

28. 東京湾口、剣崎における波浪観測 (序報)

地震研究所 {高橋龍太郎
羽鳥徳太郎

(昭和 37 年 6 月 26 日発表—昭和 37 年 6 月 30 日受理)

1. 緒 言

風浪が湾内に侵入したとき如何に減衰伝播するかの基礎的資料を得るために、筆者らは May, 1959 以来静岡県御前崎沖¹⁾において波浪観測を行つてきたが、更に 1959 年伊勢湾台風後、高潮の防災的見地から湾口での波浪と湾奥の水位との関係を調査する目的で東京湾入口に位置する、神奈川県剣崎灯台下の海岸に波浪計を設置した。(Fig. 1, 2)

波浪計の製作は、昭和 35 年度文部省機関研究“高潮の研究”による研究の一環として行われた。本計器は遠隔記録方式であり、記録部分を第三管区海上保安本部灯台部の御好意で、剣崎航路標識事務所内に設置した。観測施設を Fig. 18 に示す。

観測は Apr. 20, 1961 に開始され、現在も継続中である。この間 1 年にわたる観測成果並びに、いくつかの記録の解析を試みた。

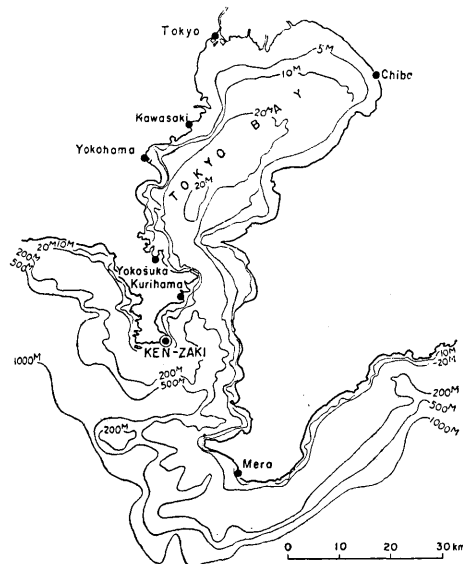


Fig. 1. Map of Tokyo Bay.

1) 高橋龍太郎・羽鳥徳太郎「静岡県御前崎沖(御前岩)における波浪観測(序報)」地震研究所彙報 39 (1961), 351.

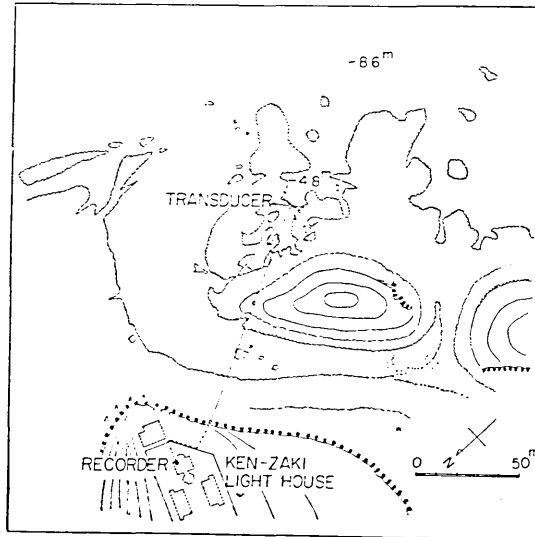


Fig. 2. Map illustrating the installation at Kenzaki.

2. 波浪計

本計器の主要構造は電気変換器および記録器から成り、Fig. 3 に示すようである。波浪は海岸に立てられた3吋鉄管下部の穴よりペローに圧力を伝え、ペローの伸縮は挺子により倍率をかけられ、その変位によりロートルクのポテンショメーターの軸を、同軸上の

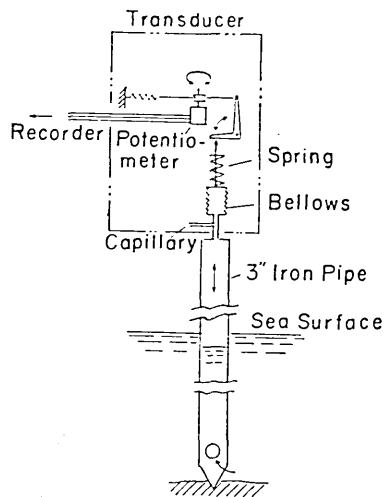


Fig. 3. Outline of the wave recorder.

