

防波堤に働く波圧について（第1報）

——羽幌港における測定——

北海道開発局港湾建設課長	技官	栗	林	隆
同 留萌建設部	技官	宇	田	居 吾 一
同 土木試験所	技官	村	木	義 男
同 港湾計画課	技官	高	橋	基 次
同 港湾建設課	技官	石	田	直 之

1. 緒 言

防波堤に働く波圧に関しては、これまでも多くの研究がなされ数多くの論文が発表されているが、これらのほとんどは理論的なもの、もしくは室内実験的なものであつて、実際の構造物についての研究というものは非常に少ない。従つて、これらの基礎的研究から得られた結果というものが、現象の複雑な実際の場合にどの程度適応されるものか、この点についてはいまのところ確かなことはわからない現状にある。これは実際に構造物の設計にたずさわる立場からみれば非常に遺憾とする点であつて、早急にその解明が望まれる重要な問題であると考ええる。

この点にかんがみ、筆者らは昨年（昭和 32 年）来羽幌港に大規模な波圧観測施設を設け、波浪、波圧（側圧および揚圧）ケーソンの振動等の観測を実施してきた。

最近室内実験では砕波の波圧が特に重要視され研究¹⁾²⁾³⁾されているが、われわれは海岸構造物の安定性ということを実際のものについて、より多角的に検討したいと考えている。すなわち、波圧を単に大きさだけで考えないで、重複波的、砕波の両波圧についてその頻度、波との関係、側圧および揚圧の各分布等、また特にケーソンに対する作用、いかえればケーソンの運動機構の相異をもしらべ、総合的な面から安定性を検討したいと考えている。

昨年（昭和 32 年）11 月中旬から観測を実施しているが、ここに現在までに設備を終えた観測施設の概要とこれまでにとりまとめた観測結果を報告する。

2. 観 測 施 設⁴⁾

（1）羽幌港の概要

観測施設を設けた羽幌港は北海道の西海岸に所在し、日本海に面した図-1 のような港である。この港はその形状からわかるように元来河口港として着工されたものであるが、その後河口は切りかえられ現在は普通の港として利用されている。しかし元来が河口港の形態をとつているため港口からの侵入波がはげしく、また漂砂のため波口部の水深維持がむづかしいのでその利用度は内港の良さにくらべ非常におとつている。これら侵入波、漂砂の問題を解決しその利用度を拡大するため、現在、河口港という当初の考えを捨て、全く新しい計画のもとに図のような島堤の工事を行なつている。

当港に波圧観測施設を設けた理由としては次のようなことがあげられる。

- 前述のように現在ケーソンの据付工事が実施されているので必要な観測諸器械の取付けが容易であること。
- この海域は冬期間大波浪の来襲がたえないため良好な資料が期待できること。
- 潮位差が少ないこと。
- 防波堤ノリ線が主波浪方向に直角であること。
- 基礎が新しいので揚圧力の測定に都合がよいこと。
- 得られた成果はそのまま現在の防波堤工事に役立てられること。

（2）観測器械

本観測に設備された観測器械は次のとおりである。

（a）抵抗線ヒズミ計型波圧計（運研型） いわゆる電気抵抗ヒズミ計応用の波圧計で、Pick up（受圧部）はリング型の鋼材に Bonded type の Strain Gage をはりつけたもので、波圧変化は増幅器を通して電磁オシロ

図-1

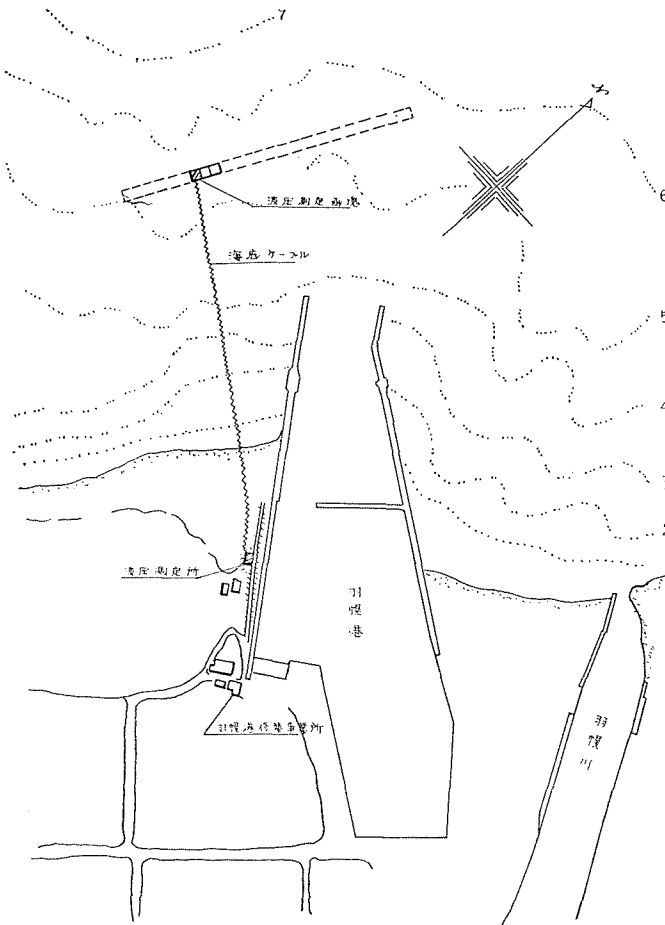


写真-1

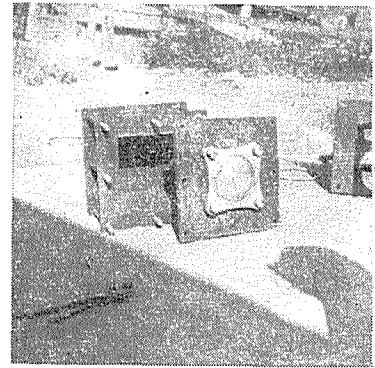
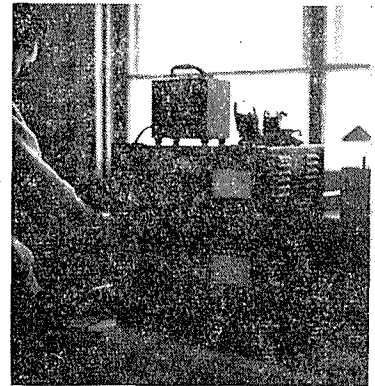


