

臨海工事における最近の諸問題

具体的設計と海岸工学の関係について

運輸省才三港湾建設局長 天 埜 良 吉

1. 海岸構造物の災害について

(1) 技術と災害 災害は技術を進歩させる。太平洋、瀬戸内海、日本海、北海道周辺という著しく異なる特徴をもつ海岸や海湾に面する港湾の構造物は、自らこれら海岸の自然現象に適応するように特質づけられる。これら構造物は、波浪、沿岸流、漂砂、地震など種々複雑に組み合わされた外力を常に受けて災害を生ずるが、これは海岸工学からみても、多くの問題を提示していると思う。

こうした災害について、われわれは常に技術的立場から精細な調査を行つて原因を解明するとともに、今後の海岸構造物設計の合理化に資そうとしている。さきに港湾協会から発行された港湾構造物設計示方要覧は、これらの調査検討の結果を集約したものといえよう。

調査結果はその都度適当な機関に発表し、港湾技術者のみならず全国関係技術者の自由な討論に附することが、この海岸工学でもきわめて必要である。こうして災害の調査資料を集積し体系化することによつて、海岸工学は科学的な裏づけをもち、海岸構造物の設計技術が進歩するわけである。

われわれ技術者が構造物を設計するときには、自己の体得した多くの経験と吸収した最新の科学技術によつて、考えられる最悪の状態を想定し、できるだけ安価に、しかも速かにというむづかしい条件を満足するように、設計の合理化に努めることはいうまでもない。一見何でもない護岸についても、当事者は精魂を傾け人為を尽くして、設計施工を行つている。しかしそれでも予期しない外力を受け、大災害を惹起することがありうるのである。この場合技術者として理解なき一部の人の指弾を恐れるのあまり、ともすれば調査した貴重なデータの発表より、表面的な復旧のみを急ぐようなことがあるようであるが、これは技術者としてとるべき態度ではない。

技術者は具体的問題に対しどんな仮定でどのように設計するかを要求されるが、われわれの関係する海岸工学の範囲はきわめて広く、学問の性質上その進歩が遅い上に、わかっている事実は非常に少ないようであ

る。災害のデータから、最初考え及ばなかつた設計上の不備を究明し、再び同じ災害を繰り返さないように、防災手段を講ずることが必要である。結果からみると払われた犠牲は大きい、災害は実物大の模型実験ともいうべきであるから、その調査には充分注意し細大もろさず大切なデータを集積することが、海岸工学にとつて特に大切であることをさらに強調したいと思う。

(2) 港湾災害の特性 各地の調査資料や直接関係した災害の具体的事実からみて、港湾の災害には他の土木施設とは違つたつぎのような諸点が指摘されるようである。

1. 港湾の災害は、波、高潮などの災害と震害とに大別される。

波浪、高潮の被害は、太平洋では台風時特に海湾に面した海域でみられ、日本海沿岸や北海道周辺では冬の季節風が原因になつている。室戸台風やジェーン台風による大阪、神戸、堺、尼崎などの各港における被害及びブルース台風による鹿児島湾内の諸港などの被害について、現在まで港湾技術の面から系統的な研究が行われているが、はつきりしたことはほとんどわかつていない。

つぎに地震動の被害は、港湾関係に最大の影響を与える。岸壁のずり出し、沈下、棧橋の挫折、護岸物揚場の欠損、防波堤の沈下、上屋倉庫の倒壊など、港湾施設全般にわたつて震害を受けている。

2. 港湾の災害程度は、湾全体の幾何学的形状及び個々の構造物の配置に密接な関係がある。台風時の風による海水の吹寄せ及び湾振動は、湾形が入り海になつていると、著しく発達することが多い。また地震津波は台風時の風浪やうねりに較べて周期が長く、数分から数十分といわれ、波長も数 km から数十 km に達する。そしてこの流れのような波は、港内のすみずみまで到達し、港形、防波堤及び岸壁の配置如何によつて数十 cm の違いを生じ、思わぬ災害を起している。

3. 港湾の災害は、組み合わされた外力によつて拡大されることが多い。地震で崩壊した構造物がその直

後来襲した津波でさらに破壊されたり、台風時の高潮と風浪で移動した防波堤が漂流船舶の衝突で被害を拡大されるなど、どの原因がどの程度の破壊を生じたものか見当さえつかないことがある。

4. 災害の工学的取扱いで問題になるのは、波圧を含めた波の作用と地震土圧を主とした土質工学であるが、前者については後に若干の私見を述べたいと思う。また後者も海岸工学で重要な部門と思うが、いかがであろうか。

2. 港灣の水理現象

(1) 波浪推定の問題 港灣の水理現象として問題になるのは、台風時の波浪と湾振動を含めた高潮現象である。風浪の推定については、Sverdrup-Munk⁽¹⁾の理論があり、昨年の水工学講習会でも多くの人がこれを取りあげて紹介し、また水路部⁽²⁾や運輸技術研究所⁽³⁾などからも解説がでているから、こゝでは実際問題にこの理論をどのように適用するかについて、われわれの新しい試みを述べることにする。

従来港灣関係者が設計に用いてきた各地の波高は、これを直接測定するよい方法がなかつたので、目測または波高桿などによるか、破壊状況から逆算した数値をある程度長年の経験による“かん”で修正し、何mというように与えられてきた。これでも全く見当ちがいの値を用いることはほとんどないが、波そのものの様相を知ることは困難であつた。昨年来、われわれはSverdrup-Munkの方法による波浪推定値をそのまま工学的に直ちに用いてよいかを論議しているが、この理論にはつぎのような仮定がある。

1. 無風状態の海面に突然一定の風速及び風向をもつた風が吹きはじめ、そのままの状態で吹き続けるとしている。

2. 用いた基礎データがKensington公園の池から北太平洋貿易風帯に至るまでの波浪観測結果に基づいて、これらが半経験的に処理されている。

3. 波として深海波を取り扱っている。

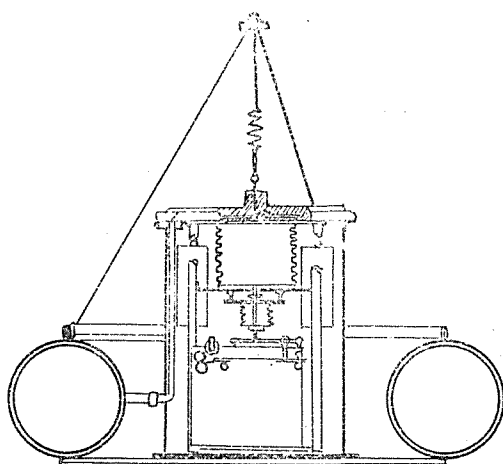
従つてわれわれがこの理論を利用する場合には、風向、風速が時間的に変動し、海面にはあらかじめ波があり、沿岸附近の浅海波に適用することなどからみて、もとの仮定と違ふことが常にあり得ることを考慮すべきである。

有義波について論ずる場合、ある時間内の海面の凹凸がそのまま記録されねばならないが、最近逕研港灣物象部で自記記録のできる波高計の試作⁽⁴⁾に成功したので、これを用いて台風時の波浪観測を全国的規模で一斉に実施中である。

われわれはまずこれらの結果から、理論式に用うべ

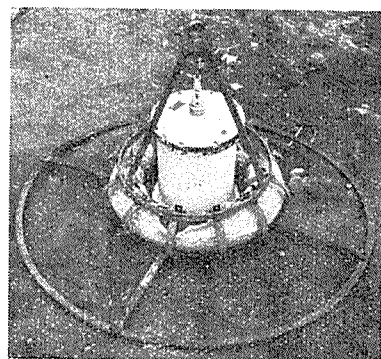
き風速あるいは吹送時間をとりだす場合、どの程度の平均風速と吹送継続時間を推定すべきかを知らうとしている。

この調査に使用している波高計の構造⁽⁴⁾は省略するが、その断面図及び写真は図一1～図一3のようであり、図一4は波高桿による観測状況を示したものであ



図一1 現地用水圧電磁式自記波高計の断面図

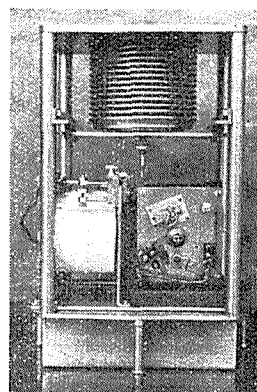
る。この波高計によつて、小名浜港では本年度5,6号台風以外の波浪記録を、輪島港では15号台風までの主要な波浪記録をとり、また