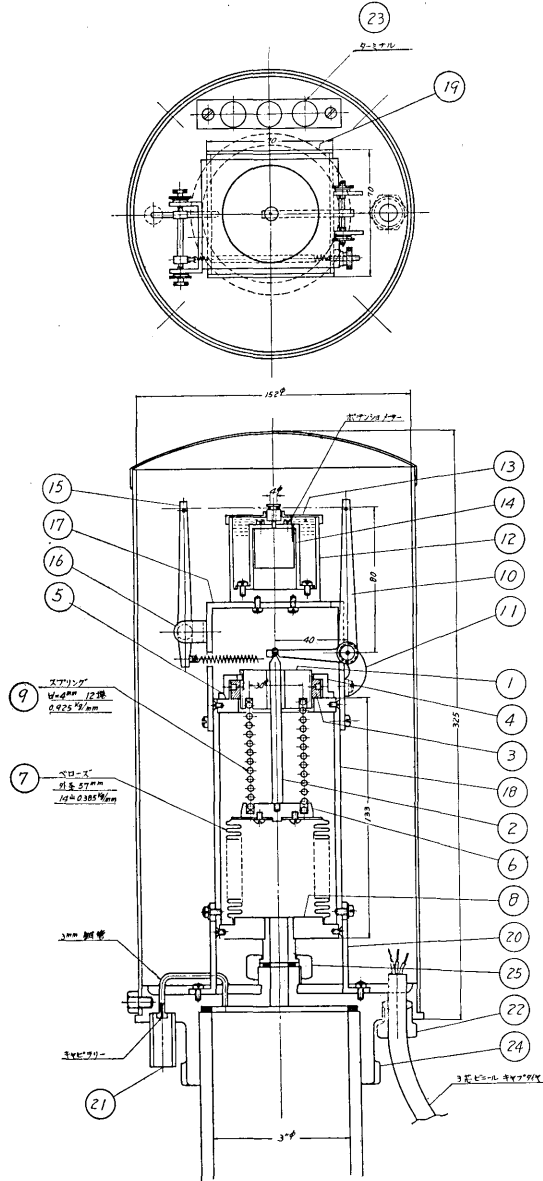


Fig. 4. Detail of the transducer

滑車に巻付けたナイロンテグスで回転せしめる。これによつて圧力変化を電気信号に変換し、3芯キャブタイヤーコードにより記録電流計に導き、記録せしめる。鉄管とペローの間にはキャピラリーチューブを設け、潮汐の影響をとりのぞくようにしてある。

波浪計の据付け方法

長さ 11.6 m の 3 吋鉄管の据付けは、まず渡架用 5 吋鉄管に U ボルトで緊結して垂直に立て、両鉄管は更に 8 mm ワイヤロープによつて四方に張られている。

鉄管の設置箇所は巾 10 m 程の狭い岩盤の割目で、M.S.L. 下 4.75 m の水深を有している。変換器は海面上約 7 m の 3 吋鉄管頂上に取り付けたので、高潮時でも直接波浪が変換器にかかることはない。また 3 芯キャブタイヤーコードの配線は 8 mm ワイヤロープを空中架線し、これに沿わせて灯台屋舎に導いた。

電気変換器

原理は前述したが明細図を Fig. 4 に示す。ペローは外径 57 mm, 14 山剛度 0.385 kg/mm で希望の感度を得るため補助巻巻バネとして 4 mm ピアノ線, 12 巻剛度 0.925 kg/mm のものを使用, ポテンショメーターはトルク 1 gr-cm, 内部抵抗 600 Ω のものを油入シリンダー内に装置した。

