

論 說 報 告

第十九卷第五號 昭和八年五月

地盤軟弱なる大阪港に於ける繫船岸壁 及防波堤工事の特種工法に就て

會員 松 田 健 作

New Construction of the Quay Wall and Break Water
on the Muddy Soil at Port of Osaka

By Kensaku Matsuda, Member.

内 容 梗 概

本文は大阪港に於ける軟弱地盤に築造せる繫船岸壁及防波堤工事の特種工法を述べ、併せて之に關聯せる地盤沈下の構造物に及ぼす影響並に海水中に於ける鉄材の腐蝕等の調査研究を發表し、更に土壓軽減法、鐵板防蝕法及控壁沈下に對する對策等をも論じたものである。

第 一 章 緒 論

大阪港に於ける築港工事は其初期に於ては海底地盤の關係上大型船の横付繫船設備としては突出型鐵造棧橋が築造されたが、其後鐵筋コンクリートの發達に伴ひ鐵筋コンクリート造の横棧橋或は突出型棧橋が築造される様になつたのである。

又防波堤は工事の初期より最近に至る迄大體捨石堤上にコンクリート方塊を疊積した構造になつて居るのである。然るに時代の進展につれ今日となつては之等營造物の工法に幾分の改良を加へ從來不可能とされて居つた直立式岸壁や沈下せざる防波堤を實施し得たのである。

扱て從來の鐵造棧橋は濕氣の爲、腐蝕甚だしく自然耐久性に乏しいことは周知の事實であり、又鐵筋コンクリートも海水に對しては鐵筋の錆、其他色々の點につき論議されて居る様に多少の缺點がないでもない。殊に大阪港の様な軟弱な地盤では岸壁も他の港に見る如き鐵筋量が比較的少ないコンクリートの塊状壁 (massive wall) で造ることは工事費、其他の關係上困難となり、自然結構式 (frame work) の突出型棧橋或は横棧橋を築造せざるを得なかつた譯である。然るに之も構造上の點から海水又は濕氣を含める空氣に接觸するコンクリートの表面積が最も大きいので、鐵筋の錆、其他に基因する被害も比較的多い譯である。尙軟弱地盤の爲、附近埋立地の總體的沈降 (bodily settlement) に伴つて棧橋に無理が來て龜裂を生じ錆に對する被害を増進せしむる傾向が認められるのである。又防波堤に於ては相當の年月を経過するも尙沈降を繼續しつゝある有様である。之等は孰れも地盤、其他の關係上已むを得ない次第である。

而して今度計畫して實施した横付繫船設備及防波堤は以上の諸點を補ひ得る構造とした積りであつて、横付設備は結構式棧橋を廢し矢板と塊状型とを併用した直立式岸壁とし防波堤は永久に沈下しない潛函式防波堤を築造したのである。以下順を追ふて之等の工法を述べて諸彦の教示を仰ぎたいのである。

第 二 章 大 阪 港 の 地 質

大阪港に於ける工事を述ぶる前に先づ順序として地質の大要を説明する必要がある。之に關しては築港工事着手當初より必要に應じ要所々に試錐や試験杭の打込或は載荷試験等を施行し、尙埋立工事に土留護岸の滑り出し又は既成埋立地の沈降等の出來事にも遭遇したのである。そこで之等の實況から判斷するに局部的には多少の相違はあるが、大阪港全體に互り略々類似の軟弱地盤であることは確かである。今次に夫等の大要を述べ地盤の軟弱程度を説明することとする。

第一節 試錐

試錐は從來工事の進行に伴ひ各所に施行したるも何れも大同小異であつて、先づ大部分は干潮面以下 29~35 米迄は鼠色の軟泥であつて所々に極少量の細砂を混じた泥土層が介在して居るが、悲しい哉構造物の基礎としては信頼するに足りないのは勿論、耐壓力も數字に掲げ得ざる程度のものである。然しそれ以下には 4~7 米内外の厚さの砂礫層があつて之は充分信頼するに足るものである。但し木津川下流沖合に於ては幾分軟泥層淺く干潮面以下 25 米にして硬質層があるので割合に好都合である（附圖第二參照）。

第二節 試験杭

試験杭も必要に應じ各所各種類を打込み之に試験荷重を積載し其支持力を調査したが、主なるものを示せば下表の通りで杭の根入りを増すに従ひ支持力を増し、 P_5 號杭の如く下層地盤迄打込めば非常に大なる支持力を有するのである（附圖第二參照）。

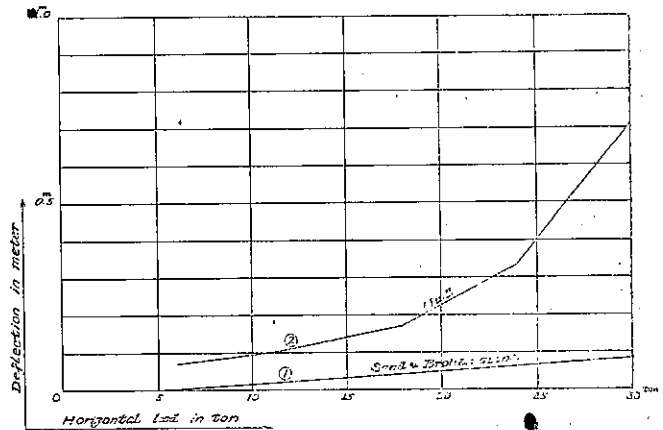
第一表

番 號	材 種	長	元口徑	末口徑	根入	極支持力	記 事
P_1	杉丸太	14.6	0.46	0.21	12.6	21.22	第一突堤海中
P_2	〃	18.2	0.41	0.24	16.7	34.23	第一突堤海中
P_3	米松丸太	21.2	0.42	0.28	20.3	48.48	第二突堤海中
P_4	〃	28.6	0.42	0.21	27.8	64.48	梅町埋立地上
P_5	〃	36.1	0.33	0.23	33.8	85.00	半頭埋立地上

備考： P_1, P_2, P_3 號杭は孰れも 1 本杭、 P_4 號杭は 2 本繼杭、 P_5 號杭は 3 本繼杭、極支持力は試験荷重を徐々に載荷し此杭が沈下を始めた時の荷重

以上は垂直荷重に對する杭の支持力であるが、岸壁や防波堤の如く側面より或る壓力を受くる杭に對しては以上の外杭の側面耐壓力を試験する必要があるが、之は杭全長に對して試験することは不可能であるから杭の頭部丈けに就て試験して見たのである。即ち附圖第二に示す様な海底に打込みたる杭頭を水平に牽引し其力と杭頭の移動程度との關係を調査して見た處が、第一區の通り杭頭附近の在來地盤を一部割栗石及砂にて入換へれば著しく耐壓力を増加することが出来るの

第一圖



である。

第三節 滑り出し及地盤の沈降並に海底隆起

埋立工事は豫め埋立区域の周圍に假護岸を築き之を土留となし其内部を sand pump で埋立てたのであるが、其作業中周圍の假護岸の一部が外方に滑り出した事も數回あつて、其滑り出し直後に於て測定せる法、勾配等から判斷するに、埋立工事中に於ける海底地盤の土砂の休止角は大體 10 度内外のものとなる事が出来る（附圖第三參照）、又曾て埋立地の竣功と相俟つて突出型鐵造棧橋が築造され其埋立面と棧橋面とは同じ高さに出来上つたのであるが、其後年月を經過するに従ひ埋立地は總體的に沈降を來し、棧橋は大體に於て當初の高さを維持し、竣功後約 30 年を經過せる今日に於ては棧橋面と埋立面とは約 1 米の高低を生じて居るのである（附圖第三參照）。尙捨石基礎に據れる防波堤築造の際水深干潮面下 8 米内外の處に捨石を施し順次捨石を累加し其堤頭を干潮面上 4 米内外に達せしめしに、其堤心より左右 30 米内外の距離に於ける海底が著しく隆起し最高部に於て干潮面下 1 米に達せし實例もあつて（附圖第三參照）、如何に大阪港の地盤が軟弱であるかは以上で大體了解出来る事と思ふ。

第四節 埋土の基礎杭に及ぼす影響

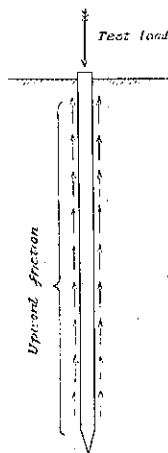
以上述べたので地盤が如何に悪いかは大體想像が出来ると思ふが、尙大阪港に於て埋土が鞏壁、橋臺、其他之に類似の構造物の基礎杭に如何なる影響を及ぼすかを論じて見たいと思ふ。

先づ一般的に橋梁の橋臺に就て云へば、橋臺の設計に當り總ての荷重及土壓力に因る轉覆及摺動に對する安定度を計算し、更に其基礎面に於ける壓力度を算出し之に相當した基礎杭の長さ及數を決定し、尙一面現場で試験杭を打ち、試験荷重をかけて夫等の結果に對し相當の安全率を見込んで基礎の設計を愈々確定し、然る後工事に着手するのが先づ普通の遣り方である。然るに大阪港に於ては以上の順序を経て施行せる橋臺でも橋桁の重畳や動荷重も加はらない内、即ち工事施行半ばに橋臺には最早狂ひを生ずるといふ有様である。何故相當調査を遂げて施行したものが斯くも狂ふかと云ふと、橋臺の主體そのものに働く力以外の土壓力が基礎杭に來て其影響が全體に直接作用する壓力よりも遙かに大きい力であるといふことが窺はれる。即ち試験杭で試験した時の杭の支持力と橋臺の後を土で埋めた時の支持力とが非常