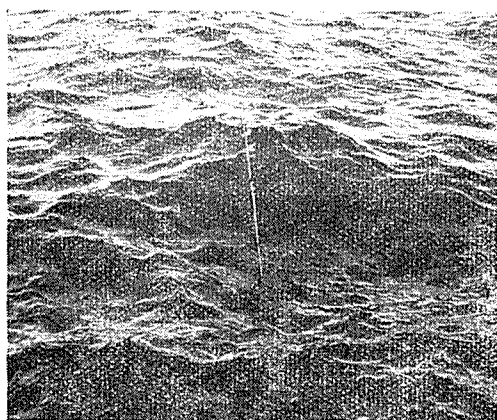
図二 波高計の外観

荏田港、北海道でも12, 14, 15号台風の波浪記録を得ているが、こゝでは高知港の例について説明する。

高知港では8月31日に港外の種崎海岸沖約500m、水深11mの位置に波高計を設置し(図一5(a), (b)), 台風13, 12, 14号によつて連日来襲したうねりや風浪が漸く平穏になつ



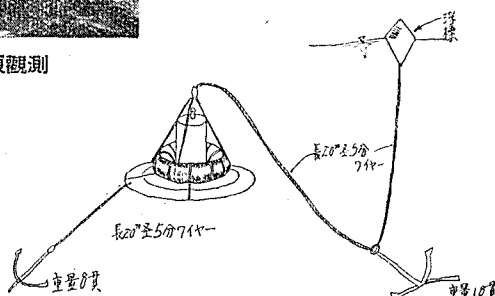
図三 波高計の内部



図一4 波高桿を用いた波浪観測



(a) 波高計設置位置



(b) 波高計設置方法

図一5 高知港外種崎海岸における波高計の設置位置と設置方法

た9月21日に引きあげたが、波浪はほとんど記録されていなかった。これは波高計の構造そのものの欠点ではなく、設置場所及び取扱い法などについて注意すべき点が多いと思われる。すなわち、

1. 内部に浸水していたが、これは蓋の締め金がゆるんだものと考えられる。繰り返えられる計器の振動に耐えるためにも、ダブルナットにして、パッキングには厚い良質のゴムを用い、溝を深くするように改良すべきであろう。浸水すると内部の時計、電気回路などが全く動作不能になるから、特に入念に取り扱う必要がある。

2. 設置位置は相当深く、2個の錨を用いて 図一5(b)のようにして設置したが、水深11m程度では太平洋岸の波浪を記録させる波高計の設置位置としては不適當である。半分くらい埋没し、杵もまがっていたことから見ると、波の影響が海底近くまで達しているようである。ブイの大きさ、ケーブルの長さについても、研究する必要がある。

3. 露出部は例外なくすりへつてゴム管が切断され、中に砂粒がはいっていた。波高計が転動してどんな体勢になつても、露出部分が接触し、摩擦することのないように、改良すべきであろう。

(2) 高潮現象について 入り海の湾振動について

は、高橋博士⁽⁵⁾が昭和9年の室戸台風における湖面振動を理論的に説明して以来、わが国でも多くの論議が展開され、つぎつぎと巧妙な解法が発表されている。

一般に湖海振動現象の理論解法では、その形や外力が特定のものの以外は、多くの仮定や省略をして手数のかゝる数値計算をしないと、定量的なことはきめられない。高橋博士⁽⁵⁾は強制振動の運動方程式に、移動低気圧の影響と風の接線応力を外力の項にとり入れ、しかも湖底の摩擦による減衰項を考え、実際の湾形の境界条件を満足するように数値計算をしている。その後

大阪湾の高潮について、和達博士⁽⁶⁾が行つた強制振動の計算は、大阪湾奥の高潮現象を説明するのには有利であるが、湾口附近の現象についてはやゝ精度が劣っている。宮崎技官の方法では、湾口附近で2回の

ピークが見られたことが説明できて都合がよいが、台風や湾形について多くの仮定があるから疑問がある。最近市栄博士⁽⁷⁾は和達博士の方法を拡張し、大阪湾ではセイシュよりも副振動周期が卓越するとして、ジェーン台風の高潮現象を数値計算して説明したが、この考え方は妥当であると思われる。

われわれはジェーン台風における湾口附近の2回のピークと湾奥の高潮については、吹きはじめのNE方向の風とその後NEからSに変わった風とによる海水の移動ではないかと考えて、この方面から調査をしている。

3. 被害の性状とその対策

(1) 防波堤について 防波堤の被害程度は、その配置と堤体の構造如何に左右される。防波堤はその機能から見て、遮蔽領域を広くし、できるだけ平穩に保つように配置すべきであるが、そのために勢い外力が最も大きくなりがちである。遮蔽水域の大きさとその遮蔽程度は直ちに港全体の運営に影響し、その良否が港の能率をきめる大きい要素となるから、現場技術者は担当する港について、荒天時どこが比較的平穩でどこが波が高くなるかを、港の形、防波堤及び岸壁の位置に関連してよく知つていなければならない。このためにわれわれは最近 20 m×20 m×60 cm 程度の水槽

を設備し、順次各港の模型実験をすることにした。いわば模型実験の現場技術化をはかっているのである。

防波堤の被害状況は多種多様であるが、それらの間にみられるいくつかの共通点をあげるとつぎのようである。

1. 基礎マウンド、捨石または堤体を被護している粗石、ブロックなどが過小であつたために、波を受けて移動、脱落、流失した被害は、石積堤、混成堤ともに見受けられる。

2. 波の直立堤体に当る複雑な作用で基礎が洗掘され、堤体の傾斜、移動を生じた被害は、主として混成堤に見られる。

3. 波浪及び高潮で漂流した船舶の衝突による破壊が少なくない。

才4回直轄港湾技術研究会議事録によると、防波堤被害原因の第一に、基礎根固の洗掘をあげている。波による基礎の移動、脱落、流失（これらをあわせて洗掘とする）は、堤体構造の一体性の程度に関係する。捨石堤についていえば、一つの単塊の大きさが重いことも必要であるが、同時にそのかみ合わせの方法如何によつては、それほど massive なものでなくとも、激しい波の作用に耐えることができる。昭和26年10月14日ルース台風で崩壊した鹿児島港の三五郎防波堤について考えてみよう。

この堤構造は 20×20 cm 角で控え $70 \sim 90$ cm の石を巧妙に組み合わせて造られている（図-6, 7）。文



図-6 鹿児島港三五郎防波堤の破壊状況

明、寛政年間の島津侯の築堤といわれるから、コンクリートのない時代から今日まで、約150年間、ときに補修工事が行われたとしても、ほとんど毎年来襲したで

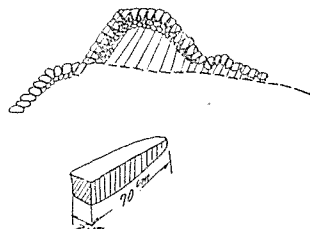


図-7 鹿児島港三五郎防波堤の断面と被害状況

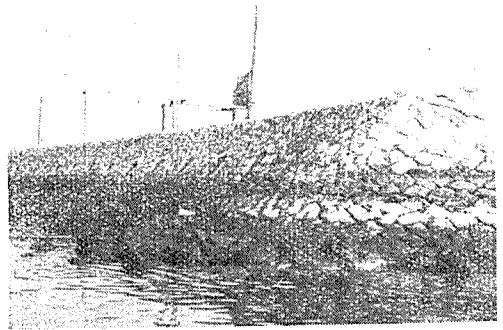


図-8 四日市港の旧防波堤

あろう台風の波浪によく耐えてきたわけである。これは淡路の塩田港に一部現存する高田屋弥兵衛造築にかゝる石積堤や四日市旧港の石積堤（図-8）とともに、僅かに 100 kg 程度の石塊でも組合せに入念な施工をすれば、堤全体が一体となつて、よく波圧に耐えうることを実証しているといえよう。最近仏国に見られる基礎根固材料としての星型のコンクリート塊（テトラポート）も、同じ思想から考

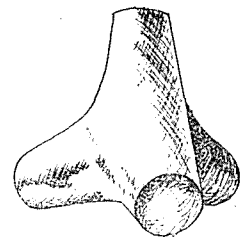
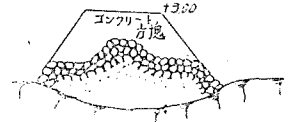


図-9 テトラポート



(a) 室戸台風当時



(b) ジェーン台風当時

図-10 大阪港南防波堤

案されたものであろう（図-9）。

ジェーン台風で被災した大阪港南防波堤は、捨石積みの上にコンクリート塊を乱積みして堤体を包護した捨石堤であるが、さきの室戸台風で同様の被害を受けたものである（図-10(a), (b)）。台風時に波によつてブロックが港内に転落し、内部の捨石が高潮と波で押し流されて港内に散乱したが、このように単に捨石を乱積した構造は、軟弱地盤上の沈下の多い防波堤としてはやむを得ない構造であるとしても、大阪湾内のさして大きくない波も支えにくいことを示している。

