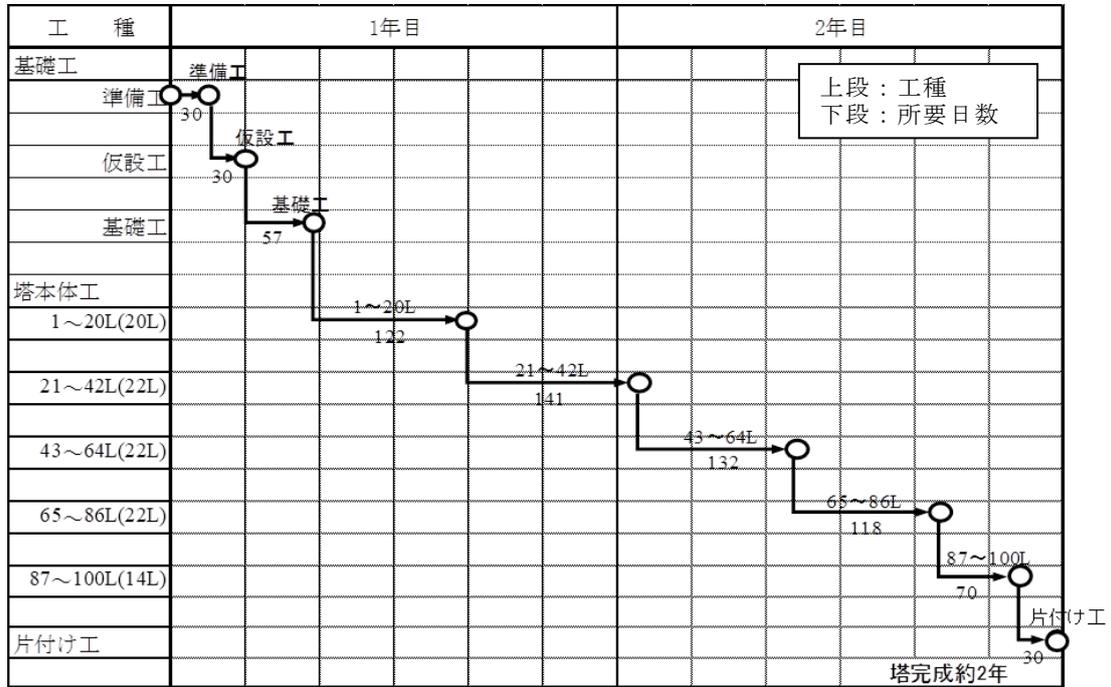
作業制限2・・・上層リフトの施工は24時間以上経過後。

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 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 塔本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を開始しており条件を満足した結果となった。
- ・作業制限3 塔下層部は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作業制限は満足する結果となった。施工サイクルが短い中間層以上は下層部の2リフト分の型枠を3リフト分に転用することで作業制限を満足する結果となった。

以上、無線塔の基礎工から塔本体完成までの工程算出の結果、715日(約2年)を得た。3塔のなかで最も順調に進捗した3号塔の施工期間2年8か月よりも8か月短い約2年の工程計算結果を得た。前述したようにこの計算結果には余裕期間は考慮していない。余裕期間を見込んだとしても2年に対して数か月程度である。

表 9.5-3 無線塔1基の全体工事工程表



参考文献

- 1) 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， 2011.8
- 2) 広井勇：小樽築港工事報文(前編)， pp.34-38， 1908.7
- 3) 広井勇：小樽築港工事報文(前編)， pp.69-71， 1908.7
- 4) 土木学会日本土木史(大正元年～昭和15年)， p.780， 1965.12
- 5) 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， 2011.8
- 6) 海軍歴史保存会：日本海軍史， 第2巻通史第3編， pp.102-115， 1995.11

10章 結論

本研究では3つの目標を挙げた。第1の目標である針尾無線塔建造に至る黎明期のコンクリート施工技術の変遷と現存する古写真や無線塔本体の表面に残る様々な痕跡から施工方法を解明した。第2の目標である今後の土木遺産の保存活動の新しい試みとして施工方法の“見える化”の施工推測図を作成した。第3の目標である今でも健全な無線塔の健全度を検証した。