記録器

記録は煤書のドラムに記録し、ドラムの 1 回転に対し記録計針先が横に 12 mm ずつ移動する。駆動にはワーレンモーター A.C. 100 V, 6 R.P.M. を使用, 記録電流計は市販の内部抵抗 1.2 K Ω , 0.5 mA で 20 mm 振れるものを使用し、特に制御バネを強くする改造をほどこした。構造の明細は Fig. 5 に示す。

電圧変動に伴なう測定感度並びに回転変化を防ぐため FR 型定電圧装置を内蔵する。Fig. 6 に配線図を示す。この他本器は後述の如き特殊歯車を使用して、ドラムの回転速度を 2 段に自動的に切替え、早や送りの記録を得るために工夫されているのが特徴である。

記録感度

ドラムに記録される振幅 1 mm は実際の海の波高で 17 cm に相当する。しかし台風などで波浪の高まつた時は切替スイッチで、この感度を 1/3 に切替え得ることができる。これにより波高は最大 4 m を記録し得る。Fig. 7 に感度特性を示す。

記録の送り速度

記録紙の交換は 1 日 1 回であるが、後述の特殊歯車により円周 60 cm のドラムが 10 分間で半回転、のこりの半回転に 50 分要して、ドラムの 1 回転は 1 時間のようになっている。従つて記録の送り速度は 1 時間の内、10 分間は 30 mm/分、50 分間は 6 mm/分である。このため前者で波浪の波高および周期が、後者で波高が読み取り得る。

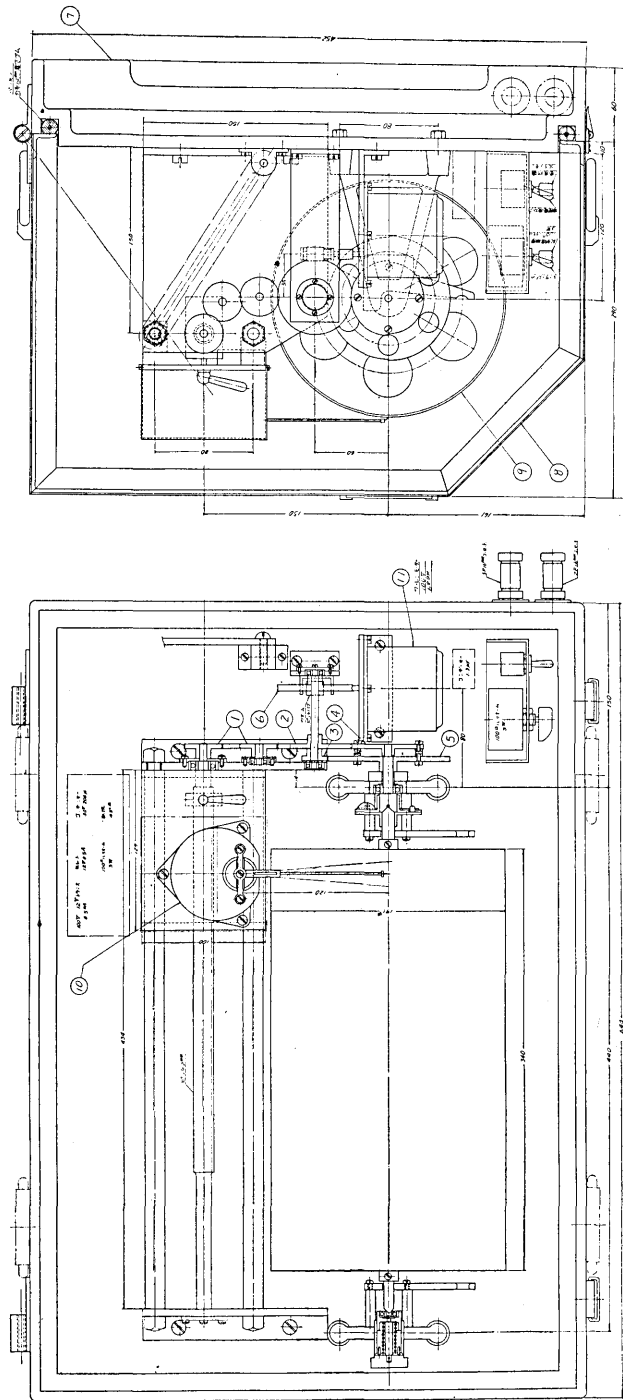


Fig. 5. Detail of the recording part.

