

# 波浪計設置計画について

## —東京港における観測計画例—

気象研究所 降旗 常雄  
東京都港湾局 小倉 健男  
同上 寺中 啓一郎

### 1. はしがき

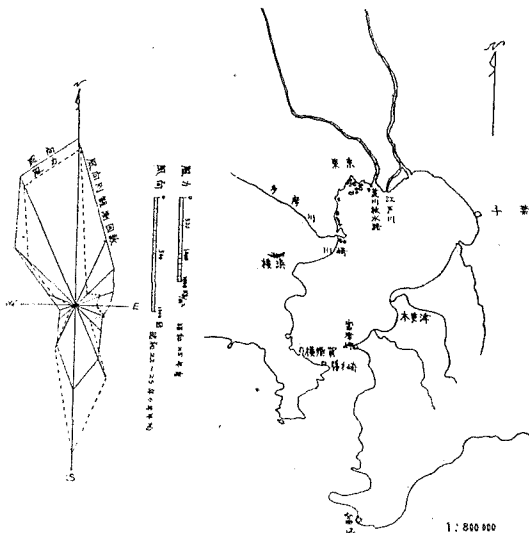
波浪、高潮に対する東京港の防災を主眼とし、また総合的かつ長期的な港湾計画の立案と入港船舶の保全の上から今日こうした水象についての詳細なデータの把握が急務とされている。のみならず現在では、上述の諸事項について急速に OR 的措置の必要すらおこってきている。このような事情のもとで東京港の前面域 3 点に半永久的な波浪・高潮測定施設を独自で昭和 36 年度中に建設する必要が生じた。本報告はまず序報として同計画の概要ならびに観測の方式、機器などについてあらましをのべる。

### 2. 東京港の概要ならびに特性

東京湾は千葉県富津岬（東岸）と神奈川県勝力崎（西岸）とを結ぶ線（図-1）を南縁とする内湾で、横浜、川崎、東京、千葉、横須賀などの重要港をもち大小船舶の輻輳をはじめ沿岸の水産業、その他近年は埋立による大規模な土地造成などでいちじるしい活況を呈している。

湾の規模は南北 54 km、東西約 22 km、全面積 1 187 km<sup>2</sup>、平均水深 13.9 m で、湾奥から千葉寄りの沿岸はきわめて浅く海岸線から 200~500 m の海域は干潮時に干潟となるとところもある。湾の深部はほぼ南北を貫く軸線付近

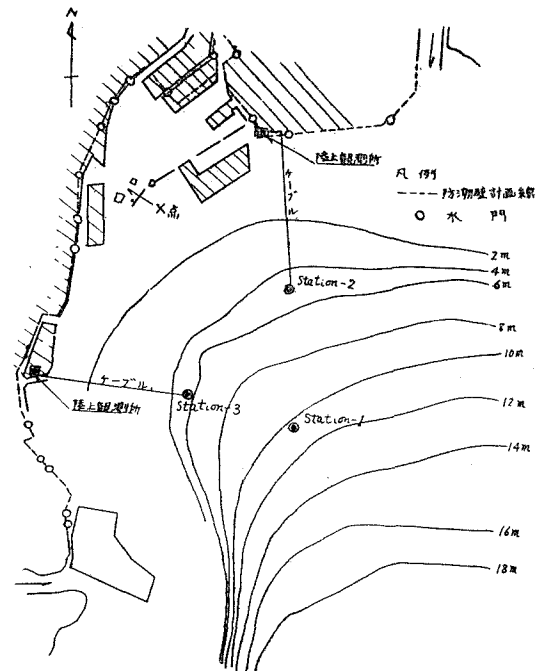
図-1 東京湾の形状



にあり、また最深部は湾口に位置する第 2 海堡近傍でおよそ 45m に達する（図-2）。

東京港は湾奥の西側に位置し、図-2 のハッチの部分に各種港湾施設を占有する。この湾奥一帯を高潮から防ぐため全長 20 km にわたる防潮壁および水門をいくつ

図-2 東京港前面域の地勢および波浪計等の設置点



か構築の予定で、現在江東地区（地盤沈下がいちじるしい）の汀線に外郭堤防（天端高 A.P.+5.30~5.80 m、水門 5 基）約 9 km を建設中である。

#### (1) 底質

港の前面の底面はおおむね砂交りの泥土で、海底勾配は真南に向って約  $-1/540$  程度傾き湾口にむかい水深を増している。

#### (2) 潮流

東京港前面域の潮流については未調査である（強い沿岸流はここでは考えられない）が、一例として港内での流速の最大が生ずると考えられる地点（図-2 の X 点）で平常時に実測された最大流速はたかだか上潮時に 0.65 m/sec、下潮時に 0.56 m/sec（1956 年 2 月 7 日測定）程度にとどまっている。東京港における潮位のいろいろ

の値を表-1に掲げた。

表-1

| 湖位名称     | 湖位(m)      | 観測時        |
|----------|------------|------------|
| さく望平均満潮面 | A.P.+2.063 | 昭和26~27年平均 |
| さく望平均干潮面 | A.P.+0.157 | "          |
| 平均湖位     | A.P.+1.229 | "          |
| 既往最高潮位   | A.P.+4.140 | 大正6年10月1日  |
| 既往最低潮位   | A.P.-0.411 | 昭和19年2月23日 |

ただし、本港の基準面は東京港中等潮位下 1.1344m で海図基準面より 0.042m 高い。

### (3) 風向・風速分布

東京湾域の風向・風速分布については従来いろいろの

調査がなされているが、ここでは東京港前面域の風の特徴について「京浜港付近の風と波」<sup>2)</sup> 所載の資料を1部引用する。この資料には東京中央気象台、横浜測候所および富崎測候所で昭和16年から25年まで10年間観測した風のデータが風向・風速、継続時間についてまとめられているが、東京と横浜の資料から風速 5m/sec 以上の風をひろってみると表-2 のようになる。これからわかるように東京港前面域では、年間を通じて冬季卓越するN-成分の風が頻度 50% をしめ、夏季のS-成分の風がこれについて頻度 30% に達している。E-成分の風は 10% にもみえない。

表-2 湾域の風の統計 (昭和16~17年, 10年間月別回数)