しかし石積堤では波で一部の石塊が脱落しても、決定的な破壊の危険が絶えずあるが、前記三五郎堤の場合は前端に築堤されていたコンクリート堤は、その方向が波向と直面していなかつたことも幸して、そのまゝ残つた（図-11）。

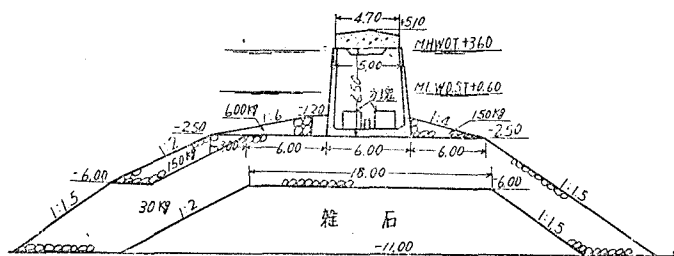


図-11 鹿兒島港北防波堤先端部構造図

もとより工事施設能力や工費その他に支配されるが、ケーソンやブロックなどの巨大なコンクリート塊を製作できる港では、これを採用するに越したことはない。

才18回国際航路会議々事録に見られる傾向として、傾斜堤を再認識すべきことがあげられている。緩やかな傾斜で積みあげられた捨石堤は、その法面で来襲する波のエネルギーを消耗させ、被害も捨石の移動沈下であるから、積み直すか新たに補給すれば簡単に補修できるし、特別の施設能力を要しないという利点がある。この場合法面捨石の重量を決めるのに推奨されている Iribarren 公式⁽⁹⁾が、わが国の港湾でも適用できるかどうかについて、われわれは和歌山港の防波堤捨石法面に数種の重量既知の石を並べ、台風時の波高記録と関連して石の移動を調べながら検討を行つてい

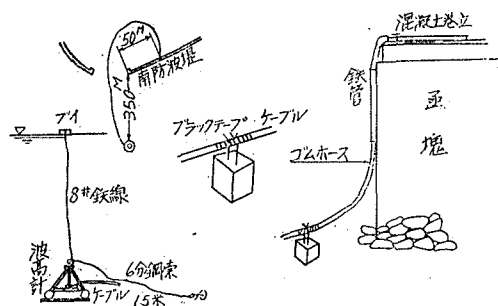


図-12 和歌山港における石塊の移動と波高の観測

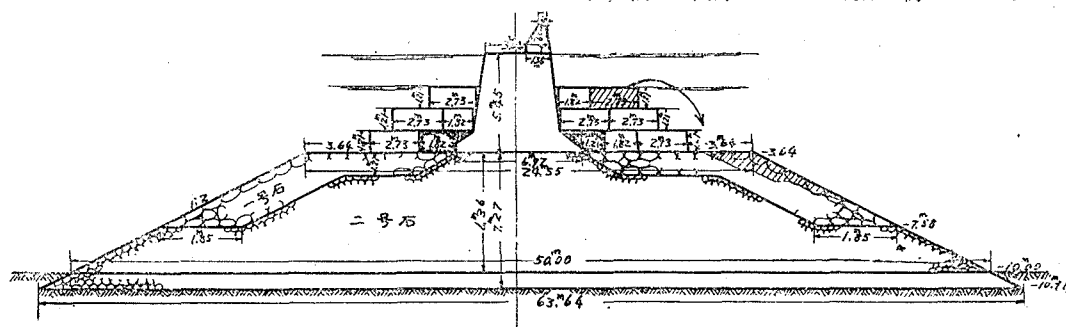


図-13 神戸港東防波堤のジェーン台風時の被害

る(図-12)。

防波堤の被害対策をたてるには、まず実際被害を生ずる波浪作用を知らねばならない。傾斜をもつた砂浜に対する波の作用は、ある程度明らかにされているが、直立壁ややや複雑な形をした構造物に対する作用となると、ほとんどわからないというのが実情であろう。まだ実験室の模

型実験でさえ、はつきりしたことが把握できないほど現象は複雑である。たゞ実際被災した多くの防波堤の調査からいえることは、つぎのような諸点である。

1. 堤体前面の水深が充分深い場合でも、完全な重複波を生ずることは少なく、表層附近が一部砕け波となつて大圧力を及ぼすことがある。観測及び実験によると、進行波の波形勾配が $1/15 \sim 1/20$ より小さくなつたとき、表面だけが砕け波となることがある。従つて波形としては、重複波々圧に表面附近だけに仿く動圧を加えた分布を示すものと思われる。

2. もちろん波が直立堤体にぶつつかつて完全に反射される場合もあるが、この場合は重複波々圧の理論値とほぼ一致する。

3. 石積堤やブロック塊堤などのように、比較的 mass の小さい構成要素からなる堤体では、波の進行に伴われるある容積の水塊の衝突によつて、堤体が移動、洗掘されると思われる。

4. ケーソン堤など巨大な mass の堤体被害には、波圧の作用時間が影響すると思われるが、天端パラベットの位置などが問題となることもあつて、一概にはいえない。

神戸港の防波堤では、室戸台風及びジェーン台風で最上段根固ブロックが前方に転落した(図-13)。基礎捨石の洗掘移動を防ぐためには、ブロックが必要であり、しかも漸次ブロックで波の作用を弱めるようにして、大波圧が同時にケーソン堤体に伝わらないようにし

ている⁽¹⁰⁾。神戸港で根固ブロックが転落したのは、表面が砕けた波がくりかえしブロック間につまこみ、その圧力を側面に伝えつゝ移動せしめたのでないと思われる。

和歌山港の防波堤では、ジェーン及びルース台風と本年9月の13号及び15号台風とで、基礎マウンド及びこれを被護するブロックが移動洗掘されている(図-14)。これは砕け波の作用によると思われるから、その影響の及ばない深さまでマウンドを低くし、勾配や根固ブロックなどの形状組合せを工夫する必要がある。図-15はジェーン台風後採用された根固用の異形ブロックであつて、相当効果があるようである。しかし再度にわたる捨石の移動洗掘によつて、堤体断面が波の作用にバランスするように変形しているものとするれば、この附近に来襲する比較的短周期の波に対しては、むしろ捨石の量を減じて、前面の水深を深くして波圧を少なくした方がよいのでなからうか。

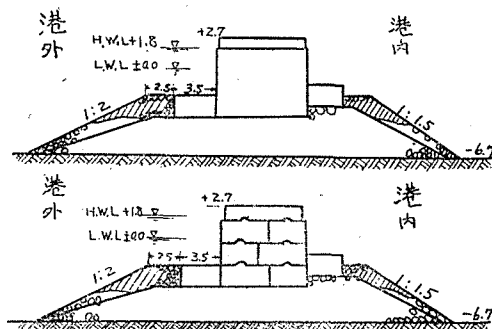


図-14 和歌山港南防波堤のジェーン台風時の被害状況

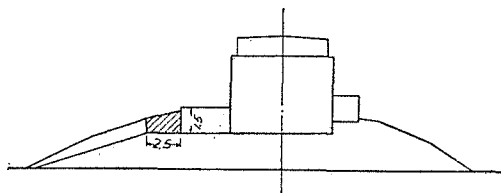


図-15 和歌山港の防波堤復旧に用いた異形根固ブロック

この場合広井公式で波圧を求めると、少し過大値を与え安全側になりすぎるという人もある。しかし広井公式は他のいわゆる理論式⁽¹¹⁾とは異なり、北海道その他日本各地の防波堤の破壊状況の調査に裏づけられているから、工学的取扱いを誤らなければ、いささかもその価値は失われるものでないと思われる。広井公式では、波圧を沖波の波高で一義的に与えていることや静水面附近の集中圧力が過小である点などが問題で

あるが、静水面上相当の高さから底面まで一様な圧力を仮定することによつて、実用上巧みにその欠点を補正している。事実最近の実験によると、砕け波の波圧は、局部的に $1/100 \text{ sec}$ といった短時間だけ $30 \sim 70 \text{ t/m}^2$ に達することもあるが、平均圧力は $5 \sim 7 \text{ t/m}^2$ になっている。いまのところ波圧が広範囲に変動するという以外には確かなことはわからないが、堤体に仿く平均圧力として広井公式が適当でないと思われる。