以下に本研究で得られた成果を総括する。

第1章では、我が国の土木技術者は明治中～後期にかけて多くの構造物に鉄筋コンクリート構造物の建造に挑戦して実績を積み上げ、大規模塔状構造物の建造に至った経過を示した。現在でも高品質を保ち続け唯一現存する針尾無線塔は重要文化財に指定されている。今後も、これまでの保存活動をさらに長続きさせるためには重要文化財の価値を解りやすく、そして再認識できるような手法が必要と考え施工方法の”見える化”に取り組む研究を提案した。

第2章では、まず海軍の陸上通信網整備と針尾無線塔が建造されるに至った経緯をまとめた。次に無線塔建造を支えたコンクリートの施工技術を当時の多くの文献から要点を抽出し、コンクリートの製造設備・配合・練り方・接合面の処理・搗固め・養生に至る各工程の施工技術の詳細や鉄筋コンクリートの出現による施工方法の変遷を明らかにした。そのなかで各著者とも広井理論を根幹において執筆したことが分かった。

第3章では、本研究の開始に際し、針尾無線塔着手時すでに建造されていた3本の塔状構造物の情報を収集したが、3本とも施工不良や老朽化により現存しておらず、唯一針尾無線塔のみが現存していることが分かった。また、佐世保鎮守府の技師、真島健三郎は小樽築港工事を通して、近代土木工学の礎を築き「港湾工学の父」と呼ばれた広井勇の指導を受け、佐世保鎮守府建築科に移動してからは構造物の設計に鉄筋コンクリートを積極的に導入、そして針尾無線塔の設計を手掛けたことが分かった。その後、真島健三郎が呉鎮守府に転出後は吉田直が工事を引き継いだことを示した。

第4章では、当時の塔状構造物に関する国内外の写真、資料を収集し、この施工技術を継承している可能性が高い戦後の塔状構造物の施工に従事した技術者から聞き取り調査を行った。この結果と古写真数枚の写真を照合することにより施工方法の全体像を示すことができた。そのほか針尾無線塔建造システムの導入元も検証することができた。

第5章では、無線塔の表面に残る型枠の跡から型枠の構造と仕組みを解明した。また、コンクリート打設時の1層の厚さやさまざまな痕跡からフレッシュコンクリートの性状や締固め方法も明らかにした。そのほか現存する塔内の鋼材ステージの必要性についても解明した。

第6章では、戦後の煙突工事に従事した技術者から昭和40年頃の施工図を入手し、本研究のテーマのひとつである今後の保存活動を活用・発信する一つの資料として、施工過程の“見える化”に取り組み、一般市民に興味を示していただけるような「掘削工・基礎コンクリート工・足場工・型枠工・塔コンクリート打設工の施工状況推測図」を作成した。

第7章では、「佐世保市教育委員会無線塔強度調査結果」報告書の中酸化深さは外部平均20mm、内部平均38mmで、ほぼ100年を経ようとしている建造物の大正時代のほかの建造物と比較しても進行が遅く、鉄筋のかぶりも内外とも80mm以上を確保できている。この結果として鉄筋の発錆、コンクリートの剥離がないことを示した。また、既往の研究成果において、軍事施設のなかには容積配合、セメント：砂：碎石=1：2：4の配合以上にペーストに富み毛細管空隙が少なく、緻密なコンクリートがあるとの報告もあり、針尾無線塔のペーストに富む配合、セメント：火山灰：砂：碎石：砂利=1：0.2：2：1：2.5と整合することも分かった。

第8章では、針尾無線塔の健全度を検証するため実証試験を実施した。火山灰を加えた配合の代用として1：2：4以上にペーストに富む1：2：3のプレーンコンクリートを用いた「相当なる搗固めと現代の内部振動機による締固め」比較実証試験の結果、圧縮強度は内部振動機法より相当なる搗固め法が大きい値を示す傾向があり、全細孔容積については内部振動機法より相当なる搗固め法が小さい値を示す傾向があることが確認できた。相当なる搗固めは空隙が少ないコンクリートを生成し中性化の抑制にも寄与していることを検証した。