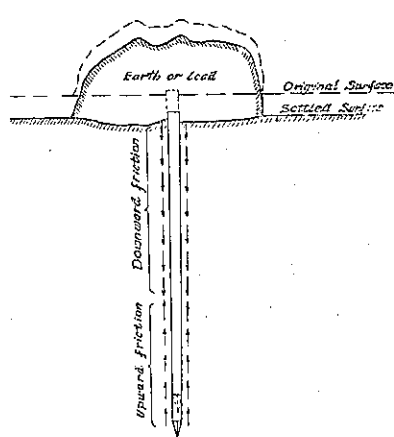
な相違があるためであると想はれる。何となれば試験杭の時の杭の周圍の摩擦力は杭の上に来る荷重に對し完全に反力として上方に向つて働いて居る（第二圖參照）が、實際の場合に當つては杭打を終り壁體を造り、順次後方取付道路の盛土をするに従ひ壁體基礎後方の地盤上に来る荷重が段々増加して來る譯であるから、それが爲在來の軟弱な地盤は盛土の荷重に耐へず次第に沈降を來すのである。そこで沈降する部分の杭の周圍の摩擦力は試験杭の場合と異なり上方に働かず反對に下方

に向つて働き、丁度其部分の摩擦は杭に對し動荷重と同様の働き方をする様になる（第三圖參照）。従つて試験杭の場合と異なり摩擦力の逆作用を誘起し、構造物は沈下を來し之に側壓力も加はり前面に滑り出す様になる譯である（第四圖參照）。但し斯の如き變化は橋梁前後の取付道路面を其附近の在來地盤面より高く盛土する場合に起

第二圖



第三圖

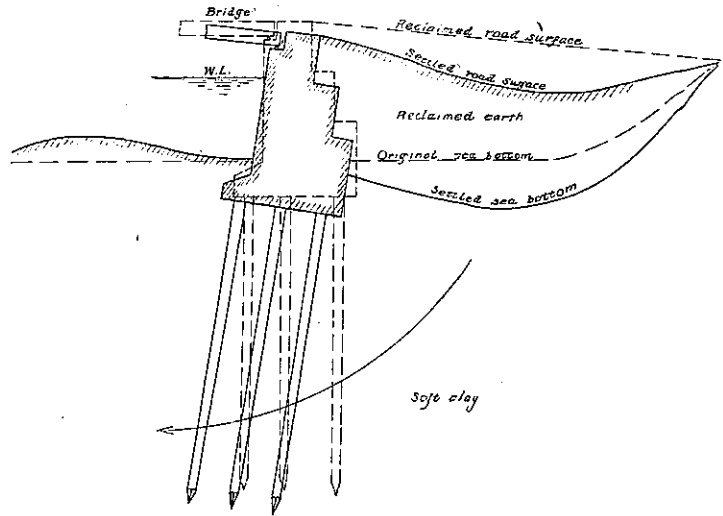


り、從來盛土されて居る處を掘鑿して橋臺を築造し埋戻しの盛土が在來の地盤と同高の場合には此變化は起らないのである。

以上の如き變化は大阪港に於て長20米内外の杭打基礎を有する棧橋又は岸壁橋臺等の後方を埋立つる場合は多少に拘はず現はれて居る。そこで大阪港に於ける基礎工事に就ては一般に應用せらるゝ理論の外地盤の總體的沈降並に之によつて勝起せらるゝ杭の周圍に於ける摩擦力の逆作用を充分考慮し、尙壁體基礎面以下に大なる側壓力が作用すること

を考へに入れて計畫することが肝要である。之に對しては後章に述ぶる遙か下層の硬質地盤に達する長尺杭を充分に使用し、且つ構造物の後方埋土中に長尺杭及床版より或る土壓軽減工を施工すれば之を防止することが出来るのである。

第 四 圖



第三章 鐵矢板の腐蝕

第一章に於て述べた通り岸壁は矢板式と塊狀壁式とを併用することゝして、矢板には近年盛に利用されて居る鐵矢板を使用することゝしたのであるが、鐵矢板に就ては腐蝕と云ふ問題があつて其壽命に就き相當考慮を要する譯である。之に就ては外國には相當實例もあるが、我國に於ては其利用がまだ日が淺い爲、確實な參考材料を得られないので、之に對し或る程度の調査の必要があると思ふ。何となれば大阪港の如き公共的施設としての岸壁は他の營利を目的とする民營の施設の如く竣成後10年若しくは20年にして其築造費全部を收益中より償却し得る見込のものとは其性質を異にし、一般に公共的施設が充分に能力を發揮する迄には竣成後10年なり20年なり経過するのが通例である。そこで鐵矢板の壽命が20年とすれば岸壁が盛に利用され、その全能力を發揮する時期にならば岸壁は至く役に立たないものとなる譯である。従つて大阪港に鐵矢板を利用するとせば腐蝕の問題に就ては充分研究を要する次第である。

大阪港に於ては幸に築造後約30年経過した鐵造棧橋があるので此腐蝕状態を調査し尙有合せの設備を利用して或る程度の化學的試験をも試み、之等の結果から鐵矢板の壽命に大體の見當をつけて岸壁に利用することにしたのである。

第一節 鋼材の腐蝕調査

現在大阪港の中央部にある鐵造棧橋は明治35年3月橋脚用鐵柱建込に着手し同36年1月竣功したもので、既に約30年を経過し鐵材の海水に對する腐蝕の程度を調査研究するには最も好適のものである。

腐蝕の程度を述ぶる前に先づ棧橋の大體の構造を述べたいと思ふ。棧橋は長さ250間、幅15間であつて、その前面の水深は干潮面下約30尺で、橋脚柱は螺旋脊を取付けた直徑6吋の實體鋼を縦横共15尺間隔に建込み、

それに上下二段の直径 1 $\frac{1}{2}$ 吋の綾鋼材及 T型鋼支材等を取付け、脚柱の上部には高 20吋の I型鋼を縦横に架け渡し、其上に木桁を配置し、其裏面に板張をしたものである（附圖第四参照）。

鐵材は螺旋沓、其他一部の鑄鐵材を除いては總て軟鋼材で米國 Johns & Loughlin Co. Pittsburgh の製品である。

棧橋用鐵材の内脚柱及綾鋼材に就て腐蝕の状態を調査して見たが大體 附圖第四及寫眞第一の通りで干潮面附近で最も烈しく、それより下方に向つて干潮面以下 3 米に及び、それ以下は殆んど腐蝕して居ないと云ふても差支へない程度で、殊に海底地中にある部分は脚柱も螺旋沓も何等腐蝕の徴候を認めないのである。又干潮面以上は乾濕の程度により普通吾々の目撃する通り腐蝕されて居るが、數年前（築造後約 25 年経過）既に直径 1 $\frac{1}{2}$ 吋の鋼材が干潮面附近にて全然滅失切斷されて居るものもあつた。之等から計算すると鋼材の表面から平均 1 箇年間に約 3.5/100 吋の速さで腐蝕が進行して居るものと思はれる。尙脚柱、其他に於ても干潮面附近では 1 箇年間に約 3/100 吋内外の速さで腐蝕が進行したものと思はれる。然し綾鋼材に使用した環、母螺等の如き火造した鍛鐵は比較的腐蝕の程度が少ない様である。又脚柱上部に取付けられた I 型鋼に於ては扁平なる故突縁は滅失し、腹版は各所に穴があいて居る有様である（寫眞第二参照）。

第二節 腐蝕原因の研究

以上の如く何故に干潮面附近で腐蝕が最も烈しいかと云ふことを考へて見るに、干潮面以上で腐蝕することは普通何人も目撃する通りで敢て不思議にも思はないが、干潮面以下に於て斯の如き状態に腐蝕し様とは一寸氣付かなかつたのである。殊に干潮面附近は常に海水で潤ふて居る部分であることから想像すると最も空氣に接觸し易き海水が如何にも腐蝕の主なる原因をなす様である。そこで附近の海水の溫度並に成分等につき或る程度の調査はして見たが、次の第二表及第三表の通り別段水面附近の海水が特に鐵材を腐蝕すると云ふ程のものも見當らなかつたのである。

然るに一般に専門家の説によると水中の鐵材の腐蝕は水中の鹽類も或る程度の腐蝕を促すが主として水中に溶存して居る酸素の作用に基因するものであつて、炭酸瓦斯の存在も腐蝕の補助をなすものとされて居る。尙又一且出來た錆が濕氣を吸収して居れば其錆と鐵との間に一種の電鍍作用を起し錆は益々進行するものとされて居る。

