

論 說 報 告

第 28 卷 第 9 號 昭 和 12 年 9 月

清水港岸壁の復舊並に補強工事に就て

會 員 鮫 島 茂*
會 員 黒 田 靜 夫**

Reconstruction of Quay Wall at the Port of Simizu

By Sigeru Samezima, C. E., Member.
Sizuo Kuroda, C. E., Member.

要 旨

地震被害を受けた清水港の主要岸壁を略述し目下施工中の復舊並に補強工事に就て其の設計及工法を記述せるものである。就中既設岸壁補強としての根固工、控工及裏込に於けるセメント注入等は本港に於て創始したる特異工法としてこれが紹介を試みた。

目 次

	頁
1. 緒 言	905
2. 清水港の大要	906
(1) 設備と工費 (2) 岸壁附近の地質	
3. 震害の原因と復舊並に補強の方針	908
(1) 震害の原因 (2) 復舊, 補強の方針	
4. 安定計算に使用せる許容強度及諸種の係數	908
(1) 震度 (2) 函塊底面と其の基礎との摩擦係數 (3) 地盤支持力 (4) 裏込砂利	
(5) 土圧及背面水位 (6) 諸材料の許容強度及其の他 (7) 杭の水平抵抗力と支持力	
5. 丙岸壁復舊工事	911
(1) 地震前の構造概要 (2) 復舊工事の計畫 (3) 設計及施工狀況	
6. 甲岸壁補強工事	915
(1) 岸壁の概要と補強工事の計畫 (2) 設計及施工狀況	
7. 追加岸壁補強工事	922
(1) 岸壁の概要と補強工事の計畫 (2) 設計及施工狀況	
8. 乙岸壁補修工事	925
(1) 岸壁の概要と補修工事の計畫 (2) 設計及施工狀況	
9. 附 記	926

1. 緒 言

昭和 10 年 7 月 11 日静岡, 清水附近を震源とする烈震の爲清水港の岸壁, 物揚場は鈔からざる被害を被り目下其の復舊並に補強工事が晝夜兼行で進められ各般の工事は其の最盛期にある。

* 内務技師 工学士 内務省下關土木出張所勤務

** " " 内務省横濱土木出張所勤務

凡そ岸壁の復舊、補強工事は港灣工事に關心を持つ者にとつて常に注目を引くのであるが、この種大小實例は各港に於て屢々當事者が辛苦と多年の蘊蓄を傾け施工する所あるにも拘らず明確なる報告に接する機會が甚だ乏しい。其の既設構造物が當時の最高技術と周到の用意とを以て設計、施工されたるものに於て後日之等技術の進歩に依り或は天災に依り、或は使用目的の変遷に伴つて補強を要する場合と雖も理解なき局外者の批評、非難を恐るゝか又當事者が卑下して誇とするに非らざる理由を以て殆んど大部分が黙々の間に完工さるゝを例として居る。特に本邦の如き地震國にあつては關東震災を契機としてあらゆる構造物設計に革命を齎らし其の後數次の地方的震害に依つて理論並に應用兩方面に互り著しい進歩を遂げつゝある。かるが故に今日萬全を期したる構造物と雖も數年を経過せざるに不満の點を見出すかも知れぬ。かゝる現状に鑑み筆者は今回遭遇したる清水港の重量式深岸壁の耐震的補強並に被害岸壁の復舊實例を掲げ大方諸子の叱正を仰ぐ次第である。

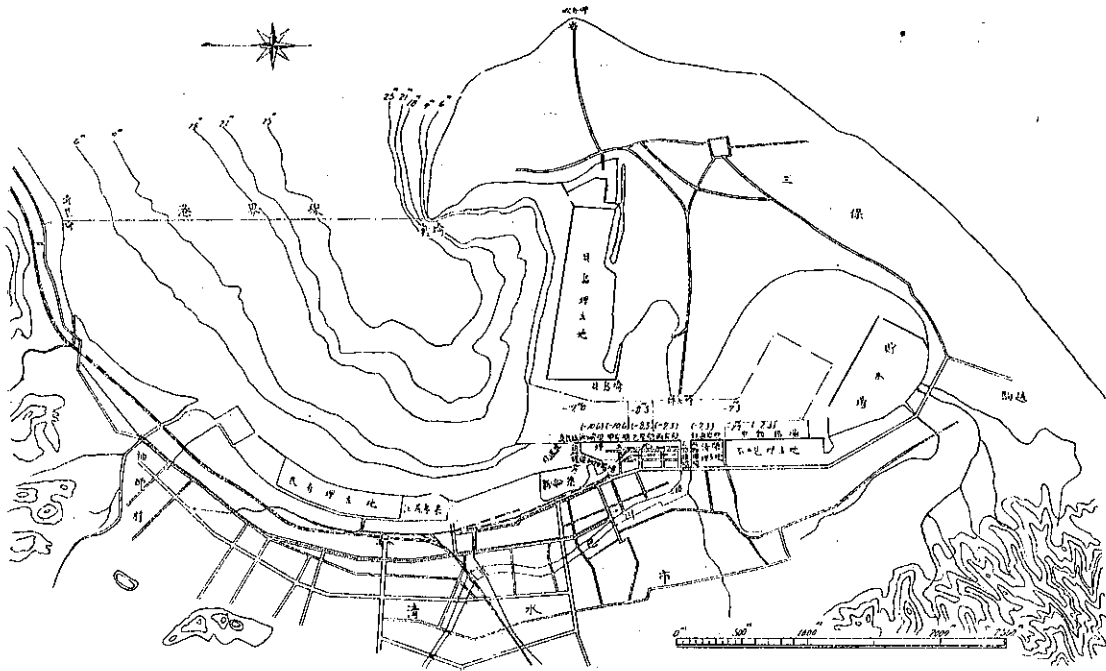
本工事の設計施工の諸般に互り内務技師山田正平氏の協力を煩はす事甚だ多かつた。この機會に厚き感謝の意を表はす次第である。

2. 清水港の概要

(1) 設備と工費

所謂清水港修築工事は大正 10 年より着手し其の間種々の曲折を経て昭和 10 年度末即ち現在の復舊工事を始める迄の 15 年間に總工費 863 萬円を要した。この間に造成したる主要設備は(図-1 参照)清水市内を貫流せる巴川河口兩岸埋立地に於ける岸壁、物揚場と三保埋立地である。そのうち巴川河口を中心として南北の一線に築造したる岸壁は左岸に於ては水深 7.3~10.6 m のもの併せて 820 m に達し 3 000~20 000 t 級航洋船 5 隻の

図-1. 清水港平面図



同時繋留に充て、背面埋立地は平均幅員 100 m、面積約 100 000 m² である。右岸は埋立地平均幅員 210 m、面積 210 000 m² にして 3 000 t 級 2 隻分の岸壁 267 m と護岸、物揚場延長 750 m である。この他に以上設備地附近には水深 1.8~2.3 m の解船荷役物揚場延長 625 m を築造した。

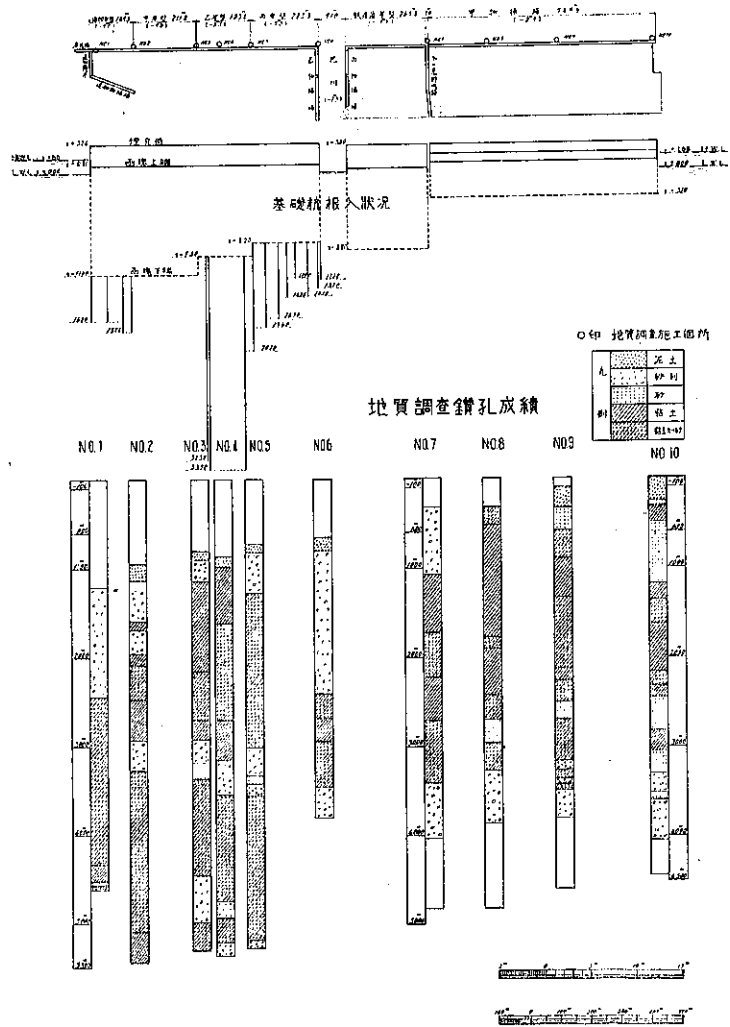
今回の震害大なりしものは主としてこの兩岸埋立地に於ける岸壁物揚場にてこれが復舊並に補強工事は工費豫算 89 万円にて総工費の約 1 割に當り内務省直轄工事として昭和 11 年 4 月より着手同 13 年 3 月に完了の豫定である。

(2) 岸壁附近の地質

巴川左右の岸壁法線に沿ふて地質調査 10ヶ所を行ひ其の結果より想像するに基面下 30~35 m に至れば全般的に砂利の硬層があり其の上は沖積層にて巴川河口附近及追加岸壁附近は砂利を推積して地盤強固なるに反して岸壁及甲物揚場は粘土層厚く軟弱である。清水港を圍繞して天然の防波堤を形成せる三保松原は砂嘴が成長せしものにて先端は眞崎迄延び、途中派生分岐したるものが貝島崎及辨天崎なりとする地質学者の説を容認すると現在の巴川河口は辨天崎の先端に當り追加岸壁は貝島崎の延長と看做し得る。従つて軟弱なる個所乙岸壁と甲物揚場は折戸灣に注ぐ巴川其他諸川の搬出せる土砂の堆積せるものにてこの個所と雖も基面下 30~35 m には砂利の硬層に達する。