実際波が堤体に衝突するのを観測していると、にぶい音を発して高く飛沫をあげるとともに、観測位置に達する微振動を感ずることがある。最近, Bagnold (1939)⁽¹²⁾ などの実験とその砕け波の物理的機構についての説明では、衝撃的な圧力は薄い空気層が波と堤体との間にとらえられて生ずるものとしている。かれらの新しい表現は実験装置に制限されたもので、必ずしも妥当とはいえないが、従来とは全く別の見地から波圧を研究している点は、注目すべきものであろう。

(2) 岸壁、物揚場及び棧橋について ブロック積み、石積み及び場所打ちコンクリート構造の岸壁や物揚場は、天端まで浸水し、波の飛沫の落下、溢流によつて天端工や舗装が破壊されると、裏ごめがゆるんできわめて弱い構造となり、崩壊すべり出しを生じる。ジェーン台風時の小松島港横須物揚場の崩壊及びルース台風時の鹿児島港 3m 物揚場の破壊がこれであるが、前者ではその後昭和26年8月から27年3月までに岸壁、物揚場護岸を延長 1010 m にわたり +3.40 m まで天端のかさあげをして、浸水にそなえたので、ルース台風や本年の13号台風でも無被害であつた。

ケーソン構造では、天端をこえて水面が上ると、裏込め土砂の含水による土圧増加や重複波の負の圧力を受け、前に傾斜してすべり出すことがある。この場合軟弱地盤であつても、基礎根入れが充分で捨石が洗掘されないように入念に施工してあると、ほとんど破壊されることはない。

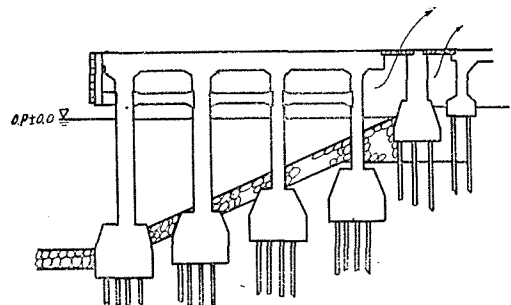
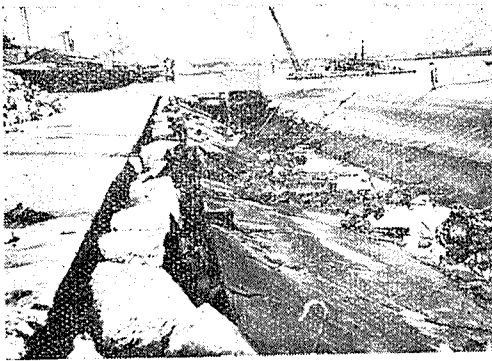
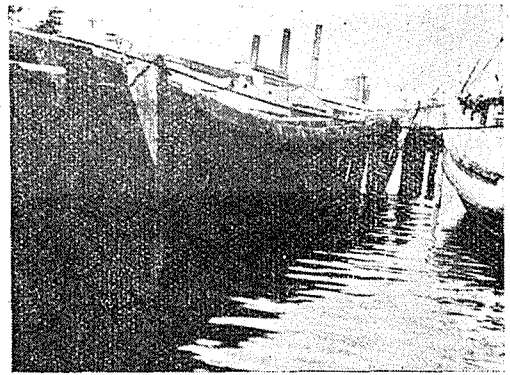


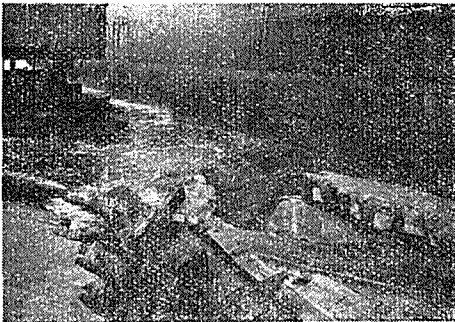
図-16 ジェーン台風における大阪港オ6繋船岸の連接板の被害



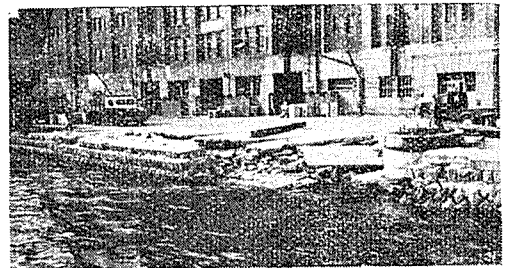
図一七 四日市港橋の破壊状況 (1)



図一八 四日市港橋の破壊状況 (2)

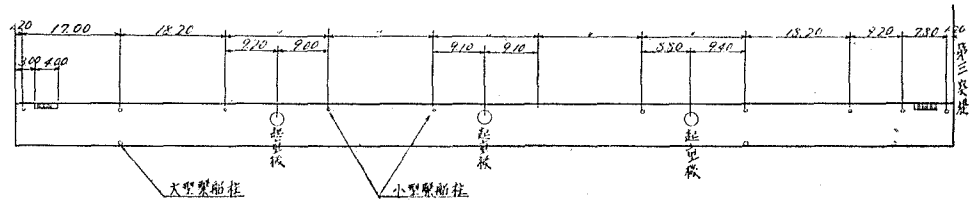


図一九 神戸港沖三、四突堤間の物揚場に
衝突した英国船サンシア号 (約9000t)

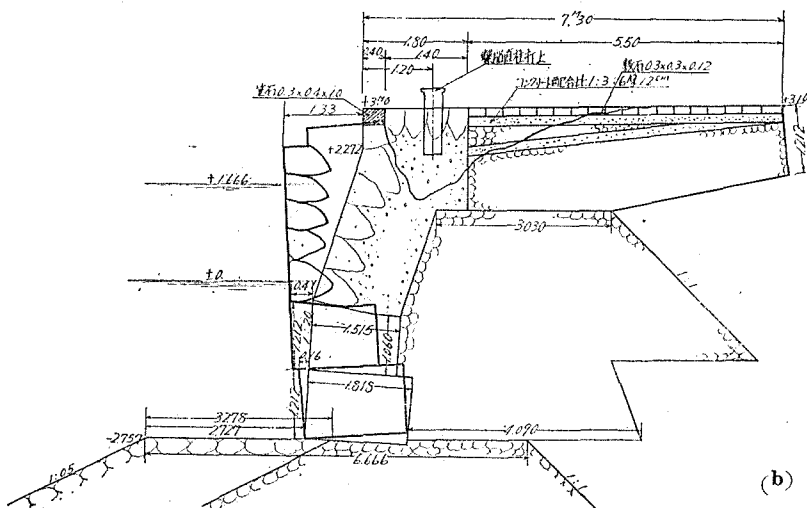


(a) 写真

平面図



標準断面図



(b) 詳細図

図一〇 神戸港沖三、四突堤間の物揚場破壊状況

横桟橋式の繋船岸では、底から波の揚圧を受けると、床版に大被害を生ずることがある。高潮で海面が上昇し、床版下面に閉じこめられた空気や水は、その上下運動によつて意外に大きい揚圧を及ぼすから、空気抜きを設けるか、または接続板などで水及び空気を逃がす構造がとられているが、位置や大きさを適当に設計しないと、その機能を果しにくいようになる。大阪港オ6繋船岸はシェーン台風時に下から大揚圧を受けたが、広範囲に接続板がはずれて圧力を緩衝したので、構造系には全く被害がなかった(図-16)。また四日市港の横桟橋は昨年9月の13号台風時に、高潮と波の揚圧によつて床版が全面的に破壊され、その災害復旧費は巨額に達した(図-17,18)。横桟橋で載荷重とともに下からの揚圧を考えるべきことは上の実例から明らかであるが、揚圧の具体的な値は実験的に決定しなければならない。しかし一応 $1 \sim 2 \text{ t/m}^2$ の揚圧を考えて、床版の配筋をすれば大過ないようである。

この外に工学的にはやむを得ないが、きわめて多い災害に、漂流船の衝突がある。暴風、高潮、波浪などの最悪状態で繋船する作業は困難であるが、この種災害は神戸、大阪、横浜などの大港湾でしばしば起っている。本年15号台風で神戸港オ三、四突堤間基部岸壁に英国船サンシア号が激突したが、その破壊口に浸入する高潮及び波浪に洗われて裏込めが流出し、約80mにわたりブロックがずり出すという大災害があった(図-20)。これはオ三突堤に繋留されていたサンシア号の船尾索が、風圧やうねりによる船体の動揺でつぎつぎと切断され、船首を中心として回転し、船腹をこの物揚場に衝突させたのである(図-21)、これだけで損害は物揚場400万円、船体3,800万円に達した。

