

海軍技師・眞島健三郎

福島啓一

正会員 技術士 博士(工学) (〒270-1163 我孫子市久寺家1-23-8)

E-mail. kei1fukuq@outlook.jp

眞島は港湾工事を主として設計・施工に携わり、海水に接するコンクリートのひび割れ防止の工夫をし、日本初の鉄筋コンクリート工事を行ったり、コンクリート製石油タンクを考案したり、耐震構造を提唱し、振動を考慮した設計を試みたり多方面の活躍をした。その業績の一端を紹介したい。

key words : reinforced concrete, under ground reinforced concrete oil tank, port construction, earthquake resistant structure

1. はじめに

眞島健三郎について記するにあたり、キャッチフレーズ、見出しを記そうと考えたが、港湾工事の専門家、海水に接するコンクリートのひび割れ防止の先駆者(火山灰使用)、日本の鉄筋コンクリート工事の始祖、コンクリート製石油タンク(露出式、覆土式、地下水置き替え式)の始祖、港湾工事の専門家、柔構造耐震構造の提唱者、柔剛論争の柔論者と余りに多くて一つに定めがたい。軍事関連で機密に属する部分が多い、建築分野と土木分野に跨がっているなどでその全容は余り知られていない。未知の部分がまだ多いが、調べられた範囲で発表する。

2. 経歴

1873(M6)年3月20日 西条求次郎の三男として生まれる(香川県)
1896年(M29年)7月 札幌農学校卒、卒業論文は小樽港修築工事設計 香川県平民、西条健三郎
1896.8 道庁就職 函館港湾工事、小樽港防波堤工事
18?? 眞島穰一郎の三女梢枝と結婚、婿養子となる
1899(M32)年4月 海軍入隊 9月 佐世保鎮守府、
1901(M34) ~1902年(M35年) 水雷艇船渠築造工事(海水に全面が触れる所に火山灰入コンクリートを使い当時社会問題までなっていたコンクリートひび割れ問題を解決)
1904(M37) 第一烹炊所・潜水器具庫・ポンプ室(汽罐室貯所)及び煙突工事。(日本初のRC構造建築)
1905(M38) 立神係船池工事 576m×364m≒20万m²の泊地 眞島式特許矢板、眞島式コンクリート運搬法

1906(M39)年 主任技師、150尺のRC煙突
1909(M42)年 露出式RC石油槽(RC石油タンクの始)
1911(M44)年 築地海軍造兵廠大煙突120尺と80尺
1912(M45)年 川谷RC地中石油タンク(日本初)
1917(T6)年 呉鎮守府建築課長に転出
1918(T7)年11月~1922年11月針生無線塔RC工事
1919(T8)年 工学博士
1920(T9) 10月 建築本部第一、第二建築部長
1923(T12)年4月 建築局長 ~ 1932年6月
1923(T12)年 1923.9.1関東大震災が発生。その後、耐震設計の研究を進め、柔剛論争
1930年(S5)「地震と建築」を出版、
1930~1931年(S5~6年) 土木学会副会長
1932(S7) 海軍退職
1941(S16) 逝去

3. 小樽港防波堤工事 (M30.5~32.4)

小樽築港工事(所長は廣井勇、次席・青木政徳、M33.5.6死去、後任は内田富吉) 眞島は卒論で計画、設計に参加、現場では移動式起重機タイタンを担当。「君(内田富吉)と同宿で約三ヶ月寝食を共にした小樽が今も忘れ得ぬ一生の記念である。当時……余は工用機械の準備を仰せつかつて盲蛇でやっていたが四苦八苦時々君の知恵を借りたこともある。後余は防波堤起点工事を大体終わると、去って仙台に入営した」¹⁾「もう一つ心配したのは、かの防波堤の上より徐々に人造石を沈めて行く積重機という大機械の製作であるが、これも私(廣井勇)が設計して日本政府の条規として、ひとまず東京で入札に付したが、なにしろ世界にも珍しい機械であるから入札に応ずる者がなかった。しかしこれがかえって好都合だったので、直ちに

英国の港湾に関する機械を専門に製造しておるストサート・インドピット会社へ随意契約で注文する事となった……この器械が、俗にゴライアスという器械でありまして工場の中で(コンクリート)塊を運搬して、その端まで持っていくと台車の上に載せて、防波堤のでき上がった部分の上に機関車にて押して行き、その終端に達せしむるのであります。このゴライアスすなわち軌道起重機、扛力は24tでこれが自分で動いて持ち行くようになっておって、この機械は30tばかりの重量であります。これはイギリスのピット工場で作させました²⁾。防波堤1期工事がすみ、海外の防波堤工事の見学の話が持ちあがった。「余は大いに力を得て早速旅装を整え出発せんとしたが好事魔多しで、通るまいと期待しておった兵役検査に合格と宣告され万事休したのである」³⁾。兵役、仙台で海軍入隊、佐世保工廠へ。

4. コンクリートひび割れ防止

佐世保では、軍艦の修理を行うための工場やクレーンの建造が進み、M26年には、その基盤設備となる第一船渠^{せんきょ}の築造工事が始まり、M28年8月に完成し、開渠式^{かいきょ}を迎えたが、横浜や大阪と同様、防水門などのコンクリート構造物に亀裂が生じ、漏水が生じる事故が発生し、以降、長年、使用することができなかった。「排水に著手せしに、渠口壁を主とし殆んど全部漏水を見、積石は將に押出されんとし、遂に改築を要するに至れり。是に於いて政府は当時の権威者古市公威、中澤磐太、高山甚太郎、山崎鉦次郎等を調査委員に命じ⁴⁾」と言う事になった。「その後の調査で、漏水の原因は海水によってセメントが分解したものと特定されたが、それを解決する方法は依然として見付からなかった。この問題は横浜及び大阪防波堤の混擬土崩壊と共に当時世人の注意を喚起し終に提議の結果M31年11月24日発布の海水接触用セメントの随意契約購入に関する単行勅令を見るに至り我が国混擬土の施工法改良及びセメントの品質向上に貢献する所少からざりき。明治三十一年追加予算成立と共に之が改築に着手し技師真島健三郎主任として三十四年八月遂に工を全うせり。水雷艇船渠築造も亦真島を主任として工を起し三十五年五月竣工せり⁴⁾。「今迄我が国の船渠は皆表面を石積として混擬土は直接海水に接触せざりしが、本船渠計画に當り戸當階段に石材を使用し、他は全部混擬土面の露出とせり。然るに当時購入せるセメントは海水に対し不十分なる疑いありしを以て曾つて工部省が長崎に於いて使用せし五島産火山灰をセメント容量の四分の一混入せ

しに短期試験には好結果を現せしを以て本工事には之を混用せり。後四十一年繋留場掘鑿工事に際し本船渠々口の全部を露出せしめたるに混擬土に些の異状なきを確め得たり。次いで明治三十四年五月第二船臺築造に着手し三十五年之を竣工せり……明治三十四年一月真島を主任として第三船渠(第二船渠は実現せず)の築造に着手し明治三十八年之が工を終われり……當時猶ほ船渠の不足を生じ、更に新設の議起これり。然るに幸、同一締切内に三船渠を設け得るの地あるを以て茲に築造のこととし、明治三十八年締切工事に着手し次いで船渠工事を始め45年之が工を終えて締切の取り除きに著手せり。是より先九州各地の火山灰に就き綿密なる試験をはじめたり⁴⁾。真島は、海水に耐え得るコンクリートの研究に取り組んだ。そして、セメント製造業者などと試行錯誤を重ねた末、セメントの中に「火山灰」を混ぜることで、海水に耐え得るコンクリートを製造することに成功、この方法を用いることで、第一船渠はM35年によりやく完成した。この成功はすぐに全国に伝えられ、以降、横浜や大阪の築港事業、立神係船池など、さまざまな事業で採用されることになった。(海水に接するコンクリートのひび割れ問題は佐世保の前に横浜や大阪でも発生し当時大問題であった)。真島がこの方法を発見した当時、火山灰は五島産のものが主に使われていたが、この方法が普及するあまり、五島産だけでなく唐津産の火山灰なども価格が一時高騰したと言われている。