之等から考へて見ると水面附近の海水は常に空氣に接觸し且つ風波又は船舶航行の爲、水面は絶えず攪拌されるので、其海水中には常に酸素、炭酸瓦斯等を多量に溶解し得る譯である。然るに水深を増すと從ひ夫等を溶解する機會も少ないので自然其量を減じて居るものと想はれる。而して干潮面以上の鐵材は直接空氣に接する機會も多く尙空氣を溶存せる海水にも接觸するので腐蝕烈しく、且つ電鍍作用を起すにも都合のよい場所である。又干潮面以下と雖も或る程度の深さは風波、其他の場合に空氣に接する機會が相當多く、從つて干潮面以上と同様の腐蝕作用を受ける譯である。以上の理に基き鐵材の腐蝕は干潮面附近に於て最も烈しいものと想はれる。然し之は他の専門に屬する事であるから斯界の研究に讓ることとする。

第二表 海水の溫度

調査年月	氣温	水面下1尺の水温	水面下15尺の水温	水面下30尺の水温	記 事
昭和 4 年 10 月	23.0	22.8~23.2	23.9~24.0	23.9~24.0	港内 5 箇所に就き調査
同 上	21.0	22.3~22.6	23.8	23.8	"

第三表 海水の成分

名 稱	成 分	記 事
比重 (C 15度)	1.0005~1.031	港内 7 箇所に就き調査

名 稱	成 分	記 事
固 形 物	0.9556 ~ 3.367	港内 7 箇所 に 就 き 調 査
鹽 素	0.40 ~ 1.71	"
食 鹽	0.82 ~ 2.81	"
遊 離 酸	無 し	"
硅 酸	0.0008 ~ 0.0011	"
酸 化 鐵 礬 土	0.0006 ~ 0.0017	"
石 灰	0.0153 ~ 0.1441	"
苦 土	0.0562 ~ 0.1795	"
硫 酸	0.0566 ~ 0.1987	"
清 濁	帶 褐 色 稍 々 濁	"
反 應	中 性 又 は 弱 アルカリ性	"

第三節 腐蝕鋼材と鐵矢板との比較

以上既設棧橋の腐蝕の状態から第三章に述べた鐵矢板の腐蝕といふことを考へて見ると、棧橋の柱及綾鋼材は前記の通り鋼材の表面から平均 1 箇年間に 3/100 吋内外腐蝕して居るが、柱は徑が 6 吋もある實體鋼なので此程度の腐蝕では構造上大した異状はないが、綾鋼材の如きは既に切断して居るものもあり、I 型鋼に於ては既に原形を失つて居るものもあるが、數年前より局部的の修繕を施し且つ下部の腐蝕せざる綾鋼材の爲に棧橋として或る程度の利用には左程の危険もなく今日尙使用されつゝあるが今、假に鐵矢板で岸壁を造るとすれば其鐵矢板が棧橋鋼材と同様に腐蝕するものとせば、棧橋と同一に考へることは出來ないのである。何となれば棧橋の各部材に生ずる應力は主として船舶の離繫又は動荷重が載つた場合の外は起らないのである。然るに其動荷重には或る制限を設け且つ修繕も加へて居るので、尙棧橋の形を維持して相當利用し得らるゝのである。然るに鐵矢板では背面の土壓の爲、常に殆んど全應力に近い應力が絶えず起つて居つて形が扁平であり、且つ修繕も殆んど出來ないので、I 型鋼及綾鋼材の割合に腐蝕するものと假定すれば全く安心出來ないこととなる譯である。

依つて鐵矢板を永久的に利用するには何か腐蝕に對して相當抵抗力ある材質を選ぶか或は防蝕方法に就て相當の考慮を拂はなければならぬ事となる。

一般に専門家の説によれば鋼材の腐蝕は其成分の内銻素、銅及銅の含有量に影響するものであつて、殊に銅の含有量が 0.25% のものが腐蝕に對し最も抵抗力あるものとされて居る。最近含銅鐵矢板が流行する様になつたのも茲に因るものと思はれる。

然らばこの含銅鐵矢板が海水に對して果して幾何の耐蝕性があかは甚だ疑問で、是亦我國に於ては實例に乏しいため斷定に苦む次第である。そこで曩の棧橋の腐蝕鋼材と含銅鐵矢板との耐蝕性を比較して見たいので、兩者から試験材を採り、之を硫酸、鹽酸、硝酸、其他の溶液に浸し腐蝕の程度に就き試験をして見たら次の様な結果を得たのである。

第四表 1% 硫酸溶液の腐蝕

試 驗 材	36 日間後の腐蝕減量(%)	腐 蝕 比	耐 蝕 比	記 事
含 銅 鐵 矢 板	16.07	100	100	0.26% 含銅
棧 橋 鋼 材	54.07	336.5	29.7	棧橋古材

第五表 1% 鹽酸溶液の腐蝕

試 驗 材	11 日間後の腐蝕減量(%)	腐 蝕 比	耐 蝕 比	記 事
含 銅 鐵 矢 板	15.63	100	100	0.26% 含銅
棧 橋 鋼 材	65.95	421.4	23.7	棧橋古材

第六表 空氣中の腐蝕

試験材	230 日間後の腐蝕増量(瓦)	腐蝕比	耐蝕比	記 事
含銅鐵矢板	0.00102	100	100	0.26% 含銅
棧橋鋼材	0.00192	189	53	棧橋古材

但し室内に放置し試験片の1平方糎に對する腐蝕を測定せり

第七表 空氣送入 0.5%食鹽水の腐蝕

試験材	72 時間後の腐蝕減量(瓦)	腐蝕比	耐蝕比	記 事
含銅鐵矢板	0.000279	100	100	0.26% 含銅
棧橋鋼材	0.000304	169	91.8	棧橋古材

但し上水道水に 0.5% の食鹽を溶解し沸煮後 1 時間空氣を送入し試験片を浸し密栓の上 1 平方糎に對する腐蝕を測定せり

第八表 空氣送入 2% 食鹽水の腐蝕

試験材	72 時間後の腐蝕減量(瓦)	腐蝕比	耐蝕比	記 事
含銅鐵矢板	0.000279	100	100	0.26% 含銅
棧橋鋼材	0.000270	96.8	103.2	棧橋古材

但し上水道水に 2% の食鹽を溶解し沸煮後 1 時間空氣を送入し試験片を浸し密栓の上 1 平方糎に對する腐蝕を測定せり

第九表 1% 硝酸溶液の腐蝕

試験材	1 時間後の腐蝕減量(瓦)	腐蝕比	耐蝕比	記 事
含銅鐵矢板	0.0185	100	100	0.26% 含銅
棧橋鋼材	0.0118	63.8	156.7	棧橋古材

但し試験片の 1 平方糎に對する腐蝕を測定せり

以上の試験の結果を見るに、耐蝕性は硫酸、鹽酸及空氣中に於ては含銅鐵矢板の方が著しく大きいが、第七、第八表の如く空氣を溶存して居る食鹽水に對しては他の溶液の場合に比し含銅鐵矢板の方が耐蝕性衰へ、硝酸の如き酸化力強きものに對しては硫酸及鹽酸の場合と全く正反對に銅を含まざる棧橋鋼材より遙かに耐蝕性に乏しいのである。

そこで之等から判斷すると大阪港の海水には遊離状態の酸類もないので急速な腐蝕は起らないが、稍々實際の場合に近い第七、第八表の場合と略々類似の腐蝕が起るものと想はれる。従つて大阪港に於ては多少の相違はあるも、銅の有無に拘らず鋼材は腐蝕を免れないと云ふことに歸着するのである。

以上の各調査及試験の結果を綜合して推斷するに、大阪港に於て鐵矢板を使用すれば含銅の如何に拘らず腐蝕は干潮面附近に於て最も烈しいのであるから、其部分に是非共適當の防蝕工を施す必要があつて、其防蝕工が相當信頼し得る程度に出来れば鐵矢板の壽命も先づ 50 年とも或は夫以上とも斷定することが出来、又高價な含銅鐵矢板を使用するよりも安價な銅を含まざる鐵矢板を使用する方が有利であると云ふ事に歸着するのである。

第四章 岸壁工事

大阪港の地質に就ては第二章に述べた様に我國の他の港に見出し得ない程軟弱な地盤で、岸壁の沈下又は滑り

出しには最も都合のよい地質である。又鐵材の腐蝕に就ては第三章に於て述べた通り可成りひどいのである。處が之等に對し相當研究の結果一種の新たな工法を思ひつき、岸壁背面の土壓並に滑り出し作用に對しては土壓輕減工を施し、鐵矢板の腐蝕に對しては相當信頼するに足る防蝕法を講じ、第一章末尾に述べた様に鐵矢板と塊狀壁とを併用した直立式岸壁を採用したのである。此岸壁の内水深 7.5 米の分は既に竣工し、水深 9 米の分を目下工事施行中である。以下水深 9 米岸壁に就き其設計、其他の概要を述べることにする（附圖第五參照）。