| 卓越風<br>頻度順位 | 観測<br>場所 | 卓越風向                      | 風速分類    | 5m/s以上の全回数<br>に対する割合<br>(%) | 月 別 回 数 |        |        |        |       |       |        |       |        |        |        |        |
|-------------|----------|---------------------------|---------|-----------------------------|---------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|
|             |          |                           |         |                             | 1       | 2      | 3      | 4      | 5     | 6     | 7      | 8     | 9      | 10     | 11     | 12     |
| 1           | 東京       | Nを中心として<br>NNE~NNW<br>方向  | 5m/s以上  | 43.8                        | 73.10   | 90.90  | 83.90  | 55.60  | 26.50 | 14.10 | 4.90   | 11.10 | 25.70  | 56.80  | 74.90  | 62.70  |
|             |          |                           | 10m/s以上 | 50.9                        | 4.40    | 6.20   | 5.10   | 4.20   | 0.40  | 1.30  | 0.10   | 0.60  | 1.00   | 2.00   | 2.30   | 4.20   |
|             | 横浜       | 同上                        | 5m/s以上  | 52.7                        | 149.00  | 197.60 | 168.20 | 102.00 | 61.20 | 39.00 | 19.50  | 37.70 | 118.80 | 170.00 | 170.90 | 148.80 |
|             |          |                           | 10m/s以上 | 57.8                        | 27.70   | 32.30  | 34.30  | 23.70  | 7.60  | 3.10  | 0.60   | 2.80  | 8.00   | 28.20  | 24.60  | 10.20  |
| 2           | 東京       | Sを中心として<br>SSE~SSW<br>方向  | 5m/s以上  | 33.6                        | 4.30    | 6.10   | 25.80  | 62.40  | 72.10 | 61.50 | 90.00  | 71.20 | 42.00  | 8.10   | 1.00   | 0.50   |
|             |          |                           | 10m/s以上 | 30.0                        | 0.60    | 0      | 2.20   | 6.10   | 3.00  | 1.60  | 1.10   | 1.40  | 3.50   | 1.10   | 0      | 0      |
|             | 横浜       | SSW または<br>SWを中心と<br>する方向 | 5m/s以上  | 29.0                        | 39.60   | 21.90  | 44.90  | 99.30  | 91.20 | 89.10 | 124.20 | 92.80 | 80.40  | 21.20  | 11.90  | 43.00  |
|             |          |                           | 10m/s以上 | 29.0                        | 10.30   | 6.20   | 11.90  | 23.30  | 13.50 | 7.30  | 6.10   | 1.80  | 9.40   | 4.70   | 1.50   | 5.90   |
| 3           | 東京       | NNEから<br>SSEの間            | 5m/s以上  | 6.5                         | 1.60    | 1.50   | 9.10   | 12.40  | 11.90 | 8.90  | 13.90  | 11.20 | 7.80   | 5.20   | 2.50   | 0.40   |
|             |          |                           | 10m/s以上 | 2.4                         | 0       | 0      | 0.10   | 0.30   | 0     | 0.10  | 0      | 0.80  | 0      | 0.10   | 0.10   | 0      |
|             | 横浜       | NE~N                      | 5m/s以上  | 9.0                         | 8.90    | 7.80   | 26.70  | 27.90  | 20.60 | 28.00 | 25.80  | 23.40 | 23.50  | 23.60  | 15.70  | 4.60   |
|             |          |                           | 10m/s以上 | 1.8                         | 0.50    | 0      | 0.70   | 0.90   | 0.60  | 0.50  | 0.40   | 0.20  | 1.00   | 0.80   | 0.70   | 0.10   |

表-3 東京湾周辺の暴風時の風速と風向分布

| 期 日       |          | 昭 29・4・18 |      |      |      | 昭 29・9・26        |      |      |      | 昭 29・11・28   |      |      |      |
|-----------|----------|-----------|------|------|------|------------------|------|------|------|--------------|------|------|------|
| 観 測 場 所   |          | 東 京       | 横 浜  | 千 葉  | 富 崎  | 東 京              | 横 浜  | 千 葉  | 富 崎  | 東 京          | 横 浜  | 千 葉  | 富 崎  |
| 風 速 (m/s) |          | 13.5      | 20.4 | 22.6 | 19.9 | 18.8             | 21.7 | 23.8 | 22.0 | 15.8         | 27.2 | 23.8 | 25.5 |
| 風 向       |          | SSE       | S    | SW   | SSW  | S                | S    | SSW  | SSW  | N            | N    | NE   | NNE  |
| 暴 風 の 原 因 | Lが日本海に発生 |           |      |      |      | Tが日本海を北上 (洞爺丸台風) |      |      |      | Lが太平洋岸を北上し発達 |      |      |      |

| 期 日       |       | 昭 32・2・11 |      |      |      | 昭 30・2・20 |      |      |      | 昭 30・3・18 |      |      |      |
|-----------|-------|-----------|------|------|------|-----------|------|------|------|-----------|------|------|------|
| 観 測 場 所   |       | 東 京       | 横 浜  | 千 葉  | 富 崎  | 東 京       | 横 浜  | 千 葉  | 富 崎  | 東 京       | 横 浜  | 千 葉  | 富 崎  |
| 風 速 (m/s) |       | 18.4      | 23.2 | 22.9 | 21.9 | 18.7      | 20.2 | 27.5 | 25.5 | 22.6      | 20.8 | 22.2 | 25.5 |
| 風 向       |       | NW        | N    | NNW  | WSW  | SSW       | SW   | WSW  | WSW  | S         | SW   | SSW  | SSW  |
| 暴 風 の 原 因 | 冬の季節風 |           |      |      |      | Lが日本海に発生  |      |      |      | Lが日本海に発生  |      |      |      |

| 期 日       |                 | 昭 30・10・11 |      |      |      | 昭 30・12・17 |      |      |      | 昭 31・9・27       |     |     |     |
|-----------|-----------------|------------|------|------|------|------------|------|------|------|-----------------|-----|-----|-----|
| 観 測 場 所   |                 | 東 京        | 横 浜  | 千 葉  | 富 崎  | 東 京        | 横 浜  | 千 葉  | 富 崎  | 東 京             | 横 浜 | 千 葉 | 富 崎 |
| 風 速 (m/s) |                 | 18.0       | 25.5 | 24.7 | 27.5 | 13.5       | 20.5 | 17.7 | 16.9 |                 |     |     |     |
| 風 向       |                 | NNW        | N    | NNW  | N    | NNW        | N    | N    | N    |                 |     |     |     |
| 暴 風 の 原 因 | T-5525 が太平洋岸を北上 |            |      |      |      | 冬の季節風      |      |      |      | T-5615 が太平洋岸を北上 |     |     |     |

| 期 日       |                 | 昭 33・7・23 |      |      |      | 昭 33・9・26               |      |      |      |
|-----------|-----------------|-----------|------|------|------|-------------------------|------|------|------|
| 観 測 場 所   |                 | 東 京       | 横 浜  | 千 葉  | 富 崎  | 東 京                     | 横 浜  | 千 葉  | 富 崎  |
| 風 速 (m/s) |                 | 22.8      | 29.2 | 29.3 | 27.0 | 20.5                    | 28.8 | 25.5 | 24.1 |
| 風 向       |                 | S         | SSE  | SSW  | S    | WNW                     | SE   | SSW  | SSW  |
| 暴 風 の 原 因 | T-5811 が関東地方を通過 |           |      |      |      | T-5822 が関東地方を通過 (狩野川台風) |      |      |      |

#### (4) 異常時の風向・風速分布

東京湾域で考慮を要する暴風の原因には、

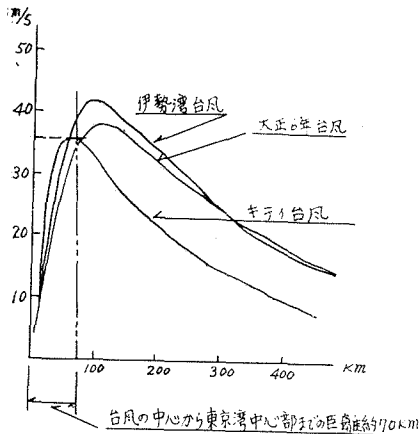
1. 台風が近くを通過する場合。
2. 冬から春にかけて強い低気圧が日本海を通るさい吹きこむ南風。
3. 太平洋岸を東進して鹿島灘で急に発達する低気圧後面の北風。