真島はこの技術を水雷艇船渠、立神係船池岸壁工事建設に応用し、それまで石張りが主流だった船渠を全面コンクリートにすることにも成功、以降も数々の偉業を成し遂げ、日本の近代化に大きく貢献した。(※別説「M31年(1898)になって「セメント」が非常に騰貴して一樽7円という高値となり、金が不足になってきたので、内務省などでブツブツ小言を言うようになった。築港工事には「セメント」を多量に使用するのだから、「セメント」の価格の騰貴はなかなかの苦痛であった。内務省でブツブツ言うのも無理がない。ところで、ちょうどその時分私はフランスの雑誌を読んでおったところ、その内にドイツのミハイルという人が火山灰を「セメント」に混ぜて使用することを発明して、その結果が非常に良好だという事が載せてあった……遂にミハイルの勝ちと定まった。私はこの成績の良いという事を聞いたから、これなら大丈夫と、さっそく火山灰を混用することとした。³⁾。廣井はセメント節約のため火山灰を用いた。「事件解決に協力を求められた廣井博士は札幌農学校時代の愛弟子の一人で、博士とともに函館港や小樽港で働いた真島健三郎を海軍に異動させている

22)との説もある。広井が真島より先に火山灰を使っていた？真島が海軍にいきり佐世保に行くのはM32年。どちらが先に火山灰を使ったかは不明。廣井はセメント節約のため、真島はコンクリートひび割れ防止のためで目的が違う？浅田説は廣井の貢献を大きく見過ぎのようである。

この件について真島は後日次のような文を残している。「我国セメントの発達を促した三大築港工事——海軍建築局長 眞島健三郎 第2次伊藤内閣の海軍拡張案に基き、佐世保軍港の第一船渠が完成したのは明治28年8月であった。直ちに排水試験を行った処が渠口壁を始めとしてほとんど全部漏水し、積み石は押し出されるというような醜態を演じ、工事上の失態を遺憾なく曝露した。之が端なくも帝国議会の問題となって、海軍当局は政党各派総攻撃の矢面に立ち、山本権兵衛伯自ら陣頭に立って議員と応酬し、漸くにして活路を得たのであるが、海軍としては其の内容を厳密に調査する必要がある。そこで当時我国セメント界のオーソリチーと言われた高山甚太郎博士を始め、古市公威、中澤岩太、山崎弦二郎、石黒五十二等の學界の権威を調査委員に任命し調査せしめた結果、海水の為にセメントが分解したものであることが明らかにされた。原因は分かったが、扱てどうしたら海水に耐え得るセメントを造り完全な船渠となるのか結論は得られなかった。

当時セメントの研究者としては農商務省の前記の高山博士あり、民間製造会社には私の記憶する処では小野田の笠井真三氏を始め、浅野の坂内、佐賀の篠田、日本セメントの大久保(後に篠田)等の技術家だったが、セメントを使用する側には遺憾ながら一人の権威者も無かった。尤も陸上に使用するセメントは問題ではなかった。小野田は此頃既にディーチュ窯を備え、セメント界に新時代を画したのみならず、その製品の優良は自他共に許されて居った。然しながら海水に使用するセメントは果たしてどれがよくて、どれが悪いか、之だけは製造するものも、使用するものも共に自信がなかったと云っても不當ではあるまい。

佐世保海軍工事の失態の後始末をするために、私が当面の責任者の地位に立つことになったのである。追加予算50万圓を得て、明治31年私は海軍に入るとともに佐世保に向かった。其の頃新たに発布された勅令が「政府の施行する海水に接触する工事及び水道に使用するセメントは、随意契約によって契約することを得」という意味のものであって、之は爾後二十余年の久しきにわたって単独勅令としての効力を持続した。言ひ換へれば佐世保の第一船渠の失敗の記念でもあったのである……この佐世保、横浜、大

阪と打續く三大工事の失態は我國のセメント界に異常な衝動を与へ、之を契機として各自熱心に研究した結果、セメントの品質を著しく向上せしめたのである。その點から觀れば三大失敗は必ずしも失敗にあらず、寧ろ後の成功を齎したことに依って、功罪償って餘りあると言い得るかも知れない。

私が佐世保の船渠工事を施行するに當って第一選に上せたものは小野田セメントであった。任を受くると間もなく、私は小野田に出張し、セメント製造の実況を觀察し、笠井真三氏の説明を求めた。その結果如何にせば海水に耐え得るのかの試験を幾度か繰り返したが、容易に私の理想とする結果は得られなかった。笠井氏も亦再三再四佐世保に出張して熱心に研究されたのであるが、最後に小野田セメントに加ふるに火山灰を以てするという新しい工夫が案出されたのである。

昔長崎県五島の鬼岳附近に産する火山灰を海水面に使用して成功したことがあるが、小野田社では此の五島の火山灰を取寄せて粉末にし、セメントの中に約四分の一ほど混入し試験した処が、非常な好成绩を示し、為に第二船渠は殆ど完全無欠なものができた。明治34年8月のことである……之を動機として海水面に接触するセメントに火山灰を入れることが一時非常に流行し、五島産のみならず肥前唐津産の火山灰も俄にその価格が騰貴するという現象を呈した……」⁵⁾

當時のセメントはC₃Aが多く海水工事には不向きであったろうと西澤⁶⁾は述べている。また真島は灯台工事に使用された天然セメントや九州地方で用いられていた天川漆喰あまかわにヒントを得て耐海水コンクリートに火山灰を用いたのではないかと推定している。その後海水に接するところのコンクリート工事は問題なくなった。

5. 佐世保軍港工事⁷⁾

日露戦争(M37,38)後、戦争で損害を受けた艦船を迅速に修理することが求められていた佐世保ではM38(1905)年、3つのドック(水雷艇ドック等)が相次いで起工されるなど、大規模な工事が次々と行われた。その中で最も力が注がれた大きな工事が、「立神係船池修理艦船係留場」の建造である。佐世保の海側に突き出ている立神岬だいにしやと大蛇島しやうじや、小蛇島を堤防で取り囲み、入り口をふさいで海水をくみ出し、海底を掘削して泥を運び出し(有効水深を確保し)、周りには岸壁を築造した後に、再び海水を入れるという大事業である。

「艦船の艤装及び修理に際し之が繫留岸壁の必要起り明治三十九年四月締切に着手し四十年四月掘鑿の工を起すと共に岸壁築造に著手す。本工事は明治年間に於ける我が海軍の最大土木工事にして技師眞島健三郎、山内彌次郎相踵いで之が主任たり。海軍に於ける今迄の締切は皆木造粘土積みのコッファードラムを以てせしが本締切には始めて単層木鐵矢板を使用したり」⁴⁾。

576m×363.6mの係船泊池は水深10.6mで出入り口は幅169.7mある。高さ15.76mの岸壁上には修理用のクレーンがならび、電気水道他の設備、倉庫などがおかれた、電気、水道を供給するトンネル通路も造った。

工事は先ず、締切堤防の埋め立てから始めた。工廠の裏山と、当時建設中であった第四・第五・第六船渠(現・第三、第二、第一ドック)の排土で、幅10.0m位、高さ3.0m位の水の中土手を2筋作り、その間に粘土を投入し海面上1m余まで埋め立てる。粘土の中央には木鐵矢板を打ち込み、粘土の外側は土石で被って波による浸食を防ぐ。全体で底幅50m、天端幅10m高さ10数m、長さ約2000mの土手を築く。粘土部の中央には眞島考案の木鐵矢板を打ち込む。M39年(1906)4月からその堤防心の矢板打ち込み作業に取り掛った。木鐵矢板は短いもので4.7m、最長のものは21.2mにも達した。これは眞島の苦心の考案による「新案特許眞嶋式矢板」であった(米松角材25cm×15cmを角材より内幅の広い溝形鋼2枚で両側から挟んだものと、この溝形鋼と角材の隙間にフランジが入るようにしたI形鋼をクレーン船で交互に打ち込んだ。)