第一節 岸壁の構造

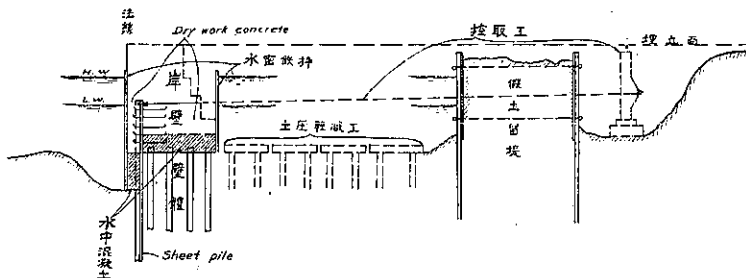
一般に岸壁工事と埋立工事とを共に施行する場合は先づ以て岸壁を築造し、岸壁工事の進行に伴ひ内部の埋立を施行するのが普通の遣り方である。然るに大阪港に於ては地盤の關係上之と反對に岸壁の位置より少し後退して假土留堤を造り、其内部を埋立て其埋立地をして相當沈澱せしめ、然る後假土留堤の前面に岸壁を築造するのが岸壁の安定上都合がよいのである。そこで假土留堤の前面には岸壁法線に沿ひ鐵矢板、基礎杭、コンクリート壁等より成る岸壁々體を築造し、之と後方埋立地内に築造せる鐵筋コンクリート造控壁とを鋼桿にて相連繫せる控取工 (anchoring) を施行し、尙岸壁々體の後方には前面鐵矢板に來る土壓を輕減し、且つ岸壁の滑り出し防止の目的の許に杭打基礎及鐵筋コンクリート床版とより成る土壓輕減工を施行するのである。之等が大體出來てから矢板前面を所定の水深に浚渫し、尙海底に捨石根固工を施行するのである。

以下之等の工法に就き説明せんとす（附圖第六參照）。

第二節 壁體の構造及鐵矢板防蝕法

壁體築造箇所附近の水深は干潮面以下 1 米内外であるから之を 2~3 米に浚渫し之に長約 33 米 (3 本繼)、末口 31 纏の米松丸太杭 4 列を下層堅地盤に達する迄打込み、其頭端を干潮面下 2.3 米に切揃へ、其前面に長 18.25 米 Larssen 鐵矢板 section No. VI. を打込み、其頭端を干潮面に打均し、各杭頭間には割栗石及荒砂を詰込み、其上面を干潮面以下 2.6 米に地均しを施し、其上部に杭及鐵矢板の頭端を包擁せる場所詰コンクリートを施して塊狀壁を造るのである。而して此場所詰コンクリートを施行するには前記の杭頭間の割栗石上面にコンクリートの形狀に適合せる鐵製の水密型枠を鐵矢板及基礎杭を包擁して据付け、型枠内部下方に厚さ 1 米内外の水中コンクリート (配合 1:2:4) を施し、之が固結を待ち型枠の内部の水を排出し、之に dry work にてコンクリート (配合 1:3:6) を填充して所定の形狀に塊狀壁を造るのである (第五圖參照)。尙鐵矢板の上端で此場所詰コンクリートに包まれる部分はコンクリート填充に先立ち溝型鋼の腹起及繫桿の一部を取付け、更に其下方

第 五 圖



に穿孔して之に丈夫な鐵筋を貫き前面には之と連繫して鐵筋網を取付け矢板の前面のコンクリートと背面のコンクリートとを互に連結して前面のコンクリートの剝離を防ぎコンクリートをして完全に密着せしめるのである。之により鐵矢板の腐蝕最も烈しき部分(干潮面以下2米内外)を完全に防護し得る所謂防蝕工を施行し得るのである。

尙鐵矢板前後のコンクリートを鐵筋で互に連結する目的はコンクリートの剝離を防ぐばかりでなく Larsen 鐵矢板の所謂中軸に對する斷面率を或る程度迄有效ならしむる働きをも兼ねしむるのである。斯の如くしてコンクリート填充を終り之が固結を待ち囊の水密型枠は取除かれ、茲に於て岸壁々體が出来上るのである(附圖第五及第六圖参照)。

第三節 土壓軽減法及其構造

本工事は岸壁々體に及ぼす土壓を軽減し且つ岸壁滑り出し防止の目的で壁體の後方に施行するのである。之が構造を述ぶるに先ち普通吾々が取扱ふ土壓なるものは如何にすれば軽減し得るか、又滑り出しなるものは如何にすれば防止し得るかに就き簡単に述べて見たいと思ふ。

普通岸壁に働く所謂土壓なるものは主として岸壁々體の後方の埋土の重量(載荷重を含む)に基因するのであるから、其重量を壁體以外の他の構造物にて支持する方法(以下便宜上土砂支持法と呼ぶ)か或は其重量を除却する方法(以下便宜上土砂除却法と呼ぶ)かの二方法を講ずれば土壓は軽減し得る譯である。

又岸壁滑り出しに就ては最近各國専門家に於て相當論議され色々の計算法も發表されて居るが、孰れにするも滑り出す原因は地盤の軟弱に基き岸壁々體前後に於ける荷重の平衡が保てない結果に外ならないのである。そこで其荷重をして平衡を保たしめ得る方法を講ずれば本問題は解決さるゝ譯である。之に就ては普通軟弱な地盤を砂礫の如き硬質の地盤に取替へるのも適當の方法であるが、又地盤の入換をなさず前記の二方法即ち土砂支持法と土砂除却法とは孰れも壁體前後の荷重の平衡を保つ上に充分の効果を擧げ得るのである。

土砂支持法は岸壁を築造して後方を埋立てる際壁體前後の平衡を失はない程度に埋立て、それ以上の土壓及滑り出しに最も影響する埋土及其上に来る總ての荷重を支持し得る鐵筋コンクリート、其他適當の工法に據る床版を埋設し、床版は下層の堅地盤に達する長尺杭によりて支持せしむるのである。

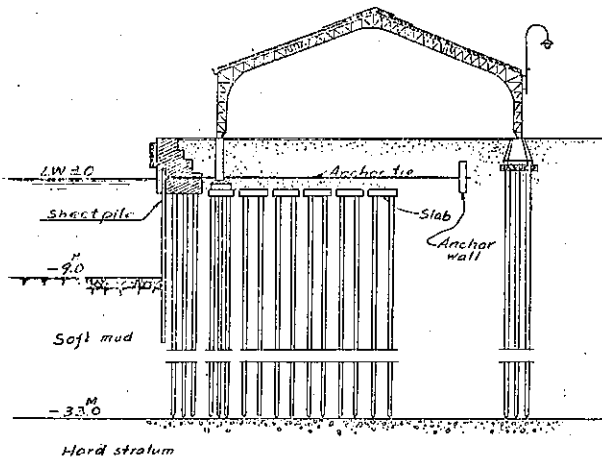
此工法は如何なる構造の岸壁にも應用することが出来又海底地質軟弱の程度及水深の如何により床版の位置を或は高く或は低く其數もそれに應じて増減すれば如何なる地質にも如何なる水深にも應用することが出来るのである。

尙都合のよいことには兎角技術者が之で大丈夫と思つて拵へた横棧橋や岸壁が後方埋立工事の進行に伴ひ或は時日を経過するに従ひ沈下又は滑り出しの傾向が現はれて來ることがある。斯様な不測の場合に急速に土砂の一部を掘鑿し此工法を施行すれば相當の効果が得られるのである(第六圖参照)。

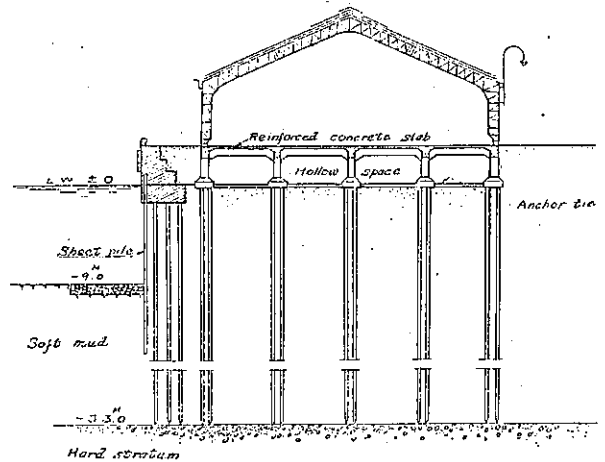
土砂除却法は前同様岸壁前後の平衡を失はない程度に埋立て、それ以上の土壓及滑り出しに最も影響する部分は埋立をなさず其處に下層地盤に達する長尺杭により支持せる鐵筋コンクリート、其他の工法に據る地下室の如き空洞を設け、其表面をして埋立面と一致せしむるのである。此工法も支持法と同様に如何なる岸壁にも應用することが出来、又海底の地質の程度水深の如何により空洞の高さ及奥行を加減することにより如何なる地質にも水深にも應用し得る譯である。

尙此工法による空洞は港灣利用上必要ある場合は埋土の沈淀を待ち防水工を施し地下室となし、其一部を肉類、魚類、野菜類等を貯藏する倉庫に利用する事をも考へに入れて計畫すれば一面に於て大いに利する點があると思ふ(第七圖参照)。

第六圖 土砂支持法



第七圖 土砂除却法



以上の二方法は大阪港に於て昭和3年以來應用して相當の効果を擧げて居るが、本章に述ぶる岸壁工事の土壓軽減工は前述の土砂支持法の應用である。今次に其構造を述ぶることとする。