写真-2



グラフにより記録される。時限時計により自動的に操作する。写真-1 は受圧部の外観を、写真-2 は増幅・記録部を示す。

性能は次のとおりである。

- | | |
|---|---------------------|
| (i) 電 源 100 V, 50~60 c/s または 24 V バッテリー | (v) 搬送周波数 1 500 c/s |
| (ii) 消費電力 AC 100 V のとき 250 W インバーター のとき 420 W | (vi) エレメント数 6 点 |
| (iii) 測定精度 フルスケールの $\pm 2\%$ | (vii) メーカー 東洋測器 K K |

(iv) 測定方法 変位法

(b) 沖波観測用波浪計

- (i) 運研型ケーブル波浪計 2 台を準備, 同一ペンオシロにて記録する。
- (ii) 宇田居式トランシッド波浪観測器

(c) Step 式波浪計 堤体壁面の衝突波高を測定するため設けた。Step 間隔 20 cm, 全コ数 28 Step, 全長 5.6 m である。使用電源は直流 3 V, 使用電極は小型スパーク・プラグで, 回路途中に補正抵抗を入れ, 電磁オシログラフで波圧と同時記録する。

(d) 振動計 波圧による堤体の運動状態をしらべるため振動計を取付けた。性能は次のとおりである。

- | | |
|---------------------|----------------------|
| (i) 方 式 抵抗線ヒズミ計型 | (iv) 搬送周波数 5 000 c/s |
| (ii) 固有振動数 22 c/s | (v) メーカー 共和無線 K K |
| (iii) 容 量 $\pm 1 G$ | |

(e) 検潮儀

(f) 風向風速計

(g) 抵抗線ヒズミ計型波圧計(土試型) 計器の比較試験の意味をかねて取付けたもので, 原理的には (a)

とほとんど同様であるが、搬送波および Pick up の構造が多少異なる。

(i) 搬送周波数 5 000 c/s (ii) 固有振動数 3 000 c/s (iii) メーカー 共和無線 K K

(h) 広井式改造型波圧計⁵⁾ 広井式波圧計を遠隔記録型に改造試作したもので、精密級の抵抗線ヒズミ計型と比較してその使用限界と実用性を確かめるため取付けた。

(3) 観測用ケーソン

製作中のケーソン 1 コを観測用ケーソンとし、これに観測計器その他必要な設備を施した。図-2 は同ケーソンの断面を、写真-3 は現地における同ケーソンを、写真-4 は製作中の同ケーソンを示したものである。

図-2

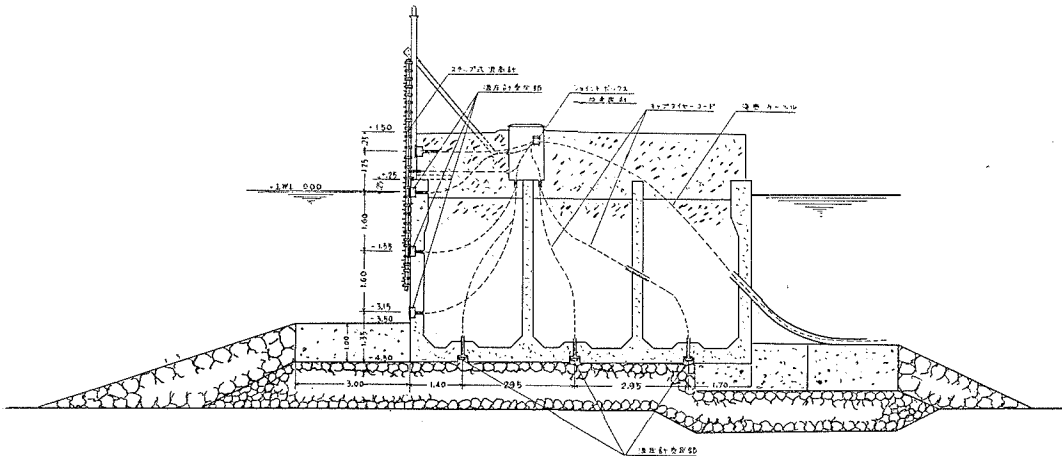


写真-3

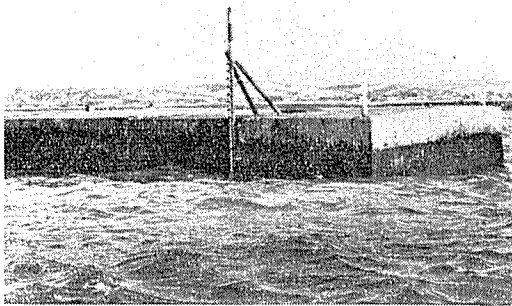
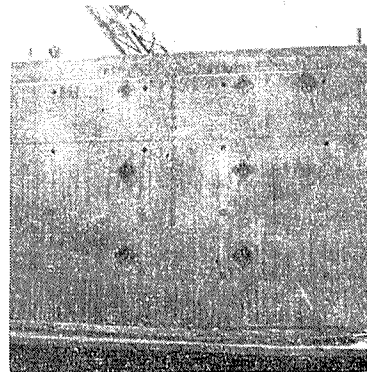


写真-4

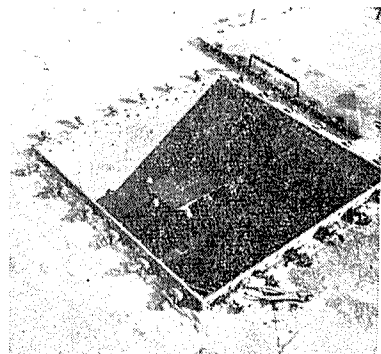


波圧計受圧部は、側面の波圧分布を知るために側面に図に示した位置に 3 コ、底面に対する揚圧分布をするために底に 3 コ計 6 コ取り付け、これらからのリード線はケーソン中央部に設けたマンホール内水密 Joint Box に集められ、ここで陸上からの海底ケーブルと連結される。この 6 コのほか、側面には前記 3 コとそれぞれ同じ高さに 3 コ、天端近くに 2 コ、計 5 コの予備取付口があり、また広井式改造型、抵抗線ヒズミ計型（土試型）が別に静水面の高さに取り付けられてある。Step 式波浪計は受圧部にすぐ並んで図のようにつけられ、これも Joint Box 内で海底ケーブルと連結される。振動計は小型であるので Joint Box 内に納めてある。