などが主なものである。表—3<sup>3)</sup>はその一例である。これによると過去において湾域に吹き込んだ暴風は11例中6例までが南寄りの風であり、残余は北寄りの風である。

#### (5) 東京港にいちじるしい高潮を生じた台風とそのときの風向・風速<sup>1)</sup>

東京港に異常潮を生じた台風でよく知られているものに大正6年の台風と、昭和23年のキティ台風がある。図—3は傾度風速(計算)と台風の中心距離との関係を

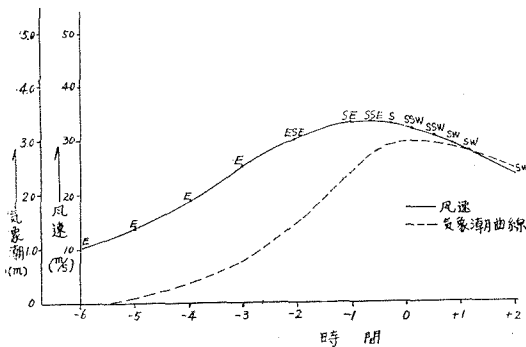
図—3 台風の中心距離と風速分布



これらの台風について示したもので、図から推定すれば東京湾中央部では、およそ 37m/sec の暴風が吹走したことになる。このような風の吹き寄せの結果として、当然港湾前面域の潮位はふくれ上り、さらに台風の近接にともなって負の気圧効果が重畳し高潮をひき起こすに

図—4 東京港前面の風向・風速と気象潮曲線との関係

(伊勢湾台風級の台風がキティ台風のコースをとる場合)



たる。試みに伊勢湾台風クラスの台風がキティ台風のコースをとって東京湾に來襲した場合を想定すると、港湾前面域の風向・風速と気象潮との関係は図—4に示すようになる。これによると気象潮の極値は南寄りの最大風速と位相的にほぼ一致する。

#### 3. 観測の目的と測定要素、観測点の設定

表—4に観測の目的を一括して示した。このための措置としては東京港前面水域の適合した地点をえらび、波浪、潮位、風などの情報を随時適確に把握する必要がある。問題はそこで、

- (1) 観測点の位置
- (2) 測定要素
- (3) 測定の方法と情報伝達的方式
- (4) 情報の処理、OR 計画への情報注入

をどのように実施するかに要約される。著者は予備調査上で種々の考察にもとづいて、ほぼつぎのような決定をした。

表—4

| 観測の区分                           | 波浪・高潮などの観測の目的                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 常時観測<br>(突風・季節風下を主とする)          | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 港湾建設作業 (しゅんせつ、沖土捨て、港内外巡視の参考にする (現防波堤外建設工事など。</li> <li>2. 海上保安の参考 (検査投錨、航路入出港航行、港内考にする (外荷役、その他</li> <li>3. 港湾施設計画 (埋立、護岸、防波堤、けい船岸あ参考にする (いは突堤、その他設計、施工。</li> </ol>                     |
| 異常時観測<br>(台風下を主とする。その他津波の來襲時など) | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 港湾作業の参考にする。</li> <li>2. 海上保安の参考にする。(内湾漁業、操船等)</li> <li>3. 水防の参考にする。(防潮施設管理、水門操作、一般水防作業、その他</li> <li>4. 港湾計画の参考にする。</li> <li>5. 海岸防災施設計画 (防潮堤、水門その他設計施工の参考にする。(防潮方式の決定および吟味)</li> </ol> |

#### (1) 観測点の位置

観測点は St.-1, St.-2, St.-3 の3カ所でおおよその配置を図—2に示した。図の等深線の  $Ap=0^m$  は L.W.-level にとつてある。図からわかるように St.-1~2 は東京湾の S-N 軸上にあり、また St.-1~3 はこれとはほぼ直角な軸上におかれている。2. で明らかなように湾内では N, S-成分の風が頻度、風速ともに最も卓越し、その際フェッチが最大になる。したがって風浪はこのような場合に最もいちじるしく、ことに東京港一帯は S-成分の吹続下にあつては最も強い影響裡にさらされる。St.-1~2 は強風にともなつて港外に押し寄せるこのような波浪の実況、およびその物理構造を波線の軸上で測定しようとするもので、暴風にともなう高潮についてもあわせ考慮している。St.-1~3 は前者と直角な軸上の同時分布を測定できるほか、同じく重要な影響を臨港地帯に与える E-成分の波浪などについても同様に測定ができる。いま風向を S, 風速を 10m/sec, 20m/sec, 30m/sec とし、フェッチを 40km とおいて L.W., H.W., H.H.W. (高潮の場合)、のそれぞれの潮位における風浪の深海波領域の限界  $D \approx \frac{\lambda}{2}$  を求めて見る (Bretschneider 法)

と、およそ図-5のようになる。この場合3個の観測点での波高, 周期は表-5のごとくで, 深海波として計算すれば表-6のとおりである。2つの表を比較すれば St.-1 の波高, 周期にはさしたる差異が認められないか

図-5 深海領域の限界点

○: 干潮時  
 △: 満潮時 L.W+1.8m とする  
 ×: 高潮時 L.W+1.8m+3.0m とする  
 風向: 真南 フェッチ; 40km  
 W: 風速 (m/sec), H: 波高, L: 波長 (m)  
 T: 周期 (sec)

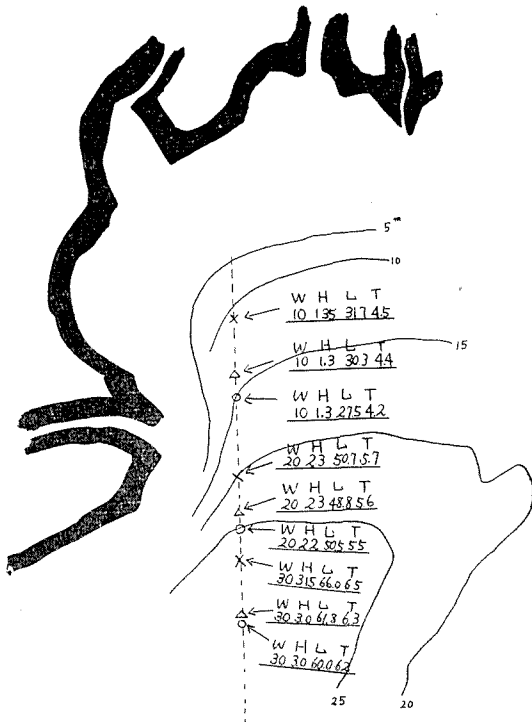


表-5 波浪計設置場所の波

|        | 風速  | St-1 |     | St-2 |     | St-3 |     |
|--------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|
|        |     | 波高   | 周期  | 波高   | 周期  | 波高   | 周期  |
| L.W.   | m/s | m    | sec | m    | sec | m    | sec |
|        | 10  | 1.2  | 4.1 | 1.0  | 3.7 | 1.0  | 3.7 |
|        | 20  | 1.9  | 5.0 | 1.7  | 4.7 | 1.7  | 4.7 |
|        | 30  | 2.5  | 5.8 | 2.4  | 5.6 | 2.4  | 5.6 |
| H.W.   | 10  | 1.2  | 4.1 | 1.1  | 3.9 | 1.1  | 3.9 |
|        | 20  | 2.0  | 5.2 | 1.8  | 4.9 | 1.8  | 4.9 |
|        | 30  | 2.6  | 5.9 | 2.5  | 5.8 | 2.5  | 5.8 |
| H.H.W. | 10  | 1.2  | 4.1 | 1.1  | 3.9 | 1.1  | 3.9 |
|        | 20  | 2.0  | 5.2 | 1.9  | 5.0 | 1.9  | 5.0 |
|        | 30  | 2.8  | 6.1 | 2.6  | 5.9 | 2.6  | 5.9 |