本章第二節に述べた岸壁々體附近と同時に其後方の海底を干潮面以下2~3米に浚渫し、之に長約34米(2本繼)、末口21樞の米松丸太杭8列を一定の間隔に下層堅地盤に達する迄打込み、其杭頭を干潮面下2.6米に切揃へ、各杭間には割栗石及砂を填充し、其表面を杭頭と同高に地均らしを施し、其上面に4本の杭に跨れる既成即ちprecastの鐵筋コンクリート床版を浮裝起重機を以て沈置し、然る後其上方を埋築するのである。斯くせば床版以上の埋土、其他總ての荷重は床版下の軟弱地層に何等影響を及ぼさず床版及長尺杭により直接下層堅地盤に傳達し得るのである。依つて床版以下に打込める壁體の鐵矢板及基礎杭に働く土壓を軽減し得るのである。尙滑り出しに對しては之が主なる原因をなす岸壁の後方の埋土を床版及長尺杭にて支持し、岸壁々體前後に於ける荷重の平衡を保たしめ得るのである。尙長尺杭を使用したのは上部の荷重を下層に傳達せしむるばかりでなく、滑り出し面に於て相當抵抗することを得、且つ亦前述の埋土の沈降に基因する杭の周圍に於ける摩擦力の逆作用をも考慮したのである(附圖第五及第六参照)。

第四節 控取工及其沈下対策

控取工は前述の通り岸壁々體を繫樁及控壁を以て後方埋立地に從繋するのであつて、控壁は埋立地を所定の深さに掘鑿し之に割栗石及コンクリートの基礎を築き、其上に岸壁々體に働く土壓によつて生ずべき反力に對して充分の支持面積を有する鐵筋コンクリート造の直立壁を築造するのである。繫樁は徑85耗の丸鋼を使用し、turn-buckle及pinにて互に相連結し其一端は壁體コンクリートに埋設せる鋼樁と連結し、他端は控壁を貫き控壁背面に於て母螺にて捻縮するのである(附圖第五及第六参照)。

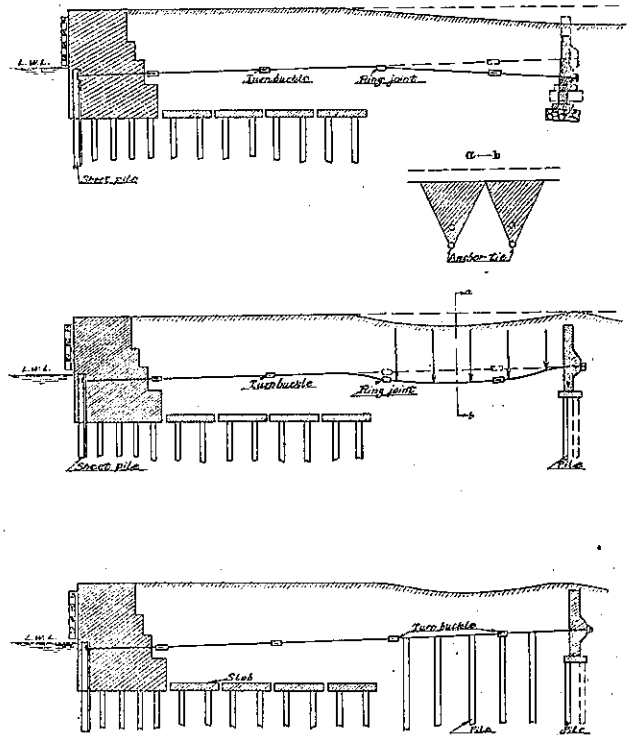
以上の通り控取工は構造に於ては頗る簡單であるが、之が働きに就ては軟地盤なるが故に相當苦心を要したのである。何となれば第二章第三節に述べた様に軟地盤の爲、埋立竣功後相當永い年月の間埋立地全體が沈降するので、此控取工の内土壓軽減工の後端より後方の部分は何等長尺杭の基礎を有せざる爲、地盤と共に沈降する譯である。そこで繫樁の如きは土壓軽減工の後端附近に於て彎曲して折れる傾向を生じ且つ可成り大きな應力を生ずることとなる。依つて彎曲する虞ある部分にはpinを使用せる屈折自在な繼手を設けたのである。

尙控壁の沈降に伴ひ増加する應力に對しては次の手段を講じたのである。

控壁が或る程度迄沈下すれば繫桿の應力は最大許容應力に達するのであるから、控壁の沈下の臨時觀測し之が一定の限度に達すれば控壁の後側を掘鑿し繫桿の母螺を緩めて應力を緩和することとしたのである。

尙以上の方法を講ずるに先立ち控壁の基礎に岸壁々體と同様に下層堅地盤に達する丈の長尺杭を打つことを考へて見たが、之も餘り感心出來ないのである。何となれば控壁と土壓軽減工の床版との間の繫桿は上部埋土より來る大なる荷重の爲、繫桿は下方に彎曲して非常に大きな應力を生じ安心出來ないこととなる、そこで自然繫桿に迄も彎曲を防ぐ杭打基礎を要する事となり、従つて工費の増大することとなる譯である。依つて前述の如き方法を採用したのである（第八圖参照）。

第八圖



第五節 埋 戻

本章第一節乃至第四節の各種工事が出來てから岸壁々體の後に裏詰削栗を投下し、次で其後方を所定の高さに埋立て茲に岸壁其ものが完成する譯である。

第六節 浚渫及根固工

以上の通り岸壁工事が大體終つてから其前面海底を所定の水深に浚渫するのである。茲に於て水深 9 米の横付設備が完成する譯であるが、前述の通り埋立地の沈降並に滑り出しの作用に伴ひ岸壁前面の海底が幾分隆起する傾向があるので、浚渫の際所定の深さ以上に一定の區域を一局部づゝ浚渫し、在來の軟泥に代ふるに比重に於て比較的なる剝栗石及荒砂を填充せる根固工を施行するのである（附圖第五參照）。

第七節 岸壁工事費

名 稱	工 種	數 量	單 價	金 額	備 考
岸壁工事				3 300.00	延長 1 米當り
岸壁々體				1 989.98	
	基礎杭	本 4.5	円 94.00	423.00	掘鑿、杭打、剝石共
	鐵矢板工	尺 5.95	180.00	963.00	矢板、腹起、鐵筋共
	コンクリート工	立米 21.24	27.00	573.48	型枠、其他一式
	繫船設備、其他	一式	30.50	30.50	繫船柱、防舷材、其他共
土壓軽減工				670.30	
	基礎杭	本 5.5	円 94.00	517.00	掘鑿、杭打、剝石共

名 稱	工 種	数 量	單 價	金 額	備 考
控 取 工	鐵筋コンクリート床版	3.65	49.00	159.30	床版製造, 据付一式
				274.41	
根 固	控 壁 工	2.47	38.00	93.86	掘鑿, 埋戻, コンクリート 工一式
	繫 桿 工	0.785	230.00	180.55	
雜 費				203.00	
	浚 溝	135.00	0.30	40.50	浚溝及土砂投棄共
	割 石 工	65.00	2.50	162.50	目潰し砂共
				162.31	測量費, 其他一式

第五章 防波堤工事

大阪港の如き軟弱地盤に防波堤を築造する場合には普通沈床又は地盤の入換をなして捨石を施し、其上にコンクリート方塊若しくはコンクリート潜函を据付けるのが一般の遣り方であるが、大阪港に於て幾分の土砂入換へ及捨石もするが、主として第二章第四節に述べた杭の摩擦力を利用して杭打基礎上に潜函を据付けて築造するのである。岸壁や横棧橋と異なり防波堤の如く其附近を埋立てないで孤立した状態にあるもの基礎にあつては杭は堅地盤に達する程の長尺物でなくとも第二章第四節に述べた試験杭に試験荷重を積載した場合と同様に周囲の摩擦力が殆んど完全に反力として働き杭の附近を埋立てた場合の如く逆作用を誘起しないから防波堤築造後狂ひを生ずることもなく甚だ好都合である。又杭打基礎にすれば捨石基礎の如く相當沈淀する迄コンクリート方塊、其他の荷重を何回も假置する必要もなく工期に於ても非常に短縮し得るゝ等色々の利する點がある。尤も本防波堤は將來は南港埋立地の荷揚護岸(附圖第一參照)に其儘利用するのであるから、之が形狀、其他に就き其點を考慮して計畫したのである。以下其大要を述べたいと思ふ。

第一節 基礎工

防波堤築造箇所附近の水深は現在干潮面下3米内外であるから、之を約7米に浚溝し荒砂を約2米厚さに投下し、其表面を大體干潮面下約5米に均し、所定の位置に長21米、末口21樞の米臥丸太杭を打込み其頭端を干潮面下4.25米に切揃へ各杭頭間には割栗石及目潰し砂を填充し其表面をして杭の頭端と略々同高に均し最後に杭頭を含む基礎全面積に互り厚約3樞内外の荒砂を敷均し、其表面は一定の造形に做ひ正確に平坦に仕上げ以て基礎工事を終るのである。最後に砂を敷均すのは如何に杭頭を正確に切り揃へるとも潜函の底と各杭とが完全に密着することは到底出来難いから、其底と杭頭との間に砂褥を介在せしめて上部總ての荷重を各杭に等分に負荷せしむるのである。尙在來の海底の土砂を浚溝して砂及割栗石を入れるのは防波堤が出来上つて波力を受ける場合に杭に來る垂直荷重に對する摩擦力は在來地盤でも充分であるが、横壓力に對し杭の頭部附近の側面耐壓力が第二章第二節に掲げたる如く在來地盤では非常に小さいから其側面耐壓力を増す爲、入換へを施行するのである。斯の如くして防波堤の基礎工事は出来上る譯である(附圖第七及第八參照)。