写真-5

側および底の 6 コの受圧部は留萌本港においてケーソン製作時に取り付け、取付けられた状態のままで進水、回航、据付けの過程を経たのであるが、このうち底部の港内側の 1 コが故障を生じ現在測定不能の状態にある。写真-5 は Joint Box およびマンホールを示したものである。

使用した海底ケーブルは通信用海底ケーブルと同種のもので、線芯



1.2 mm のポリエチレン被覆単線を4本より合わせたものをさらにポリエチレン被覆して1本とし、これを9本集めたものを径 6 mm の亜鉛メッキ鉄線 26 本でぎ装したものである。敷設距離はケーソンと陸上観測室間約 350 m である。

観測室には各計器の記録部、すなわち電源装置、増幅器、オシログラフ、波浪計 Control Box、風向風速計、宇田居式波浪観測トランシット、検潮儀等セットし、また暗室事務室等も設けてある。

3. 波 圧 の 形 態

(1) 分 類

観測は昨年(昭和 32 年)11月中旬から約2ヵ月行なわれた。この間連日時化にめぐまれ、風浪、うねりをふくむ実に多数の多種多様の波圧記録をうることができた。また波浪の規模も例年発生しうるほぼ最大のものがふくまれている。従つて得られた記録は当港に來襲する波浪波圧の特性を十分表わしているものと考えられる。これらの記録をみると波圧の波形は実にその種類が多い。これはもちろんその來襲する波の性質、海底地形、構造物の形状位置等に支配されるものであろうが、一応考えられる形状はすべてふくまれている感じがする。記録の一例を写真-6 に示した。

得られた波圧波形(静水面における波圧)を形の上から図-3 のように分類した。すなわち全体を A, B, C, D に大別し、それぞれについて a から g まで細分した。もちろんこれらは縦横互いに関連があり、程度によりどちらにもとれる場合もあるが、この分類方法で今回の記録はすべて整理されたので一応適切な分類方法と考えてよからう。各型について若干の説明を加えると、

a) A 型: 前傾で頂部が丸みをおびた重複波の形状で、風浪、うねりいずれの場合も現われるが、概して風浪の場合に多い。ただし g は頂部が角ばつて D 型に近い。B, C 型についても同じ。

b) B 型: 前後対称で頂部が丸みをおびた重複波の形状で、風浪、うねりいずれの場合も比較的多い。

c) C 型: 後傾で頂部が丸みをおびた重複波の形状で、風浪の場合も現われるが周期の長いうねり性の波の場合に多い。

d) D 型: 前者はいずれも頂部が丸みをおびたものであつたが、この型は急峻な上昇をなし、しかも頂部がシャープな角度をなしているのが特徴で碎波的風浪の場合に現われている。

以上の分類のうち A, B, C 型はいわゆる重複波型、D 型は碎波型であつて、室内実験とほぼ同様な形状を示している。各波圧型によりその

写真-6 (1)

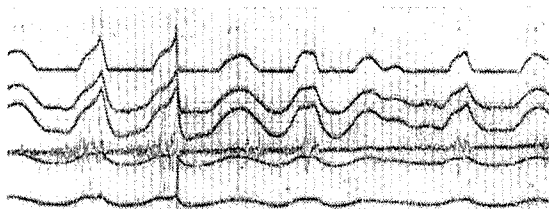


写真-6 (2)

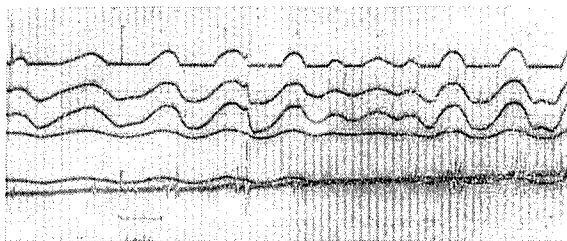


写真-6 (3)

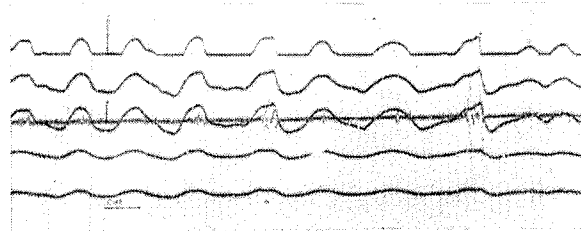


図-3

波 圧 型 分 類

	A	B	C	D
a				
b				
c				
d				
e				
f				
g				

性質が異なることは当然予想されるが、特に D 型は特殊な性質をもち、その最大波圧も他よりずっと大きい。これは理論並びに室内実験においても既に注目され種々研究が進められているものであるが、構造物の安定性という面からみた場合、必ずしもこの D 型が危険であるとは断定できないものであり、これは側圧分布、揚圧分布をも考慮した堤体の運動学的研究によつて解決されるべきものであると考える。

(2) 各波圧型の頻度

構造物の安定を論ずる場合、もちろんその波圧の大きさが第一義的に重要であるが、同時にその頻度ということもあわせて考える必要がある。この意味において各波圧型の頻度を調べてみた。得られた記録 43 例 (1 例は 10 から 20 分の観測である) 約 3 000 コの波圧波形を分類しその頻度を示すと図-4 および図-5 のとおりである。