繋留船の暴風波浪による動揺は、構造物に繰り返し衝撃を与えて材料の疲労を起し、思わざる強度低下を来すことがある。従つて繋船方法や防衛装置などに新しい着想が必要とされている。この船の衝撃力はきわめて大きく、しかも短時間に作用し、適当な測定計器がないため、実測されたこともなく、大体の見当もついていない。われわれはこの問題について種々論議し、ある受圧計⁽¹³⁾を用いて衝撃力の時間的変化を記録せしめようと計画中である。

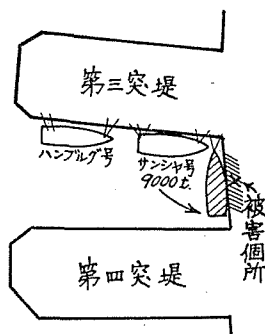


図-21 サンシア号
衝突の経過

(3) 海岸堤防(防潮堤)、防砂堤及び護岸について

海岸堤防及び護岸の被害としては、基礎根入れ不足による転倒、洗掘による崩壊、波浪溢流による天端工の破壊及び裏込め土砂の流出などが多い。

石積み護岸でも基礎根固を堅固にすれば、そうたやすく崩壊するようなことはない。小松島湾海岸をめぐる石の護岸は、図-22のように基礎根入れが深く、根固工が石畳のように前面に拡がって組み合わせられており、コンクリートは使っていないが、シェーン、ルースなどの台風その他荒天時の波浪に対しほとんど無被害である。



図-22 小松島湾海岸の
石積み護岸

一般に護岸や堤防は防波堤や岸壁のように充分な材料を使つて施工されることが少ないので、対波抵抗が小さく、特に天端まで冠水す

ると簡単に崩壊してしまう。護岸の天端は一般に低いが、天端裏込めなどを常に補修していると、相当越波にも耐えることができる。被害は補修されていないところから拡大され、数百mに及ぶ護岸が崩壊することがある。例えば鹿児島港外の天保山護岸(図-23)は、根固、陸面、裏込め、天端舗装、水はけ、水抜きなどが完全に施工されていたので、ルース台風の高潮と波浪による越波や水衝作用にも全く無害であつたが、それより少し南にある護岸はほとんど被害を受けている(図-24, 25)。一般に護岸はどこに欠点があつても、その弱点から、それに続く堅固な個所まで破壊されることを留意しなければならない。

つぎに防砂堤は大部分が水中構造物となり、しかも

浸食埋没など砂の移動の激しいところに造られるから、絶えず基礎の洗掘、脱落作用を受け、波で堤体が移動傾斜し、石積

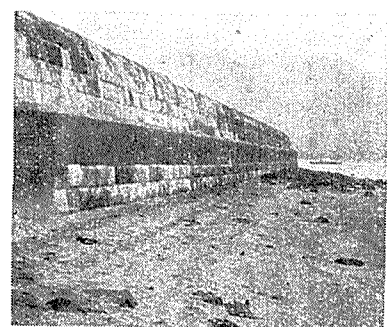


図-23 鹿児島港外の天保山護岸

み構造のときは法面の崩壊を生じる。荒天時に限らず



図-24 鹿兒島港外碇米護岸の破壊状況

比較的長期間にわたって外力を受け、常に自然の外力とバランスするように変形していく。一般に汀線附近は特に被害を受けやすいから、この部分は大きい方塊またはケーソンとし、先端部を潜堤とすることは、きわめて有効である。元来は砂の移動が絶えずあるのに、基礎根入れを特に深くすることがないから、不等沈下を生じやすい。従って防砂堤方向に、小区間に縁を切っておくことが望ましい。洲本の防砂堤は石積み構造で、シェン台風時の被害を見ると、水面以上に出た部分は石がほとんどばさされているのに、水面下に潜った先端部の石はあまり移動していない。小松島港外の横須防砂堤は、波を斜め横から受けて法面を崩され先端附近がすつかり押し流されている（図-26,27）。

4 海岸工学からみた最近の臨海工事

(1) 工期短縮の問題 港湾計画では遠い将来のことを考慮して、大規模な繋船岸の凹凸、長大な防波堤の位置とそれによつて劃される広潤な泊地及び埋立地の造成など、理想的な形状が画かれることが多い。しかしながらこの港が築港計画通り全体として有機的に仕くまでには、多年月を要するのが普通である。先ず防波堤を完成しなければ、港内を平穏に保ち、荷役設備をすることさえできないが、それでも数年以上を要する事業になりやすい。さらに荷揚げ、繋船設備に着工するという方法をとれば、その間の国際情勢、経済条件の変化から、計画通りにできた港が必ずしも当初の目的を満足しないこともあり、その上自然条件から



図-25 鹿兒島縣山川港の護岸破壊状況

予期しない工事の困難を生じ、さらに時日を要するようなこともある。われわれは従来工期何年計画（最近の1年の変化は明治時代の数十年に相当するといわれる）という考え方を固執してよいであろうか。もちろん海岸構造物は地盤その他の諸条件の特によくない位置に造られる関係上、施工はゆつくりと、いわゆる落ちつくのをまつてつぎつぎと続ける必要があるが、これは工期を長くしてよいという理由にはならない。できるだけ短期間に完成しうる構造及び施工法を自ら考究すべきであろう。

さらにいうなれば、われわれの仕事が、人間生活にむすびつくという前提に立っている以上、港湾は企業的に経営されなければならないとした今日、この工期の短縮化を無視しては技術としての存在価値がない。

これはダムを始め最近の土木工事にみられる一般的傾向であり、施工の機械化などが強調される所以である。港湾講演集第2輯の p.15 に直木倫太郎博士は、「港が生き物相手の設備である以上、その計画が百年の長計のみを画くこと自体が無理ではなからうか。

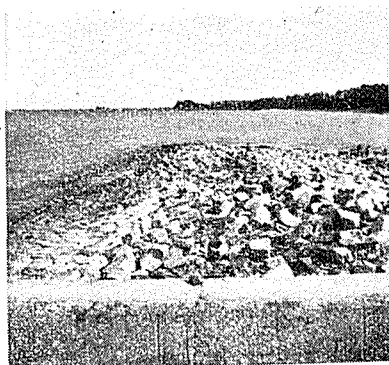


図-26 小松島港外横須防砂堤の被害状況

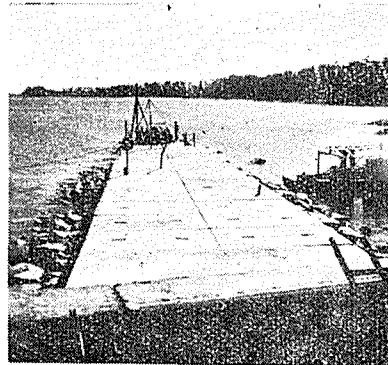


図-27 小松島港外横須防砂堤の復旧状況

誰か15年以上後の新しい時代を見通しうるであろうか」として、「つましい設計」があわせ必要なることを力説している。

われわれは将来計画とともに、これに適応し、かつその時々、その形態がそれ自身港の完全な機能を発揮しうる才1次計画というものをあわせ研究しなければならない。最近の神戸港才七突堤及び才八突堤の工事、尼

崎の防潮堤、伊勢湾周辺の海岸堤防など、すべて1～2年間に急速施工されており、みなこの工期の短縮という要求をみたすために努力が集中されている。このためにわれわれ技術者としては、つぎのような方法で解決に当たっている。

1. 事前の調査を入念に大がかりに行い、しかも調査方法自体に新しい方法を採用する。
2. 設計及び使用材料に新しい考え方を採用する。
3. 施工機械、施工組織を含めて、施工法として安価で速かで、しかも安全な方法がとられている。
4. 調査研究機関が工事担当者と同一現場でたえず協同作業をし、trial and error の態度で問題の解決に当たっている。このためには今まで研究機関にまかされていた諸計器を現場員が使用している。

(2) 海岸工学からみた最近の臨海工事

1. 岸壁、棧橋工事について 神戸港才七突堤の構造がどうしてまとめられたかについては、昨年の水工学講習会で述べたが、棧橋構造系を簡単な工場打ちコンクリート部材要素に分け、流れ作業によつて急速工事ができるということに苦心が払われている。

こゝでは天端高について考えてみよう。本年9月26日の15号台風では、神戸港の検潮記録(図-28(a))によれば、同日9時12分に2.93mを示し、室戸台風の3.94m、エー台風の3.16mにつぐ記録であつた。このために港内各突堤を波が洗い、上屋の扉や側面