ら, したがって第1近似としてここでは St.-1 の測定値を風浪の深海波領域の値とみなし, 潮位のあらゆる場合を通じて波浪はこの線から岸に向い海底摩擦によるエネルギー消費をともないつつ碎波してゆくものとして扱う。この意味で St.-1 は北側からみて Breaker zone の前縁に位置せしめることになる。かような取扱いについては多少の議論は免れないであろうが, しかし 1, 2 の

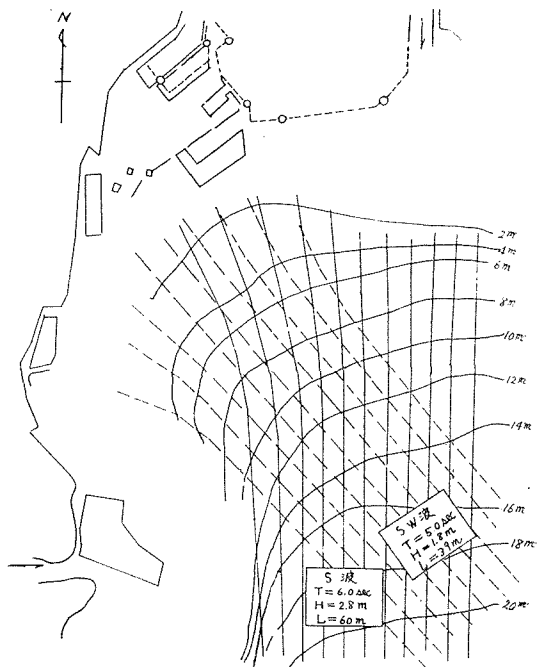
表-6 深海波

|       | 水深   | 波高  | 周期  | 波長   |
|-------|------|-----|-----|------|
|       | m    | m   | sec | m    |
| L.W   | 15   | 1.3 | 4.2 | 27.5 |
|       | 25   | 2.2 | 5.5 | 50   |
|       | 29.5 | 3.0 | 6.0 | 60   |
| H.W   | 15   | 1.3 | 4.4 | 30.3 |
|       | 24.5 | 2.3 | 5.6 | 48.8 |
|       | 31.0 | 3.0 | 6.3 | 61.8 |
| H.H.W | 15   | 1.3 | 4.4 | 30.3 |
|       | 25   | 2.3 | 5.7 | 50.7 |
|       | 31   | 3.1 | 6.4 | 64.0 |

吟味によってもこれから生ずる実際との差異は波高に換算して高々10%の程度にとどまるようである。St.-1 をこれ以上湾の前面に出すことは実際問題として船舶の航行などを考えればむずかしい。

図-6 は S-成分の風浪の卓越波の屈折図で, これによると3個の観測点のそれぞれの水深を定めても相互の配置には上述の測定条件を加味してなお幾分の自由度がありそうである。このことは観測点の実際の設定上に都

図-6 波浪曲折図



合がよく, それは St.-2, St. 3 の位置はほぼ確定しているものの St.-1 の位置については学問上以外の理由でいまだ決定にいたらず恐らく多少の移動も免れないと思われるからである。すでになされているこの付近の波浪の実測にはやや西に偏した東京灯船の目視データが知られている (表-7)。それによると台風にもなった波浪中におよそ 7 m 程度の最大波高が存在するらしい。

外洋から湾内に浸入してくる周期の長いうねりについては, あげた観測点の位置でその保有するエネルギー

表-7

| 風浪階級 | 相当波高    | 1月   | 2月   | 3月   | 4月   | 5月   | 6月   | 7月   | 8月   | 9月   | 10月  | 11月  | 12月  | 計     |
|------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 0    | 0m      | 4.5  | 4.8  | 3.0  | 3.8  | 5.0  | 5.0  | 4.0  | 2.0  | 6.4  | 3.0  | 5.7  | 8.8  | 56.6  |
| 1    | 0.0~0.5 | 36.8 | 31.8 | 41.0 | 36.0 | 39.0 | 33.5 | 33.5 | 28.6 | 35.5 | 29.3 | 33.8 | 44.8 | 423.6 |
| 2    | 0.5~1.0 | 35.5 | 33.5 | 33.8 | 31.3 | 31.5 | 35.3 | 33.8 | 36.2 | 38.1 | 32.9 | 39.7 | 34.0 | 415.4 |
| 3    | 1.0~2.0 | 26.3 | 24.5 | 27.3 | 28.3 | 31.5 | 31.8 | 33.3 | 36.9 | 25.0 | 34.8 | 24.0 | 20.8 | 344.5 |
| 4    | 2.0~3.0 | 14.3 | 11.8 | 11.8 | 12.0 | 10.5 | 10.5 | 12.8 | 14.1 | 11.1 | 14.1 | 12.0 | 9.2  | 144.2 |
| 5    | 3.0~4.0 | 4.8  | 5.0  | 5.0  | 4.3  | 4.5  | 3.5  | 5.5  | 4.6  | 2.5  | 6.3  | 4.1  | 5.2  | 55.3  |
| 6    | 4.0~6.0 | 2.0  | 2.0  | 1.5  | 4.3  | 1.3  | 0.3  | 1.0  | 1.1  | 1.8  | 2.0  | 0.7  | 0.8  | 18.8  |
| 7    | 6.0~9.0 | —    | —    | 0.8  | 0.3  | 0.8  | 0.3  | —    | 0.8  | —    | 1.0  | —    | —    | 3.4   |

東京江船における月別波浪階級観測回数(干潮時水深 11 m) (昭和29年~33年まで1日4回観測の5カ年平均)

表-8

| 観 測 点     | 設 置 方 式           | 情報の伝達方式                  | 設 置 機 器                   |   | ケーブル長                   | 陸上観測室との直距離 |
|-----------|-------------------|--------------------------|---------------------------|---|-------------------------|------------|
| St.-1     | a 海 底 設 置         | 海 底 ケーブル                 | MR-Mark Ⅲ 型波浪計            | 1 | 陸 上 800 m               | 7.5 km     |
|           |                   |                          |                           |   | 海 底 7.4 km              |            |
|           | b 浮 船 上 に 設 置     | 記 録 計 直 結                | MR-Mark Ⅲ 型波浪計<br>(風向)風速計 | 1 | 海 底 100 m               |            |
|           |                   |                          | MR-Mark Ⅲ 型波浪計<br>(風向)風速計 | 1 |                         |            |
|           | c 海 中 タワー 上 に 設 置 | 海 底 ケーブル                 | MR-Mark Ⅲ 型波浪計            | 1 | 陸 上 800 m               | 7.5 km     |
|           |                   |                          | 風向・風速計<br>水位計             | 1 | 海 底 7.4 km              |            |
| 無線テレメタリング |                   | MR-Mark Ⅲ 型波浪計           | 1                         |   | 7.5 km                  |            |
|           |                   | 風向・風速計<br>水位計<br>(流向流速計) | 1                         |   |                         |            |
| St.-2     | 海 底 設 置           |                          | MR-Mark Ⅲ 型波浪計<br>水位計     | 1 | 陸 上 800 m<br>海 底 5.2 km | 5.3 km     |
| St.-3     | 海 底 設 置           |                          | MR-Mark Ⅲ 型波浪計            | 1 | 4.3 km                  | 4.3 km     |