図-4

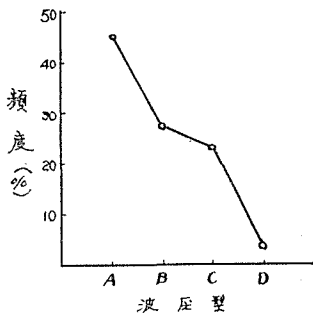


図-5

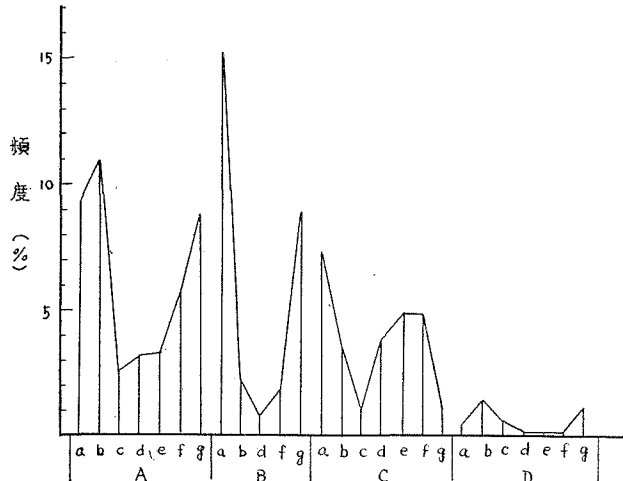


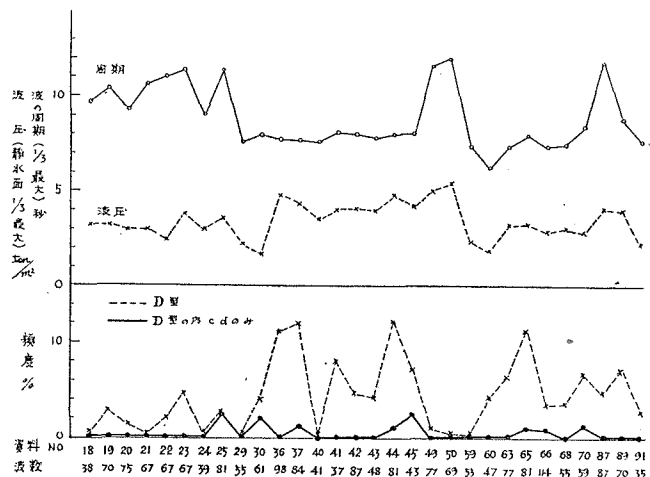
図-4 は A, B, C, D と大別した場合で、図からわかるように A 型が非常に多く約 45%, B 型は約 27% でこれに つぎ、C 型は約 24%, 問題の D 型はわずか 4% にすぎない。これをさらに細分すると図-5 のとおりで、A 型では a, b, f, g 型が多く、B 型では a, g 型がほとんどを占め、C 型では比較的差はなく、D 型では b, g が多い。D 型の b, g は砕波になりかかりのものであろう。半砕波的の D の c 型は 0.8% 位、純砕波的と思われる D の d 型は全コ数約 3 000 コのうち、わずか 2 コか 3 コにすぎなかつた。

しからば、砕波的 D 型はいかなる場合に多く出現するか、これは図-6 に示したように波の周期がほぼ 8 sec (1/3 最大周期) 前後のときに多く現われる。しかもこのときの波圧は比較的大きな値を示しており、波圧の大きい場合は当然波高も高い場合が多いから、この点を考えると当港においては、D 型は周期 8 sec くらいで Steepness の大なる波の場合に多く出現するものと考えられる。また、いいかえれば、砕波的波圧 D 型は条件が或程度そろえば集中的に出現することも考えられる。

この砕波的波圧の出現およびその頻度は、構造物の位置によつて異なるが、当港の地形および構造物の大きさ、位置等は特に他と異なるものでないから、この点を考慮に入れば、これらの結果は一応この近海の一般特性とみることができる。わずか 2 カ月ほどの記録から得たもので、また統計的に検討したものでないから十分とはいえないが、時期が年間の最も波浪来襲の多い冬期であったことからみて、かなり信頼してよいものと思う。

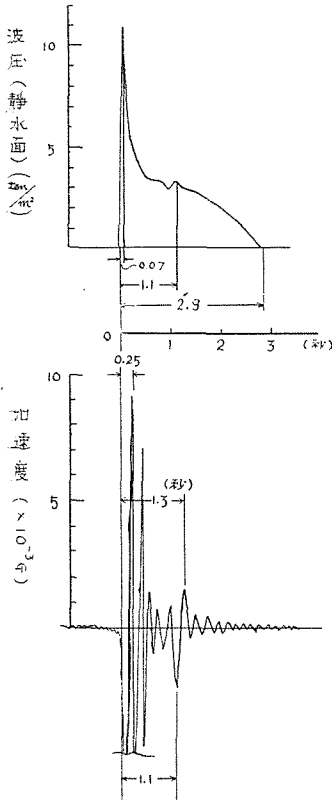
(3) 観測された最も顕著な砕波型波圧の形状

図-6



室内実験における砕波型波圧波形 (Gifle⁶⁾ および Bourrage⁶⁾ をともなつた波形) の例¹⁾²⁾³⁾ はよくみられるが実際の海岸における例はみあたらない。室内実験でこれら砕波型波圧について研究が進められても、これが実際の海岸において出現するものかどうか、また出現するとすればどの程度の頻度があるかこの点を確認しなければ、それら基礎研究の価値は減じその応用も困難となる。この意味で、われわれは、できるだけこの種波圧波形のキャッチに努力した。

図-7



昭和 32.12.15. 03.00

(1) 波圧型と最大波圧および最多波圧

いかなる型の波圧が大きな値をもつか、また波圧型により最多波圧がどのように違うかをしらべた。これらの関係を示すと図-8のとおりであり、これから次のことがわかる。

a) 波圧型Aでは 3.5 t/m^2 程度の波圧が最も多く、最大は 5 t/m^2 である。

b) 波圧型Bでは 3.0 t/m^2 程度の波圧が最も多く、最大は 6 t/m^2 を越える。 $5 \sim 6 \text{ t/m}^2$ のものが少数ではあるが存在することはA型と異なる点で、これはB型にはうねり性の大きな波が入っているためである。

c) 波圧型Cでは 2.5 t/m^2 程度の波圧が最も多く、最大は 6 t/m^2 程度である。Bにくらべ最多波圧が 2.5 t/m^2 と小さくなっている。また最大は 6 t/m^2 でほぼ同じであるが、その頻度は大になつている。これはうねり性波浪がこの型に多