潮留め堤防工事が終わると、小蛇島の上にポンプ所を設け、海水の排出作業を始めた。水位が下がるにしたがってポンプの位置を移動しながら、昼夜兼行の排水作業が続いた。総面積21万m²という池内の海水が、全く干し上がるまでには数ヶ月を要した。

海水のくみ出しが終わると、次は海底の掘削が始まった。海底の広さは約21万m²で、そこを平均7~8m掘り下げるといふ大工事である。掘り取った土砂も約200万m³と言ふ大変な量で、大蛇島、小蛇島それに立神鼻南岸の三ヶ所に巻揚機を設けて、掘削した土砂はここから土受船に積み込み、引き船によって庵崎の南方や向後崎の沖に投棄された。土受船は48m³積み底開き鋼製バージ約30艘、480m³積み自走航走土受船数隻を利用した。土砂は棧橋から船で港外へ運ばれたほか、現在海上自衛隊業務隊や米海軍基地が設置されている倉島、平瀬の埋め立てなどに利用された。ひとたび荒天ともなれば、土受船を波浪から待避させるため、必死の救難作業に当たらなければならなかった。想像するところ上甲板を波が洗う、予備浮力なしの船での果敢な作業であつたらう。

立神側と工廠側の巻揚機から出た排土は、汽車で平瀬と倉島へ運ばれ、その埋め立てに使つた。

M44(1911)年4月、コンクリートを使用した岸壁工事が始まつた。岸壁は高さ15m以上もある構造物で、係船池を取り囲むように造られた。岸壁は海水に直接接触することになるため、眞島が開発した海水に耐え得るコンクリートが使用された。配合はセメント0.2 火山灰0.3 砂2.0 碎石2.0の割合にし、普通コンクリートも鉄筋コンクリートも同じ配合であつた。

コンクリート運搬には小型蒸気機関車を用い、底開き鋼製函トロコ6台を牽引して運び、移動式ケーブルクレーン3台、径間212m、塔の高さ16.7m、メインケーブル径50mmは型枠運搬・組み立て、石材運搬などにも使つた。工期は眞島が新たに考案したコンクリートの運搬方法を採用したこともあり、予定より早く約3年後に終了した。

岸壁には先ず中心間隔6.0m、幅1.5m×6.0m~1.0m(台形)、高さ9.7mの柱(橋脚)を建てた。この二本の支柱を一組とした柱上に、長さ12mの鉄筋コンクリート桁を架け、両端は3.0m突き出し、突桁とした。柱の後背部は、岩盤の高低に順応して、柱体の一部を岩盤に掘り込み、掘り込み部は階段的に切り付けて柱の安定を保つた。

つぎに柱間の空洞部、下方の高さ4.5mは間知石の空積みにし、上方の突き桁下端までを砂岩切石で階段形の張り石とした。

このようにして全周1,878m余、面積21万m²余、その高さ15.8mという巨大なコンクリートの壁ができあがつた。

T3(1914)年4月3日、海水がくみ出されていた海底に再び海水を入れる「入水式」が行われた。以降満ち潮のたびに入水し、約2カ月かかって満水した。その後、しゅんせつ船で入り口部の土手を掘って海底をさらえ、出入り口の土留め壁を取り除き、100t起重機船で海水の侵入を防いでいた矢板の引き抜きを行つた。

そして、T5年(1916)、ついにこの大事業が完成した。工事を始めてから実に11年の歳月を要し、まさに明治年間における海軍最大の事業となつた。立神係船池は「1万トン級の船なら同時に9隻つなぐことができる東洋一の施設」と評され、全国から注目を浴びた。岸壁の上には、係船池の建造と並行し、いくつものクレーンが設置された。中でも目を引くのが、今も現役で使用されている250トンの大クレーンで、イギリスに注文して造られた。組み立てもイギリス人技師が来て指導を行い、T2年2月に据え付けを始め5月に完成した。海軍が莫大な経費を掛けた、このクレーンは、

高さ42m,水平に突き出た梁の長さ80m,直径44mmのワイヤーロープの長さは784mという巨大なもので戦艦の巨大な大砲や機械の取り替えを自由自在にやっていたのけるなど,迅速な修理に大いに貢献した。

1903(M36)年10月～1904(M37)年3月 欧米出張(留学), 各地(英米独仏)で技術視察(今般臨時海軍建築部工務員真島健三郎を欧米各國に於ける臨時海軍土木工事視察の為出張せしめられ此に付其地到着の上は右視察上に関し十分の便宜を與ふ様取計はれたしとの協力要請書を持って各國を廻った)⁹⁾。

6. 日本初のRC構造物

従来の説では「鉄筋コンクリート橋がわが国で最初に出現したのは1903年(M36年)3月に竣工した神戸市内若狭橋で長さ2間8分(約3.65m)の床板式桁橋であり,ついで同年7月竣工した京都府下琵琶湖疎水路線上に架する山科運河にある長さ4間1分(約7.28m)のメラン式鼓形桁橋がある.鉄道橋としては翌年建設された山陰線米子・島田間の島田川鉄筋コンクリート暗渠(径間6ft)が最初であり……」(日本の土木技術——100年の発展の歩み,p311)と云われ,建築分野では和田岬の倉庫が日本最初(M37)とされていた.しかし少し詳しく調べると日本に初めて鉄筋コンクリート(RC)を紹介したのは廣井勇であり(工学会誌,1894),次いで小野田セメントの笠井真三が大坂の内国勸業博覧会(M34,1901)に鉄筋コンクリート作品(模型)を陳列した⁹⁾のがそれに次ぐようである(スケッチが西澤⁹⁾にある,RC桁にコンクリートブロックを吊してある).次いで台湾で働いていた真島の同窓4年先輩の十川嘉太郎が建築や電柱に鉄筋コンクリートを用いている(M35)⁹⁾.真島もその頃から文献を読みこれに強い興味を持ち海外出張の際にも調査をしているが,帰朝後(1905)始めて30尺ばかりのT型桁模型を試作し荷重試験をして上司に見せている.この模型が好評で「容易に上長の同意が得られ……建物や煙突を純鉄筋コンクリートとして始めて実現するに至った……其後建築家でない自分にも得らるゝ機会あればやつて見たのであるが,夫れも特別の豫算を貰ふ譯には行かず常に木造豫算内で賄はなければならぬ羽目となり,人知れぬ苦痛もあって,今に忘れかぬる思出となって居る.……煙突の計畫については今一つの思出がある.御承知の通り昔の煙突は殆んど煉瓦造に限きつて居つた,夫れが濃尾の地震(M24, 1891)や明治二十七年(1894. 6. 20)の東京地震で破損したものが最も多く,一般の大きな不安