第9章では、針尾無線塔の施工期間を3つの作業制限や戦後の塔状建造物施工業者からの情報、筆者の蓄積した長年の施工実績(歩掛)をもとに算出し検証した。次に、針尾無線塔3本の施工期間が大きく異なる理由については現存資料が少なく当時の社会情勢に鑑みて推論した。このほか旧日鉱佐賀関精錬所煙突、旧逋信省原町無線塔の施工期間は作業条件が不明であるため比較の対象とするには適切でないことが分かった。

第10章では、本研究の総括として各章の成果を要約した。

最後に、無線塔の当時の高度な施工技術が解明され、施工過程を「施工状況推測図」

として“見える化”することによって、より身近な重要文化財として再認識されればと願っている。その結果として、この文化財に多くの人々が関心を寄せ、この価値を共有することにより、次世代に引き継がれるような保存活動につながっていくものと期待している。

本研究に際し、当時の多くの技術書に触れ、現代のコンクリートの施工がコンクリート配合製造から養生までの作業が分業されているのに対し、当時の技術者はこの一連の作業を不可分の作業ととらえて必死に技術の習熟に努め、多様なコンクリートの性質を理解しようと真摯な態度で取り組んでいた熱意を感じることができた。この姿勢は現代の技術者も改めて見習う必要があると実感させられるものであった。

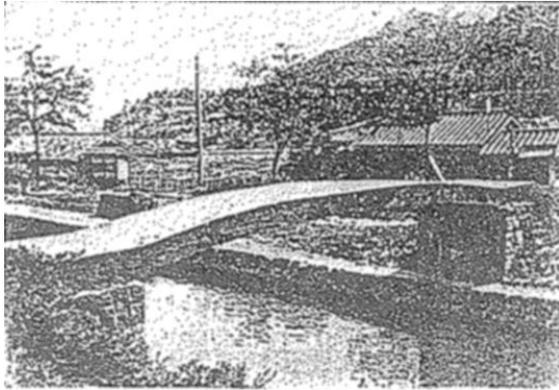
この無線塔は、広井勇から真島健三郎へ、真島健三郎から吉田直へ継承された叡知の結晶であり、改めて、「針尾無線塔は当時の技術を余すところなく発揮された集大成作品である。」ことを認識することができた。

謝辞

本研究の調査にあたり、長崎大学岡林名誉教授、松田教授に多大なご教示賜りましたこと、ここに深謝いたしますとともに、『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 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、および当時のコンクリート容積配合の再現をしていただきました旭砕石(株)、試料の分析をしていただきました(株)太平洋コンサルタントの各皆様にお礼を申し上げます。

付録

我が国における最初の鉄筋コンクリート橋は、田辺朔郎(東京帝国大学・京都帝国大学教授)設計・監修の京都府琵琶湖疎水線路上に架かる**付録写真 1**の日岡第 11 号橋 1903(明治 36)年 7 月竣工、全長 7.4m のメラン式弧形桁橋梁¹⁾が定説となっている。**付録写真 2**は長崎市本河内にある全長 12.2m の本河内低部ダム貯水池放水路アーチ橋である。長崎水道百年史によると 1903(明治 36)年 3 月末日竣工との記録²⁾がある。琵琶湖疎水日岡第 11 号橋より 4 か月早く竣工しており、我が国最初の鉄筋コンクリート橋梁といえる。



付録写真 1 琵琶湖疎水日岡第 11 号



付録写真 2 本河内低部ダム貯水池
放水路アーチ橋(上部の橋梁は国道
34 号線日見バイパス)(筆者撮影)

参考文献

- 1) 工学会・啓明会編：明治工業史土木編，第一編 道路，pp.47-48，1929.6
- 2) 長崎水道局：長崎水道百年史，pp.166-167，p177，1992.