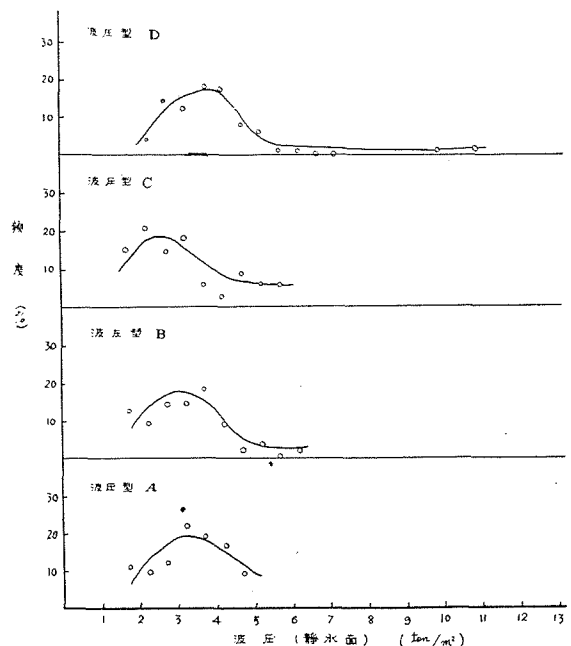
また波圧計器の研究という立場からみた場合、その要求される精度を知ることが必要であり、これがわからなければ必要にして十分な最も簡単な原理、機構というものが決定できない。このように衝撃的波圧波形のキャッチは重要な意味をもつものである。

今回の観測でキャッチされた最も衝撃的な波圧波形 (昭和 32.12.15. 03.00) の形状を図-7 に示した。上は静水面における波圧波形、下はケーソンの加速度振動記録である。波圧の大きさは、Gifle (Peak, 平手打) で 11 t/m^2 という観測中の最大値を示し、Bourrage (腰掛) では 3.2 t/m^2 という値で、両者の比は $3.5 : 1$ 、また Gifle までの時間は 0.07 sec ($1/100 \text{ sec}$ の order)、波浪周期は 7.3 sec であつた。図からわかるように実験室でみられる典型的な衝撃的波圧波形とほとんど同じ形状である。この記録は波圧に関する研究を進める上に前記した意味において新しい一つの貴重な資料といえよう。このように実際に衝撃的波圧波形が存在することは、室内実験と実際との関連において重要な意味を有するものであり、またこれがたとえ 3000 回に 2 回か 3 回であつてもその作用いかんによつては重視さるべきものであると考える。

下图の振動はこの時に生じたケーソンの振動の加速度であつて、この加速度の大きさも観測中最大のものである。上图の波圧とくらべてみると波圧の Gifle に対応して一つの振動が現われ、また Bourrage に対応して一つの振動が現われ、しかも Bourrage 部には振動周期に応じた圧力の変化が出ていることは興味ある現象である。

4. 最大波圧について

図-8



いからである。

d) 波圧型Dでは 4 t/m^2 程度の波圧が多く、最大は 11 t/m^2 である。この型は最大波圧、最多波圧ともに他のいずれよりも大きく特色ある存在である。

以上のことから砕波的波圧D型が他と比較ならぬほど大きな波圧力を示すことがわかり、波圧を大ききさだけに於いて問題にする場合最も重視されるべきものと考ええる。当港における最大波圧もこのD型によつて発生することが予想される。なおこの性質は他の港についてもいえることだと考える。

(2) 波の周期と最大波圧

波の周期と波圧との関係を示すと 図-9 のとおりである。図に示すように最大限界として (1), (2), (3), の三つの曲線を画くことができる。曲線 (1) は波圧型Dに対するもので、7~8 sec が最大を示す。(2) は A, B, C 型に対するもので、同じく 8 sec 前後が最大を示す。(3) は特にうねりについての曲線で 11 sec に最大を示す。これらのことから風浪については 7~8 sec のものが大きい波圧を生ずることがわかる。観測中の最大波圧 11 t/m^2 もこれに属する。またD型の最大は他の型の最大のはぼ2倍となっており、一方うねり性波浪は最大 6 t/m^2 を示しD型にはおよばないが A, B, C 型より大である。

以上のことから当港における最大波圧は周期 7~8 sec の波により発生することが予想できる。

(3) Gifle (または Peak) までの時間と最大波圧

Gifle (Peak) までの時間と波圧との関係を示すと 図-10 のとおりである。図に示したようにほとんどの値は、0~6 sec にわたり一様に分布し、図

中 (2) の直線のように 5.5 t/m^2 が最大限界となつている。しかしいま一つ (1) という限界曲線が引かれ、これは Gifle までの時間が短いほど大きな波圧を生ずることを示している。そしてこの (1) の関係曲線のカーブの部分が砕波的波圧により支配されていることは注目すべきことである。この (1) という限界曲線はその場所特有のもので、その場所の最大波圧を規定する一つの重要な特性曲線といふことができるようである。この曲線から当港の最大波圧 (静水面) を推定すれば、ほぼ $14\sim15 \text{ t/m}^2$ となる。