図-2. 岸壁附近地質調査

岸壁附近平面図



地質調査の概略図及左岸主要岸壁直下に打込みたる杭根入状況を示すと図-2. の如し。杭は末口 22~25 cm の松丸太を油谷式 4t 複動蒸氣錐を使用し假杭に依り打込み最終 50 回に於ける 1 回平均打止りは 0.1~0.3 mm 程度であつた。

3. 震害の原因と復舊並に補強の方針

(1) 震害の原因

昭和 10 年 7 月 11 日の地震は静岡、清水兩市地方に於て安政元年の駿河地震以來 81 年を経て起つた局部的の大地震で先に本港の被害の甚大であつた昭和 5 年 11 月 26 日の地震に比すると、岸壁背面に及ぼす影響は實に 3 倍に達した。即ち昭和 5 年の地震に於て岸壁後方埋立地附近の最大震度は約 0.15 と當時推測せられたが振動の方向は岸壁方向の垂直線と約 65° の傾きをなすから、之を岸壁と直角方向に對する影響に換算すれば其の震度は約 0.07 内外と推定せられた。依つて昭和 6 年以後の修築工事では岸壁の如き港灣主要構造物に限り之に對する直角の震度を 0.15 に採り之が復舊並に補強の工事が施工された。

然るに今回の地震に於て岸壁後方の埋立地の最大震度は諸種の調査報告書*によると振動の方向が岸壁方向の垂直線に對し約 20° の傾をなすからこれに直角の震度は約 0.2~0.25 と推定せらる。

即ち今回の地震震度は昭和 5 年の地震直後に於て復舊工事の方針として採用した數値を遙かに凌駕せし爲之を基準として計算したる構造物に強大なる力が働き遂に其の安定を失つたものと推定せらる。

(2) 復舊、補強の方針

今次の復舊に基準とすべき震度は勿論これ迄採用した 0.15 を増大するは當然であるが然らばどれ位に決定するかは工費に影響するを以て甚だ困難である。今回埋立地附近にて 0.25 あつたからこれを標準にして計算すると全壞した丙岸壁は勿論被害僅少なりし岸壁に就いても大規模の補強工事を要し殊に昭和 5 年以前施工の分にあつては函塊を浮し直して基礎より改築する結果工費約 150 萬円の多額となる。然るに工費節減の見地から耐震強度を全岸壁に對して均一的でなく多少の差異をつける事とし丙岸壁の如く全壞して根本より改築を要するものは耐震力を上げる事は比較的容易であるから、これを震度 0.25 に採り、他の残存せる岸壁は工費が著しく増大せず事情の許し得る範圍で補強或は補修する事に決定しこれ等は大体震度 0.2 を標準とした。この經濟的復舊案の工費は 89 萬円にて現在の豫算で施行中である。物揚場、護岸もこの工費で孰れも單なる復舊、補修に止め事情許さば耐震強度を上げる積である。

4. 安定計算に使用せる許容強度及諸種の係數

(1) 震 度

3. (2) に於て述べたる如く丙岸壁に於ては岸壁の方向と直角に震度 0.25 を採り、其の他の主要岸壁は 0.2 とし物揚場、護岸にありては地盤の關係、工費の都合等により 0.2~0.15 を採用したるものもあり單に原形に復舊するに止めたるもの等ありて區々たり。

(2) 函塊底面と其の基礎との摩擦係數

昭和 5 年の震災復舊に當つて實驗したる結果に依れば基礎に浚渫砂利を使用した場合函の正に滑出せんとする時底面摩擦係數は 0.42~0.48 にて平均 0.45 であつた。依つて今次の復舊に於ては相當の餘裕を持たしめ $f=0.35$ とした。而して基礎に割栗石を使用した場合は初期滑出を始める係數 0.59~0.7 にて平均 0.6 となつた。これに對し許容摩擦係數を採用した。この實驗係數は割石の大きいさ 6~15 mm の碎石を使用した時表はれ

* 内務省土木試験所物部、松尾兩技師調査報告書

静岡強震調査概要(驗震時報第 9 卷第 2 號) 中央氣象臺

静岡強震続報(調査報告第 4 號) 静岡縣沼津測候所、内務省清水港修築事務所調査資料

たるものにて粒度を変へると多少の変化はあるが根本數値に大差はない。獮割石の基礎は孰れも杭打地形なるを以てこの係數も餘力を有するものである。

(3) 地盤支持力

毎平方米 35 t を以て許容支持力とす。この數値はこれ迄 2 回の被害による經驗、地質調査、或は杭打結果等より慎重決定せるものである。岸壁の基礎は總てプリストマン式浚渫船を以て掻き取り得る深き迄根掘し浚渫砂利を以て置換へ海底より 2.5~6 m の厚さを有す。岸壁前面には根固杭を密集して打込み砂利の洩出を防止する造たるを以て安全なる強度と信ず。

(4) 裏込砂利

港内より浚渫したる切込砂利を使用し息角、重量、粒度の近似値は次表の通りである。

陸上の重量	1 600 kg/m ³	水中の重量	1 000 kg/m ³
水に飽和したる重量	2 000 kg/m ³	陸上の息角	35°
水中の息角	30°		

篩分試験表 (日本標準規格筋に依る)

篩孔径 (mm)	30	25	20	15	10	5	2	0.85	0.50	0.36	0.29	0.17	0.14	0.074
篩通過重量百分率	100	98	97	93	89	79	61	36	15	7	5	4	2	1

本砂利は相當丸味を有し大粒部分と細骨材に當る砂の割合稍少く粒度に難あれど清淨、強硬にて耐久力に富みこれに 1 割内外の砂を添加してコンクリート材料として使用せし事屢あり。裏込砂利として息角大なる利點あれども年月の経過に伴ふ凝集力全然なく地震時に於ける土圧の増大に影響する所尠しとしない。

(5) 土圧及背面水位

安定計算に用ひた土圧は岸壁後端垂直面を土圧作用面と考へクーロン氏土圧論を根據とせる ボンスレー氏函式解法によりて求め、地震時に於ては重力及地震加速度の合成力が長時間に互り同一方向に作用すると考へる物部博士の計算法*を適用した。

岸壁背面と海面の水位差の上昇は直接背面水圧を増加する外に裏込土砂凝集力を喪失する等岸壁の安定に對し輕視出來ないので何處の岸壁に於てもこれが水位の降下に意を用ひてゐる。本港岸壁の裏込は切込砂利にて施工し内外水面はよく疏通し僅少の位相の後れを認むるも水位差は極めて僅かである。然れども本計算に於ては一般通念に従ひ潮差 1.6 m の 1/2 即ち 0.80 m を與へた、

(6) 諸材料の許容強度及其の他

諸種材料の許容強度は概ね本學會制定の鉄筋コンクリート標準示方書に依り、地震時に於ては之等の強度を 5 割増加した。稀に遭遇する荷重に對し常時と同等の許容強度を採る事は經濟的に許さざる事情があり

材 料 名	常時許容応力	地震時許容応力
鋼 材 抗張応力	1 200 kg/cm ²	1 800 kg/cm ²
剪 応 力	950 "	1 430 "
コンクリート 抗圧応力	40 "	60 "
剪 応 力	5.5 "	7 "
附 着 力	4.0 "	8 "
海水重量	1 020 kg/m ³	
割栗石重量	陸 上	1 700 "
	水 中	1 020 "
息角 (陸上水中)	40°	

増加率は差觀的に決定したがこの許容強度と雖猶彈性限界點以下に在らしめた。

* 物部長徳著 土木耐震学

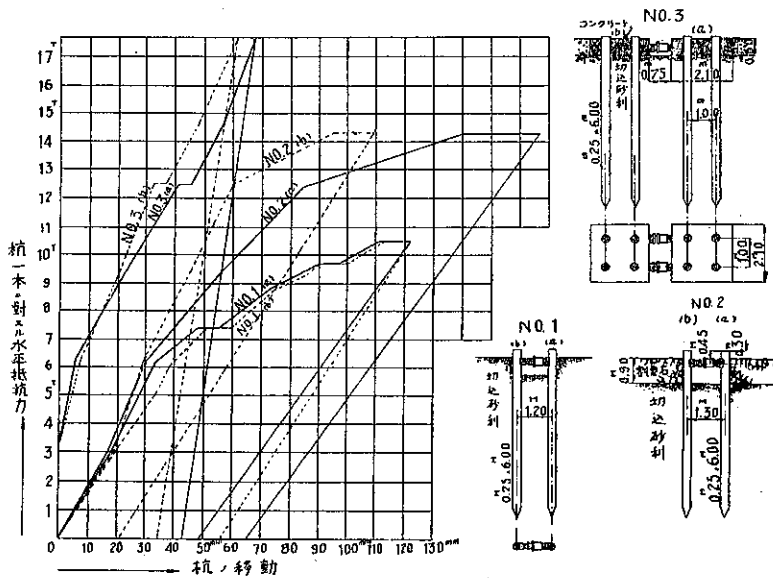
(7) 杭の水平抵抗力と支持力

杭打基礎構造物が耐震的たる事は今更こゝに冗言を要せざる所で今次の復舊補強にあつては極めて多数の杭を使用し函塊基礎、岸壁前面根固杭、控壁等に於ける杭總数は 4770 本以上に達して居る。

就中岸壁前面に於ける根固杭は今次の補強の特色とも云ふべきもので重大なる役割を果すが故にこれが許容水平抵抗力の決定にあつては慎重を期した。一般に杭の水平抵抗力に関しては信頼すべき算式に乏しく地盤、地質も亦千変萬化する爲其の判断が経験のみでは困難なりしを以て工事に先ち實物試験を施行する事とした。岸壁前面は全部根掘して浚渫砂利と置換へ恰も背面埋立地と事態を同じくするのでこゝに松丸太を打込みこれに水平力を加へて試験す。其の結果は図-3 に示す如く 図中 No. 1 に於ては末口 25 cm、長 6 m の松丸太を 2 本中心間隔 1.2 m に打込み其の間にジャッキを配備し圧力を上昇せしめながら抵抗力と移動の關係を測定したるものにして移動 10 cm に於ける水平抵抗力