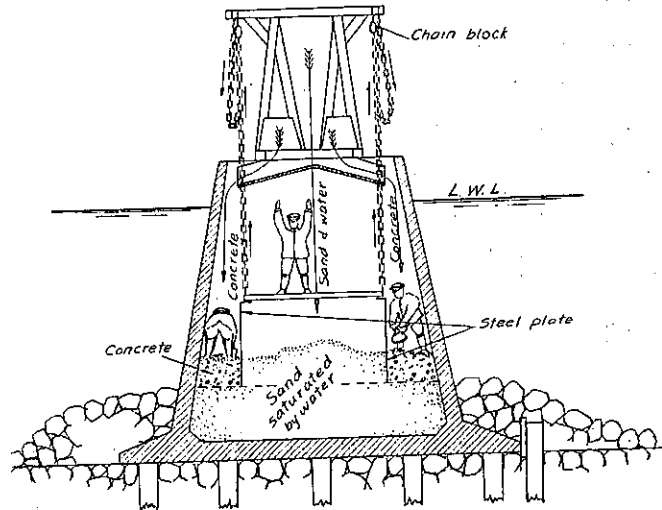
第二節 潜函工

潜函製造は經費の關係上當港木津川沿岸にある最近餘り利用されて居ない民間所有の船舶修繕用乾船渠を一時的に借入れ之に必要な製造設備を施して製造したのである。

潜函は長25.68米、幅は下部8米、上部3.7米、高さ6米で、函内は仕切壁にて7區割に區割され、之を船渠内で同時に3個を製造し、コンクリート(配合1:2:4)の固結を俟つて3個同時に曳出し1個宛順次現場に曳航し

函内に注水し所定の位置に沈置するのである。沈置を終れば函内各區劃共函底より約 1.7 米迄は砂を投入しそれより以上は 1 區劃毎に砂上に互に連結せる 2 枚の鐵板を据付け、其兩鐵板間には砂を、鐵板と函壁との間にはコンクリート(配合 1:4:8)を同時に填充し、之を終れば鐵板は直ちに拔上げ更に砂及コンクリートを填充して順次函の上部に達するのである(第九圖参照)。

第九圖 函内填充法



尤も此填充コンクリートは潜函の側壁の厚さを増せば砂丈けにて充分であるが、有合せの船渠を使用する爲、船渠入口及航路の水深の関係上潜函を出來得る限り軽くする必要上側壁の厚さを減じた爲、内部に一部コンクリートを填充したのである。

尙填充砂にはコンクリートの水分吸収及重量を考慮して填充と同時に海水を以て砂の空隙を満たしたのである。

第三節 根固工及上置方塊

潜函据付を終れば其前後に波浪の衝撃に對し堤體の安定度を増す爲、捨石を施し、其表面は大割石を捨込み互に噛合はせ、個々の移動なからしめ、次で陸上にて豫め製造せるコンクリート方塊(配合 1:3:6)を運搬し、浮裝起重機を介して潜函上部に並置するのである。茲に於て防波堤は出來上る譯である(附圖第七參照)。

第四節 防波堤工費

名稱	工種	數量	單價	金額	備考
防波堤工事				1150.00	延長 1 米當り
	掘鑿埋戻	米 1	78.00	78.00	埋戻砂共
	基礎杭	1	315.85	315.85	杭打、割石共
	潜函製造	1	427.20	427.20	製造一式及船渠損料共
	同据付	1	91.60	91.60	曳航、内部填充共
	上置方塊	1	42.11	42.11	製造、運搬据付共
	根固	1	132.42	132.42	割石均し共
	雜費			62.82	測量費、其他一式

第六章 結 論

從來大阪港に於ては地盤軟弱なる爲、航洋船舶の横付設備として直立式岸壁の築造は不可能なりとして突出型棧橋或は横棧橋が築造されて居り、又防波堤も竣功後長年月に互り沈下を持續し沈下せざる防波堤の築造は困難とされて居つたのである。

然るに今日に於ては地盤の性質及基礎杭の支持力等を考究し、進んで岸壁に對する土壓力の軽減並に滑り出し防止の方法を發案し、尙鐵材の腐蝕に對し或る程度の調査研究をなし一つの防蝕法を考案し鐵矢板を使用せる直

立式岸壁を築造することを得たのである。

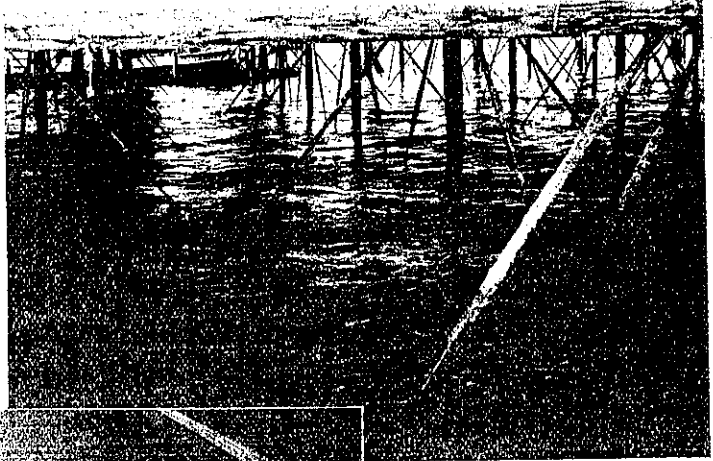
又防波堤にありては杭の摩擦力の逆作用が起らないから其特徴を利用して比較的短き杭を使用して沈下せざる防波堤を築き得たのである。

之等の工法は大阪港に於ては昭和3年以來既に實施して相當の効果を擧げ發案の主旨にも副ひ大體豫期の通りに成功し得たので、茲に貴重なる紙上を借りて其大要を發表する次第である。尤も之等に就ては工事を急いだ關係上未だ研究の足りない點も多いと思ふが、之に依り軟弱地盤及鐵矢板工事に従事せらるゝ技術者諸彦の感興を促し更に進んで徹底した研究を遂げられ應用せらるゝに至れば余の最も満足に堪へない次第である。

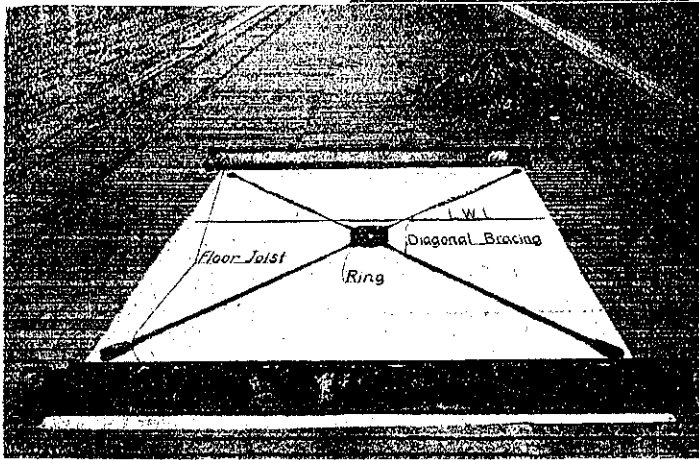
最後に本工事を實施するに當り専ら指導の任に當られし内務省、大阪府當局の各位に對し深甚の謝意を表し、尙大阪市關係各位、近藤、福留兩港灣部長並に工事を擔當せられた近藤、中原、前田の各技師、其他關係各位に對し併せて深く謝意を表する次第である。尙又本文を草するに當り本工法採用後日ならずして故人となられし元港灣部長横山徳太郎氏に對し哀惜の念を新たにし茲に深く敬意を表するものである。

(以上)

