

小樽築港時代のシビルエンジニア―廣井勇と その設計思想

CIVIL ENGINEER, ISAMI HIROI IN OTARU PORT CONSTRUCTION AGE
AND HIS ATTITUDE TO DESIGN

戀塚貴¹・廣田正俊²・関口信一郎³・浅田英祺⁴

Takashi KOIZUKA, Masatoshi HIROTA, Sinichiro SEKIGUCHI and Hideki ASADA

¹国土交通省北海道開発局小樽港湾事務所長 (〒047-0008 北海道小樽市築港2-2)

²国土交通省北海道開発局浦河港湾事務所長 (〒057-0024 北海道浦河郡浦河町築地1-4-23)

³正会員 工博 国土交通省北海道開発局室蘭開発建設部長 (〒051-8524 北海道室蘭市入江町1-14)

⁴正会員 北海道総合研究所長兼旭川大学経済学部講師 (〒069-0853 北海道江別市大麻高町19-4)

At the time of beginning of the Meiji era, it was thought that the Japanese couldn't construct modern-style and large-scale harbors. However, Isami HIROI perfectly accomplished the construction of the Otaru port. The factor of his success is requested from the entrepreneurial spirit, and it analyzes it from document to which he did.

As a result of the analysis, his knowledge and plan power concerning harbors, pursuit of the economy and efficiency, excellent construction management, and consciousness of limit to nature became clear. Moreover, his spirit to the design introduces from his book "CHIKKOU".

Key Words : Isami HIROI, Otaru port, entrepreneurial spirit, "CHIKKOU"

1. はじめに

廣井勇は、明治以降輩出した土木工学者の中で、最も傑出した人物の一人である。彼が遺した代表的功績の一つで、わが国初の外洋防波堤である小樽港北防波堤は、建設から既に百年以上の歳月が経過しているが、大きな災害を受けることなく、今尚当時期待された機能を発揮し続けている。

小樽港北防波堤の建設が始まったのは1897年(明治30年)であった。それ以前、わが国における本格的な築港事業は、専らパーマーなど明治政府のお雇い外国人の知識・経験・技術に依存せざるを得ない状況にあった。それにもかかわらず、1892年(明治25年)には、パーマー指導の横浜築港工事において防波堤のコンクリートブロックに亀裂・崩壊が生じたことが発見され、築港事業を推し進めていた政府に大きな衝撃を与え、国政を揺るがす重大事件へと発展した。こういう背景を考えると、日本人技術者が近代的な築港事業の調査、設計、施工全般にわたって指揮を執ることは、誰も想像できなかった。

なぜ、当時廣井に限って、それほど困難な近代型築港事業を完璧に成し遂げることができたのであろうか。この種の疑問について、これまで解明されることもなかつ

た。本稿においては、その成功の要因を、廣井の科学者魂と起業家精神に求め、廣井により著された「小樽港灣調査報文」¹⁾、「小樽築港工事報文前編」²⁾、「築港卷之一」³⁾、「日本築港史」⁴⁾、そして1900年(明治33年)東京で行われた廣井の「小樽築港工事」演説⁵⁾等、廣井文献に拠って検討を進めることとした。

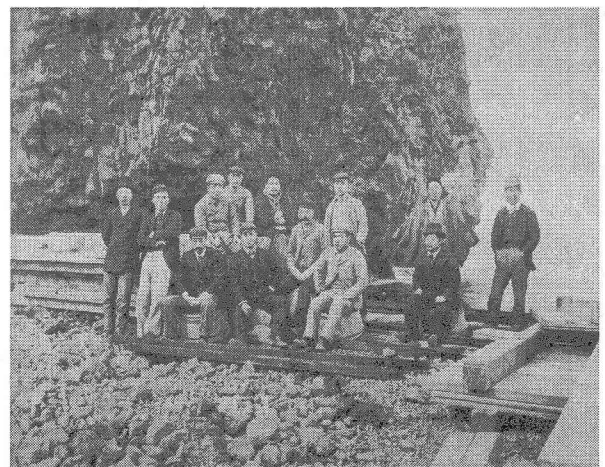


写真-1 廣井勇(後列左より3人目)と築港事務所所員
(明治三十一年八月撮影)