一はもはや微少であるとしてここでは無視している。城ヶ島、剣崎などでおよそ 10m 近い波高のうねりが横浜港の近傍で 0.1m 程度(エネルギー換算~1/100)に減衰しているといわれる事実<sup>2)</sup>からして、湾内の卓越波を考える場合、ほとんどの波浪に比して問題にするに足らないと思われる。

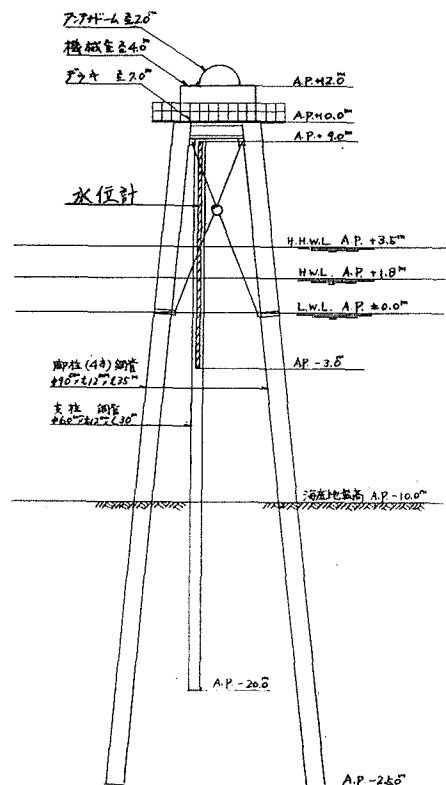
### (2, 3) 測定要素と測定方式

表-8 に各観測点の測定要素と測器、情報伝達的方式を一括して示した。St.-1 に3つの区分があるのは、2, 3の理由で実行案がいまだ決定していないためで、たとえばケーブル方式によれば海底ケーブル布設にともない漁業権の補償問題、船舶の投錨その他による障害の問題など派生の可能性があり周到な配慮が必要になる。タワー方式によって無線テレメタリングを用いればこの種の支障が免れるにしても建設費などで別の困難が生ずる。図-7 は仮に海中タワー方式による場合必要な規模、構造の概要を例示する。また図-8 は St.-2 で用いる水位計装置を固定する海中マウンティングの概要を示す。表-9 はこれらの設計条件をまとめたものであるが、ただし実際

表-9

| 設計条件    | St.-1                   | St.-2                   |
|---------|-------------------------|-------------------------|
| 海底地盤高   | A.P. -10.0m             | A.P. -5.0m              |
| 平均満潮面   | A.P. +1.8m              | A.P. +1.8m              |
| 高潮時静水面  | A.P. +3.5m              | A.P. +3.5m              |
| 周期      | 5 sec                   | 5 sec                   |
| 波高      | 7m                      | 5m                      |
| 波長      | 38m                     | 35m                     |
| 波速      | 7.7m/sec                | 7.1m/sec                |
| 風速      | 50m/sec                 | 50m/sec                 |
| 鋼管許容応力度 | 1 400kg/cm <sup>2</sup> | 2 100kg/cm <sup>2</sup> |

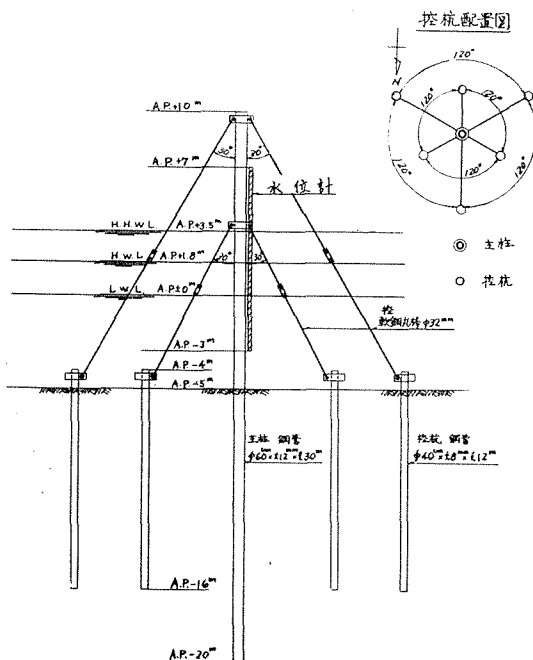
図-7 St-1 塔柱想定構造図



の基礎構造や施工法などについては入念な底質調査にもとづいて改めて吟味をしなければならない。

St.-1 にタワー方式を用い無線テレメタリングをおこなった場合、他の測点の情報をあわせて少なくとも次の

図-8 St-2 水位計取付柱構造図



事柄が容易に期待できるであろう。

a) 水防上に不可欠と考えられる東京港前面域の潮位、波浪、風などの実況データが随時掌握できる。これらは適宜なデータ処理をえたのち、必要目的に応じそのOR計画に注入ができる。

海岸工学や海洋学上から見てこれらのデータは興味ある情報をいくつかふくんでいる。すなわち、

b) St.-1, -2, -3 で同時観測した Under water waves のデータを用いると、ゆるい海底勾配をもつ Breaker zone での波浪のエネルギー消費、パワースペクトラムの転移、それらの時間的な変化などがわかる。また波浪の2次元スペクトラムについても有益な知見がえられるはずである。

c) St.-1, St.-3 の水位計データから絶対水位、平均水位（潮位）、Surface waves が測定できる。これを Under water waves の測定値と比較することによって、いわゆる hydraulic reduction coefficient（換算係数） $r$  についての詳細な知見がえられる。いろいろの条件下で  $r$  を精密に調べることは一般に困難とされているが、ここでは  $r$  の空間分布もあわせて追求することにより実用上いつも問題にされる  $r$  の物理的性質を立入って究明できる。

d) St.-1 は陸岸から8km以上隔離した海上にあるから地形の影響のない海面上の風の構造が精細に測定できる。測風レベルを細分化すれば現在なお明白になっていない海上の風の Vertical profile の究明ができる。