以上述べたことから、羽幌港における最大波圧というものは周期 8 sec 前後の砕波的波圧D型により発生し、

図-9

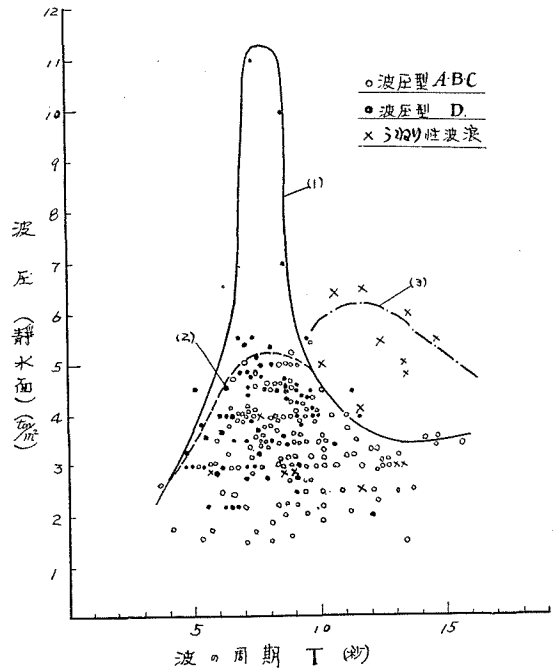
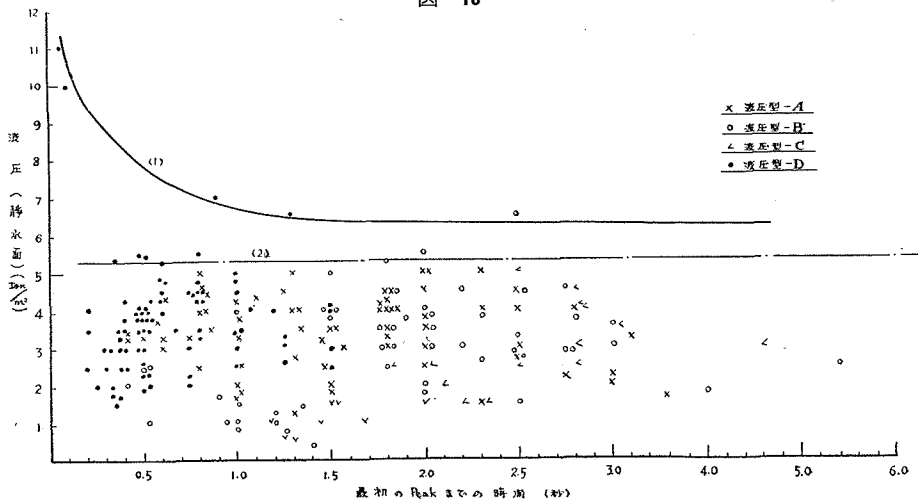


図-10



その大きさは $14 \sim 15 \text{ t/m}^2$ と推定される。広井式によりその時の波高を逆算すれば約 10 m となるが、これは当港現島堤付近ではこのような大きな波は、これまでの波浪実測記録から得られた最大波高 4.5 m と比較して到底予想しがたい。また Minikin⁷⁾ の式により逆算すれば、波高 1.3 m となるが、これは当時の状況から判断して小さすぎる。以上のことから考えて、分布を考慮しない場合、広井式では危険側にあり、どちらかといえば Minikin の傾向を示すということがいえる。しかしその作用時間は非常に短かいので、これの堤体に及ぼす影響については今後の研究を必要とする。

5. 砕波型波圧の Bourrage

砕波型波圧 (D の c, d 型) の Bourrage (腰掛) の性質について室内実験と比較する意味で波の周期と Bourrage 圧力との関係を調べた。図-11はこの関係を示すものでプロットした点は全部ばらつくが一つの直線関係にあるといえる。図-12 は Larras の行なつた実験結果⁸⁾を示したものであるが、実験と実際とはほぼ一致するといえる。

図-11

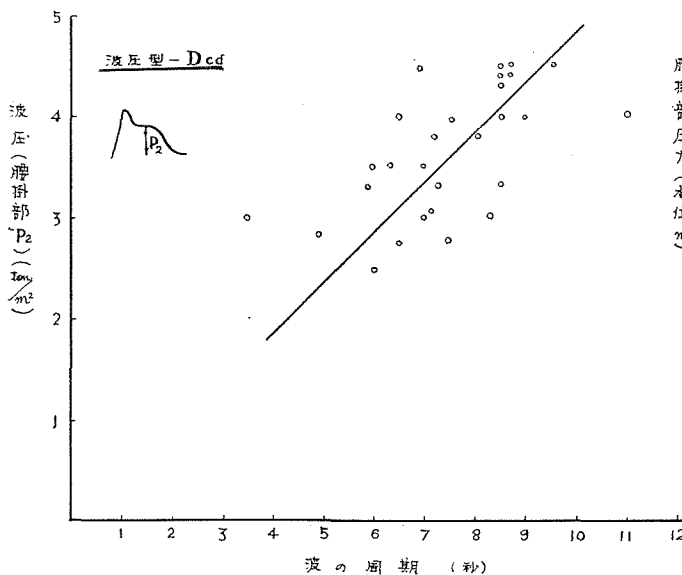
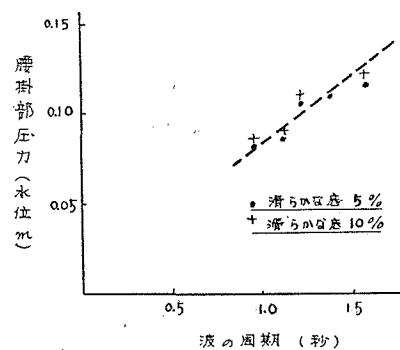


図-12



6. ケーソンの振動測定

(1) 測定の目的

堤体の安定性を研究するには、その原因となる波浪およびこれにともなう堤体に働く圧力を調べることはもちろん必要であるが、さらに進んでこれら原因によつて堤体自体がどのような運動をするか、これらの現象を究明しなければ真に構造物の安定性を論ずることはできないし、また構造物設計についての対策がたたない。このような意味においてその必要性を感じ、ケーソンの振動測定を実施した。われわれの場合変位振動そのものがほしいのであるが、今回はとりあえず前記した振動計を取りつけ、変位振動計選定の基礎資料をとることを直接の目的とした。

現在までのケーソン振動測定の例としては、アルジエー港における例⁹⁾がある。これはピエゾ水晶加速度計を用いたもので、振動計の性能は固有周期 0.001 sec 、容量 $0.5 \text{ gal (cm/sec}^2)$ 、これを鉛直、平行、直角に3組用い3カ所で測定したものでその結果は次のとおりである。

- $1 \text{ c/sec} \sim 1000 \text{ c/sec}$ の範囲では波による堤体の固有周期は認められなかつた。
- ケーソンが波によりゆれるだけということが明らかとなつた。

(2) 測定された振動の周期

いかなる固有周期の振動計を選定すべきか判断が困難だつたので、とりあえず共和無線製抵抗ヒズミ計型、固有周期 22 c/sec 、容量 $\pm 1 \text{ G}$ のものを1コ取りつけた。幸い記録をとることができたのでその結果を記す。