となった.其處で芝浦工場が鐵製耐震煙突の發明普及を計つた.所が夫れが歓迎されて大きなものや重要な場所には多く採用せらるゝに至つたことがある.併し之は可なり高くつくので自分は必ず安く出来るだらうと信じて居つた鐵筋コンクリートに代へたいと思ふたのが動機であつた.然し當時まだ獨佛にも適當な計算を示したものは見付からなかつた.其處で一つ新方法を定めてかゝつたのである.夫が後日「ベトンアイゼン」に掲載されたザリゲルの詳しい研究の結果と同一轍に出て居つたことなどは若かゝりし當時自分を悦ばしたものである.⁹⁾煙突の様な中空構造の計算式が無く真島が自ら導いたこと,鋼製煙突に比べ価格が安いことを重視しているなどが(これは石油タンクについても言える)うかがえる.後に柔剛論争の立役者となり振動を論じたが,當時は未だ風圧力で設計したか?「明治三十四年一月技師真島健三郎を主任として第三船渠(第二船渠は実現せず)の築造に著手し明治三十八年之が工を終れり.該船渠(第三船渠)付屬ポンプ所及び其の煙突は鉄筋混擬土を以て建設せられたり.之わが国に於ける最初の試みにして明治三十七年の竣工なり」⁹⁾と別資料にはある.その後第一船渠の煮炊所(第5,第6ドック煮炊所⁹⁾,100坪位～M38.9)潜水器具格納庫(M38年11月)(第5第6ドック食堂,他に80尺高の煙突)をつくり50t起重機前岸壁補強,重油タンクにも,石油積み出し用の岸壁にもRCを用いている.M39～M40築地造兵廠H120尺と80尺の煙突(本土最初のRC構造物)も……「尤も此外に軍規上公表しなかつた海軍省の仕事がある.其當事者は我同窓の畏友海軍技師真島健三郎君で,君は35,6年の頃より佛文クリストス氏「ベトンアルメ」(P.Christophe:Betone Arme)其他一二の原本につき深く鐵筋コンクリートを研究し,明治三十七年佐世保第一第二船渠の唧筒室及汽罐室を築造した.之れは建坪100坪位,柱は鐵筋コンクリート,壁は煉瓦半枚積,屋根はスパン50尺の陸屋根で,相當君の苦心を要したそうである.夫れと同時に賄所(40坪)及高80尺の煙突も其年に出來上り,三十八年には佐世保工廠50噸起重機前岸壁補強の為中段に鐵筋コンクリート床施工,三十九年から四十年にかけて高150尺の煙突一基,四十二年には東京築地海軍造兵廠に又高120尺と80尺の煙突二基を建設されたのである.(十川)……」⁹⁾「十川君の思ひ出は三十餘年の昔話で自分に關する記事は他日気が向いたら能く取調べた上記述する時期もあらうと思はれるが此機會に於て朦朧たる記憶を辿りて少々當時を追想して見たいと思ふ.自分が此問題に興味を持つに至つたのは,主としてコンクリートに關する工事に當面して居たからで,自然其方面の文献もあさり,早く之に接觸する

機会が多かったからである。当時又屢々故廣井先生の御話もあり且つは大阪の内國勸業博覧会に小野田セメントの笠井君が簡單ではあったが鐵筋コンクリート作品を陳列されたことがある。之が日本最初の鐵筋コンクリートであり、自分には大きな刺戟となつて一層深入りする様になつた。明治三十四五年頃には多少の自信もついて何にか一つ建物をやつて見たかったのであるが、当時自分は一幼弱の土木技師であり、建築方面を總括せる上長には話しても一顧だも與へられなかつた。幸に36年外遊の機会を得たので、之を視察の一項目として通りがけには務めて見物したのである。……斯様に數は少かつたが若干實物にも接觸し得たので、歸朝後先ず自分に關係の厚い船渠方面の建物に試みんと思立ち、第一着手として上長の同意を得る方便として、30尺計りのT形桁を製作加重試験を行ふたのであるが、之が存外なく當つて、容易に上長の同意が得られ、十川君の思ひ出に記載されてゐる建物や煙突を純鐵筋コンクリートとして始めて實現するに至つたのである。其後建築家でない自分にも得らるゝ機会あればやつて見たのであるが、夫れも特別の豫算を貰ふ譯には行かず常に木造豫算内で賄はなければならぬ羽目となり、人知れぬ苦痛もあつて、今に忘れかぬ思出となつて居る。築地に建てられた二基の煙突は佐世保以外の本土に於ける鐵筋コンクリートの最初であつたと思ふが、大正震災にも無事で内一基は海軍技術研究所移轉の爲取拂はれたが、他の一基は今以つて經理學校内に現存して居る。……然し當時まだ獨佛にも適當な計算を示したものは見付からなかつた。其處で一つ新方法を定めてかゝつたのである。夫が後日「ペトアイゼン」に掲載されたザリゲルの詳しい研究の結果と同一轍に出て居つたことなどは若かりし當時自分を悦ばしたものである。」⁹⁾「該船渠付屬ポンプ所及び其の煙突は鉄筋混泥土を以て建設せられたり。之我が國に於ける最初の試みにして明治三十七年の竣工なり。當時猶ほ船渠の不足を生じ更に新設の議起これり……」⁴⁾。石油タンク、これに関連する岸壁、佐世保港の岸壁などもRCで作つたようである。土木のRC構造物の最初は眞島と若狭橋とどちらが先かはよく分からない。建築構造、煙突では眞島の方が先のである。佐世保港のRC建物については近江榮⁹⁾により再発見された。「眞島は單に海外のRC文献を見て模倣しただけでなく木造建築とRC建築の特色を考え構造を決めたようである……RCの柱、梁の扱いが未だ木造的架構法を踏襲し眞壁構造として壁に煉瓦を積んでいるのに興味をもつた。……この烹炊所の設計をみるとあきらかなように、未経験なRC構造に踏切る際に拠るべき規範としては、やはり伝

統的な木構造の手法が踏襲されており、柱、梁、方立、胴差などに相当する部材を、RCに置き換えた儘の、きわめて無難にして素朴な表現を示しているのは興味深いところである。しかしこの二ヶ月後、同時期に相前後して竣工している潜水器具格納庫においては、きわめて先駆的なRC構造が試みられており、この建物の設計におけるあらゆる決断は、まさに注目すべき内容を含んでいる。……本格的なラーメン構造とカーテンウォール、さらに陸屋根構造も採用しており、その後の普遍的発展性において、むしろ後者よりすぐれた内容を示すものであると云えよう」⁹⁾。眞島は單に西洋の文献を読み真似をしたのではなく、いろいろ工夫していることが分かる。

針尾無線塔H=135m×1, H=137m×2 電信室 油庫×2 (佐世保の南に10kmにある)も眞島の呉への転勤後の工事であるが眞島の設計か計算式を用いたかと思われる。当時海軍では東京、佐世保、台湾に無線塔を作つたが他の2カ所は鋼製の無線塔である。石油タンクの場合と同じく鋼製で計画されたものを眞島がRCに変更したのではないかと考えられる。

7. コンクリート製石油タンク¹⁰⁾¹¹⁾

「艦船の燃料が石炭より重油に移るに至り先ず容量3000噸の油槽數個を……鉄筋混泥土を以てつくれり……又之と同時に其の海岸に鉄筋混泥土矢板を……これ我が海軍に於いて油槽及び海水工事に鉄筋混泥土を使用したる最初なり」⁴⁾。「第一次世界大戦(1915～19)前後に艦船の燃料は、石炭から重油に変わった。佐世保軍港は燃料基地的な性格の港でもあつた。そもそも佐世保に初めて重油タンクが作られたのは明治の末期で、軍艦の燃料が石炭と重油を混用した時代であつた。当時の重油タンクはすべて鋼製であつたから、M44年(1911)に佐世保鎮守府に起工命令が出たときは当然鋼製の予定であつた。だがこのとき佐鎮の建築科にいた眞島健三郎は、鉄筋コンクリート案をもち出して、計画の変更を上申した。

この頃はまだコンクリート工法の幼稚な時代であつた。従つて、わずか30cmそこらの厚さの壁で、水より浸透力の強い重油を入れることは危険とされ、なかなか許されなかつた。けれども眞島の熱意は遂に海軍省の首脳を動かし、試験的に行なわせてみることになつた。眞島は現場に起居し、全力を傾けて工事に當つた。そのかいあつてM45.2(1912)にできあがつた日本最初の3基のコンクリート製重油タンクは、鋼製に勝るとも劣らぬ完全なものであつた。コンクリート製は鋼製に比べるとその築造費がうんと安あがり