#### (4) データ処理, OR 計画への情報注入

本項についてはなお検討中の点が多く、また紙数の都

合もあるので第2報以降で改めてふれたい。

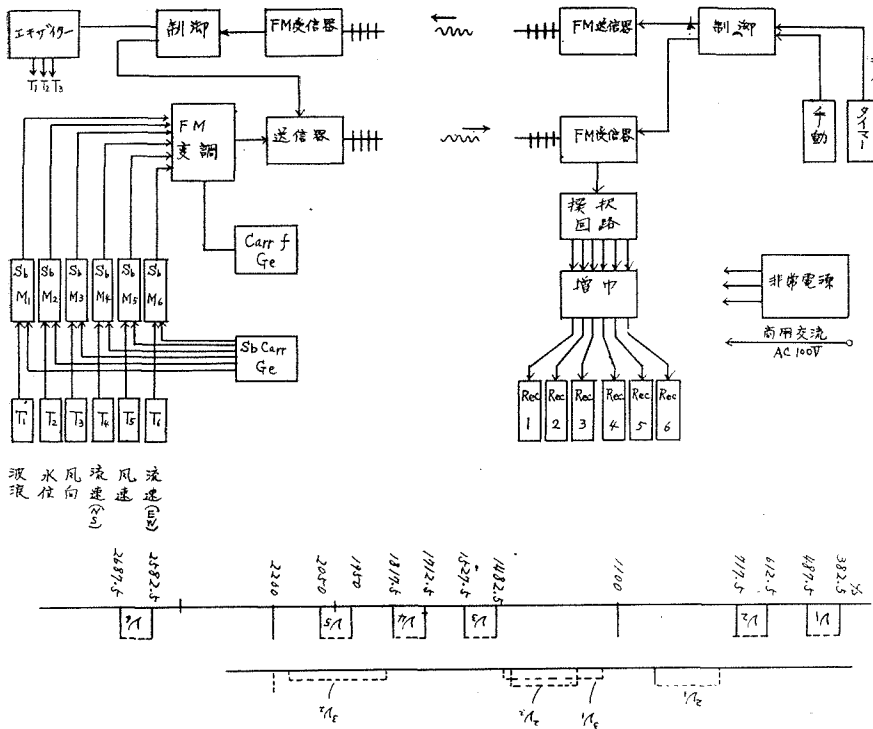
## 4. 測定法, および測定装置

ここで行なう測定はおもに荒天時に限定し、1回の測定は原則として毎時0~10分連続に諸要素を自動観測する。しかし異常時——高潮が予想される場合や津波警報の発令下などには必要に応じ長時間連続観測する予定である。諸要素の観測時間を10分間に決めた理由は次の根拠にもとづいている。すなわち風の吹走距離が外洋にくらべ、はるかに短い東京湾内では波浪の周期はたかだか6秒に止まり、外洋のおよそ1/2でおもむきをいちじるしく異にしている。波浪の統計上に必要な波数は一枚の波浪データ上で約100個で、観測時間に換算すれば20分間（外洋）、もしくは10分間（内湾）連続に相当する。この点は従来外洋の波浪の観測上で20分間のデータ長が必要といわれていたことと一致し、また最近スペクトラム安定度とデータの測定時間長についての吟味<sup>7)</sup>からもある程度確かめられている。東京湾の場合、前述のように湾奥に浸入する外洋のうねりのエネルギーは場の風浪のエネルギーに比し無視できるから、湾内の短周期の波浪の測定では連続10分間のデータによっても十分その物理特性の究明はなしうるはずである。実際1959年~1961年にかけ東京湾第2海堡で行なわれた“東京湾の波浪の研究”上でこの点が明らかにされている<sup>7)</sup>。また同じ研究上で、湾内を吹走する風と風浪との Response がおよそ30~40分くらいの time constant で支配されている事実が判明している<sup>8)</sup>。これによればかような内湾の風浪は発生→消滅に至る消長過程の時間変化がおどろくほど外洋よりはよいことが特異で、変化がこのように早い場の波浪の実況とそれの物理構造を適切にとらえる上からは、むしろ外洋の1/2の時間間隔で Sampling すること、つまり少なくとも毎時間の測定の必要がここで結論できる。波浪以外の要素についてもいろいろの便宜上から、上の測定基準を準用することにした。

3個の観測所で用いる測器には種々あるが詳述の余裕がないので細部は後報にゆずり、新たに考案した装置および全体の基本になる装置について一端をのべておく。

図-9はタワー方式による St.-1 の波浪・高潮用超短波無線テレメタリング装置のブロック図である。全体は陸上局は海上（無人）局とからなり、陸上が必要に応じ海上を呼び出して遠隔自動測定できる Call-telemetering system を採用している。測定要素は6で、FM方式による周波数分割多重回線を用い、デジタル伝送方式で全要素の同時測定をおこなう。このようにする理由はたとえば時分割方式によるとデータの情報量からきまる Sampling rate の関係でいちじるしく高い標本パルス周波数が必要になり、極端に広い伝送帯域巾の電波が必要になるからで、また所与の測定精度を安定に系外から

図-9



の外乱に対し維持するためにはアナログ伝送では不可能だからである。波浪の測定を無線テレメタリングした実例は著者の知るところではまだないに思われ、したがって経済性その他を考慮して既存の技術に立って十分確実にこれを実現するにはこのような方向を取らざるをえない。図について動作の概要をのべると、

1. 常時は陸上局は休止し海上局の FM 受信器のみ待機状態にある。
2. 陸上局のタイマー スイッチ装置 (定時測定)、もしくは手動スイッチ (不定時測定) が投入されて一次電接回路を閉じ測定指令が与えられると、制御装置がトリガーして送、受信器および 6 台の記録装置が一斉に起動し陸上局はおおよそ 30 秒内で予熱をおわって測定動作状態にはいる。つづいて FM 送信器から一定の Call sign 信号が自動的に送出される。
3. 海上局の FM 受信器はこの信号を受けるとその出力で制御装置をトリガーする。それによって制御装置はエキサイター装置、FM 送信器、および付属装置の動作スイッチを投入し、おおよそ 30 秒内で海上局を測定動作状態におく。
4. トランス デューサー  $T_1 \sim T_6$  はエキサイター装置から励起電力をうけ、 $T_4 \sim T_6$  は自己発電型であるからそれを要しない。 $T_1 \sim T_3$  は、それぞれ現象入力に応動(常時)しているが測定開始と同時にそれらのアナログ出力信号を副変調器 Sub  $M_1 \sim$  Sub  $M_6$  に供給する。
5. 副変調器にはそれぞれ定まった周波数の Sub-ca-

rier wave が供給される。副変調器は Analog-to-Digital 変換器を蔵し、トランス デューサーからの信号を周波数分割化したディジタル信号に変換する。

6. この 6 個のディジタル信号は FM 変調器に加えられる。FM 変調器は 400 MC 帯の搬送電波を 6 個の副搬送波で FM 変調し電力増中したのち指向性送信アンテナから発射する。アンテナの高さは平均海面上約 14m、アンテナの送信電力は 2 W くらいで、見通し距離 15km 以内の海上通信がこれで可能である。

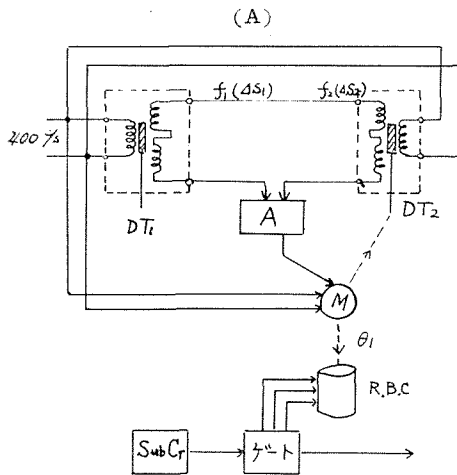
海上局の器機はトランス デューサー以外は全部トランススター化され、特に常時待期する受信器は低電力動作を骨子として設計される。全体の電源はタワー上に装備した DC 24 V, 2 000 AH 空気湿電池 1 組、またはこれに準ずるものを用い、24 時間連続動作に換算しておよそ 20 日間の測定が維持できる。

7. 陸上局の FM 受信器は到来電波を復調し、検波回路で 6 個の副搬送波に分離し D-A 変換ののち前記の  $T_1 \sim T_6$  の出力信号と同じ電気信号を発生する。これは記録計 Rec. 1  $\sim$  Rec. 6 で現象曲線データとして自記記録される。