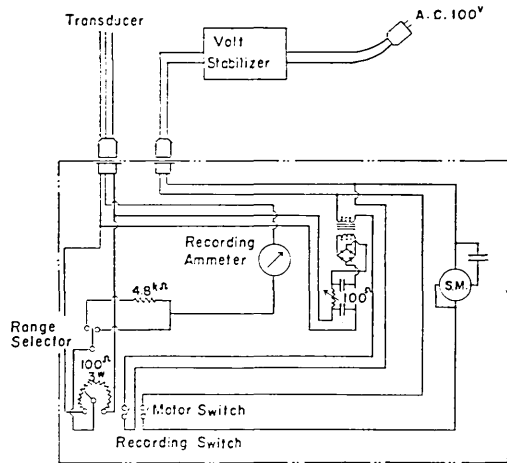


Fig. 6. Circuit of the recorder.

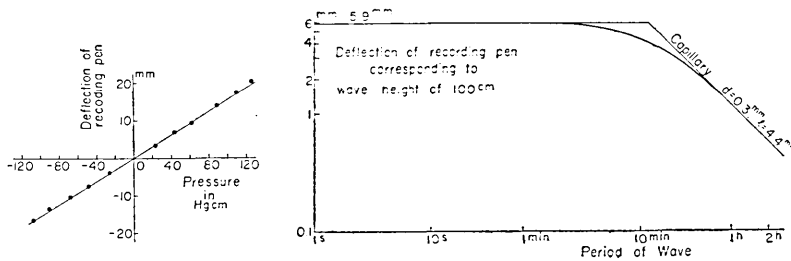


Fig. 7. Sensitivity curve of the recorder.

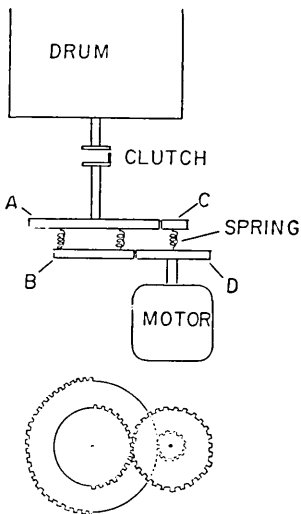


Fig. 8. Mechanism for changing the recording speed.

回転の交換機構は Fig. 8 に示すごとく、ドラムを駆動する A, B 2 個の従歯車は夫々半周のみ歯のあるものを 2 枚交互に組合せ、C, D 主歯車の回転により、A, B 歯車が交互に噛合いドラムを駆動する。換言すれば A と C が噛合うときは、B, D は遊び、B, D が噛合うときは、A, C は遊び、4 個の歯車が同時に噛合うことがない。従つてドラムの回転速度は観測中連続に自動的に切替わり、記録紙の交換に際し歯車の任意位置で起動してもドラムの駆動に影響をおよぼさぬ。Fig. 21 はこの速度交換部分の記録例を示し、記録を裏側から撮つたものである。

A, B 歯車の工作に当つて、噛合の始まる 2 枚程の歯形までは、噛合を行いつつ徐々にすり合せて工作する。また A と B および C と D との歯車は

スプリングで連結し、切替時の多少の無理を吸収できるようにした。

この速度変換装置は機構学的には多少無暴であるが、装置は極めて簡単でこの程度の速度並びに伝動力では結果は極めて良好で、観測期間が1年有余になるが駆動による故障はなかつた。磨耗による影響は今後の問題である。

3. 剣崎における1年間の波浪概況

剣崎で May, 1961—Apr. 1962 の1年間にわたる波浪観測記録から、波高1m以上観測された日を Table 1 に示す。表中には台風の影響による波浪も含まれる。

Table 1. Dates when wave height was observed at Kenzaki to be higher than 1 m during the period from May 1961 to Apr. 1962.