であった。このため海軍はT3(1914)年9月、同じ佐世保の川谷に6,000kℓのコンクリート製重油タンク8基の急造命令を出した。真島は、このころ出現した飛行機に備えて、「土中式重油タンク」をつくり、これがT11(1922)11月にできあがった。けだしこれは、日本最初のコンクリート製の地下重油タンクであった。…次いで庵ノ崎に総量20万kℓのさらに大型の矩形の重油タンク群がつけられた(円形では径を大きくすると天井スラブのスパンが大きくなるのでより大量のタンクにするため矩形にしたのであろう)。T15(1926)年に完成したこのタンク群は、「無筋コンクリート油密施行法」を用いた点で、画期的であった。第一次世界大戦の影響でT4年(1915)ころ1t90円だった鉄の値段は、T7年(1918)ころには350円に急騰したため、鉄材の使用量を極力節約する必要に迫られた。このため真島が苦心のすえ開発したのがこの「無筋コンクリート油密施行法」で、側壁と底部には一切鉄材を使わないという画期的なものであった(重力式?)。これらの重油タンク群は、すべて軍極秘のうちにつくられ、その工法は学界にさえ発表されなかったし、川谷の3基のほかはすべて地下に秘されていたので、一般の人びとは全く知るよしもなかったが、実はこのほかにも、これらと平行してつくられた百数十基の軽油タンクもあった。佐世保港の西岸一帯は巨大な油の貯蔵庫だったわけである。(佐世保史談会「談林」19??)。

1921年(T10)呉の町から山を越した東側に呉鎮守府が拡張され広支廠が設立された。呉に転勤した真島はこの広海岸付近の干拓地帯の地層が深く(約40m)、地下水面が一定していることに着眼し、油水置き替え式のタンク構造を考案した。そこで半年に亘り油水混合状態その他の諸種の試験を行い新型のタンクを決定した。これは鉄筋コンクリートの井筒を沈下して、底は砂利と砂で埋め、底盤コンクリートを造らず、そのため地下水が自由に入ってくるが、その地下水面上に油を貯めるものである。油が減れば地下水が増えて油表面は常にほぼ一定の高さに保たれるので地表近くに置いたポンプでくみ出しが出来るため払い出し設備が簡単ですむ画期的なものである。厚い底盤コンクリートもバルブ操作室も要らず経済的である。油水置き換え式タンクは真島の創案に係わるもので、呉鎮守府長官の表彰の碑が現地に建てられた。(油水混合状態並びに之に伴う諸般の実験を行い幸に良績を得、茲に本式を以て貯油の型式……土地利用の上に油保存の上に将又災厄に対する防御保安の上に暫新機軸を出せるもの……。)真島はS4東京で開かれた万国工業会にもこの石油タンクについて英文の論文を出している。本形式の油槽は一基

の容量5,000~1万kℓでT15年からS17年まで約125基建設された。戦後ゴミなどで埋められ今は現在は公園になっている。

最初は露出式RCタンクが作られたが初期のRC油槽は側壁が日光の直射を受け膨張し重油の滲出を見たので側壁を地下に埋め込んで側壁コンクリートの膨張収縮を極力抑制した。さらに結露の問題、貯油の蒸発損失を防ぐためと防災・防空的見地より地下式の油槽になり、さらに重油は温度上昇によって気化量が増加するが、露出式では気温の変化を受けて年間20~30℃の温度変化があるのに対し、覆土式ではそれが5℃程度であって貯油の蒸発損失を減少するのに役立った点があげられている。鋼材の値上がりに伴いRCから重力式になり、より大型の貯油量、天井版を作る必要から矩形になり、または天井版を支える柱を多数建てたり、地質の応じて岩盤直打ち式を考案したり、洞穴式や井筒沈下を採用したり、呉の地質から底盤も、バルブ操作用の立坑も要らない水蓄式が考案されたりした。

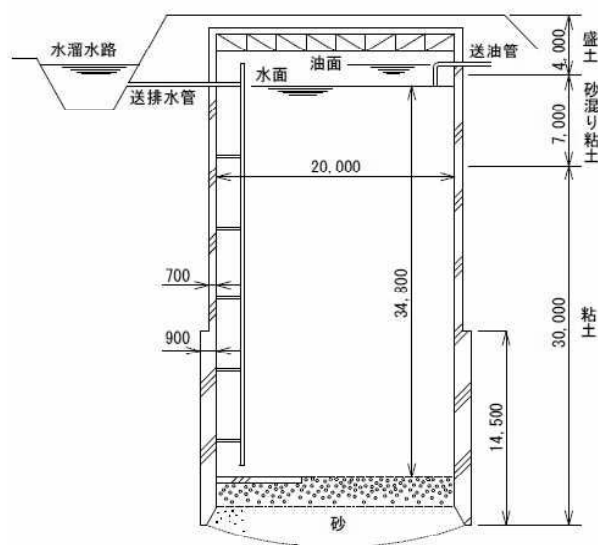


図 油水置き替え式地中タンク

関東大震災では、横須賀において鋼製露出式タンクの危険なことが示された。すなわち鋼製、地上式のタンクでは制油弁の切断による油の流出(箱崎の地上式重油タンクからは関東大震災で8万t流失、地下式の小海タンクでは被害は殆どなし)、及び油面のスロッシングにより、屋根板をつきやぶって油が流出したなどの事故が見受けられたのに対し、横須賀小海の土中式鉄筋コンクリート油槽はわずかな被害で済み、数カ所のセメントグラウト工によって修繕した程度であったと報告されている¹⁰⁾¹¹⁾。

當時は未だ油中浸漬型ポンプ(水で云えば水中ポンプ)が無いためポンプの操作などのため横からト

ンネル通路をつける,又は地表から縦坑をつくりハシゴで降りてポンプや油弁を操作する必要があった.油水置換による受払方法では常に油の表面はほぼ一定だから油ポンプを地表または地表から少し低いところにおいて油を吸い出すことが出来る.又従来方式ではタンクが空になった時には底盤は地下水圧を受けるので厚くて丈夫な底盤が必要であるが,油水置き替え式(深井戸形タンクとも言う)では底盤は砂利や砂で埋めれば良いので極めて経済的である.浮天井蓋も要らない.覆土する事が前提であり,そのためには堅固な天盤構造が必要なことから(又は柱を沢山立てる必要から),タンク直径と深さを同時に大きくすることは難しい.なお,これらのタンクのいくつかは現在も自衛隊,米軍等によって使用されている¹¹⁾.

横須賀,徳山,台湾,朝鮮にも地下タンクがありこれらに眞島が関係したかどうかは不明である.同じ事は築地の煙突その他についても言える.しかし少なくとも眞島の実績,計算式を参考にして実施されたようである.

8. 呉港工事その他

日清・日露と戦争が続き軍の存在が大きくなった.海軍は昭和2年(1927)までに9億5000万円の予算で八八艦隊(新式戦艦8隻と新式巡洋艦8隻を基幹とする艦隊)を8年間10億円で建造する計画をたてた.大正8年(1919)には陸海併せて軍関係だけで6億5000万円の支出になりこれは國の歳出総額の49%に達した.一方で世界的にも軍事予算の増大は悩みの種であった.1921(T10)11月にはワシントン会議が開かれ軍備制限が提議された.そこでイギリス,アメリカ,日本,フランス,イタリアの海軍(主力艦)比率は5:5:3:1.67:1.67と決められた.日本帝国主義も軍拡に枠をはめられ,軍艦作りは一時(10年間)休みになった.

戦前,日本には四つの海軍鎮守府と,その管轄下にある海軍工廠が存在し,戦艦・空母などは呉と横須賀で,巡洋艦は佐世保で,駆逐艦は佐世保と舞鶴で,潜水艦は呉と横須賀で造る生産態勢ができあがっていた.その中でも,呉は瀬戸内海という波静かなところがあり,艦隊の訓練をする場所として適していたことから,呉海軍工廠では造船・造機・造兵・製鋼・礮装・検査・実験部などの,機能が集中した.新造艦艇の兵器と鋼鉄は,すべて呉で製造されるようになり,呉海軍工廠は「東洋一」といわれるほどになった.