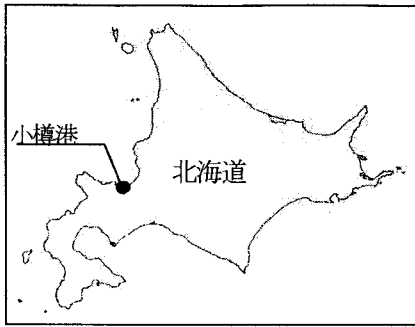


図-1 小樽港位置図

2. 港湾に関する広範な知識と構想力

港湾を計画し設計するには、経済社会分析や港湾工学など広範な知見に基づく基礎調査と、現地にどのような機能と規模を有する港湾を造るべきかという、構想力が必要となる。現在の小樽港の状況から、廣井の構想力の確かさが検証できる。そのプロセスを「小樽港湾調査報文」から追ってみる。

「小樽港湾調査報文」は、廣井が小樽築港に先立ち、小樽の気象、海象などを調査し、北垣国道北海道庁長官に提出した報告書であり、その前年に同じく廣井が著した「函館港湾調査報文」とともに、築港を科学的に分析したわが国における先駆的な報告書である。

本報文では、深淺測量、干満、温度、海底の地質、風浪、潮流等の調査とともに、試験工事による海底の載荷力、捨石の挙動等、波浪の防波堤付近の海底における動作、波浪の高さ・長さ・速度・圧力の測定ならびにセメント及び抗張力試験等を実施し、それに基づいて築港の設計を行っている。

基礎調査の精密性を検証するため、風浪の部分を現代語訳版（浅田英祺訳）から抜粋する。

風浪

おおよそ、廻浪は、旋回する角度によってその高さを異にする。したがって、本港内に侵入する廻浪は、各所でその高さに差がある。その一例として、明治二八年一月二二日に風速二七メートルの西北風によって起った波浪の高さは左の通りである。

試験工事付近 四尺

立岩付近 九尺

本年一月二一日、風速二三メートル、北北東の強風のさい起った高浪は、左の通り。

試験工事付近 七尺

立岩付近 九尺

前後の強風は、その方向において六七度半の差がある。そうして、試験工事付近のものに対して、左の割合で減殺された。

風向	減殺率
東北	○. 六九
北北東	○. 七五
北	○. 六七

北北西 ○. 五六
北西 ○. 四七

さて、当時、わが国では大規模な近代築港の経験が皆無に等しかったため、廣井は西洋の先端技術の組織的導入に当たって、現地への適合のための条件の確認ならびに改良と考案を重ねた。築港工事が決して失敗することがないよう、そしてわが国で初めての日本人の手になる公共港湾建設事業であることを意識して行った。その詳細な記録が、試験工事記録を含む本調査報文なのである。

本調査報文に基づいて、小樽港北防波堤の建設が開始されることになるが、ここで留意したいのは、北防波堤の業績が偉大であるため、その整備のみを意図していたようにも捉えられがちな点である。廣井自身は、将来を見据え岸壁等を含めた港湾全体の姿を構想し、その第一段階として防波堤の整備を先行させたのである。小樽港北防波堤工事の一切を簡潔に記録し、河島醇北海道庁長官に提出された「小樽築港工事報文」（現代語訳）の中で、以下のように記述されている。

築港工事設計

本港修築事業は、左の三工事より成立するものである。

第一 防波堤築設工事

第二 浚渫工事

第三 係船岸壁及倉庫地造成工事

これら三工事中、目下の緊急の事業となすものは、すなわち、防波堤築設の工事である。

考えてみると、小樽港の現状を観察すると、船舶の碇はくが大変困難なこと、物資・貨物の積み卸しが自由にならないこと、また、甚だしい事例であるが、海岸、道路、家屋の安全を保持することがむづかしいことなどは、ひとえに、港湾が不完全であって、激浪が港湾に侵入するのを防止することができないためである。

そうして、第二、第三の工事は、貿易の発達、船舶出入が頻繁になるにともなって、その必要性が増してくるといえるが、目下、なお、急を要するとは認められない。将来、港民（港に關係する地域住民）の資力が増加するにしたがって、自力で企画するようになるのを待って、その設計を行っても遅くはない。そこで、この報告にあげる設計は、ただ、防波堤築設工事に止めるのである。

次に、廣井は、防波堤の建設によって規制される港内の面積について、取り扱われる貨物量や港内での開発等に必要なる将来の需要を考慮に入れた防波堤計画を策定すべきだと考えていた。1900年の東京での講演では具体的に指摘している。