8. 陸上局の測定指令回路を off にすると一次電接回路が開かれ、その際リセット パルスが生じてこれが FM 送信器内のリセット信号発生器をトリガーし、これによってリセット信号が送信器から発射される。送信器その他は制御装置の自己保持回路によってリセット信号送出の終るまで保持されたのちリセットし、陸上局は休止する。

海上局はリセット信号によって最初の状態にリセットし、測定を終了する。

無線テレメータ装置から波浪測定素子の主要部を取り出すと図-10 のようになる。これはすでにしられている電気式波浪計 MR-Mark III を無線テレメータ化したもので、水位その他の測定素子についてもこれと似た方法がとられている。図-10(A)は海上局のそれを示し、装置は  $T_1$ 、A-D 変換、Sub  $M_1$  の 3 ユニットからなる。



図の  $DT_1$  は Mark III 受圧装置内の差動変圧器式変換器をあらわし、同じ装置内の hydraulic highpass filter 装置に結合されて 0 点のまわりで入力圧力信号 (波浪)  $\pm JP(\omega)$  に比例して微小変位し、変換器の鉄心の変位  $\pm JS_1$  に比例した電圧を生ずる。この出力電圧  $f_1(\Delta S_1)$  は大きさのほか入力の波浪の位相に対応した符号ももっている。

いま  $DT_1$ -2 次コイルに直列に差動変圧器  $DT_2$ -2 次コイルをつなぎ、コイルの他端を図のようにサーボ増巾器 A に加えて  $f_1(\Delta S_1)$  を増巾、その出力でサーボモーター M を駆動して、これに連動する  $DT_2$  鉄心を微動せしめ増巾器 A の入力を 0 位平衡させる。 $DT_2$  鉄心の変位を  $\pm JS_2$ 、0 位平衡時のモーター回転角を  $\theta_1$  とすれば、

$$\pm \Delta S_2 = \pm k_1 \theta_1; k_1 = \text{const (器械常数)} \dots (1)$$

この場合平衡条件、

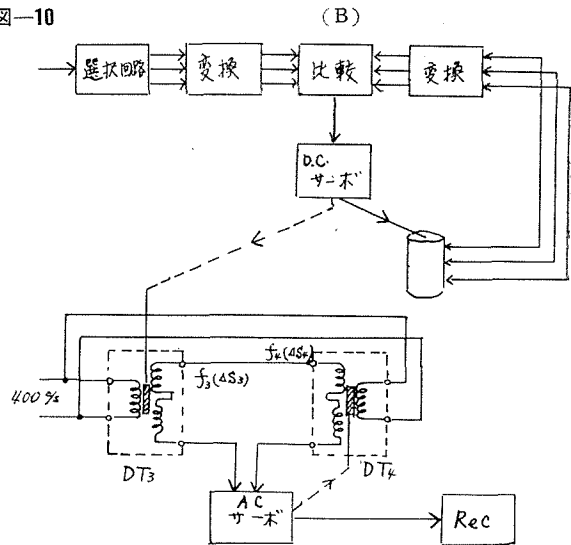
$$f_1(\Delta S_1) = f_2(\Delta S_2) \dots (2)$$

が成り立つ。連続追尾サーボ系であることから条件式 (2) は任意時刻  $t$  について成立する。さて M の回転軸に  $n$  単位 Binaly code disc を取付け、これに接触する刷子によって時刻  $t$  の軸回転角  $\pm \theta_1$  を電氣的に検出する。その値を  $X(\theta_1)$  とすれば、 $X(\theta_1)$  は  $n$  ビットのデジタル標本量で与えられる。ただし  $(n-1)$  ビットの 2 進数字で  $|\theta_1|$  をあらわし、残りの 1 ビット 2 進数字で回転の向き (±) を表示する。たとえば  $n=8$  ビットとして、

$$\pm \theta_1 \left\{ \begin{array}{l} \text{回転の向き: } \left\{ \begin{array}{ll} \text{右まわり (+)} & \rightarrow 1 \\ \text{左まわり (-)} & \rightarrow 0 \end{array} \right. \\ \text{回転の大きさ: } \left\{ \begin{array}{ll} 0 \sim 360^\circ & \rightarrow \begin{array}{l} 0000000 \\ 1111111 \end{array} \end{array} \right. \end{array} \right\} X(\theta_1)$$

に対応させれば  $\theta_1$ 、したがって  $JP(\omega)$  の検出誤差は

図-10



$$\varepsilon = \left\{ \sum_{m=0}^{m=7} \binom{1}{0} \cdot 2^m \right\}^{-1} \approx 0.8\% \text{ full scale}$$

程度になる。すなわち波浪計のトランスデューサー  $DT_1$  の出力は 0.8% の精度でアナログ信号からデジタル信号に変換され、このデジタル標本値が時刻  $t$  の Under water wave の情報を与える。使用する符号器には Reflex binaly code を用いて  $X(\theta_1)$  が常に 1 値に定まるようにする。

情報  $X(\theta_1)$  は Sub  $M_1$  のゲート回路に加え、ゲートの他端子に副搬送波を Sub carr. Ge-1 で与えて論理演算 AND をおこなう。ここで副搬送波  $\nu_1$  はたとえば 382.5c/sec  $\sim$  487.5c/sec の帯域にまたがり、13c/sec 巾に分割されて、そのおのおのが前記の 8 ビットに配分されている。 $\nu_1$  の elementary band のおのおのは  $X(\theta_1)$  をあらわすいずれか 1-digit に当てられるから、結局 AND-operation によって対応 digit の状態 1、または 0 にしたがって on、もしくは off される。ゆえにゲート回路出力からは  $X(\theta_1)$  で変調された副搬送波  $\nu_1$  がえられ、それは情報量 8 ビットをふくむデジタル信号になっている。この  $\nu_1$  は他の測定素子の情報をふくむ副搬送波  $\nu_2 \sim \nu_c$  と一緒に主変調器に送られ、搬送電波を FM 変調し送信器から発射される。

B-図は同じ素子に関する陸上局側の装置で、受信後復調した副搬送波  $\nu_1$  は図の撰択回路で 8-channel の elementary band に分割される。この信号は Reflex binaly code の情報であるからこれを通常の binaly digit に逆変換し比較回路に加える。