図-3. 杭試験成績

は 10 t であつた。No. 2 に於ては砂利の上層の一部は實施工法の如く割石と置換へたる場合に於て移動 10 cm に於ける水平抵抗力は 13 t にて砂利のみの場合に比し 3 割を増大せり。No. 3 に於ては杭 4 本を 1 組として恰も岸壁根固工と同様な工法にて頭部をコンクリート枠にて包み中間にジャッキ 2 個を配置して測定せる結果は表に示す如く移動 6 cm に對し杭 1 本の水平抵抗力は 15 t を越へ



1 本單獨の場合に比し約 2 倍となつた。この結果杭を岸壁と直角方向に 2 列に配し頭部を結束してフレームとして働かしたる場合は獨立した 1 本の杭の倍以上の水平抵抗力を有する事が判明した。依つて杭 1 本に對する許容水平抵抗力は 12 t を採用した。實施にあつては杭の末口及長さは試験に使用せるものより概して大にて其の配列方法も 2 列より 3 列に直と斜に打込みたるものが主要岸壁の大部分を占むるが故に相當の餘裕を存するのみならず杭は多少の移動に對しては折損する事なく抵抗力は却つて増大する性質を有し繫索とは異つた安全性を有するものである。この試験杭は油谷式 4 t 複働蒸氣杭打機に打込み最終回に於ける平均打止りは 0.5 mm にて實施に於ては 0.1~0.3 mm 程度のも多く其の尖端は相當堅韌に穿入せるものと推定せられ水平抵抗力に好影響を及ぼせり。

猶この許容強度も一つの目標に過ぎず杭の大きさ、地盤、使用目的等の實情に測し融通性を與へた。

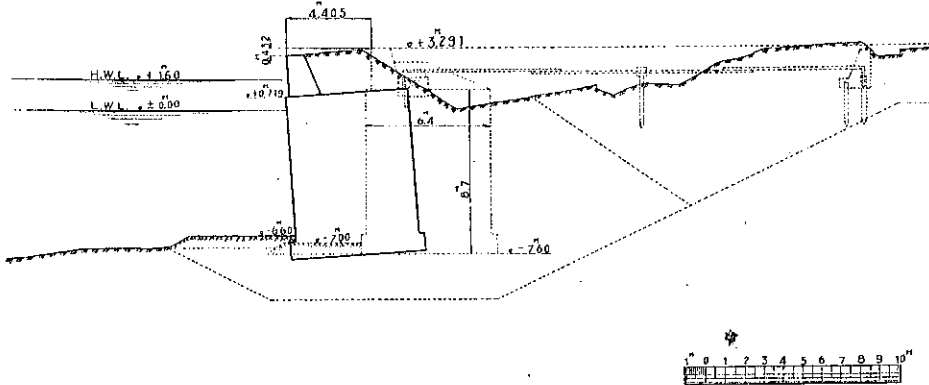
杭の支持力に就ては諸種の算式を參考とし實施にあつては主要なる基礎杭は地質調査と照合し複働式氣鏈 4 t を用ひ、最終 50 回に於て平均 1 回の打止り 0.1~0.2 mm の程度迄打込みたり。

5. 丙岸壁復舊工事

(1) 地震前の構造概要

本岸壁は巴川左岸に最も接近して位置し水深 7.3 m、延長 225 m、3 000 t 級 2 隻の繋留に充てたるものでこの附近は對岸辨天崎の砂嘴が伸びて砂利層は比較的浅所に厚く發達し地盤は他の個所に比し良好である。岸壁の構造はプリストマン式浚渫船を以て出來得る限りの深さ迄根柢をなし浚渫砂利と置換へ其の厚さ 2.5 m 前後である。この上に函塊を据付け浚渫砂利を以て裏込をなし 1 函 (14 m) に對し 30 kg 軌條 2 本宛 2 ヶ所の繋索を施工し、全高に對する底幅の比は 0.65 である。函塊の前室は申請コンクリートを施工し中央に空洞を存す。後室は浚渫砂利を以て填充す。

図-4. 丙岸壁滑出断面図



(2) 復舊工事の計畫 (図-5 参照)

本岸壁は全長に亘り最も慘たる被害を受け滑出の最大なるものは 5.48 m 少きものと雖も 1.0 m に達し沈降の最大 87 cm に及ぶ。代表的被害状況は図-4 に示す如く滑出傾斜して再使用に耐へざるを以て、これを復舊一新し其の耐震強度を増大する事とした。而して今次の復舊に於ける震度の標準は之を 0.25 に採り將來同程度の地震に對し輕微なる異状あるは止むを得ずとするも全面的に安全を保持し致命的損傷なきを期するものである。移動、沈降甚しき函塊全部 16 函を浮揚し杭打基礎上に据換へ岸壁の滑出、沈降に抗せしむると共に各函塊継手毎に張力 600 t に達する強靱なる控索を取付け後方に新設したる控壁と連結し函の滑出を防止し併せて岸壁前趾の底面圧力強度の輕減を図つた。

地震時並に常時に於ける安定計算図表は図-6 に示す如し。

(3) 設計及施工狀況

本工事は昭和 12 年 4 月末に於ける工程約 5.5 割にて復舊工費は機械費等一切を含めて概算米當 1 500 円を出でざる見込である。

(イ) 函塊浮揚 本港に於ける既設岸壁函塊の浮揚は今次のものを合せて 3 回目にて誠に芳しからざる経験を有するものである。各回とも夫々別途の方法に依り、第 1 回は函塊製造の終末期にありしを以て之が外枠を利用し函上部に取付け申請コンクリート及砂利の大部分を取除き自力を以て浮揚する工法を採り、第 2 回目*は恰も 2 萬

* E. N. R. May 5 1932. 嶋野貞三

Displaced Caissons Restored at Shimizu Harbour, Japan.

図-5. 丙岸壁復舊

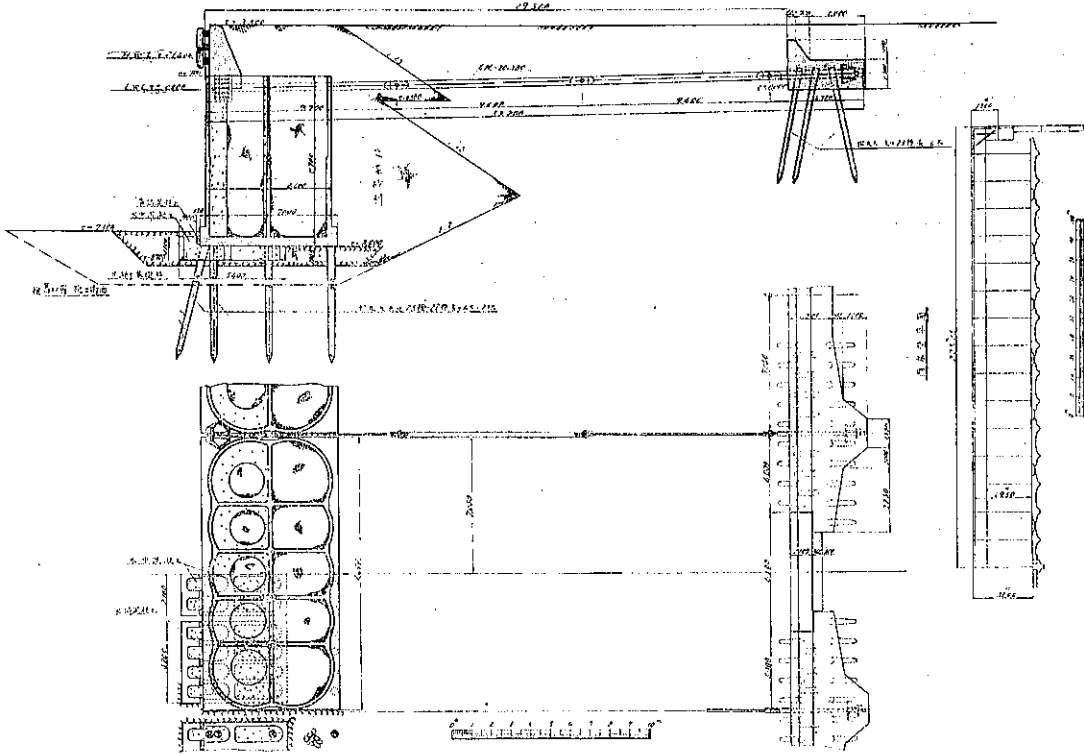
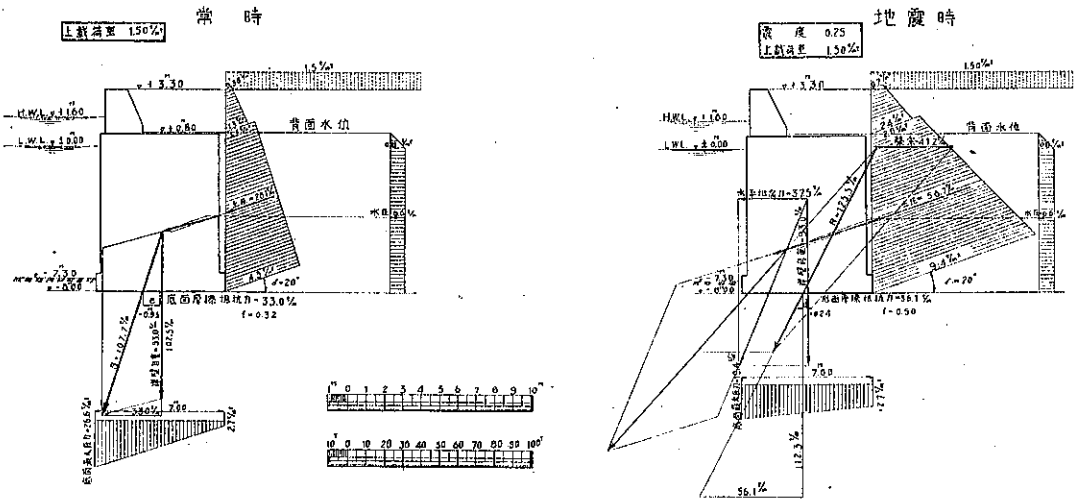


図-6. 丙岸壁安定計算図



噸級岸壁に利用する目的にて假置中の函塊を用ひこの浮力を利用してこれに浮揚装置を工作し中詰コンクリートの一部と砂利の全部を取除き浮揚せしめた。第3回目は横濱港に於て創始したる浮函の浮力を利用する工法によつた(図-7 参照)。