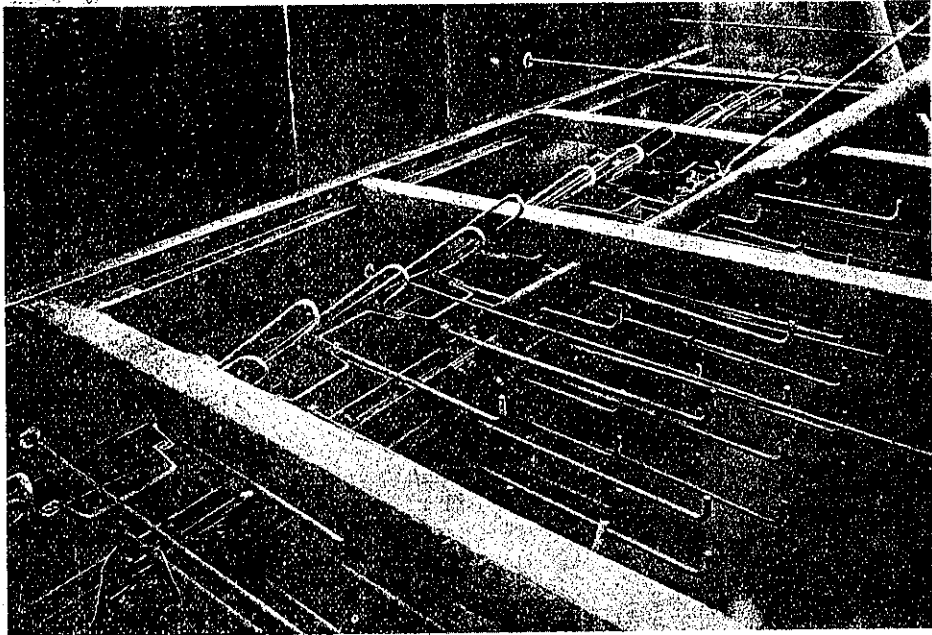
寫眞第一 干潮時に於ける棧橋綫鋼材並に脚柱



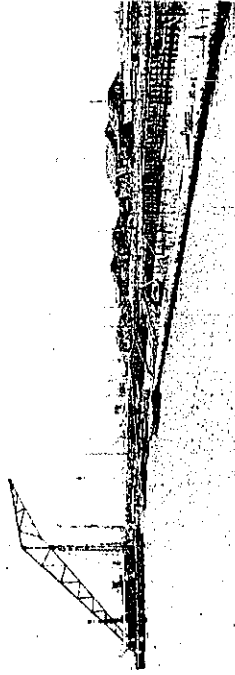
寫眞第二 取外せる棧橋綫鋼材及 I 型鋼



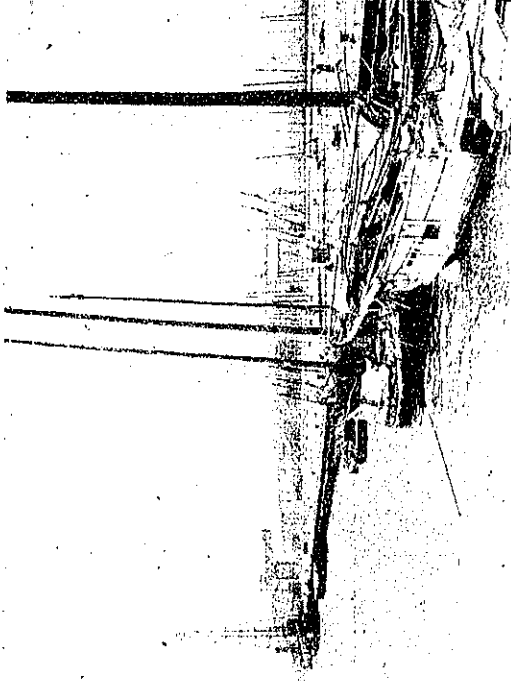
寫眞第三 排水せる水密型枠内の鐵矢板及鐵筋



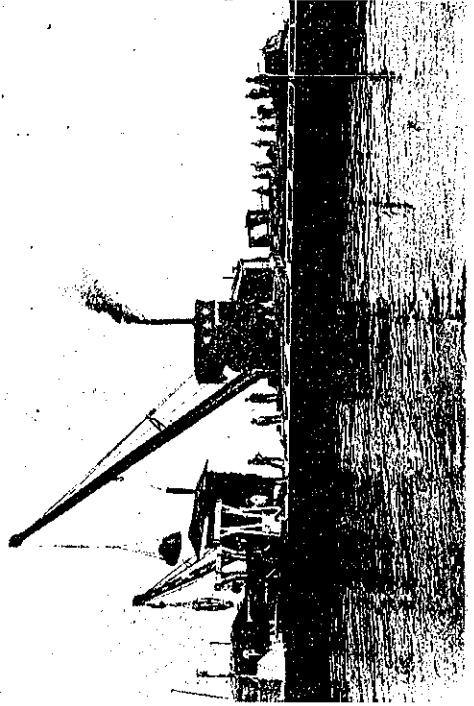
寫眞 第四 工事中の水深 9 米岸壁



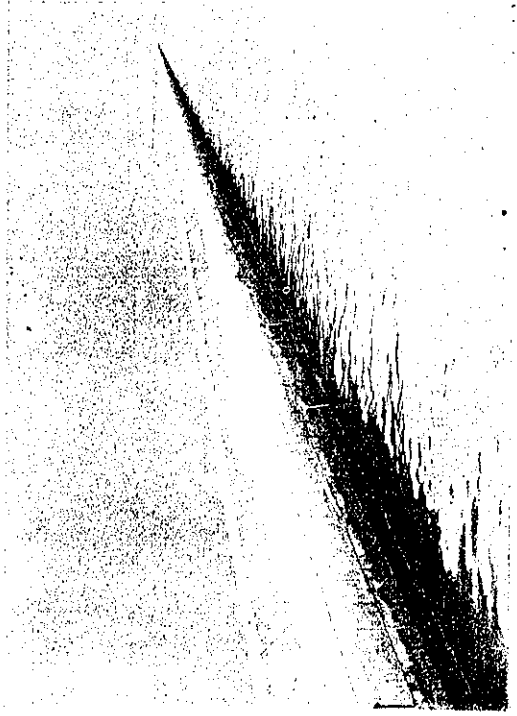
寫眞 第五 竣功せる水深 7.5 米岸壁



寫眞 第六 潜函据付後内部填充作業

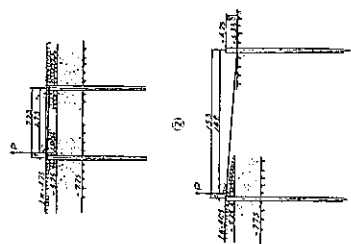


寫眞 第七 竣功せる杭打基礎防波堤



附圖第二 地質其他調查圖

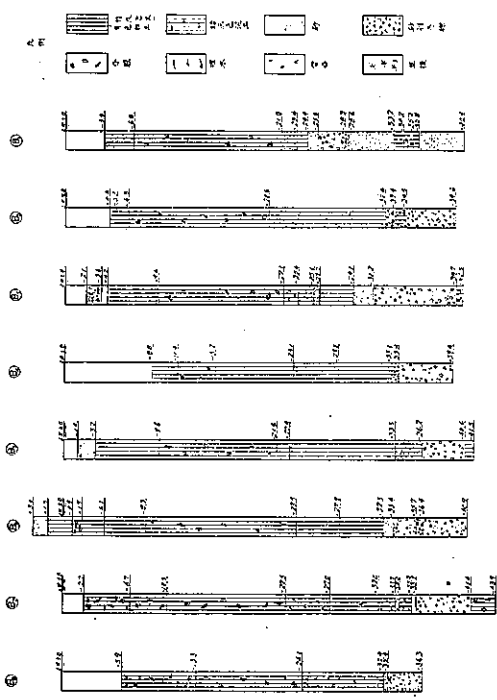
抗頭索引試驗



試驗杭

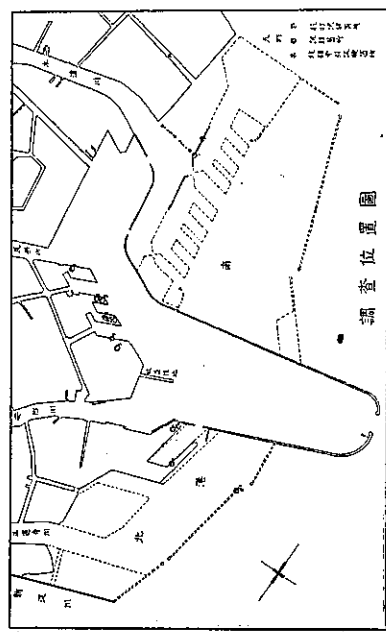
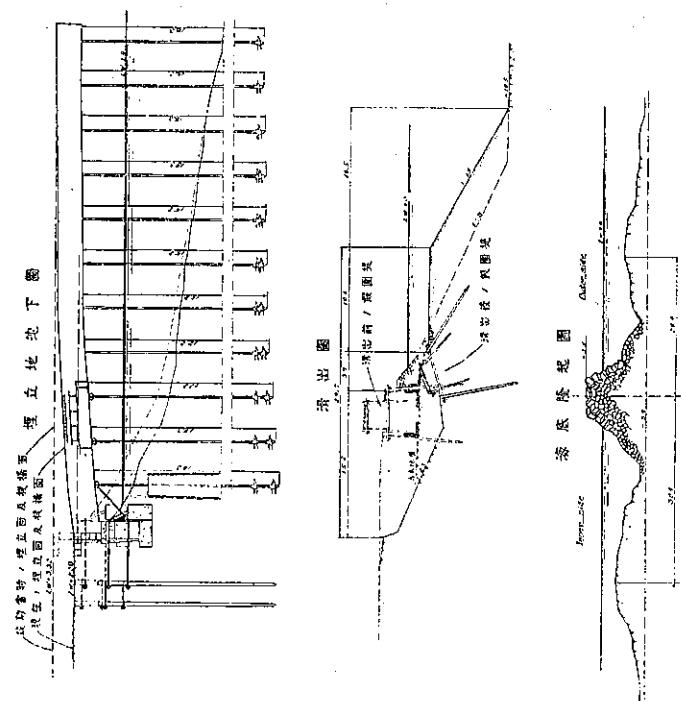