呉は山が海に迫った所であり,平地は少ない.呉軍

港の背後には380m,497mの山が聳えている.「M19年より敷地土工に着手しM22年5月第一船渠の築造に着手,M27年には第二船渠築造に着手し,第三船渠はM44.3に完成した」⁴⁾.そこに広大な工場を造るために山裾を削りその土砂で遠浅の海を埋めて工場用地,ドック等を造った.海中の締切,コンクリート打設などは佐世保と同じ工法がさらに大規模にとられた.さらに工場が拡大され造船に伴う各種機械,航空機の工場が造られた.

T6(1917),呉に転勤になった眞島は1919年(T8)～1933(S2)に機械化土工により行われたこの工場敷地造成,ドック建設工事その他に係わった¹²⁾¹³⁾.

1919(T8).7～1925(T14).7 呉埋立て工事1,080,000m³
1925(T14)5月～1926(T15).3迄 船渠掘削工事 掘削土量450,000m³

27mに及ぶ硬質真砂土の崖を削る必要があった.アメリカから最新式の大型機械を輸入し直営で工事を急いだ.眞島の着任前にT8(1919)より地山を174,960m³在来方式で掘削していたが,T10(1920).5にアメリカより輸入した建設機械が届いたので組み立て試運転を行いT11.2(1921)よりこの機械による直営工事に切り替え1,049,760m³の開鑿をT14.7まで行った.これが終わってから次にT14.5(1925)よりT15.3までドック450,653m³の掘削を行った.

掘削機はBucyrus社製パワーショベル2台で,1台(110-C)はバケット5yd³(3.8m³)軌道式(軌間1.435m,蒸気式首振り式ショベル自重130t,¥129,646.724と,もう1台(225-B)はバケット6yd³(4.6m³)軌道式レール軌間9.144m,全旋回式蒸気ショベル自重337t,¥331,646.727で,ずり出しには42t及び32t蒸気機関車各2両(標準軌1.435m,レール重量17.07kg/m)2組4両と,ダンプカー20m³積み40輛(鋼製及び半鋼製),(ショベル2台,機関車4両,ダンプカー40輛合計1,306,927.434円),組み立て用クレーンを¥97,998.245で輸入した.土運船,削岩ジャンボ一等は国産または国内に既にあったものを使った.機械は石炭を焚く蒸気式,軌道式でショベルはワイヤロープで動かすケーブル式,全旋回式と首振り式で工事段取りも難しかったようである.110-Cショベル線は33kg/mレールでは曲がるので40kg/mレールとした.このショベルは全旋回でなく首振り式180度旋回である(掘削幅20.1m).前方を掘削する方と側方を掘削する方を用いた.225-B型全旋回式ショベルはより大型で重量337.5t,ブーム長さ24.38m,ディップハンドル17.678m,レールは55kg/mを用いた.

ダンプカー(側方転倒)は軌道式で鋼製20輛車体のみ鋼製,20輛は車台は鋼製,積載量40tである.

地山は高いので中段にレールを敷き機械を据えて

2段に分けて掘削した。上段に大型ショベル、下段に小型ショベルを配置し、地表から深いところは堅いので発破併用とした。運搬は陸地及び浅い海面は陸上運搬、海中は土捨て棧橋より泥受船150m³積み2艘300m³底開き船に移し曳航土捨てした。

土捨て場所(工場用地)までは800m及び3.0kmで3.0kmの方は途中にすれ違い線を設けた。爆破を併用したので発破退避のための退避線を長く敷いた。1924(T13)年1月よりサイクロンドリル2台を用い発破(時々大発破)掘削を併用した。大発破は10cmビットを用い径φ18cm、深さ7.8~20.1mの縦穴を削孔した。削岩機は自走式で今で言うクローラドリル2台を用いた。1時間の平均進行は0.4m/hr弱。1回に1800~2400m³掘削し、全部で865,393m³の掘削を行った。湧水がある所では火薬はブリキ缶に入れて装填した。機械掘削の場合雨天でも作業できるので相当工期を短縮出来た。掘削ズリは海岸埋め立てして工場用地を造成した。(T11.4~T14.2)。約41ヶ月で840,000m³の掘削を行った。当時としては画期的な急速施工である。

船渠掘削(=438,635m³)では渠内に1/30勾配で斜路を造り225-B型6yd³ショベルを自走させて底盤までおろし底盤にショベルを据えた。ズリは船渠天端のトロッコに積み込んだ。15mの船渠深さに対しショベルの最大揚程は18.60mであったので十分トロッコに積み込めた。深さ15mまではこのようにして掘削し残りは110Cショベルを下まで下ろしてトロッコに積み込み、トロッコは斜路をウインチで巻き上げた。サイクロンドリルに依る発破を併用して323,124m³を761日で掘削を終えた。(T14.7~T15.3)。その他コンクリート用に砕石を製造した。船渠海側は佐世保と同じく土石で締切り、中心粘土部には眞島式の鋼矢板を打設した。溝形鋼12in×25#×2+米松角材とI形鋼15in×45#の矢板の平均長さ14.4mのもの321本、15mのもの320本、陸上部177本、打ち込みはマッキナー蒸気ハンマー2台を用いた。1日平均8本を打ち込み50日で終わった。コンクリート運搬には5t能力の門型クレーンを用いた。2yd³の(1.67m³)のミキサー、木製トラスで支えた型枠の高さは40mあった。1日最大1,442m³能力。佐世保以上に大型機械を用いた工事が行われた。

建築局長となつてからの眞島は海軍の土木建築の工事全般に係わつた。特に震災で被害を受けた築地、横須賀の設備建物を舞鶴に移設する大工事は柔構造で実施された。

1932年退職後は日立造船、藤永田造船所などの顧問として因島造船ドック(坑道式発破で岩盤掘削)、大阪鉄工所ドック(圧気ケーソン工法で建設)の建造に

係わつた。又万国工業会などに地下石油タンク、耐震構造についての英文論文を発表している。

9. 柔剛論争

眞島が 建築局長として1923.4.1赴任して間もなくの1923.9.1関東地方は強い地震に襲われ(関東大震災)海軍施設(横須賀、築地)もかなりの被害を受けた。眞島も震害調査委員に加わつて被害調査などを行っている。眞島はそれまで煙突や無線送信塔などの設計もしていたが、悲惨なまでの壊れ方をみて「土木建築の學又は實施に従事せる技術家の微力なりしを恥ぢ且つ之に對し重大なる責任を感じ」¹⁴⁾、耐震の勉強を始めた。「之等の論文は多く今日の振動物理学書と無接触な作品で、大震災後自家の用途の為急速に構造方針を決定するの必要に迫られ」²¹⁾と書いたとしている。また「災前全く不用意であつた著者が、茲数年本問題について菲才を顧みず、聊か微力を盡し來たれるは、實は當初専ら自家の用に供せんが為に先賢の著書を涉つて未だ理論的據るべきものを見出し得ず不安に堪えなかつたからである。」²¹⁾とも書いている。(別説 地震から眞島が論文を発表するまで、横須賀の庁舎建築までの期間があまりにも短すぎるので眞島は、あるいは海軍ではその前から耐震構造に就いて関心・興味があり、研究を密かに進めていたとの説もある。それは20余年前の日本海海戦で大勝(1905.5.27~28)して凱旋した軍艦が帰つた時の安芸灘を震源とする芸予地震1905(M38)6.2で、呉鎮守府のレンガ建築が甚大な被害を受けたためという。勿論針尾無線塔(RC,H=137m)は眞島が鋼製よりも経済的としてRC塔の建設を推進したと考えられるので(石油タンクや煙突にRCを推奨したのと同じ発想、同時期に建設した他の場所(舟橋、台湾)の無線塔は鋼製)地震に対する安全性に就いては気に掛けていたはずである。眞島は音響学の本Lord Rayleigh: Theory of Soundや振動学の本:愛知敬一:理論物理学等を読んで振動について耐震に就いて研究し始め論文を土木学会誌に発表した。耐震強度をあげるには共振を避ける必要がある、そのためには構造物の振動周期を求める計算法を研究する必要があると考えたようである。一休さんだか楠正成だかが大きな重い釣鐘を小指一本で何度も押したらついには大きく揺れて鳴り出したとの話は昔からあり、眞島も構造物の振動周期が地震の周期と一致すれば危ないと、この被害の惨状を見たとき考えたようである。そのためには地震の振動周期と構造物の振動周期を離すことが重要と考えた。地震の振動周期は當時かなり分かつ