浮揚に使用したる浮函(フロート)は昭和3年より9年迄7年間に互り横濱港に於て四脚型円筒構、三脚型円筒構、防波堤用函塊、L形大壁体等數次の浮揚に所期の目的を果し同港に於て工事の都合上閑散期にありしものを改装、曳航せるものにて浮揚装置並に重量と浮力の關係は図-8及図-9に示す如し。2個の浮函の上部に鉸桁を架して門型に一体とせる装置を函塊を跨いで挿入し函塊前室に取付けられたる8個の繫鉤

図-7. 函塊浮揚(丙岸壁)

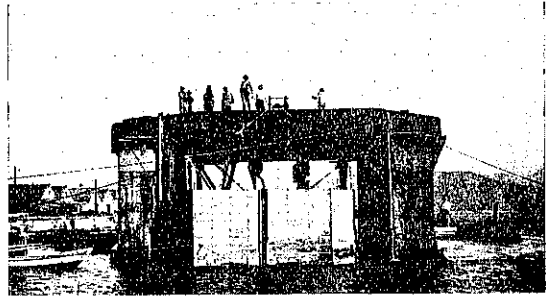
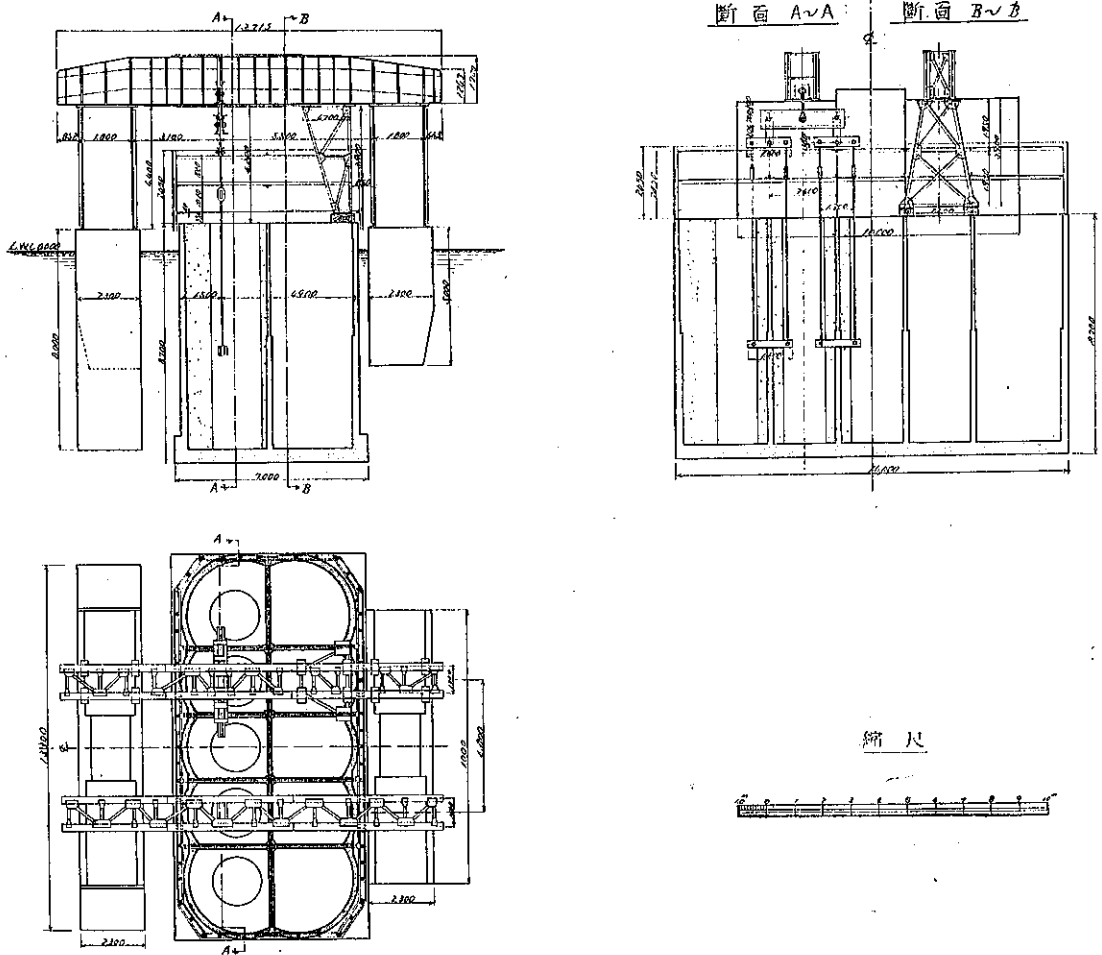


図-8. 丙岸壁函塊浮揚



と連結す。浮函内の海水を排除するに従ひ浮力は増大し緊釘に働く張力が全部で 190 t に達する頃靜かに浮揚し始む。

この時後室は申請砂利と水を排除して浮力極めて強く重心との關係から却つて押し下ぐるを要し抗压材となるべき檣を配して之に備へた。8本の緊釘に不均一荷重なき榫接合部は總てピン構造とせる點と、函の傾斜甚しきは1/10に達するものあり浮力増大するに伴ひ浮函の移動せざる様函塊との相對位置を確定せしむる點等に苦心を要した。本フロートの構造、性能に關しては既に發表*したるを以てこゝに詳述を省くも本浮揚に改装せる主なる個所は釣下げ用鉄桁の改造並に緊釘一組の新規製作にてこれ等の改装、製作、曳航等一切に要したる工費は下記の如く約 9000 円である。

浮函改装並浮揚設備費 9000 円

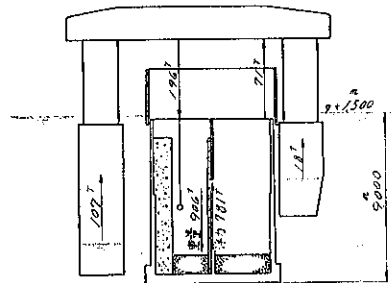
内譯	浮函修理	500	鉄桁改造	3000
	緊釘一組	3000	曳航費(往復)一式	2500

而して浮函による浮揚函塊は 10 個なるを以て 1 函當設備費は 900 円である。浮函使用浮揚の利點を列擧すると。

- a. 工期を短縮し得る事：申請を全部取毀し浮揚する場合に比し 1 函に付 4 日を短縮し得。
- b. 函内作業期間短く危険少なき事：申請取毀し作業は狭き室内作業にて危険多し。この期間の短縮は従つて危険率を減少し得る。
- c. 材料を節約し得る事：申請コンクリートを取毀し又新規打換を要するが如き二重手間を省き得る。
- d. 經濟的たる事：浮函による浮揚は 1 函に對し取毀費にて 500 円、材料節約 1500 円を利するを以て合せて 2000 円となる。一方浮函の爲特別負擔を要するものは設備費 1 函に付 900 円、浮揚増額 150 円を合せたる 1050 円にて差引 950 円/函の利益金あり、浮揚費の實績は 1 函に付 4500 円程度であるから其の 2 割強を節約し得る事となる。

浮揚迄の準備工作として最初函上部に於けるコンクリートを爆破により破碎し起重機船を以て取片付を行ひ、これと前後して裏込の除却を施工す。始め 2 函はポンプ船を以て吸揚げ函を自力浮揚せしめ以後はプリスマン浚渫船を背面海面となつた個所に配して進抄せしめた。函塊内部には前室に申請コンクリート後室に砂利が填充されこれ等の取除作業の多くは水面以下たるを以て上部に特に製作したる鉄骨木板の防水桙を取付け全作業を潮位に無關係に進行せしむる様工夫した。前室コンクリートの一部及砂利の取除は人力により後室の砂利はプリスマン式浚渫船を使用し、渡水に對しては函内に電動機付吊下げタービンポンプ径 150 mm を配した。緊釘取付孔は 4 個あり隔壁を穿孔しベロセメントを用ひピンに密接する様仕上げ緊釘及抗压材となるべき檣等を整備してフロートを引込み浮揚作業に移る。

図-9. 丙岸壁函塊浮揚安定図



浮揚げたる函塊は其の狀態の儘函底に吸着したる基礎砂利を潜水夫をして掻取らしめ隣接して拵へたる杭打基礎上に順次据付くものとす。

(口) 基礎工 函塊の基礎には斜杭及道杭を函 1 個に付 48 本を打込み堅盤に到達せしめ地震時に於て壁前端的耐荷力と滑出に對し充分抵抗せしむるものである。而してこれ等の杭は基礎桙に嵌め込まれて其の周圍に水中

* 萬國工業大會論文 395 號 (昭和 4 年) 軟弱なる地盤に於ける耐震埠頭築造の一試み 鮫島 茂

コンクリートを施工し岸壁荷重の均一分布を計り併せて虫害よりこれを防ぐ構造とした。

基礎杭は図-5 及図-10 に示す如く1函に付3個を使用したも地盤良好なる個所に於ては2個としたもの或は3個1体となしたるものあり。施工順序を述べれば従来の基礎たる浚深砂利上層部1mを根掘して割栗石と置換へ基礎杭を据付けこれを造形に兼用せしめ後直斜の杭を打込み枠の各室に水中コンクリートを施工し函塊を据付ける。函前面と基礎杭の接触面は岸壁の滑出に最初に抵抗するが故に特に慎重を期し袋詰コンクリートを施し間然する所なからしめた。杭打は前回復舊工事に活躍したる油谷式複動式蒸気錠4tのものを其の儘使用す。本機は抗力20tを有する浮装起重機船と兼用せしめたるものにて錠のガイドを先端より吊下げ下方は傾斜を調節し得る抗圧部材を起重機甲板に連結す(図-11 及図-12 参照)。

(ハ) 控工 函塊継手凹部の曲面を利用して後方に緊索を引張り新設控壁と連結す。函塊継手は14m毎にありて1個所の設計張力600tに達し普通緊索工法による能はざりし爲に20mm×380mm断面の平鋼4枚を用ひ長10m×3連5m1連をピン連結により全長32.4mの緊索として控壁と連結す。其の詳細及之に關する説明は6項2節甲岸壁控工に譲る事とする。

本工事に於ては控壁は今次の地震被害に鑑みゲルバー桁の概念を適用した。各函は地震時別個の運動をなしこれと連繋ある控壁を連続桁とする事に無理があり施工継手が恰も伸縮継手に類似する働をなす缺點を避けた。而して中央礎着桁に當る控壁には直及斜の杭を打込み杭頭を常に低水位以下にあらしめ耐久性を確實にし鉄筋コンクリートを施工して強固なる一体とし、張力の一部は杭の水平抵抗力を以て残部は前面の負土圧を以て抵抗せしむる構造なり。兩側の吊架桁に當る壁には杭を用ひず専ら負土圧を以て礎着控壁の抵抗力を援助する事とした。