比較回路は一種の引き算回路で、同時に与えた 2 つのデジタル量  $X(\theta_1)$ 、 $X(\theta_2)$  について演算、

$$X(\theta_1) - X(\theta_2) = \pm \varepsilon$$

をおこなう。そしてこの剰余出力  $\pm \varepsilon$  を図のように DC サーボ系に加え、剰余があればその符号の向きにサーボ



モーターを駆動する。いま DC サーボモーターの回転軸に Reflex binary code disc を取付けて軸の角位置  $\theta_2$  をデジタル量  $X(\theta_2)$  で検出し、これを通常の binary digit (8ビット) に逆変換して比較回路の他の入力端子に入力情報  $X(\theta_1)$  と比較する。こうすると DC サーボは、

$$X(\theta_1) = X(\theta_2) \dots\dots\dots (3)$$

の場合に自動平衡し、回転角  $\theta_2$  を与える。したがって図のように DC サーボに連動してこれに結合した DT<sub>3</sub> の鉄心を  $\pm JS_3$  変位せしめれば、

$$\pm JS_3 = \pm k_2 \theta_2; k_2 = \text{const} \dots\dots\dots (4)$$

が成り立つ。DT<sub>3</sub>, DT<sub>4</sub> を図のように AC サーボ増巾器入力に加えて、その不平衡出力で DT<sub>1</sub> 鉄心を偏位させ、増巾器入力を 0 位平衡すると  $JS_3$  を連続追尾せしめれば平衡条件 (2) と同様に、

$$f_3(JS_3) = f_3(JS_1) \dots\dots (5)$$

が成り立つ。したがっていまテレメータ回線の送・受端側の接続条件として、

$$\theta_1 = \theta_2 \dots\dots\dots (6)$$

を与え、また送・受端の coder の接続条件を、

$$f_2(JS) = f_3(JS)$$

$$\text{または、} k_1 = k_2 \dots\dots (7)$$

ならしめれば式 (5) から、

$$f_1(JS_1) = f_2(JS_3) = f_2(JS_2) = f_1(JS_1)$$

$$\therefore f_1(JS_1) = f_1(JS_1) \dots\dots (8)$$

すなわち条件 (6), (7) が満たされる限り情報伝達路の関数形が何であってもそれには関係なく出力  $f_1(JS_1)$  は一義的に入力  $f_1(JS_1)$  に一致する。いいかえれば DT<sub>1</sub> 鉄心の変位  $JS_1$  を連続追尾することにより現象入力 (波浪) の情報信号  $JS_1$  を忠実に測定なしうる。

波浪計 MR-Mark III は一定周波数のエキサイター電源を必要とし、送受端で常にその周波数の位相を Matching させる必要がある。

このため上述の方法によらなければ必ず同期信号用の伝送帯域を 1-channel 要し、この同期信号によって海上局と陸上局の 2 つのエキサイター電源を同期せしめねばならない。これは実際問題としてはなほだ厄介である。

図-11 は 6 個の測定要素の伝送に用いる副搬送波

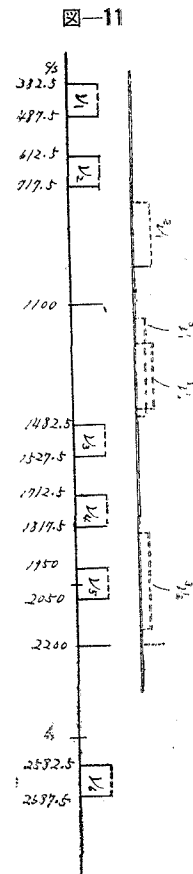
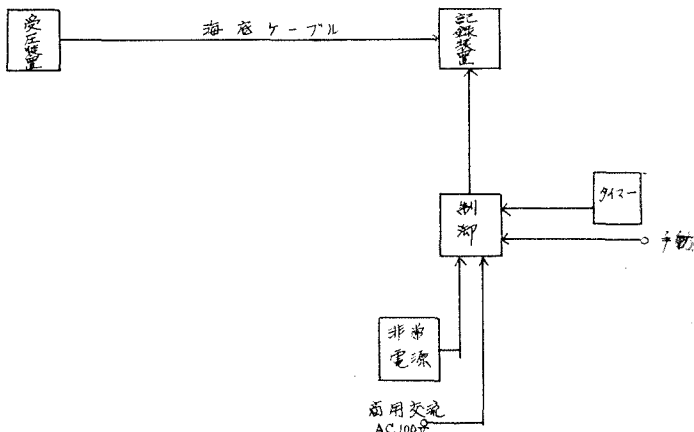


図-11

図-12

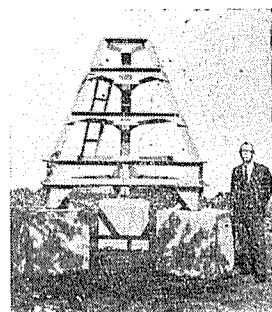
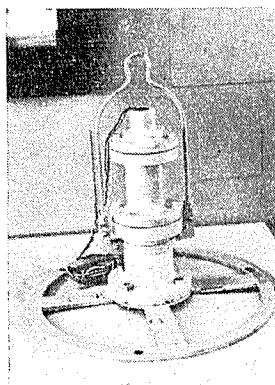


$\nu_1 \sim \nu_6$  の周波数スペクトルで  $\nu_1 \sim \nu_6$  がその基本波、 $2\nu_1, 3\nu_1$  などは  $\nu_1$  の第 2, 第 3 高調波をあらわす。

図-12 は 3 つの観測点でいずれも用いる基本測器の 1 つである電気式波浪計 MR-Mark III のブロック図で、タイマー装置もしくは手動による指令で遠隔自動測定ができる。写真-1 に示す受圧装置をトライボード頂部 (写

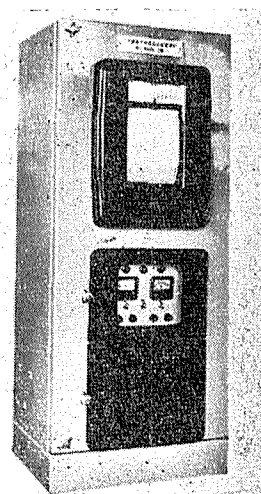
写真-1

写真-2



真-2) に固定して所定の海底に mounting し、受圧装置と記録装置 (写真-3) とを波浪計用海底ケーブルでつなぐ。ここで用いるトライボードは全高 3m (水中重量 2.5t)、および全高 1.5m (水中重量 1t) である。これらの測定装置ならびにその設置方法は気象研究所で開発された一連の方式をすべてそのまま用いている。なお電気式水位計は測定素子として本計画中でも重要なものになってい

写真-3



るが、これについては著者の一人<sup>9)</sup>により新しい考案がなされていて特許申請の運びになっているので今回は説明を省略する。

## 5. 結 言

本報告では波浪、高潮についての東京湾の特性をのべ特に東京港の臨港地帯に影響をおよぼすこれら水象の適確なる測定に必要な条件を明らかにした。またその立地条件ならびに測定目的の特殊性に照して必要とされる測定方法および器械の概要について述べた。特に新しく付加されたものとしては、波浪測定上に Call system による無線テレメタリング化の方法を導入したこと、および波浪計 MR-Mark III をデジタル伝送化する有力な方法の一つ明らかにしたことである。なお本計画は実施段階において二、三の制約のもとで幾分の修正もありうると考えられる。

おわりに観測点の位置選定その他に関し有益な助言をよせられた気象研究所 海洋研究部 宇野木早苗博士、ならびに建設省土木研究所海岸研究室長 細井正延氏に御礼申しあげる。

## 参 考 文 献

- 1) 東京湾の波浪：横浜地方気象台編(1960) 日本海難防止協会発行
- 2) 東京港付近の風と波：昭和28年9月  
運輸省第2港建京浜港工事事務所  
運輸省技術研究所港湾物象部
- 3) 1) に同じ
- 4) 東京湾高潮の総合調査報告：昭和35年10月 気象庁・東京都
- 5) Revision in wave forecasting: deep and shallow water. Bretschneider, C. L. Coastal Engineering, Dec. 1957.
- 6) 降旗：(1959), 日本海洋学会年会報告, (未刊).
- 7) 東京湾の波浪研究グループ：東京湾の波浪の研究(未刊).
- 8) 同上
- 9) 降旗：特許申請中, (1961年7月)