ていた。

一方東京大学建築部の佐野利器は震災防止には建築基準を定め耐震的な建物を造る必要があるとし、今で云う建築基準法を定めようとしていた。佐野は地震力は力だから質量×加速度で求められる筈だ、加速度は重力の一割位を考えれば良いと考えた。それ以前は風力を考えれば良いとしてやっていた(浅草の凌雲閣(H=69m),各地の煙突(佐賀関,H=172.8m),無線塔(原ノ町無線塔H=201m)等)ようであるから、受風面積に風圧を掛ける方式から自重に加速度を掛ける方式に進化した点は進歩しているが共振を全く無視した。「現今塔状建造物の設計には欧米非地震地方の方針を其儘踏襲し自重及風力に対して建造物の安全を算証するに止め充分なる風圧を採算するに於ては期せずして耐震的安定を併有すべしと做すものの如き。此の如きは非常なる誤認にして欧米に於て使用する最大風圧一平方呎五〇呎を以てしても同一程度の安全率を以て抵抗し得べき震度は僅かに0.1を出でざる事少なからず」²⁹⁾と耐震性に疑問を抱いた人もいたが、佐野は構造計算をするには力が分かれば良いと単純に考えた。それより佐野は自分の考えを論文で出すだけで無く(論文も沢山書いているが)権力を用いて、ないし権力の隠れ蓑を用いて自分の意見を押し通そうとした。佐野はあまりいろいろ考えずいったんこうと決めたら猪突猛進するタイプのものである。佐野は「帝都復興院建築局長」という肩書も持って、行政面でも大きな影響力・指導力を発揮していた。始めから水平力を考えて設計すれば良い、筋違いを入れるのが良いと考えたようである。関東大震災の10ヶ月後には「市街地建築物法」という法律(現在の建築基準法に相当する)がすみやかに改正され、日本初の「耐震規定」が誕生した。内容は、佐野が提唱した「震度法」にもとづくもので、「震度を0.1として設計しなさい」となっていた。

眞島は地震が振動であり、静的に働く力とは違う、共振したら危ないと云う点を第一に考えたようである。まず「震度1」という考え方そのものをやり玉にあげた。佐野の考えでは力は質量×加速度であり「地震の大きさを加速度によって定義する」としていることに疑問を呈した。物が壊れるかどうかはひずみ×弾性係数=応力が材料強度より大きい小さいかで決まる。「今回改正公布されました市街建築物取締規則の震度0.1以上と云う様な一定の横力のみを元として計画を致しますと同一強度のものは得らるゝかも知れませんが自己振期は様々のものが出来る筈です。随って震害を受く程度も多様」¹⁹⁾と論じた。建造物の受ける地震力は加速度と共振の関係で決まる。そのため振動周期を地震の周期より長くしてお

けば、建造物は地震に遭っても(継手が緩む、塑性変形などで)周期が延びることはあっても短くはならぬ、故に共振することは無く、なかなか壊れないと主張した。質量×加速度で力が決まるので無く、変位から歪みを求め、歪み×弾性係数で応力が求まり、それが許容値以下かどうかを検討するべきと考えた。

加速度が大きくても被害が小さい場合も報告されていることから眞島の主張に一理がある。(松代群発地震では加速度は大きい(500gal以上)周期が短く(衝撃的)、地震の継続時間が短く(1~2秒)変形が小さく被害も小さかった(壁のひび割れ程度、地滑り)との報告もある)。

振動の基本式は $\partial^2 y / \partial t^2 + u^2 \partial^4 y / \partial x^4 = 0$ (1) である。(減衰は考えない場合)。眞島は強制振動の場合はこれに外力を加えて

$$\partial^2 y / \partial t^2 + u^2 \partial^4 y / \partial x^4 = f(x)f(t) \quad (2)$$

が地震の時の基本式としている¹⁶⁾。しかし佐野も、武藤も(2)式は必要ないと云う。「……然るに諸家は、地震の様な力は下底に働くが、上体には直接働かない、上体の運動は凡て下底から伝わらなければ動き得ない、之れを伝ふるには先ず歪曲を要する、歪曲がなければ上体は動き得ない、故に歪曲のみを原動力とする(1)式でよいと言うのであります」¹⁶⁾。「武藤清君……地震の時も、(1)式で十分だ……是を強制振動の方にまで利用して差し支えないものだろうと考へます。それを理論的に申し上げますと甚だ面倒なものであります。……佐野利器君……只今武藤君との間に質問応答のあったバイブレーション(振動)のスタンダードエクエーション(標準式)、それに付きまして矢張り私……謂はば説を異にすると云った方が宜いのであります、あの第一のエクエーションで宣しいのだと考えて居るのであります」¹⁶⁾(眞島の「耐震構造問題に就て」の講演後の武藤、佐野の質疑応答から引用)と主張している¹⁶⁾。佐野や武藤が述べる(1)式ではバチでたたいた弦等の自由振動を表している。(2)式は地震で建造物が揺れ始めるが地震はなお続いている場合に相当する。ブランコは揺れて手前に戻ってきて止まりかけると同時に押してやるとまた大きく揺れるようになる。手前に動いている時に押しては効率が悪い。つまり押す力と押すときのタイミングが問題になる。地震では建造物の固有振動周期と地震の周期が一致するかどうか問題になる。この力とタイミングを右辺が表している。右辺が無くては単なる自由振動である。これでは眞島が長々と計算を繰り返しても議論は進まない。理論派と剛なるが良いとする、言うなれば信仰派とではどこまで行っても議論がかみ合わない。宗教論争並である。

佐野は勿論武藤も物部長穂も末広も当時自由振動

の計算式をこね回すだけで、共振を認めていない。

眞島は手回し計算機もない時代、鉛筆と算盤で振動の時刻歴計算をして、それから共振曲線を導いた。ただし数値計算を手伝ってくれた助手に感謝の辞を記して、¹⁷⁾次の共振曲線式をこの逐次計算(時刻歴計算)から導いている。

$$y=0.96x/(x-0.98) \quad (3)$$

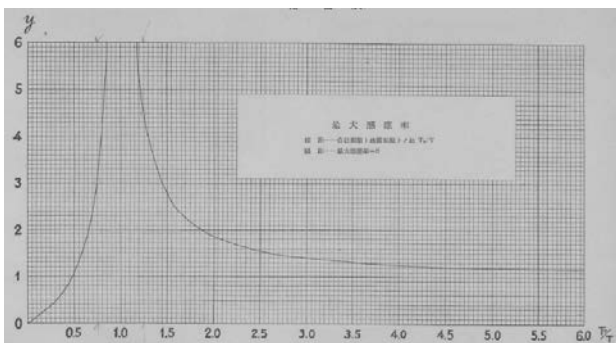
x軸に振動数比、y軸に振幅比を取っている。分母は共振の場合ゼロになるはずだから多少誤差があるとしている。数値計算の誤差が無ければこの式は

$$y=x/(x-1.0) \quad (3)$$

となるはずである。この式は世界初の共振の式では無いかと考えられる。(共振現象を発見したのは17世紀のホイヘンスと言われている。音響学でも電気でもその他でも共振や共鳴現象はある)。但し眞島と数値計算の担当者との間の連絡不十分か何かで振動周期とすべき所を振動数としてしまったようである。「附圖第4は振期比を横距とし其比の場合に起こる最大歪曲を縦距として表はしてありますから振期比が判れば直に其最大歪曲量が判る事になって居ります、即ち比が0の場合は極端に剛強の場合でありまして、歪曲は零であります、夫れから比が1/3, 1/2, 3/4と云う風に進むとズンズン殖えて行き、比が1の場合は ∞ となり、比が1を超すと急降して比2から先は大きな変化がないのであります」¹⁸⁾と説明している。この説明によると左端は極端に剛な場合としているがこの場合は剛なのだから塔なり建物は少しも撓まず縦軸は1(変位は地面の変位と同じ)になる筈である(縦軸は歪み、歪曲の比としているが、その前の計算では天端の変位比であり撓みではない。他の論文²¹⁾では縦軸は最大感率となっている)。この間違いがなければ剛構造は必ず地盤の振動量以上の振動(振幅)を起こすので柔構造の方がふさわしい(周期比が大きくなれば殆ど構造物の天端変位はゼロになる)ともっと強く主張できたのかも知れない。