6. 甲岸壁補強工事

(1) 岸壁の概要と補強工事の計畫

本岸壁は水深10.6m、延長212mを有し2萬噸級航洋船1隻の繋留に充て木港に蜜柑、茶、大豆等の貿易に出入する一流船舶を目標とせるものである。構造の基調は図-13 に示す如く丙岸壁と全く同型で岸壁基礎は浚

図-10. 丙岸壁基礎杭の吊込

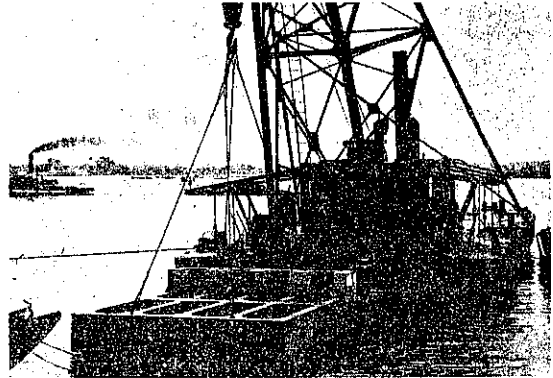


図-11. 基礎コンクリート作業(丙岸壁)

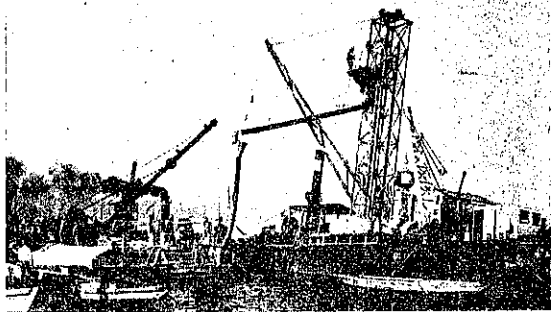
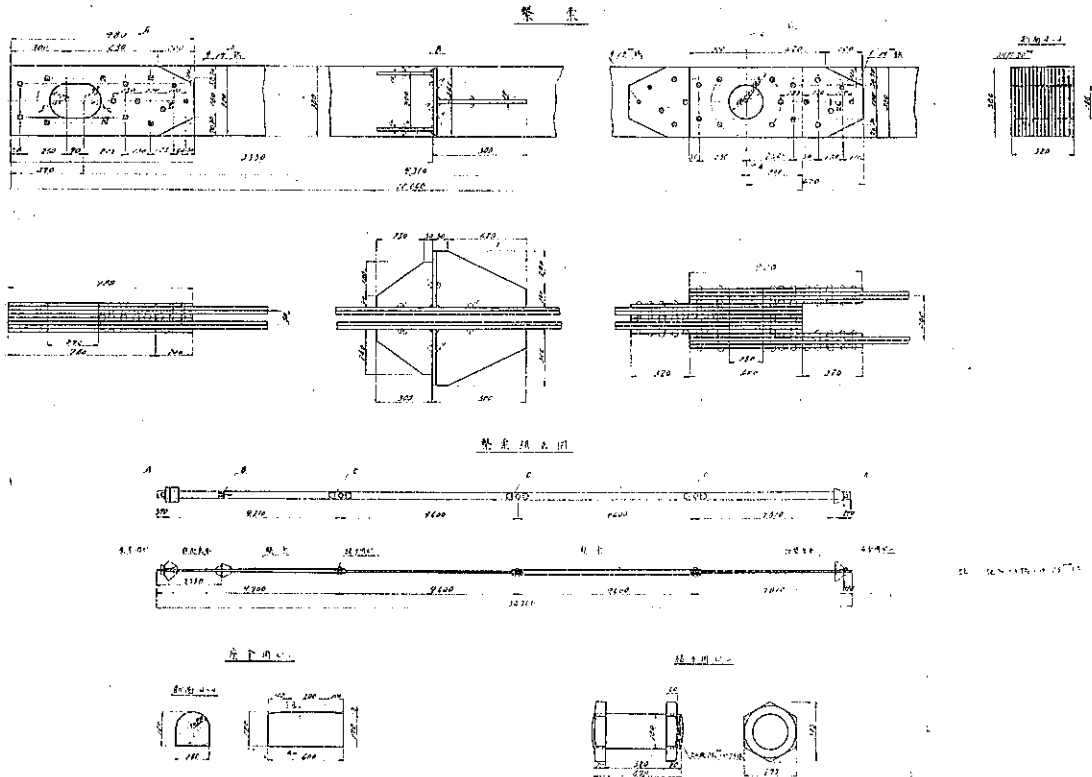


図-12. 基礎杭打作業(丙岸壁)

(左端は滑出傾斜せる函塊に防水棒を取付けたる所)



図-15. 甲岸壁用繫索



漁船にて根柢をなし浚渫砂利と置換へ其の厚さ 3~6 m あり。この上に函塊を置き砂利にて裏込をなし 1 函に對し 37 kg 軌條 4 本宛 2 ヶ所の繫索を設け全高に對する底幅の比は 0.65 である。地震による外面的被害は輕少にて埋立地は岸壁より約 10 m の後方地域に互り 70 cm 程度全般的に沈下し、函の滑出量は 10~20 cm、沈降量は 10 cm を超ゆるもの稀で地震後盛に利用されて居る。然れども繫索は全部切斷して今後の役に立たず補強を施工する必要を認めた。

今次の補強に於ける震度の標準は 0.2 とし將來同程度の地震に對し多少沈下或は輕微なる異狀は防ぎ得ずとするも致命的損傷なき様全体的安定を保持せしむる計畫とす。其の工事は岸壁前面に根固杭を打込み頭部を鉄筋コンクリート基礎樁にて連結して岸壁の滑出に備へ、後面は函縦手毎に強靱なる繫索を取付け後方控壁と連絡し函の滑出を防ぎ併せて岸壁前趾に於ける圧力強度を輕減するものである。地震時並に常時に於ける安定計算圖表は圖-10 に示す如し。

(2) 設計及施工狀況

(イ) 根固工 岸壁前面に根固杭を打込み其の水平抵抗力を以て滑出に備へ併せて附近の地盤の改良を計つて支持力を増大せんとする工法は地盤が極めて軟弱にあらず又岩盤の如く強固にあらざれば既設岸壁の補強法として適切なるもの一つと考へらる。而して杭を單獨に打込み頭部を蟲害より防禦する工法は比較的容易であるが水平抵抗力は數多の杭を一群として頭を連結し一體として働かしめた場合に比し効力が半減する事は 4. (7) の杭の水平抵抗力で述べたる所である。

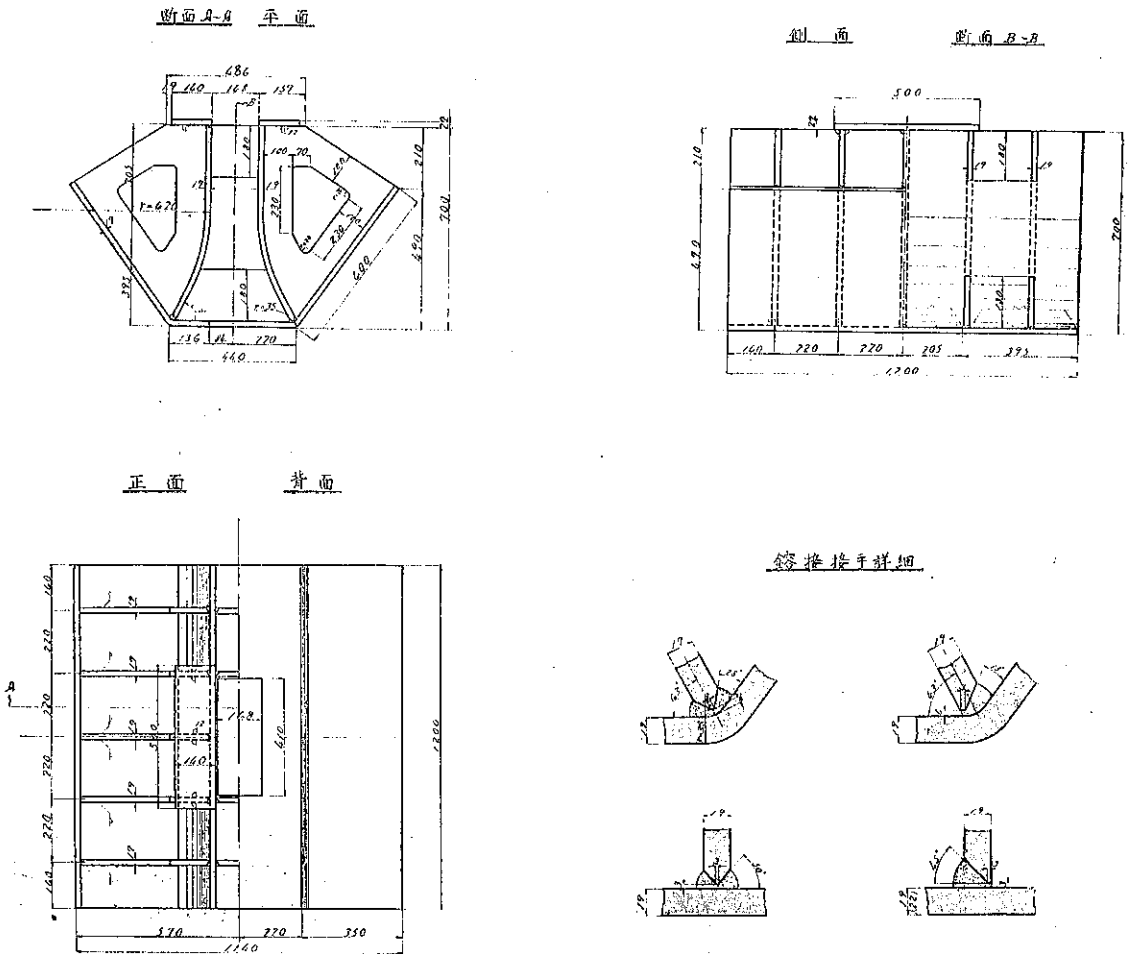
本岸壁の根固にあつては杭群を一体とする工法を採りこれが施工に相當苦心を要した。根固枠の上端を既設水深に保たしむ關係で根柢を必要とし工事中岸壁に異状を誘致し易きを以て後方の控工を第一次に施工し安定度を増大し然る後根固工に着手するを原則とし現場に於ける監督は嚴重、細心を極めたものゝ一つである。