測定された振動周期は図-13のとおりで、 $0.2 \pm 0.05 \text{ sec}$ である。これはチャート紙の送り速度の比較的速い

明確な記録から得たもので、1コの波浪により発生する振動の各部における周期差はあまりないので、全体の平均をその波浪による振動の周期とした。振動計の固有周期が 0.05 sec 程度であるから両周期を比較するとわれわれは加速度を測定したと考えてよい。この測定された振動周期が普通地盤の固有周期の order であることから考えると、この現象は地盤と同じような弾性体の上にケーソンという剛体がのつて振動しているというように解釈される。平行、回転の運動をどのようにともなっているかは未知であり今後の研究課題である。

ともかく今回の観測により周期 0.2 sec 程度の振動が存在することがわかつたわけで、これを前記のアルジェー港における観測結果と比較するとき、われわれは新しい事実を見出したわけで、この点注目し値すると思われる。

(3) 測定された加速度の最大

測定された加速度の最大は図-7 に示した最大波圧にともなうもので、その大きさは $18 \times 10^{-3} G$ 程度であった。

7. 波圧と振動との関係

(1) 位相関係

記録された波圧波形と振動波形とをくらべてみると、振動発生の位置が波圧波形に対し一定した位相的關係にあることがわかつた。数多くの資料からこれらを分類してみると、先に分類した波圧型と密接な関係にある。図-14, 15 にこれらを模式的に画いて示した。图中波圧は静水面の波圧である。これから次のことがわかる。