ここに二つの防波堤を築きまして、そうして、これだけの被覆した面積、おおよそ百十万坪を、防波堤

の中において確保しようというのであります。そうしてその中を将来必要に応じて、浚渫して、十分深さを得て、海岸は適当な距離まで埋め立てて、埠頭を数箇所に設けて、大船を横付けにする。これだけが小樽築港の計画であります。（中略）

百十万坪の地所は、どうして割り出したかということにつきましては、（以降は貨物量推計値に基づく入港船舶数からの算定方法を説明、省略）しかしこれは、今日の有様から推測したことであって、これから充分設備を施して、将来大船を横付けにするようになったら、はるかに多いトン数を碇泊させることができるのでありますから、この面積をもって将来において狭くない、充分余りありという計算であります。

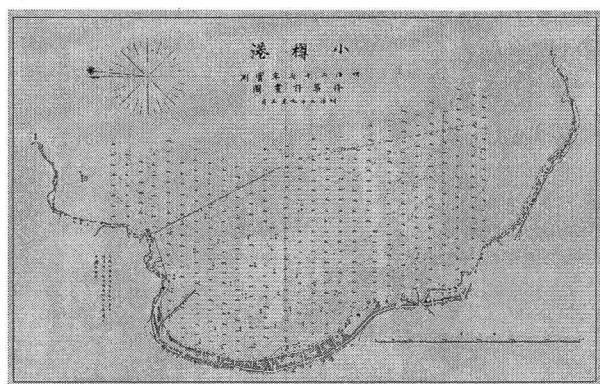


図-2 小樽港修築計画図（「小樽港灣調査報文」）

その後の小樽港の隆盛から現在に至るまで、港湾機能が防波堤に囲まれた港内で足りていることは、廣井が計算した港内の面積が適正であったことを証明している。こうして、港湾計画の策定に際し水深や面積、形状等を考慮する意義が、わが国で初めて明確にされた。「築港巻之一」にも明示されており、現在に至るまで港湾計画策定の重要検討事項の一つとされている。「日本築港史」では、お雇い外国人によって計画された横浜港、大阪港においてさえ、防波堤内で確保される水域面積について不安があることを指摘するなど、廣井の工学的知見はゆるぎない。

3. 築港工事を総合的なシステムとして理解し、経済性及び効率性を追求

廣井は、築港のためにする調査や、工事を実施するにあたり、先ず経済性を追及した。その代表的で典型的な事例としては、北防波堤の幅員二四尺（7.3m）である。外洋防波堤としてはほとんど例が見られないと言われるほど細いものとしたことである。廣井は東京での講演でこう言っている。

この断面は、二四尺と言うのは、大海に向かって築く防波堤としては、ずいぶん小さい方でありまして、ほとんど例の無い位細いのであります。これは、非常

に大きくしておけば、安全には相違ありませんが、小樽港に政府から出してくれる金は、おおよそ分っておりますから、それに対してやらなければならないのでありますから、思う存分なことは出来ません。つまり、波動の計算上、ようやく許すと言うだけの幅にしたのであります。

国庫の状況に鑑み、小樽築港で認められた予算の中で是非とも成功させなければならないという、廣井の起業家精神の発露であった。

また、このように予算の枠ぎりの設計を行うことを可能にしたのは、精確な調査によるデータの採集による裏づけと、それを活かし切る能力があったからであろう。ずさんな調査のもとに行われ失敗した野蒜築港と対極をなすものであった。こうした小樽築港の成果が、その後のわが国の築港に及ぼした影響は計り知れないものがある。

「小樽港灣調査報文」では、その付録に調査方法の概要や数値とともに、実際に支出した費用を記録している。この記録は、「小樽築港工事報文」に引き継がれ、防波堤建設に要した費用が項目ごとに細かく記載されている。小樽港北防波堤の建設は、途上で日露戦争が起るなど、国庫の状況はもちろん経済社会情勢は大きく変動し、材料価格等が暴騰するなど、完成まで長期を要する大規模公共事業にとっては、先例のないほど困難な時期での工事であった。このため、二度にわたって工期の繰延があった。この結果、当初七カ年の計画であったものが、その後十カ年へ、更に十一カ年計画へと変更された。にもかかわらず、総工費は予算額（217万2,150円：七カ年計画時、218万8,618円：十カ年計画時、220万509円：十一カ年計画時）に対し、最終決算額218万9,066円（十一カ年）と既定範囲内におさまっている。廣井が工学上の根拠に基づいて、時代の変動に飲み込まれないように、常に事業を総合的に把握し、指導した結果であった。予算枠の厳守は、公共事業を担当するシビルエンジニアに必須の資質の一つに挙げられよう。