海底に打込みたる杭の虫害は本港に於て昭和 6 年試験したる諸種の結果並に筆者が横濱港にて得たる經驗に徴するも直接海水の流過する所に接せざる限り安全なるを認めたり。本例に於ては虫害の僅少なる水深 10.6 m 以下にあり而もモルタルを以て頭部を被覆しあるを以て虫害の懸念は聊もないものと信ぜらる。

工法を詳述すれば最初ブリストマン式浚渫船を以て根柢をなし築造當時投下したる 割栗石其の他の堆積物を清掃、潜水夫をして平坦に均らさしめ水深 11.5 m とす。然る後浮裝起重機を以て基礎枠を吊込む。

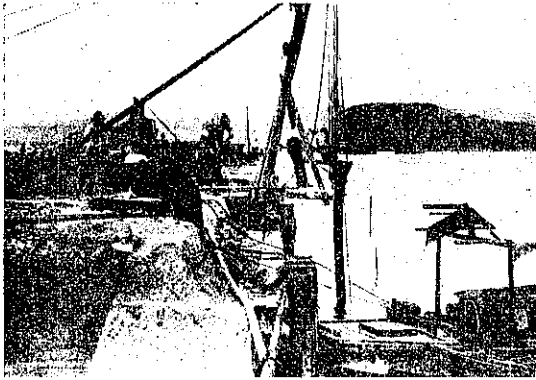
基礎枠は図-13 及図-18 に示す如く長 3.6 m、幅 3.4 m、高 0.8 m の鉄筋コンクリート製重量 20 t 大略正方形をなし 8 個の孔部を有し、各孔径は 60 cm である。これを陸上にて製作し艇船に乗せて現場に曳船、岸壁前面と 20 cm の間隙を置いて 1 函に付 4 個据付け、孔部に長 6~8 m、元口 30 cm 内外の松丸太を打込み其の頭部は枠の上端より 15 cm 位低下せしむ。打込みに際し枠の孔は確實なる遺形の代用をなし特に其の準備を必要と

図-16. 甲岸壁用座金(岸壁側用)



相當嵩むを常例とす。筆者が昭和7年横濱港に於て遭遇したる實例に徴するも既設岸壁の耐震強度を1割増大して震度0.2程度に保たしむには岸壁築造費の2割以上を投ぜねばならなかつた。即ち横濱港瑞穂町に於ける水深

図-19. 基礎枠へモルタルの填充 (甲岸壁)



9m岸壁は本港と全然同型の工法にて昭和初期にこれを築造せるがm當り1230円を要し約0.1の震度に安全なりと考へらるゝがこの安全度を1割擧げて震度0.2を保證する補強工費はm當り270円を要した。本港の甲岸壁は水深10.6mあり地盤及基礎、物價並に機械費等は横濱港より悪い條件にあるので補強費はm當り500円の見込である。

根固工が1兩に對する水平抵抗力382tに對し工費を見ると

$$140 \text{ 円} \times 14 = 1960 \text{ 円/兩}$$

$$1960 \text{ 円} \div 382 = 5.1 \text{ 円/t}$$

であるから控工の場合は後述の如く1兩の強力600tなるを以て1t當りの工費は

$$\frac{500 \text{ 円} \times 14}{600} = 11.7 \text{ 円/t}$$

となり前記根固工の2倍強に當る。以上は單に外部に表はれたる水平抵抗力のみに對する工費の比較にて内容的に見れば錨索は岸壁前趾の圧力を軽減する事、施工容易にして確實なる利點等ありて一律に論じ得ない。

今次の震害の經驗によると控壁と錨索の釣合が岸壁の損傷に影響する所甚だ大である。控壁の大きさの決定に必要な負土圧の算式は信頼に足るものが少なく壁左右の拘束されない土圧が有効に働く事や杭打を施工せる爲相當隠れたる安全率を有するに反し錨索張力の計算は比較的簡單にて算式通りの大きさを採用する爲地震には多く錨索の最弱點で切断し致命的損傷を岸壁に及ぼす、錨索が控壁より稍強大であればたとへ岸壁が移動し始むるも岸壁は常に重い錨を引つぱりながら動くので損傷は餘り甚しくない。この實例は清水港物揚場の大部分に於て見る事が出来た。本例に於ては錨索は弾性限界點以下にて常時許容応力の5割増しであるから控壁に比して決して遜色はない。以下本岸壁に於ける控工に付記述を進める。

図-20. 地震時に於ける錨索の弛み (物揚場)

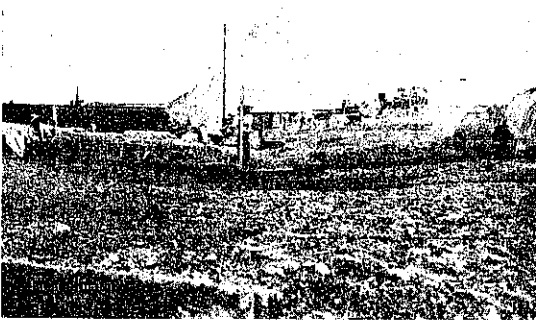
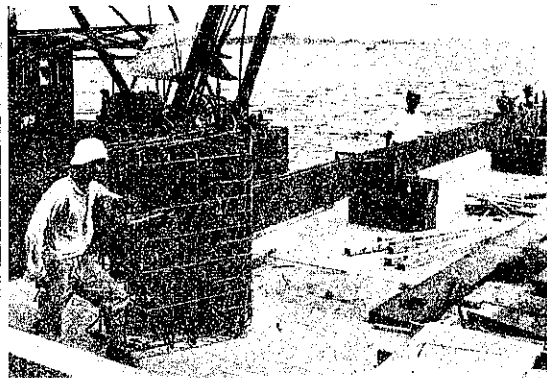


図-21. 甲岸壁錨索の座金 (岸壁側)



* 土木学会誌第21巻第6號 擁壁安定増大の二三の實驗的研究 松尾春雄

今回の地震に際し従来の繫索は1函に付2ヶ所設け1ヶ所に37kg軌條4本を配した。其の切断の状況は各箇所區々にして均一に働きしや否や疑點あり、或は個々に働き1本1本順次切断せる様に推定されたるを以て今回の控工は函の継手凹部曲面を利用してここに強靱なる繫索を集中する事とした。継手は14m毎にありて1個に於ける張力60tに達し普通鋪設工法に依る能はざりし爲20mm×380mm断面の平鋼4枚を合せ長10m3連、9m1連をピン連結により全長35.9mの繫索とせり。繫索は常時上層の土の荷重を受くるを以てピン構造とするが賢明な策である。地震時に於ては岸壁と控壁は別個の運動をなし甚しきは張力に代ふるに圧力が作用して下方に弓形に彎曲せる繫索の多くを今次の補強に當り發見せり(圖-20. 参照)。これよりピン接合個所は少くとも函地直後附近と控壁前面附近に設け兩者の別個の振動、異状沈降に備へる事は必須の條件の如く思はる。

今次の繫索はこの點についても考慮する所ありたり。ピン接合個所は添綴を添加して断面の減少を償ひ詳細は圖-16及圖-21, 22に示す通りである。

繫索の製作は始め全個數の約1割を全熔接とし外注せしも折柄の軍需品工業の好景氣の影響を受け適當り加工費85円以上を要し期間に於ても當港の希望に添はざりしを以て爾後の大部分の製作は鍛綴となし本港直屬の機械修理工場を擴充して直營製作となした。其の工費は一切を含めて適當り45円を出でず、期間に於ても現場の要求と一致し工事遂行上極めて好都合であつた。

兩端に配する座金は全熔接により其の構造は橋梁に於ける脊を參考とした。圖-17及圖-23, 24に示す如し。

繫索前端的座金は鉄筋コンクリートにて包み耐久的となしこれを兩塊壁に敷モルタルを施して密着せしめ此の荷重を受くべき函内の中詰コンクリートにして貧配合個所のものは取毀し打換をなす。

控壁は在來のものを全部利用しこの壁を破つて後方に座金を埋込むべき主壁を築造す。負土圧は地震時に於ては著しく減少し在來控壁のみにては猶抵抗力不足するを以て増設控壁には直及斜の杭を打込みその水平抵抗力を利用しこれ等の杭を鉄筋コンクリートにて包み強固なる一体とした。杭の頭部は孰れも低水位以下にあらしめ耐久力を確實とし繫索は控壁コンクリート施工に先ち豫め20tジャッキ2臺を配し初期張力を附與した。

圖-22. 繫索の設置(甲岸壁)

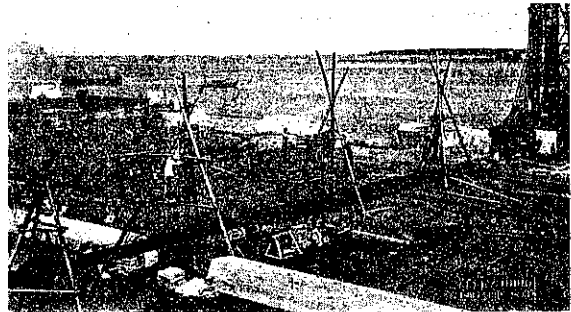
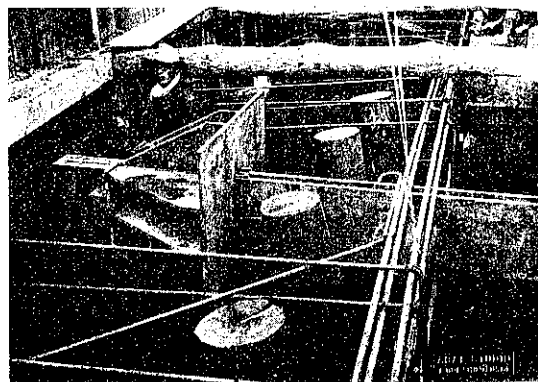


圖-23. 甲岸壁座金(岸壁側用)



圖-24. 繫索の控壁側座金(甲岸壁)



7. 追加岸壁補強工事

(1) 岸壁の概要と補強工事の計畫

本岸壁は昭和5年豆相地震以後の施工にかゝり水深106m、延長143mにて2萬噸級1隻の繋留を目的とする。この附近地盤は砂利層淺く露はれ比較的良好である。図-25に見る如く長7m前後の杭を直と斜に打込み割栗基礎を施したる後函を後方に1/20の傾斜を附して据付けた構造にて函塊は一般工法の如く横置とせず小口並を採用したる後底幅の高さに對する比は0.94にて殆ど同じである。