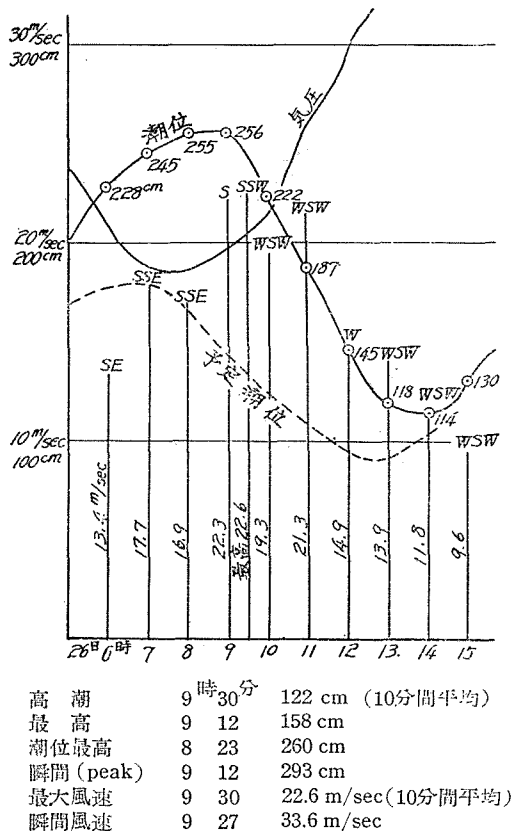


図-28(a) 神戸港における15号台風の記録
(昭和29.9.26. 神戸海洋気象台調べによる)

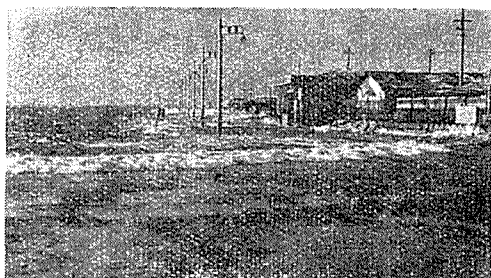


図-29 神戸港メリケン波止場の高潮波浪状況

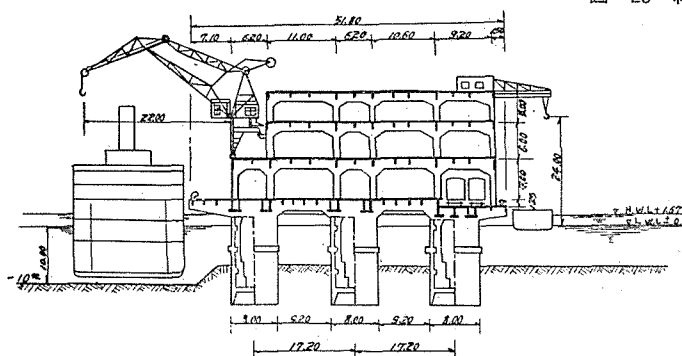


図-28(b) 神戸港才七突堤断面図

(腰まわり)が彎曲破壊され、庫内貨物がぬれて、甚大な経済的損害をうけている。ところが才七突堤では天端高を+4.05mに設計していたから(図-28(b)), 波の反射、高潮の浸水は皆無であり、庫内貨物は全くぬれなかつた。図-29～図-32はこの15号台風による港内主要岸壁の浸水状況、被害状況を示し、図-33は12号台風による上屋の破壊状況を示したものである。一般に岸壁の天端高は大潮平均満潮面上1.5

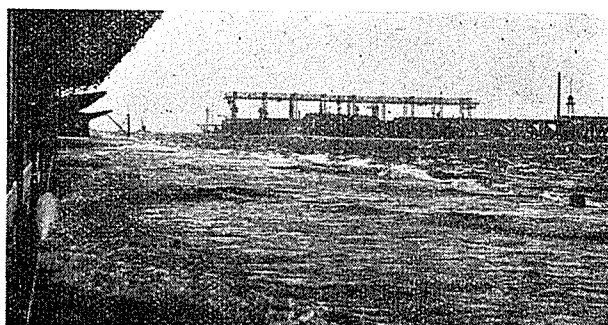
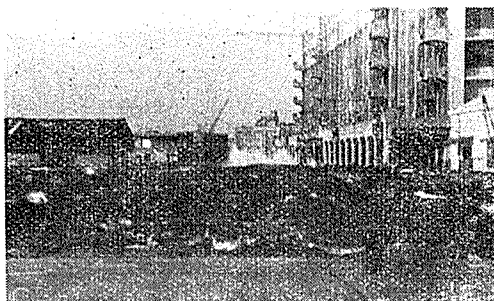
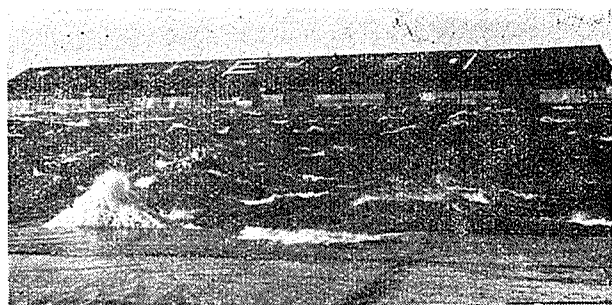
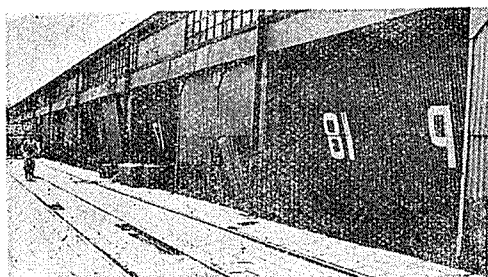


図-30 神戸港中突堤の高潮波浪状況

図-31 神戸港オ七突堤及び三井棧橋
(東神倉庫前)の高潮波浪状況図-32 神戸港上屋の浸水状況
(オ三突堤からオ二突堤をみる)図-33 昭和29年12号台風で破壊された
神戸港の上屋

～1.8m程度にとられる。舁、機帆船に対しては、天端が高すぎると渡り板が急勾配となり、干潮のときは特に荷役の能率がわるい。また排水や道路の関係、背後

埋立地の高さもこれに左右され、土量や工費にひびいてくる。天端が低すぎても、少々の高潮や波ですぐに海水がかゝり、エプロン上の荷物をぬらし上屋に浸水するとともに、天端工や裏込め土砂の流出の原因になる。

最近では荷役に機械の占める割合が多くなつてきたから、高潮による海面上昇の外に波の影響を考えて、工費の許す限りなるべく天端を高くした方がよい。オ七突堤ではさらに桁がけ、床版コンクリート打ちを dry work でやり、工期を早くするために、上記の天端高をとつたわけである。岸壁などの破壊が天端の溢流による破損に始まることを思い、一度上屋内に浸入した海水が貨物に与える経済的損失を考えあわせると、特に天端高の重要性が痛感される。

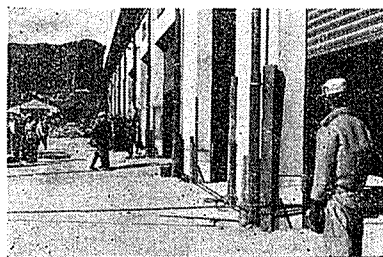
尼崎防潮堤の天端高も、過去の記録の調査と模型実験によつて、高潮と波浪による海面上昇を正確に推定し、ある余裕をみて O.P. + 7.0 ～ + 8.0 m と決定されている。

棧橋構造は軽くて沈下などの心配は少ないが、岸壁に較べてやゝ剛性が劣るといわれている。この意味から、神戸港オ七突堤の水平荷重に対する振動実験は、高層建築物の震度分布や減衰の程度について、有益な資料が出されるものと期待される(図-34, 35, 36)。

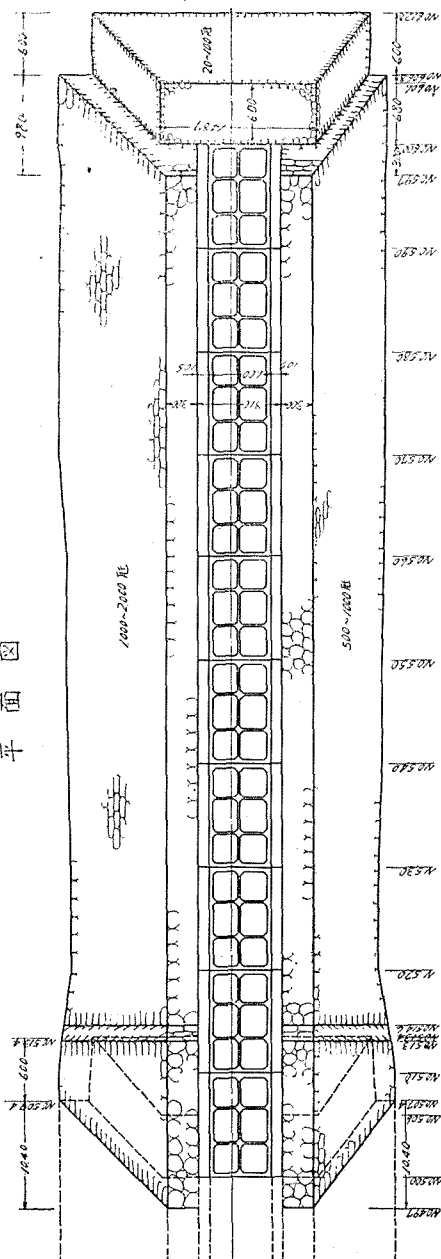
2. 防波堤工事について 和歌山港の防波堤では、前述のように、ジェーン、ルース、昭和28年13号、同29年12号及び15号の各台風などによつて、基礎捨石が洗掘されている。この防波堤は湾外にあつて波高が比較的高いので、今後も同様の災害が起る可能性があり、波高計を設置して記録をとりはじめている。