また、このように経済性を追求する中でも、工費の大きな部分を占めるセメントの使用やコンクリートブロックの製作方法等については、セメントの使用量の節約や、製作工程の簡略化手法は一切採らず、手抜きをしていない。これらはまさしく工事の成否の鍵にあたる部分である。港湾調査などの結果を、決して、その時々都合に合わせてルーズに解釈しなかった。科学的データに裏付けられた信念とエンジニアに不可欠の責任感の表れとみなすことができよう。

更に、廣井は、小樽築港においては機械化一貫体制の採用に踏み切り、工事全体の時間的・空間的変化を視野に入れた総合的なステージプランを構築したほか、個々の作業についても、最適な機械を導入して工期の短縮や機械と人力の適正な使い分けを行っている。経済性、効率性を一貫して追求した表れと捉えられよう。

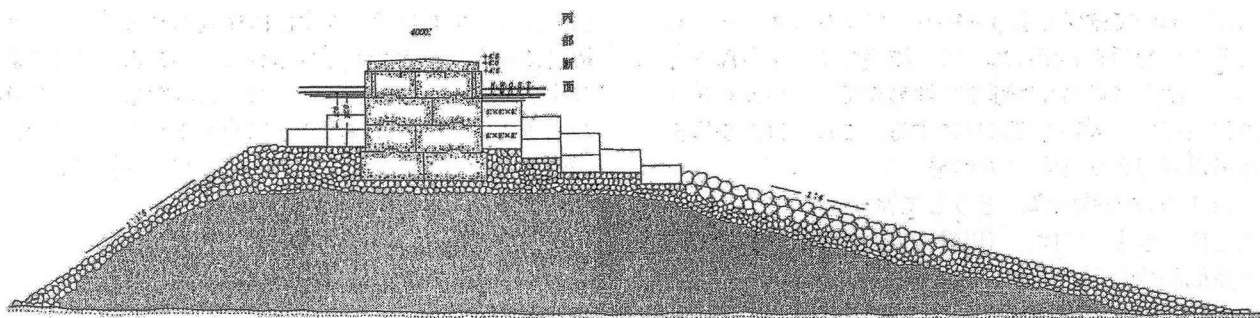


図-3 小樽港北防波堤内断面図（「小樽築港工事報文」）

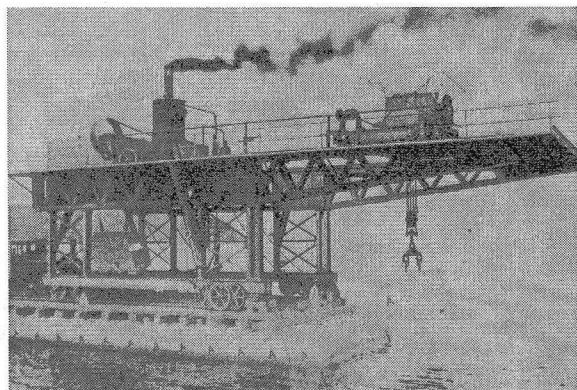


写真-2 コンクリート積置機

4. 工事監督としての優れたマネジメント

「小樽築港工事報文」は、廣井が単なる技術者としてだけでなく、その構想・設計を現場で具現化するための努力と成果、つまり工事監督としての優れたマネジメントの記録でもある。また、工事を効率的に進めるために必要な機械や倉庫の規模、配置なども決定しており、それらの一貫した行動は廣井の起業家精神に貫かれている。「施工の概況」（現代語訳）の部分に当たってみよう。

施工の概況

本事業は、三〇年四月一日を以って創設されたが、諸般の準備に数日を要し、実際工事に着手したのは同年五月九日である。

築港事務所は、高島郡字厩に於ける舊消毒所に改築を加えてこれに充て、五月一六日道庁長官が来臨して開所した。

最初の工事は、工場用地の埋築及び船入場の築造で、三〇年四月三〇日第一回の請負入札を執行し、五月九日工事に着手した。次いで、セメント倉庫及び各種建物の新築若しくは改築を施し、また工場内コンクリート塊製作場の基礎及び土留め等の工事になり、三一年四月に至って漸く工場の大体の工事をおえた。