今次の地震被害は最も輕微にて沈降はなかつたが滑出は10~35cmあり土圧の増大に加へて函自体が地震加速度にて前方に移動したと認むべきで重量式岸壁の耐震力少き好例である。補強工事に於ける震度の標準は0.2を採り多少の異狀を容認して全体的安定を保たしむる事は甲及丙岸壁と変りない。補強は根固工と裏込固結にて、根固工は甲岸壁と同様工法により杭列を2列として函の滑出に備へた。裏込固結は裏込中にセメント乳を注入して其の一部を固結し土圧を輕減して岸壁の安定度の増大を図るものにて本港創始の工法である。

(2) 設計及施工狀況

地震時並に常時に於ける安定計算図表は図-26に示す通りである。根固工は甲岸壁と同様なる故省略し以下裏込固結に付記述する事とする。

図-25. 乙岸壁及追加岸壁補修

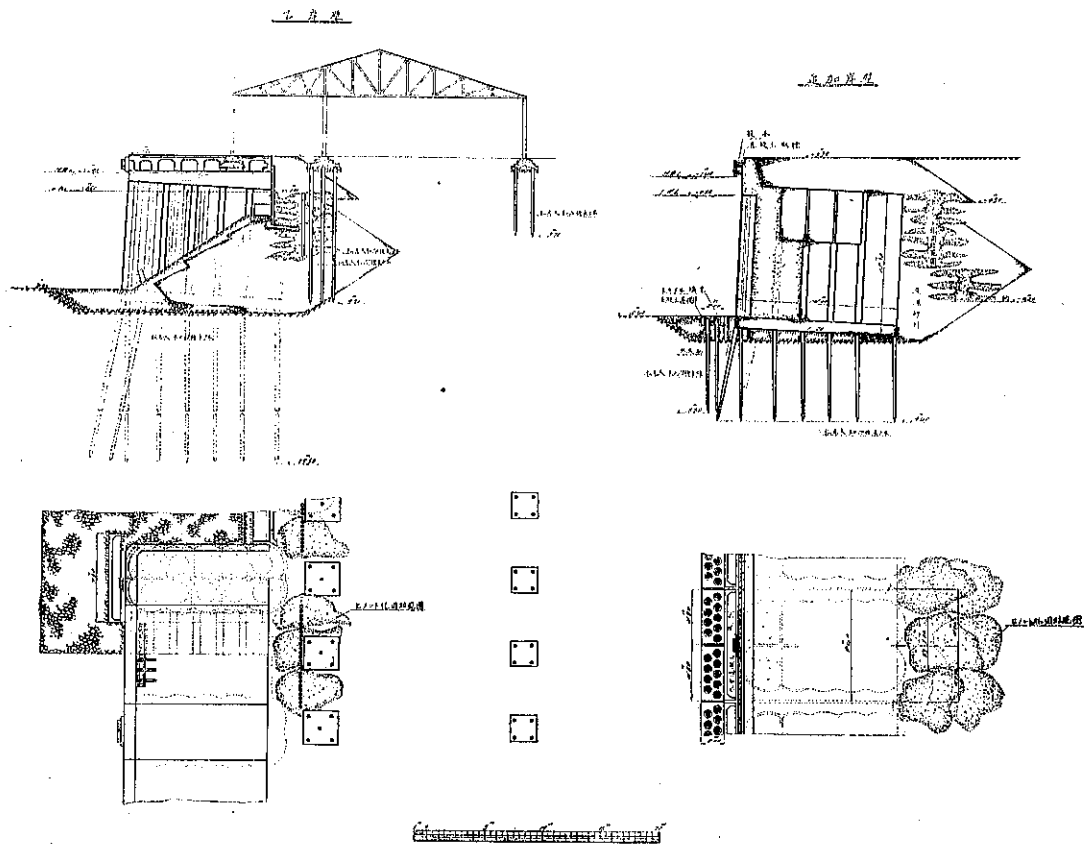
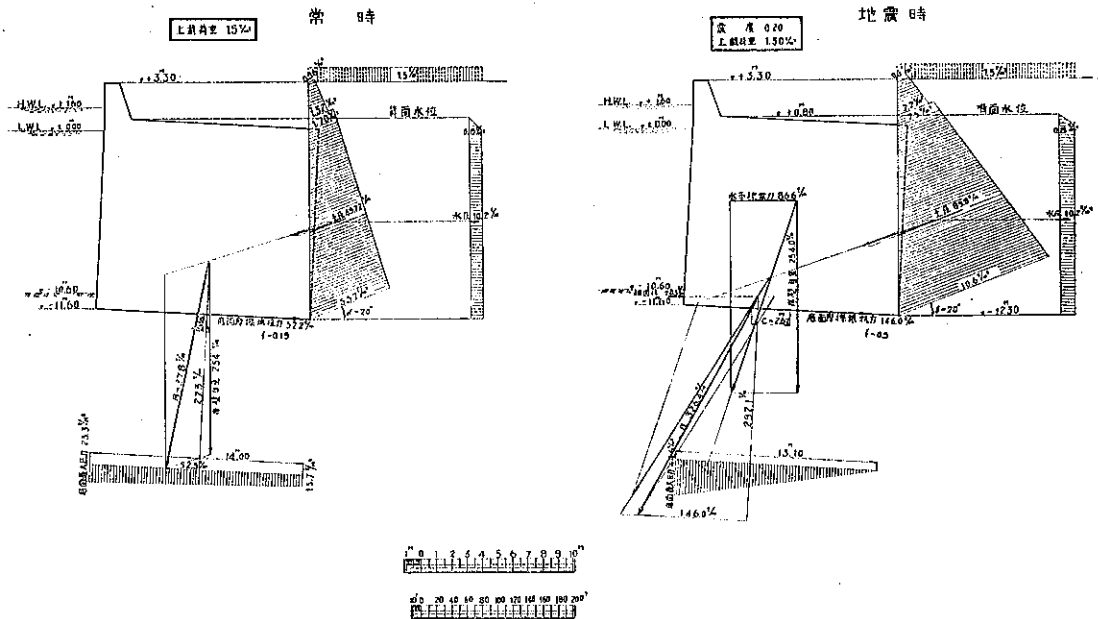


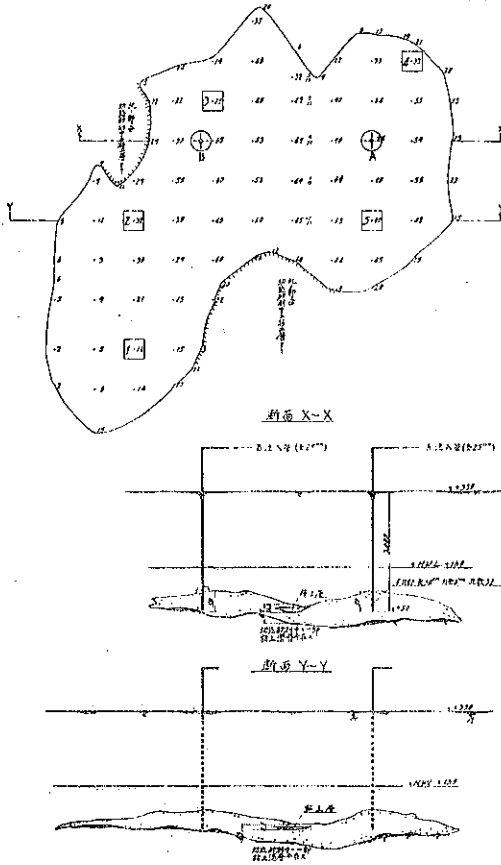
図-26. 追加岸壁安定計算図



裏込固結 裏込材料は岸壁の安定並に経費に及ぼす影響重大で特に地震時両背面に土圧として働く横圧が急昇して岸壁に危険を及ぼす事はこれ迄の計算図表に示す通りである。其の材料は息角大にして重量軽きもの従つて空隙多きを以て良質と考へらるがこれが凝集力の影響は軽視出来ない。一般には割栗石、玉石、砂利等の裏込は歓迎され内部摩擦角大なれども交互に粘着する力に乏しく年月を経過するも凝集力を増大せず地震時には一考を要する。之に反し普通土砂を使用する場合は年月と共に所謂締つて来て土圧は非常に軽減さるゝ事は我々の屢々経験する所でこゝに隠れたる安全率を有す。本港の裏込は良質の液漚砂利を用ひたる爲に土圧は計算の通り正直に作用し地震には急に増加するので今次の補強工に當り其の一部を固結して土圧の軽減を試みた。固結工は、隧道、堰堤等に漏水防止其の他に著しい効果を擧げて居るセメント注入に依る事としヤマト工作所製プランジヤー式横型高压注入ポンプを購入した。本機は 5 馬力電動機を以て運搬しミキサー 1 回の能力 0.083 m³ (3 才) に吐出口径 25 mm, 容量毎分 0.04 m³ である。

砂層及砂利層にセメントを注入した例を見ると細砂層に於ては注入管を中心として廣範圍に固結を計る事は至難にて大粒砂利層に於ては逃げ途を生じ鉋屑、砂等を添加するも猶大量のセメント乳を必要とし經濟的に難點がある様である。本裏込は砂利及砂を適當に混合し注入孔よりの擴がりは砂と砂利の中間を行く豫想であつたが大體適中して直径 5 m 程度であつた。セメント乳の配合は本工法の經濟的成否に關するを以て幾多の豫備試験を施行し大體實用的解決を得た積である。最初注入孔の先端を地表より 3.5 m に打込み容積比にてセメント 1, 水 15 の溶液を 50 回 (4.2 m³) 注入した所圧力は 50 封度に上昇した。更に管を 1 m 引揚げて同量を注入しこれを 1 週後廻り返して調べた結果注入管を中心として半径約 25 m の円形に擴がり厚さ平均 30 cm 位にて 2 層の盤狀をなし恰も基石を二つ重ねた如くであつた。出來たコンクリートは良質で其の量は 8 m³ であつた。これによつて元氣づけられ裏込の固結は大體やり得る見込をつけたのであるが、更に配合を落してセメントに代ふるに他の安價な材料即ち粘土、石灰、珪酸白土等に付砂利の一定量に對し各種の溶液を混和し小規模の固結試験を水中にて