図-14

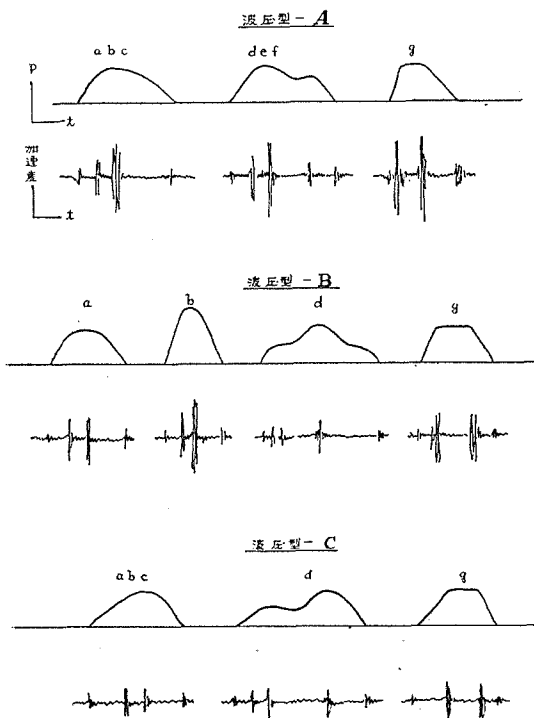


図-15

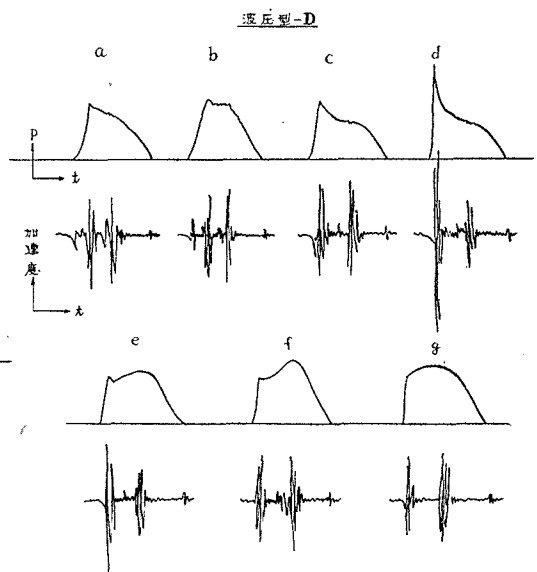


図-13

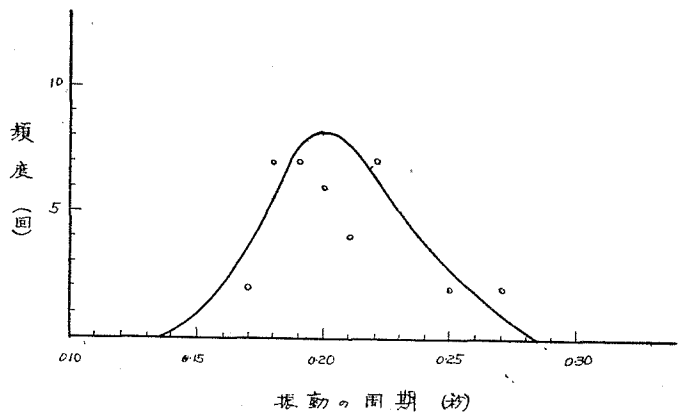


図-16

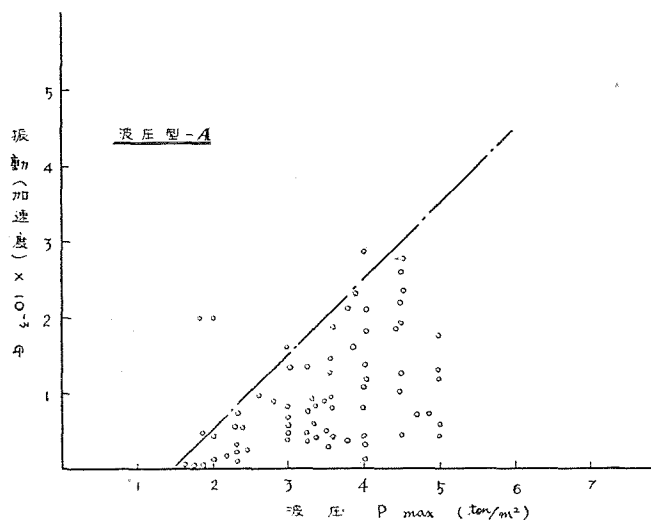


図-17

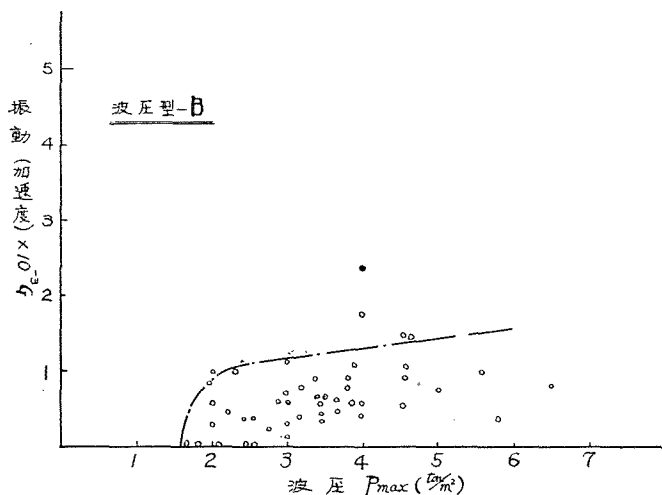
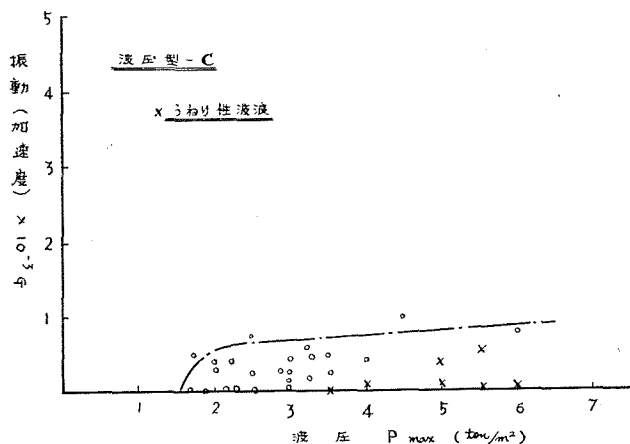


図-18



a) 波圧型 A,B,C これらの波圧型については次の各々の時に振動が発生する。一部発生しない場合もある。

(i) 波が静水面(受圧部)付近に達したとき

(ii) Peak との間における変曲点付近(ほぼ波が天端に達したとき)

(iii) Peak 近傍

(iv) 再び静水面に復したとき

その大きさは一般にA型が大きく、B型がこれに次ぎC型はこれより小さい。ただし(iv)についてはC型の方がむしろ大きい。

b) 波圧型D この型については次のおのおのときに振動が発生する。

(i) 波が静水面(受圧部)付近に達したとき

(ii) 第1 Peak 近傍(Gifle)

(iii) 第2 Peak 近傍(Bourrage)

(iv) 再び静水面に復したとき

この場合の振動の大きさはA,B,Cいずれよりも大きい。また、上記振動発生のうち(iii)の場合はこれの対応する波圧の部分(Bourrage)にほとんど必ず微小な圧力変動が記録される。これは興味ある現象で、堤体振動が逆に圧力変化として現われるものではないかと考えられる。

(2) 大きさ関係

波圧と振動(加速度)の振幅の大きさ関係を示すと図-16~19のとおりである。これから次のことがいえる。

a) 波圧型により、発生する加速度の最大限界が異なる。すなわち、D型が最も大なる加速度振動を生じ、A型がこれに次ぐ。B型はA型よりずつと小さく、C型はB型よりさらに小さい。

b) A,D型では波圧の増大にともない最大加速度の大きさも直線的に顕著に増す。

c) B,C型では波圧が増大してもほとんど変わらない。

以上のことから波圧の大きさと加速度の大きさとの間に比較的に明瞭な関係のあることがわかったが、これはあくまでも加速度についてであって、ケーソンの運動変位、運動機構についてはなんらわからない。しかし、少なくとも、波により

ケーソンがたえず振動していることは明らかである。たとえわずかな振動でもこれがたえずくり返されることは注目すべきことで、これによりケーソンが傾斜することは十分考えられる。現に当ケーソンは前端において10～15 cm 程沈下傾斜している。

8. 結 言

現在までの資料からわかつたことを要約すると次のとおりである。

(1) 波圧の形態は多種多様であるが、重複波型 (A, B, C 型) と砕波型 (D 型) に大別される。

(2) 羽幌港における各波圧型の頻度は A, B, C, D の順で砕波型 D はわずか 4 % にすぎない。しかし条件がたとえば集中的に現われることも考えられる。

(3) 室内実験で観測されるような非常にシャープな典型的衝撃波圧が実際にも存在する。

(4) 羽幌における最大波圧は周期 8 秒前後の砕波型の波圧により発生し、その大きさは 15 t/m^2 程度と推定される。

(5) この最大波圧は作用時間が非常に短いものであるから、ケーソンに対する作用については今後の研究が必要である。

(6) Bourrage における波圧と周期との関係は Laras の実験におけるものとはほぼ同じ傾向を示した。

(7) 観測されたケーソンの振動周期は 0.2 秒前後である。

(8) ケーソンの振動発生と波圧波形とは位相的に一定の関係がある。

(9) 砕波型波圧 D が最も大きな加速度振動をとめない、その値は波圧の増大とともに直線的に増す。

以上のとおりであつて、現在までのところ問題点と定性的概観を知つたにすぎない。今後は波浪と波圧との関係、側圧分布、揚圧分布の特性等定量的段階に入り、また堤体の運動についても関係計器を充実してその運動機構を調べたいと考えている。なお、分布については目下資料整理検討中であるので後日報告する。

参 考 文 献

- 1) 浜田, 光易, 長谷: 構造物に作用する波力, 海岸工学講演集, 1956, 土木学会
 - 2) 林, 服部: 孤立波の砕波とその波圧について, 同 同
 - 3) 永井, 八織: 砕波の波圧について 同 1957
 - 4) 栗林, 宇田居, 村木, 高橋, 石田: 羽幌港における波圧測定について, 技術資料, 第 14 号, 昭 33, 土木学会北海道支部
 - 5) 村木: 遠隔記録型波圧計の試作, 土木試験所彙報, 第 12 号, 昭 30, 北海道開発局土木試験所
 - 6) 松尾訳: 防波堤に作用する力特に砕波に関する研究, 港湾, 第 17 巻, 第 8 号
 - 7) R.R. Minikin: Wind, Wave and Maritime Structures, 1950
 - 8) 同 6)
 - 9) 松尾訳: 鉛直壁面を有する防波堤に作用する波力, 港湾, 第 18 巻, 第 3 号
- その他 R.Y. Hudson: Wave Forces on Breakwaters. proc. A.S.C.E., Vol 78, No.113, 1952

図—19