工器用具の主なものはいずれも前、既に三〇年六月中に東京市に於いて、その供給の契約を締結した。当時、日清戦役の後であり諸般事業の膨張大いに甚だしく、したがって器械類の価格暴騰を来し、

予算を超過するもの多く、すこぶる困難を極めた。これに加え用材もまた諸物価及び賃金の高騰によって、購買若しくは採集は意図するようにはならず、前途遼遠なる事業に対し、憂慮に堪えないものがあった。よって、鋭意工費節約の途を説き明かし、ようやくその予算の範囲に止めることを得たのは、幸いとするところである。（中略）

本工事は、工場の築設及び用材の供給を除くほかは、全て直営であり、使用した人員は盛夏の季節にあつては、構内作業のためだけでも当初男二三〇人、女一〇〇人に達したことがあった。しかし、順次機械を以て人力に代えた結果、後年に至っては通常男一三〇人、女一五〇人に過ぎなくなるに至った。

小樽の地は毎年十一月に至れば、気温氷点以下に降り、四月にならなければ霜雪は去らない。このため、本工事の骨格であるコンクリート塊の製造は、毎年四月に着手し、十月には終わるようにした。このため、施工中ようやく作業に熟練した職工人夫の多くは、毎年新たにしなければならなかったなど、事業を実施する上でのがれることのできない不便不利が大変多く、冬期に入ってからでは、海上は常に不穏で、用材の運搬はますます困難になったり、陸上はほとんど雪が積り何等の作業を行うことができなかった、費用を失うことがのがれられなかった。特に、水中基礎工事の実施は、最も多くの日時を要し、潜水夫を四季を通して操業させることができないということの困難は言うまでもない。（中略）

また本工事の骨格であるコンクリート塊の製造は、本工事の中で最も注意を要する事業であり、係員はちょっとでもその職を離れることはできず、一万三千個余りの塊の中で一個も作り損じたものがなかったばかりか、十分に海水の作用に耐えて、申し分ないということになったのは、専心勤労の記念として永く残すべきことである。

要するに、本工事は僅かに一條の築堤に過ぎないと言っても、施工上の困難と長い歳月がかかったことは、他に多くその類を見ないことであつて、その工費は堤一尺について約五百円で一見多額の費用を要するよう思えるが、諸外国における同種工事に比べると、大変安いということが認識されるところである。

この記述からも明らかなように、費用節約への取り組み、労働環境の整備、コンクリート塊製作への細心の注意、年毎に替わる人夫の統率に至るまで、学者、研究者としての仕事に加え、調査、設計、施工の最高責任者として、廣井自身は巨大工事の現場経営者、現場技術者としての責務を一身に担っていた。

その中で具体的な対応が現れている例として注目されるのは、人夫に対する作業心得の設定である。廣井自身が身につけた十分な技術と経験そのものを、防波堤建設に実際に携わる現場の人夫たちに教え伝えていくためのマニュアルである。毎年人夫が入れ替わるために特に必要であった。廣井は、細心の注意を要するコンクリートブロックの製作に当たっては、一時たりとも息を抜かせない工夫を凝らし、作業上の心得を書き著し、人夫の労役においても水準を維持することに腐心している。以下に、特に細心の注意を要した「コンクリート塊製造方心得」（現代語訳）を紹介する。

小樽築港工事用コンクリート塊製造方心得

原料の取扱

セメントは、貯蔵中湿気を避けることを主とし、使用前に風化する必要がないものは、全て風袋のまま倉庫に堆積する。

遠隔地から回送されるセメントは、使用前に荒篩に通し、その残留物で容易に粉砕できるものは、これを潰して使用する。（中略）

混合

セメント及び火山灰は、セメント混合機により、毎日、コンクリート製造後、所定の配合により翌日の使用量を混合する。そうして、コンクリート製造の当日に、更に同機によって、砂と所定の配合で混合し、コンクリート混合機に送り出す。