昭和21年の南海地震による地盤変動で堤体がゆるみ、海水位に変化を生じていたので、被害をうけやすい状態にあつたことは否めないが、堤体前面の水

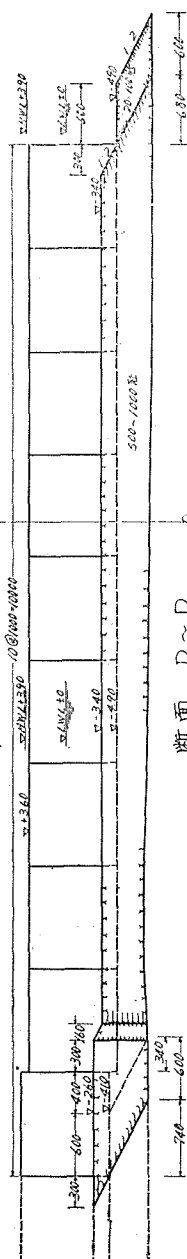
深、マウ
ンドの高
さや勾配
などから
みて、砕
け波を生
じやすく、
大きい波
圧と洗掘
を受けた

図-34 神戸港オ七突堤振動実験(1)
上屋全体にワイヤーをまきつけて
引張り準備完了。

平面図



側面図



断面 D~D

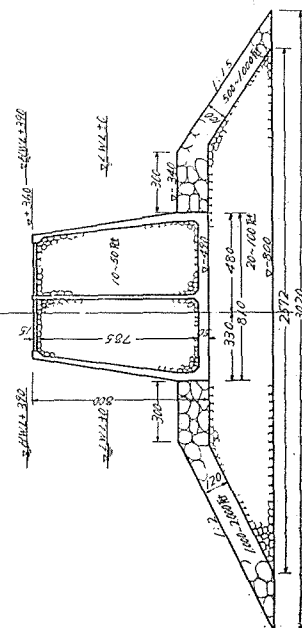


図-37 (a) 松山港防波堤の平面図及び断面図

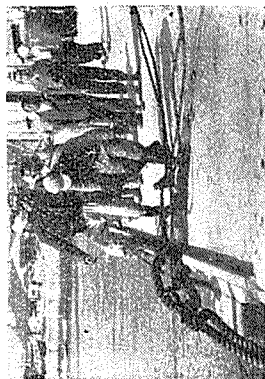


図-35 神戸港カキ突堤振動実験(2)
ライヤーの先に金具をつけ、ロープでタグラポートにつなぐ。

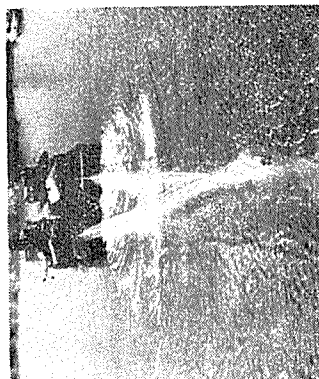


図-36 神戸港カキ突堤振動実験(3)
タグラポートが全力迅走し、金具が切れた瞬間の状況。

のでないかと思われる。この復旧に際しては、以上の問題を解決して新対策を確立する必要を認め、現地調査と模型実験を開始したところである。

現在施工中の松山港防波堤は、捨石マウンドの上にケーソンを据える混成堤構造である。起重機などの施工施設に制限されて大型ケーソンを造れないので、予め下半部だけを造って現地に浮上運搬し、据えつけてから干潮時に上半部を場所打ちコンクリート施工している(図-37((a),(b),(c),(d))。潮差が大きいので、適当な水深のプラントに順次沈めてうちつげば、高さ

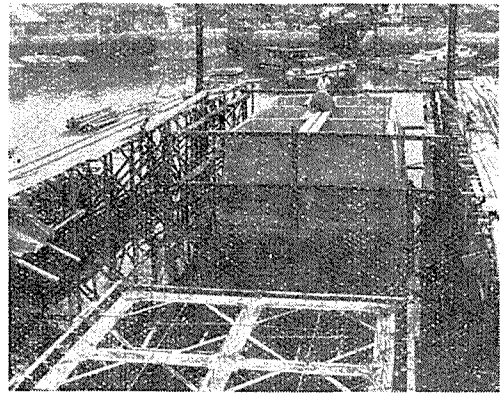


図-37(c) 松山港ケーソン・ヤード及び防波堤ケーソン

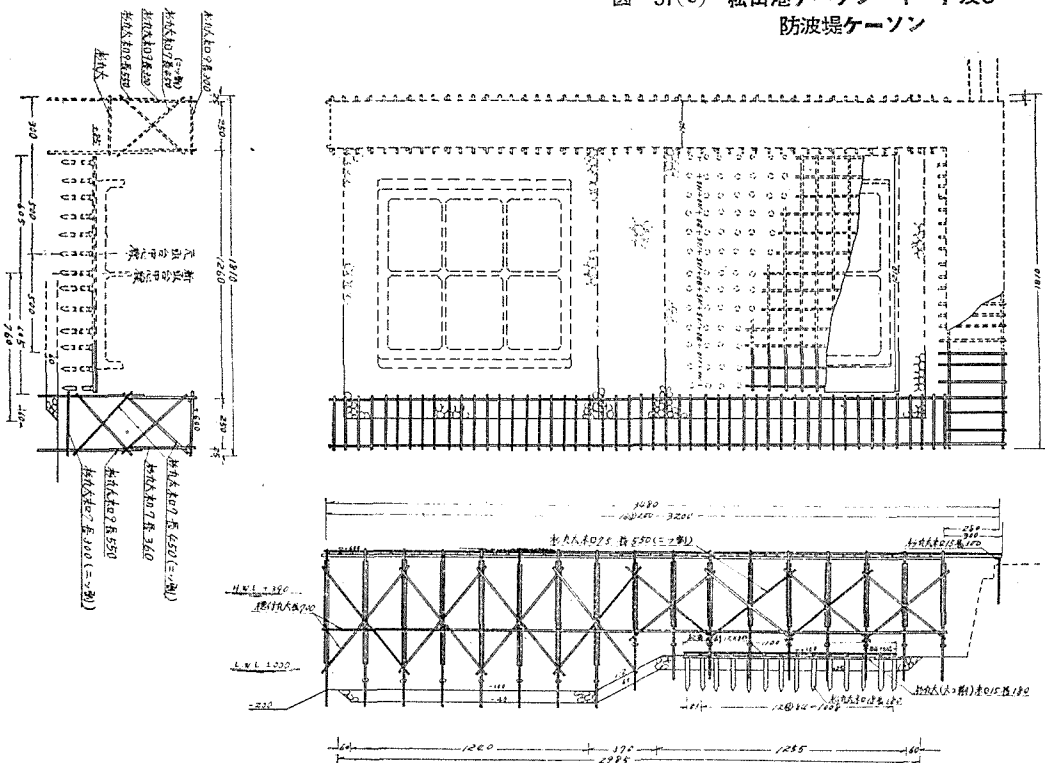


図-37(d) 松山港ケーソンの現場コンクリートの打設施設

10.50m 程度のコンクリート・ケーソンも造ることができるわけである。普通ならばブロック積み構造とするところを、なるべく堤体を一塊にして一体性の効果をあげようと設計されたためである。水中コンクリートではないが、海水の影響を受けやすい充分かたまりなコンクリートが、果して所要の強度を有するかどうかを施工面に苦心し、必要な試験を行いつつ施工を進めている。