Date of Max. Wave Height		Weather at Tokyo	Period of rough sea	Note	
1961	May 12	☀	May 11—12		
	29	☀	May 28—29		
	June 4	☀	June 4—5		
		27	☀	26—27	Typhoon No. 6
	July 30	☀	July 29—31	Typhoon No. 10, 11	
	Aug. 17	☀	Aug. 16—17	Typhoon No. 15	
		26	☀	25—27	
	Sep. 16	☀	Sep. 13—16	No. 2 Muroto Typhoon	
		29	☀	28—29	
	Oct. 1	☀	Sep. 30—Oct. 4	Typhoon No. 23	
		9	☀	Oct. 8—9	Typhoon No. 24
		27	☀	26—27	Typhoon No. 26
Nov. 12	☀	Nov. 9—14	Typhoon No. 28		
	28	☀	28		
Dec. 5	☀	Dec. 5			
1962	Jan. 2	☀	Jan. 1—3		
		19	☀	19—20	
		28	☀	27—29	
	Feb. 11	☀	Feb. 10—12		
		19	☀	18—19	
		20	☀	20—21	
	March 7	☀	March 7		
		15	☀	15—16	
		21	☀	21	
		27	☀	26—27	
Apr. 3	☀	Apr. 3—4			
	10	☀	10		
	23	☀	22—23		

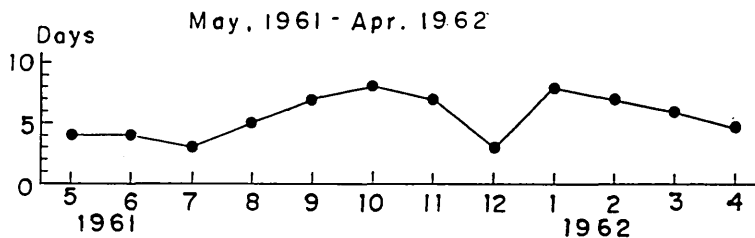


Fig. 9. Days in one month when the wave height exceeded 1 meter.

この表から1年間、1 m以上の波高が観測された月別の瀬度日数を示したものが Fig. 9である。

観音崎において過去5年間(1954-1958)にわたる、波浪目視観測の資料²⁾から波浪階級4以上の月別回数と剣崎の観測を比較すると、年間の波浪状況は類似した結果が得られた。即ち Fig. 9に示すごとく1月と10月にピークが表われ、前者は冬期の低気圧、後者は台風による影響と思われる。また5月-7月が最小を示すことも同一結果となつた。

4. 台風時の波浪

1961年における本邦を襲つた高潮の中で、Sep. 16の第2室戸台風が京阪地域に多大の被害を与えたことは衆知の通りであるが、同期間中東京湾では顕著な高潮はなかつたこと、並びに本邦沖を通過する台風で剣崎の波浪が高まることは Table 1で示した。

次に第2室戸台風の際、剣崎の波浪は数日前から波高が高まり、(Fig. 10に13日8h-16日7h間の毎時の最大波高を示す)高潮時は不幸にして器械の故障で欠測したが、それまでの波高および周期の推移を調べてみた。

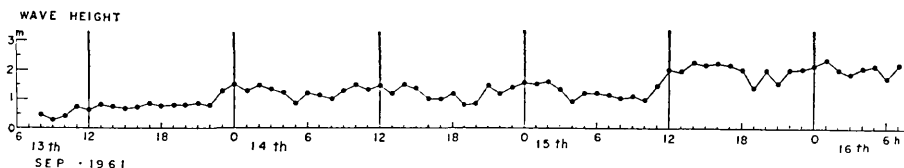


Fig. 10. Wave height observed at Kensaki during the second Muroto typhoon of Sept. 16, 1961.