混合したセメント、火山灰及び砂の量は、日々使用する量を超えないよう注意する。

用水は淡水で、その量は本塊ではコンクリート全体積重に対し一割二分から一割四分（砂の乾燥の度合及び時期による）、捨塊にあつては一割四分から一割六分とする。（中略）

填充搗き固め

型枠に填充するには、コンクリートは混合筒の口で斜板の上に受け、ショベルで型枠中に投入し、型枠の周縁に当たる部分には、側板に向けて少量を投げ付けるように行う。

そうして投入したコンクリートの厚さが六尺に達したときには、大蛸四挺でそれぞれに人夫二名を付け、二尺から四尺持ち上げ、搗き固めを開始する。そのようにし、およそ十五分間で水が表面に滲み出したら、小蛸で更に隅々を固め、搗き固めをおえる。

このような作業心得とともに、現場の規律の保持や

人夫の運用についても配慮している。東京での講演の際、「小樽築港は職工の仕事が規律的で、自分のところにいる職工の手本とさせている。どういう様に練習させているか。」という問に対し、次のように答えている。

使います人間は、先ずはじめから続いてやっているものは、比較的少うございますけれども、よほど規律はやかましく励行しておりますから、仕事の上においては、今まで怠慢で困るようなことは無いのであります。別段、難しい方法は設けてありませんが、ただ人夫頭のよろしいのを使いまして、これを放しませんで、また冬期、用がなくても、これだけは置きます。そうして、これらが仕事になれば、自ら先に立って働き、かつ、追廻（おいまわし）の役になっております。これらの人夫頭は最も厳格な規律に服さしめておりまして、休み時間の外は煙一服吸うことも、厳禁してありますから、おのずから下の人夫も、（影響を）及ぼす次第であります。

廣井が身につけていた現場管理の力量の大きさが伺われよう。廣井がこの種の多様なマネジメントを実行していく中で見落とせない点は、人夫、労務者を一人前の人間とみなしているところであり、勤労者への人道的配慮である。これは、「小樽築港工事報文」の随所に認められる工事従事者の誠実な働きぶりに対する明白な謝辞や気くばり、工事の安全確保への配慮などに伺われるが、このことが現場の規律の保持や工事の実施にとって、大きな力となっていたことは想像するに難くない。

5. 天然自然の下での限界の自覚

廣井は、小樽港北防波堤の設計に当たって、終始、港湾調査や実験、試験工事などから得られたデータを工学者の立場から分析し、その結果に従うという態度を貫いたが、日本海の荒波の下に行われる防波堤工事こそ、まさしく最終的な実験フィールドであった。充分な準備の下、1897年（明治30年）9月から防波堤の建設が始まったが、早くも同年10月、まだ施工延長五〇尺（約15m）のときに第一回目の災害を受ける。1899年（明治32年）12月には、丙部工事中に堤頂が積畳機を残し一掃される波浪を受けるなど、その工事期間中、数次にわたって被災している。廣井は、工事期間中も波浪の観測を継続しており、波力、波圧の観測データと被害状況を見ながら、丙部断面については数回にわたって変更を行っている。その主な内容を「小樽築港工事報文」から抜粋すると以下のようなものになる。

- ・ 天端高を低天端へ変更
- ・ 本体背面の捨石高さの追加と堤頂の場所詰コンクリートへの鉄筋の追加
- ・ 終端部の本体コンクリートブロック（スローピン

グブロック) 上下面への十字形凹凸の追加と上層ブロックの古レールによる相互整合

- ・ 本体部前面の捨塊(コンクリートブロック)の配置、設置高及び大きさ、形状(凹凸)の変更

天然自然の力は、時に廣井のそれまで培ってきた工学、技術を超越し、まさしく悪戦苦闘の工事であった。しかし、廣井はまさに人力と人智の限界を自覚する人間であった。常に天然自然から試験されていることを深く認識し、当初の発想に固執することをせず、自然に最も適合した技術の導入を目指している。現場に根ざした技術指導者としての天性がうかがわれる。

小樽港北防波堤は1908年(明治41年)完工し、その後100年以上にわたって小樽の発展に寄与するとともに、廣井が11年間にわたって実践した小樽築港事業は、その後のわが国の築港に引き継がれ、その規範として大きな影響を及ぼしていく。