試錐



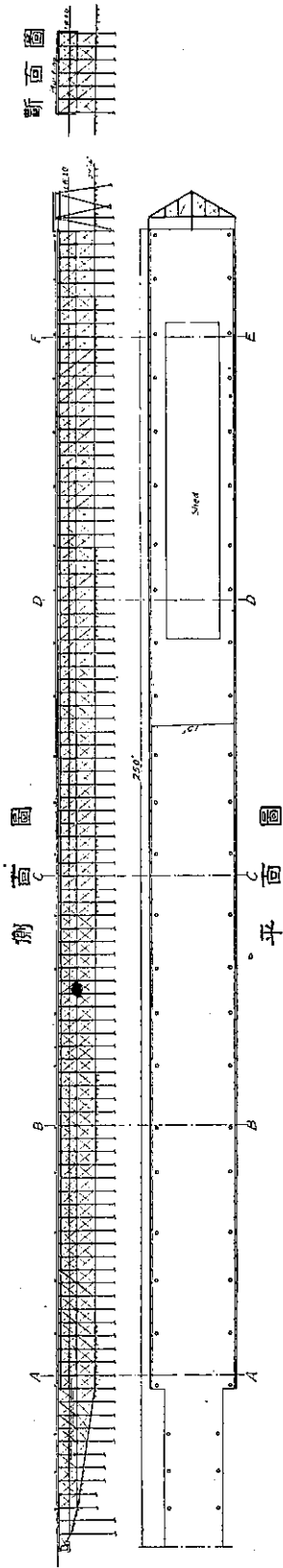
附圖第三 地質其他調查圖

穿動前後

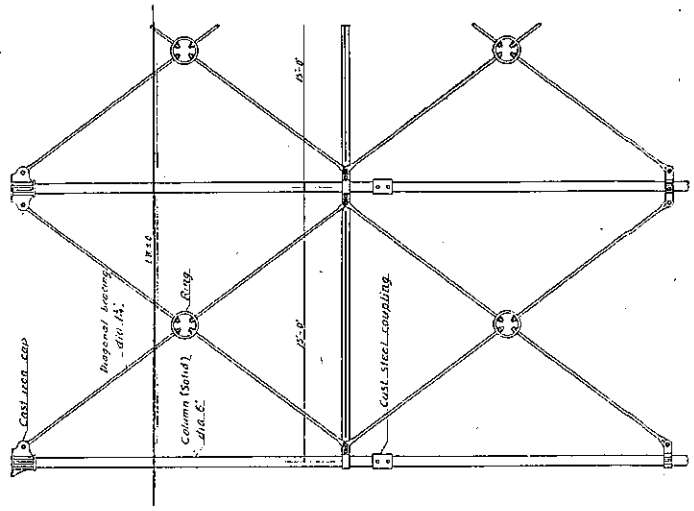


340-4

附圖第四 鐵造棧橋橋蝕調查圖



詳細圖

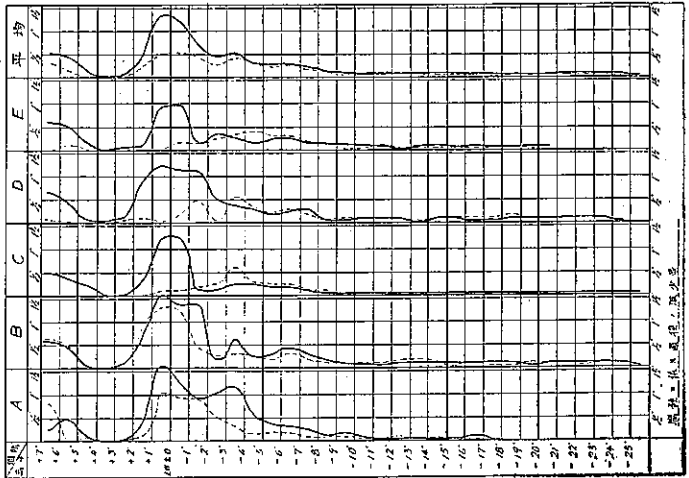
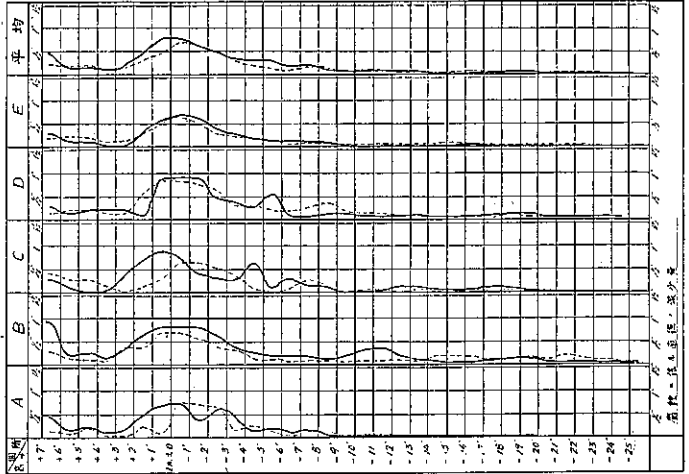


腳柱

最大負荷

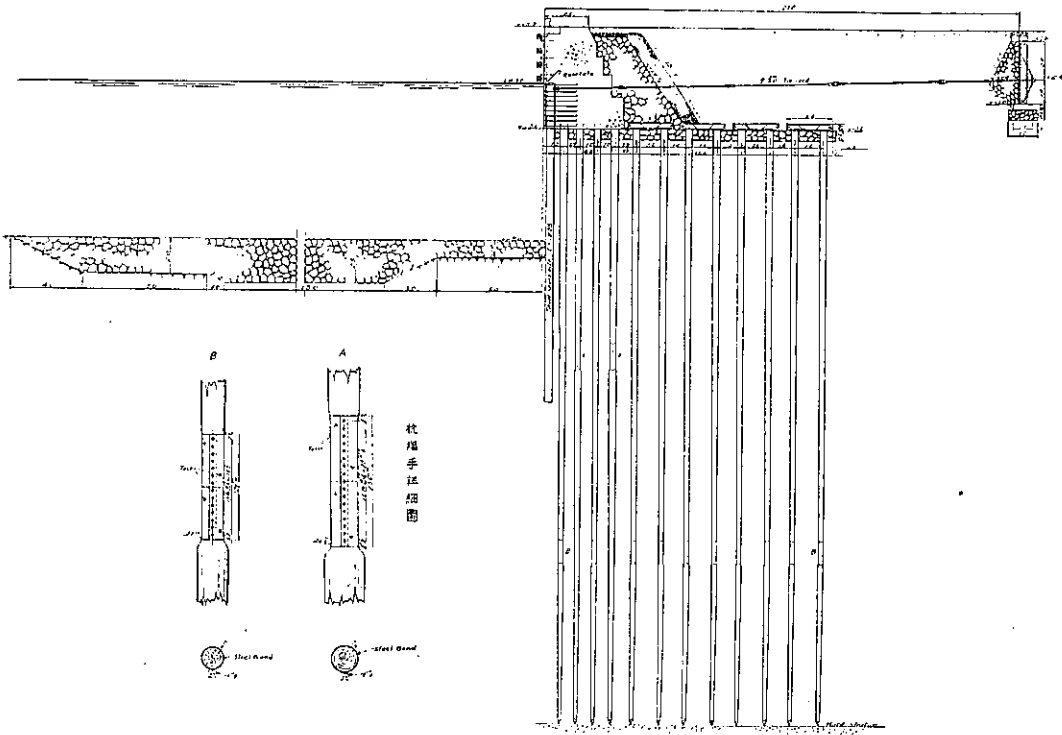
二

絞鋼材

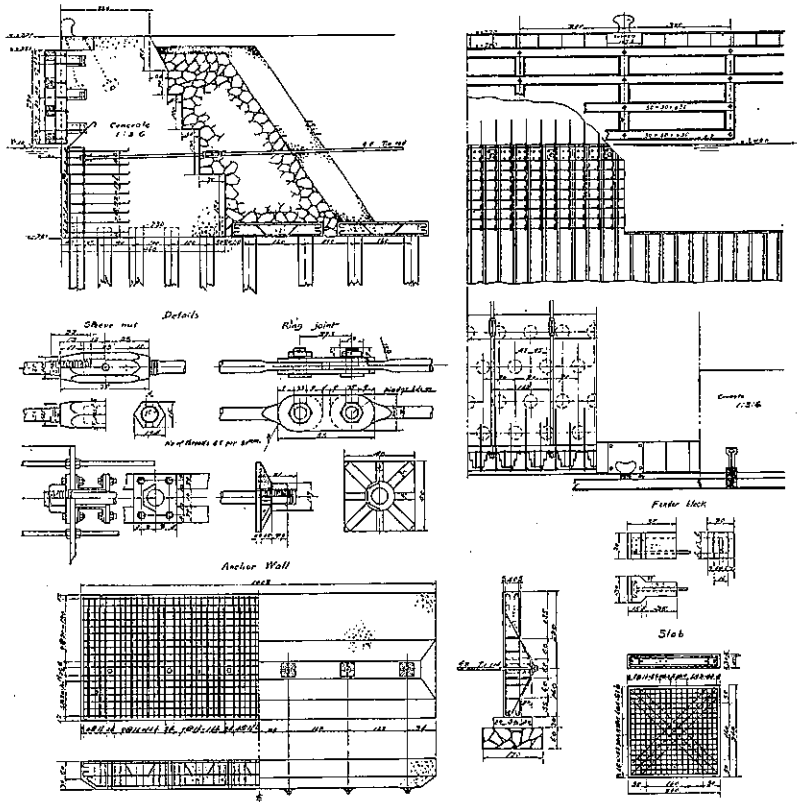


340-5

附圖第五 岸壁斷面圖



附圖第六 岸壁詳細圖



340-8

附圖第八 潛函詳細圖