当初は図-38のような小型ケーソンの堤体として、数個を据えつけてあつたが、ルース台風でこのケーソ

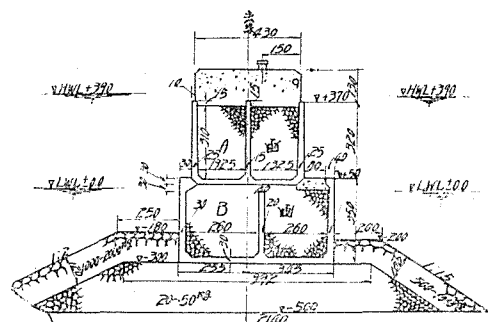
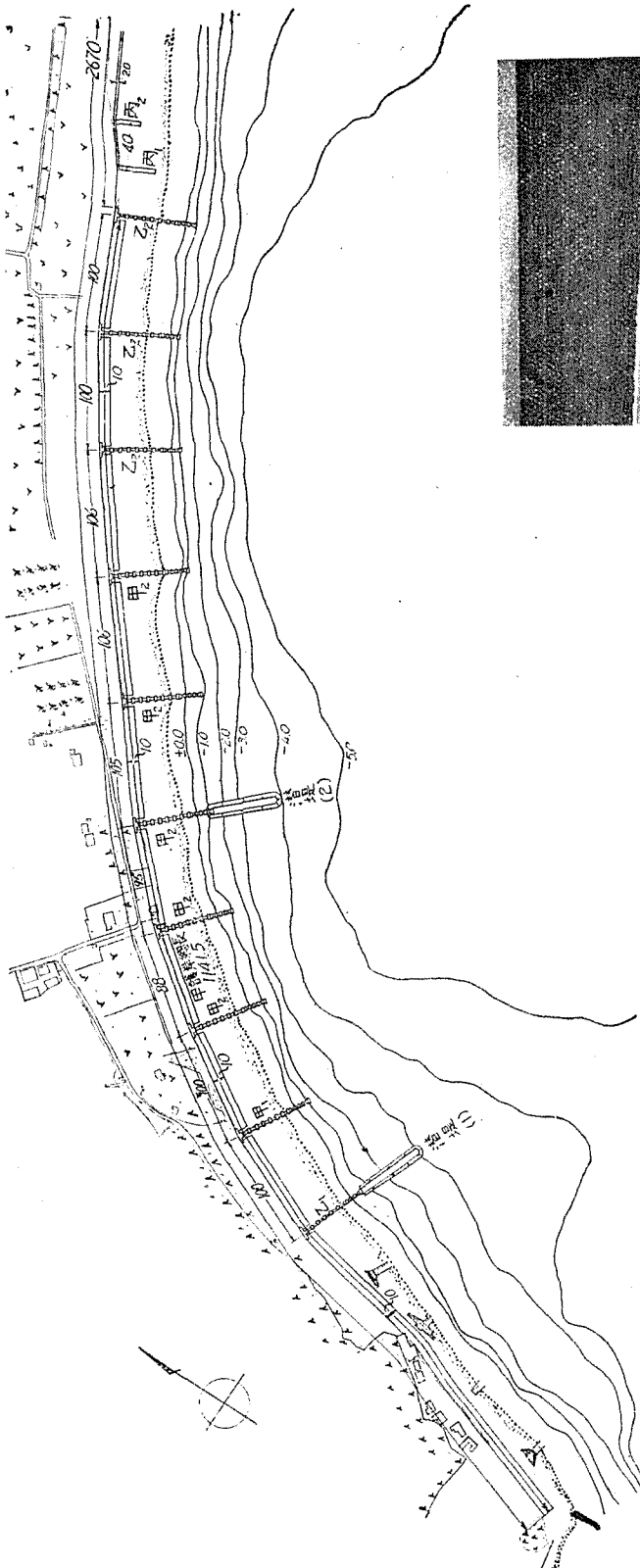


図-38 松山港防波堤の最初の設計断面

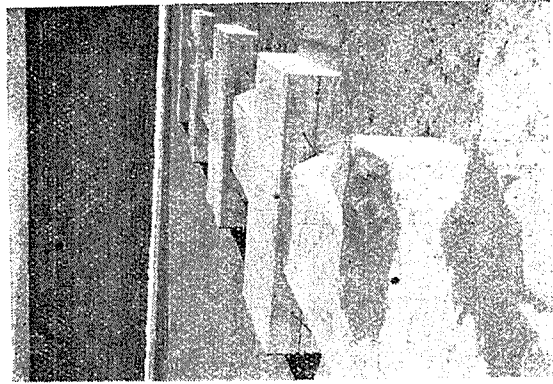


図一41

高知港外種崎海岸の防砂堤及び潜堤の配置図



図一42 高知港外種崎海岸の防砂堤被雪状況



(b)

(a)

図一43 高知港外種崎海岸の防砂堤埋没状況

ンが港内側に転落し、マウンドが洗掘されたので、図—37のような形式に設計変更したものである。

また高知港桂浜防波堤の先端にある岩礁は、昭和6年頃から除却に着手、現在までに約5万 m^3 が掘さくされている。この現場は太平洋に直面した海岸にあつて、6～10月は台風の影響をうけて作業しにくいので、11～4月の海上平穏なときをねらつて掘さくする必要があり、実際の作業日数が少ない。それで今後十数万 m^3 の岩礁掘さくに対し、短期間に施工する方法が論議された結果、水中さく岩機を採用すると同時に、作業船周辺の海面を平穏にして作業時間をなるべく延長するために、空気防波堤を用いる案がでている(図—5)。この防波堤は今までのところ工期短縮のための仮設物にすぎないが、将来は舢舨や漁船などの船だまりの役目をもたせようと現場調査を開始した。理論的研究の結果は栗原博士が話されるはずであるが、われわれとしては研究成果を直ちに現地に採用し、協力してこの新防波堤の改良に資したいと考えている。

3. 防砂堤工事について 高知港口の種崎海岸の浸食防止のために、この3年来防砂堤工事が行われ、現在大体完成した状態である。構造としては、干潮面附近までそだ基礎上にブロックを据え、その間を場所打ちコンクリートで結んでおり、海面下になる部分にはケーソンをならべている(図—39)。なお防砂堤の先端に接続して、潜堤を出したところが2ヶ所ある(図—40)。防砂堤の方向は沖に向つて直線状に延び、その長さ及び間隔は図—41の通りである。

この防砂堤は、昭和28年13号台風のときにそだ基礎附近まで洗掘されて沈下傾斜し、法線天端の線が乱れたが(図—42)、その後砂がつきはじめるようになり、本年の12号、14号、15号台風のあとは、堤体がうずまるほど海岸に砂をよせている(図—43(a),(b))。この砂のつき具合については、現在調査中であつて、種々参考になる結果が得られるものと期待している。

文 献

- (1) H. U. Sverdrup and W. H. Munk: Wind, sea, and swell; Theory of relations for forecasting; Hydrographic Office, U.S. Navy, Publ. No. 601, 1947.
Hydrographic Office, U. S. Navy: Breakers and surf; Principles in forecasting; Publ. No. 234, 1944.
Hydrographic Office, U. S. Navy: Techniques for forecasting wind waves and swell; Publ. No. 604, 1951.
- (2) 海上保安廳水路部: 水路要報, No. 19～No. 21.
- (3) 運輸省港湾局: 波浪調査法; 港湾技術要報, No. 5, 昭. 28. 8. pp. 287-319.
- (4) 前掲(3), pp. 293-295.
運輸技術研究所報告, 第3巻第8号, 昭. 28.
- (5) 高橋龍太郎: 昭和9年9月21日の台風に因る琵琶湖の水位変化; 震研彙報, 別冊 No. 2, 昭. 10.
- (6) 和達清夫: 台風によつて生ずる大阪湾の津波について; 海と空, 第18巻第12号, 昭. 13.
- (7) 宮崎正衛: 大阪湾沿岸の高潮について; 海洋報告, 第2巻第2号, 昭. 26.
- (8) 市榮 譽: Jane 台風による高潮について (I); 海洋報告, 第2巻第2号, 昭. 26.
- (9) R. Iribarren. Translation of a formula for the calculation of rock-fill dikes; Techn. Report-HE-116-295, Dept. of Eng. Union of Calif., Berkeley, Aug. 1948.
- (10) 松尾春雄: 防波堤の安定に関する一考察; 土木試験所報告, 第34号.
- (11) R. Y. Hudson: Wave pressure on breakwater; Proc. ASCE, Vol. 78, Sep. No. 113, Jan. 1952.
E. Bruns: Berechnung des Wellenstosses auf Molen und Wellenbrecher; Jahrbuch der Hafenbautechn. Gesellschaft, 1941-1949, S. 92-158.
- (12) R. A. Bagnold: Interm. report on wave pressure research; Journ. of Institution of Civ. Engg., Vol. 12, 1939.
- (13) 福井伸二, 久能木真人, 重松友道: 電気抵抗線を利用した荷重計及びトルク計; 科学研究所報告, 第29巻第5～6号, 昭. 28. 11.