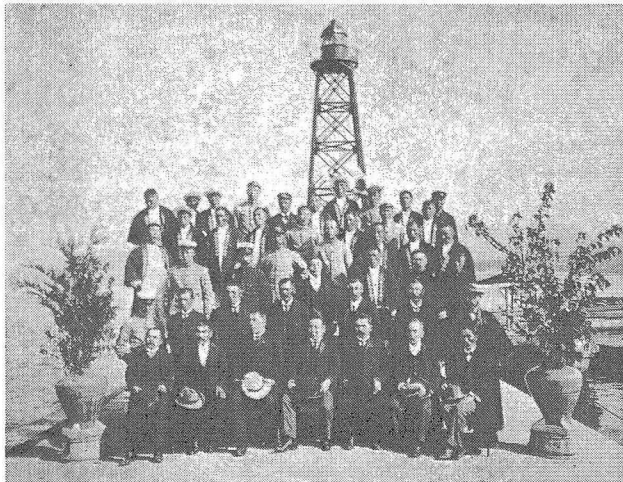


写真-3 小樽北防波堤完成式典 記念写真
(前列左より4人目が廣井勇)

6. おわりに

—シビルエンジニア—廣井勇の設計思想—

廣井勇は、小樽築港の最高責任者として、小樽の将来を見据えつつ、調査、実験等から得られた科学的知見に忠実に行動し、厳しい財政状況の中で、必要な事項を過不足なく着実に成し遂げた。コンクリートの配合や施工、さまざまな現場管理、経費節減などに対し、地道な努力を続けて、廣井オリジナルとも言える技術体系が生まれ、その後のわが国の築港の土台を構築することになる。小樽築港を始め、廣井の活動の核をなした廣井の魂と精神力、そしてこの人の生命力の源泉について、札幌農学校の同期生であり、信仰上の親友でもあった内村鑑三は、告別の辞において、若き廣井が「この貧乏国に在りて、民に食物を供せずして、宗教を教うるも益少なし。僕は、今より伝道を断念して、工学に入る。」と宣言したことを紹介している。

そして、廣井が工学に臨むに際して持っていた精神

について、廣井の遺した様々な文献からそれを読み取ることができる。ここまで紹介してきた「小樽港灣調査報文」や「小樽築港工事報文」などもその典型例の一つである。廣井が小樽築港事務所長時代に青年技術者に築港工事に関する研究の針路を指示するために著した「築港」の「卷之一・緒言」において、廣井は、自らの設計思想の根幹について「設計百年、効用二百年、榮辱一千年」の名句を記している。

築港 はじめに

港灣を繕い直すことに、心を傾けてみると、本当に、国にとって、容易ならざる事業であつて、計画を実際に行つて新しくつくるために苦しみ悩むことも、土木事業の中では一番である。

だから、この計画を立てるときは、一番注意深く、軽々しく行動しないようにし、最も手落ちがないように、心掛けて行い、百年を終えてからでも、見込み違いのないように、前もって決意してとりかからなければならない。

著者が幼いとき、土佐国の浦戸、種崎を訪ねて、この話を昔のことに通じている老人から聴いた。この地の海峡をおさえる、二つの波止があつた。これは、我国工学の權威である野中兼山が築いたものである、と。

その種崎にあるものは、長い間、積つた砂礫の中に没していて、知る人が全くななくなつていたところ、二百年以上が経つたのち、安政元年の大地震のさい大津波が来襲し、種崎の一村が今や、荒れ狂う大波に捲きとられようとする、その瞬間、あの波止がむき出しになつて、辛じて一村を完全に保つことができた、という。

これによって、兼山が新しくつくつた設備が、永遠に効用をもつこと、それが道理にかなつていることが十分に証明された。

このように、技術者が千年にもわたつて問われ続ける誉れと辱めとは、設計の立てかたにかかつているのである(實ニ、技術者、千歳ノ榮辱ハ、懸テ設計ノ上ニ在リ)。そのための用意は、よく行きとどいて、遠大なばかりごとでなければならない。よろしく悟るべきである。

(なお、本稿に引用した廣井文献の現代語訳は、浅田英祺が担当した。)

参考・引用文献

- 1) 北海道廳：小樽港灣調査報文，1896年3月
- 2) 北海道廳：小樽築港工事報文 前編，1908年7月
- 3) 廣井勇：築港 卷之一，工學書院，1898年8月
- 4) 廣井勇：日本築港史，丸善株式會社，1927年5月
- 5) 廣井勇：「小樽築港工事」演説，工學會誌217卷，1900年3月