図-27. 裏込固結實地試験



セメント乳配合

A配合	セメント	1
	粘土	1
	水	20
B配合	セメント	1
	粘土	2
	水	50

高圧注入水使用量

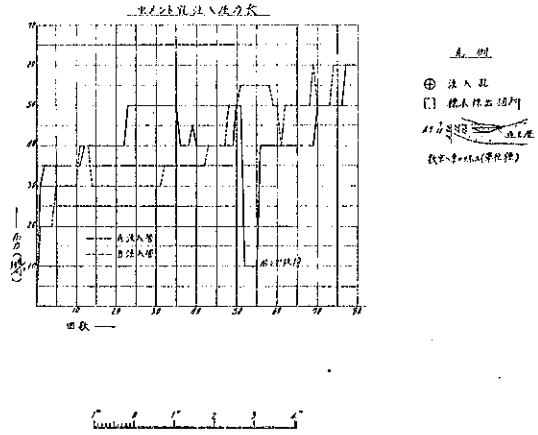
1回混合量	8805 kg (21)
80回混合量	687 t

80回=1回 A配合使用量

セメント	687 kg (200%)
粘土	687 kg (338%)
水	687 kg (167%)

A B

セメント	222 kg (338%)
粘土	222 kg (111%)
水	687 kg (167%)



施工し考究の結果セメントに粘土を混和したる貧配合の溶液を注入する事としセメント 1, 粘土 1, 水 20 の配合を A とし, セメント 1, 粘土 2, 水 50 の配合を B とし 5 m の間隔を置いて注入した。今回は海水の影響ある個所を選定し根入は 3 m とし A, B 注入管とも 80 回短注入し其の量は各 67 m³ であつた。注入後 10 日を経て掘返し検査したる所全く豫期以上の好結果を収め図-27 及図-28 に見る如く兩注入液は合致して境界は判明せぬが一体となつて鯨状に擴がり長径 11.5 m, 短径 7 m の楕円を成した基石の如きものを得た。固結量は 22 m³ にて各所より採取したる標本は図-29 の如し。粘土の價格はセメントの 1 割弱で代用品として砂利の空隙を満たし簡単に得易き經濟的材料にて加ふるに擴がり範圍の大なりしは粘土が潤滑材として働きたるが如く思はれる。粘土の混入は硬化の期間及強さに悪い影響を及ぼすかも知れぬが裏込工の目的からは大した支障になるとは思はれない。漏水防止工等にあらざるを以て崩壊面の剪力に耐へ得る強さであれば一般コンクリートの如き強度を必要としない。図-27 に於て固結量は 22 m³ で 1 m³ に對し 1.5 円を要した。

裏込固結の位置と土圧軽減量に就いては意見區々たりしを以て内務省土木試験所に依頼し模型實驗*を願つた。位置に關しては大体図-25 に示す如き岸壁後壁に接近して下方に固結するが適當と認められ軽減の割合に就ては固結しない場合に比し 2 割 ~ 3 割程度軽減されるが、實物と模型との相似律が明確でないのが遺憾であつた。

* 岸壁裏込の特殊工法がその安定に及ぼす影響に關する試験 松尾春雄 内務省土木試験所報告 第 37 號

施工は極めて簡単で長 10 m, 径 25 mm の鋼管の扱ひは人夫 2 人が手ハンマーで管に取付けたバンドを叩けば容易に規定の位置迄打込み或は引抜き得る。管の先端には沓を附し孔径 6 mm の細孔を多数に設けた。基面下 6 m 箇所の注入を先づ施し順次引抜いて注入を施工す。注入管が地表より 2.5 m 以下の根入れに於てはセメント乳が湧出する事があつたが、本作業中には遭遇しなかつた。注入管 1 ケ所に付 7 回とし各回は 70 回宛注入して全体で 490 回約 16 時間を以て 1 ケ所を終了す。1 ケ所に要した工費は約 100 円にて内譯下の如し。

勞力費	39 円
ミキサー	1 人
機械運転	1 人
セメント供給	1 人
水	〃 1 人
粘土	〃 4 人
計	8 人
材料費	81 円
セメント	71.2 円
粘土	5.3 円
電力	2.5 円
水	2.0 円

基面下 9 m に於ける固結は追加施工せるものでこれを合せて m 當り工費は約 26 円である。

裏込の固結は本追加岸壁より寧ろ後に記したる乙岸壁後壁の土砂が洩出するを防止する爲之を固結するにあつたが、豫期以上の成果を収めた爲其の後函継手後方を固結して土砂の洩出を防ぎたる箇所あり、又控壁前面負土圧を増大せしめんとする場合、橋脚及擁壁基礎の改良方面に 応用範圍相當あるものと信ずるので爾今の補強に工費の許すものあれば追加施工の積である。

木工法はもとより早急の補強工事に間に合せたる爲研究改良さるべき諸點多々ある事と思ふので専門家諸子の御教示を仰ぐ次第である。

8. 乙岸壁補修工事

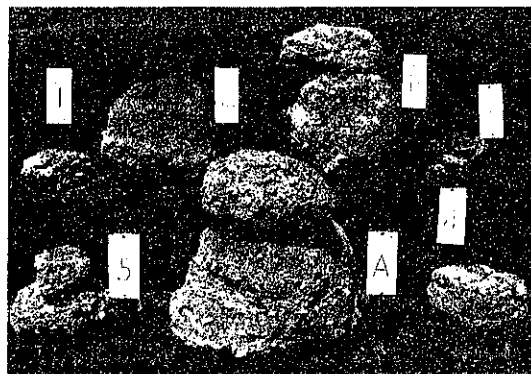
(1) 岸壁の概要と補修工事の計畫

乙岸壁は水深 8.5 m, 延長 183 m あり、8000 t 級航洋船 1 隻の船床を有し、昭和 5 年の地震にて中央部 127 m は今回の丙岸壁に於ける如き致命的損傷を被つたので、函塊を浮揚げ之を杭打基礎上に間隔を置いて小口並とし函と函の間は上層を割栗石で覆つた斜面とし、斜面の後方には擁壁を設け上部は床桁を架した所謂棧橋式構造である。地盤は軟弱で基面下 5 m 附近で砂利の硬層に達し基礎杭は長 24 m に達する長尺物を使用す(図-25

図-28. 裏込砂利固結範圍の掘返し検査



図-29. 固結したる裏込砂利採取標本



参照)。今次の地震により岸壁本体には異状を認めず後壁の裏込土砂の一部が抜け出し上層内部の局所に陥没を生じ、洩出土砂は斜面法尻に逸崩れた。依つて補修工事は先づ後壁の後に松丸太の矢板を打込み之の附近にセメント乳を注入して固結を図り土砂の洩出を防止し併せて斜面法尻に根固杭を打込み法面の崩壊止を図るもので大体の耐震的補強に關しては後日豫算の事情許さば前面に根固杭を施工する積りである。

(2) 設計及施工状況

本岸壁は圖-25. に示す如く上屋が建築せられ盛に利用されて居るので補修工事の爲一時的にしろ之が機能の全部を停止する事は實情許さざるものがあつた。よつて後方に控工を採らず後壁の直後に松丸太の矢板を打込み附近を固結して上屋の大部分は工事中と雖も運用せしむる方針の下に施工した。斜面法尻及函前面根固工は甲岸壁と大略同じであるので省略す。

背面工 松丸太の打込は屋内作業にて函と函との間後壁の直後に施工し、末口 22 cm 長 6 m のものを密接して 8.6 m 間に 25 本要した。杭頭は基面附近に在らしめ耐久性を確實にした。圖-30. は打込作業の状況である。この杭矢板を中心として兩側に注入管各 3 本を配し図示の如く固結を図つた。注入管の打込みは意外の苦心を要し、最上層の固結作業中セメント乳の噴出したる個所があつた。噴出個所の多くは後壁に沿ひたるもので稀には注入管附近に起つた。注入管が比較的接近し注入回数が多かつたのに起因する様である。背面工の工費は 杭打矢板工が 65 円/m、固結が 122 円/m にて併せて 187 円/m であつた (圖-31 参照)。

圖-30. 乙岸壁後方上層内の杭打作業

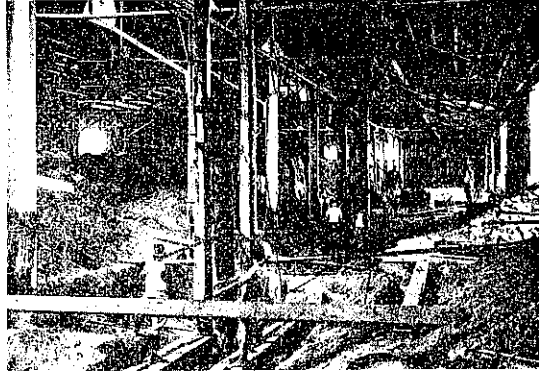
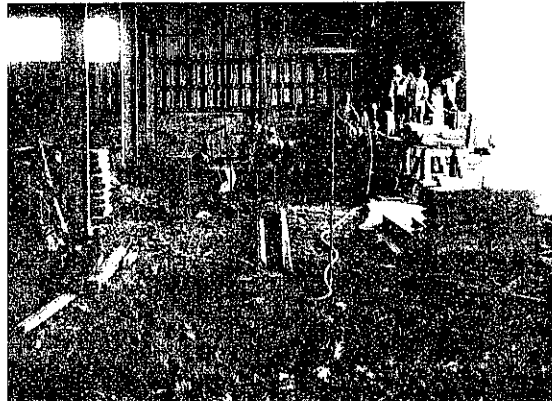


圖-31. セメント乳注入と注入管打込作業



9. 附 記

本文は草稿當時より相當時日を經過せるも工事諸般は總て豫期の如く順調に進捗して昭和 12 年 5 月末に於て功程は總工費 89 萬圓に對し 7 割で既に追加岸壁、甲乙兩岸壁の各一船床の大部分を完了して利用を開始し居る状態であり、鋼材の異状なる拂底騰貴の爲其の後施工すべき繫索の一部に工費膨脹を餘儀なくせられたる個所あるも大部分は購入若しくは契約済にて大局に影響する所は比較的少なく昭和 12 年 12 月末迄には大体の竣功を見る豫定である。

又昭和 12 年 5 月には鉄道岸壁延長 266 m の補強工事が工費約 20 萬圓を以て新たに受託し既設甲岸壁と全く同様の工法を以て控工及根固工が進工せしめられたる。