地盤についても柔らかい地盤の方が褥効果があり被害が少ないとしている。

佐野利器は震度法を主張「今地面の上にmといふ



眞島の描いた共振曲線

質量を有する一の物体が静止して居りまして、此物体は地面と運動を共にするものであると考へます。地殻が或方向にa量の加速度を持ったとすると、其時刻に於て此物体は地の加速度と反対の方向に働く所のma量の力に依て其の静止を乱されんとするのである。そのmaは即ち地震の単純な破壊力であります。名付けて震力と云ふのである」²⁰⁾と論じた。これは墓石の様な剛な、余り大きくないものでは成り立つ理論であり、建物、土木構造物の様に大きくて撓むものではとても成り立たない理論である。

眞島は単に理論を述べるだけでなく、周期が長くなる構造形式を考案し、管理下の海軍省の庁舎その他を柔構造理論で建設した。それらの建物は横須賀、舞鶴などに今も多く残されている。汲川は「構造計算は民間における計算方法とは異なり、現海軍省建築局長の眞島健三郎博士の耐震構造論に基づき計算せよ……民間施設には内務省令による規則があったが、海軍の部内施設にはその制約は適用されなかったので、部内の重要構造物はすべて眞島理論に基づき計画の上実施すべしと本省指令による通達があった」¹⁹⁾という。現存するものも多数あるが米軍施設もあり詳細不明²⁰⁾である。

舞鶴の例では、階高は2階(一般の建物でも當時は高さ100尺に制限されていた)、柱と床桁の結合は水平力負担部では剛結、非負担部ではヒンジと眞島の論文に準じている。両者を釣り合いよく配置している。耐力壁は無い。柱底は論文と違いピン接合とされている。計算例では振動周期は在来方式では1.20秒が柱と1階桁との結合をピンにすると3.21秒になるとの試算もある²³⁾。

佐野は耐震のためには「木造家屋に於ては筋違の普及であり、鉄筋コンクリート家屋に於ては施工の真面目であり、鉄骨高層建築に於ては可及的に剛ならしめんが為にコンクリートSolid Wallの潤澤なる使用である事を切に感ずるものであります」¹⁸⁾と結論ありなのに対し、眞島は詳細な計算を延々と述べ両者の議論は少しも噛み合わない。柔剛論争は戦争の激化と眞島の死によって終わった。技術者の意見が割合通り易かった海軍と比べて学界、建築界は話が通りにくかったようである。

戦後復興と共に超高層ビルへの需要が芽生えた。国鉄は総武線の東京駅乗り入れを計画し、丸の内側に地下駅を造りその上に24Fの高層ビルを計画し構造計算を武藤に依頼した。佐野理論による設計では柱だらけのビルになり計画はご破算になった。この頃100尺制限が撤廃された。数年後震が関に36Fのビルが計画され構造設計を担当した武藤は当時始まったコンピューターによる時刻歴の振動計算をした。

震度法によるより柱は細くなった。武藤は柔構造派に寝返ったかと云われたが高層ビルは結果的に柔構造になっただけである。武藤は(2)式の右辺にあればよほど要らないと強調していたのに、右辺に強震記録のとれたエルセントロ地震の記録を入れて電算機で計算した。日本の高層建築の産みの親と言われて賞賛され1985年には文化勲章も受章した。柱と梁の接点にヒンジをいれて振動周期の長い、地震と共振しないビルを造るなどの真島が志した方向は取り入れなかった。

1985年のメキシコ地震(M=8.1)では20階～43階の高いビルは壊れなかったのに9～15階の中高層のビル5万棟は大きな被害を受けた。この範囲の高さのビルは地盤の卓越周期と共振したものと考えられる。真島の知恵に学んで9～15階の中高層ビルの振動周期を長くする工夫をしてあれば柔構造の考えを取り入れていれば被害はもっと小さくなっただろう。

10. まとめ

はじめは工事の進行係として活躍した真島は施工法に設計にセメントの混和剤について等、工夫を重ねていたが、関東大震災の惨状を目にして更に基本的な問題に、耐震構造のあり方に目を向け研究を重ねた。しかし耐震の問題は当時では未知の部分が多く、単に静的な構造力学を応用すれば良いとする守旧派の頑迷な考えを変えさせるのは難しかったようである。

真島の志はまだ少ししか実現していない。

参考文献

- 1).小沢栄:技師内田富吉
- 2).廣井勇:小樽築港(草稿),小樽図書館蔵
- 3).廣井勇:小樽築港工事,工学会誌217巻,M33.3
- 4).工学会『明治工業史6 土木篇 第9編 軍事土木』工学会 明治工業史 発行所、1929年。
- 5).小野田セメント創業50年史,S6.5.3,非売品
- 6).西沢秀和「歴史的建造物—保存・再生・技術の変遷 II 近代技術 海軍技師・真島健三郎の業績—その1～その5」(施工 建築の技術,2000.4～2001.1)
- 7).支岐叡彦:序説佐世保軍港史
- 8).十川嘉太郎・真島健三郎:鐵筋コンクリートの思い出 (土木建築工事画報,11巻12号,1935.12)
- 9).近江榮:光と影・蘇る近代建築史の先駆者たち,相模書房,1998
- 10).奥村敏恵:石油地下備蓄の問題点とそのすう勢,土と基礎,1978.12

- 11) 植出和雄:地中式石油タンクの現状と将来,圧力技術,1991.1
- 12) 服部保:スチーム・ショベルに依る掘鑿並にジレトリー・クラッシャーの砕石作業に就て,土木学会誌,S3.8,Vol.14No.4
- 13) 呉海軍建築部の山地開鑿作業の概況,船渠施設土木建築工事画報(S4.4～6)
- 14). 真島健三郎『地震動に依る構造體の振動時相に就て』T13年(1924)2月,土木学会誌,vol.10,No.1,
- 15). 真島健三郎『耐震家屋構造の撰擇に就て』土木学会誌,10巻2号,T13年(1924)4月
- 16) 真島健三郎『耐震構造問題について』及び討議 建築雑誌(491),67-94,1927-01昭和2年
- 17) 眞島健三郎 重層架構建築耐震構造論 土木学会誌,p42,T15.4
- 18) 佐野利器『耐震構造上の諸説』 建築雑誌 (491),39-66,1927-01 昭和2年
- 19) 汲川圭司:翁の思い出——我が生ある限り、1993,鋼構造出版
- 20) 金澤裕之,伊藤綾:旧海軍機関学校庁舎の建築史的意義
- 21) 眞島健三郎:地震と建築,丸善,1930
- 22) 浅田英祺:年譜 近代日本の歩みと小樽築港、小樽築港百周年記念行事記念講演会「廣井勇と小樽の人びと」配付資料、平成10年2月19日 (栗田悟:材料を巡る情勢と課題への対応—コンクリートの時代的背景—,北海道開発土木研究所月報 No.629 2005.10)
- 23) 藤本利昭,水野僚子,山中美穂,城戸基:柔剛論争における柔構造に関する研究,日本大学生産工学部研究報告,2017.6
- 24) 物部長穂:塔状構造物の震動並に其耐震性に就て,土木学会誌,T8.6
- 25) 佐野利器:家屋耐震構造要梗(1),建築雑誌,1915 (2022.4.18 受付)