まず上期間の観測から6時間ごとに4分間の記録 (Fig. 11)を、Wave Analyser³⁾を用い周期分析を行うと、各波浪記録から Fig. 12に示すスペクトルが得られた。これより波浪は11~19秒の卓越周期が認められ、周期は時間とともに増し、波高も2 m位までは碎けずに周期の伸びとともに波高も高まる結果が得られた。(Fig. 13)

2) 産業計画会議 1960「東京湾計画に対する高潮数値計算とこれが対策」産計資料 217号

3) 高橋龍太郎・相田勇「津波スペクトルの研究」地震研究所彙報 39 (1961), 523.

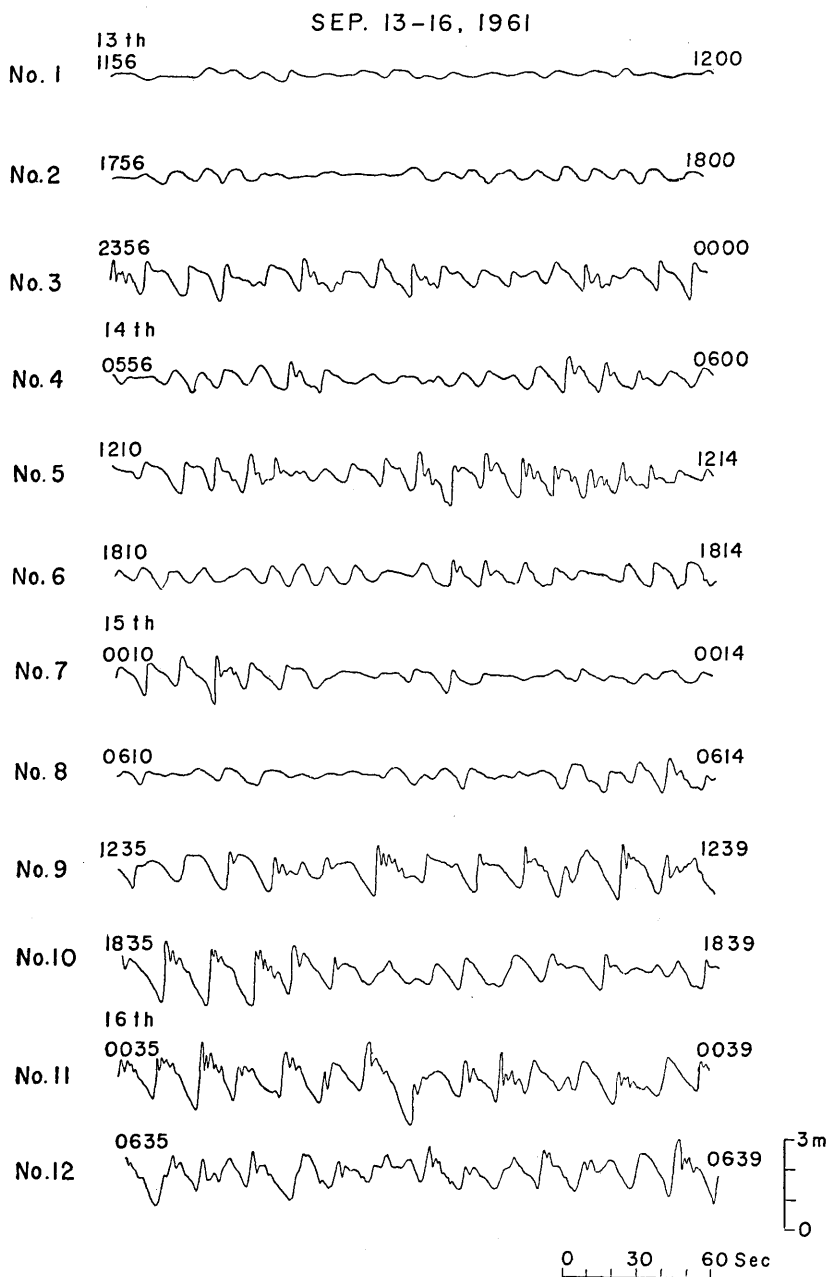


Fig. 11. Samples of wave records at Kensaki during the second Muroto typhoon of Sept. 16, 1961.

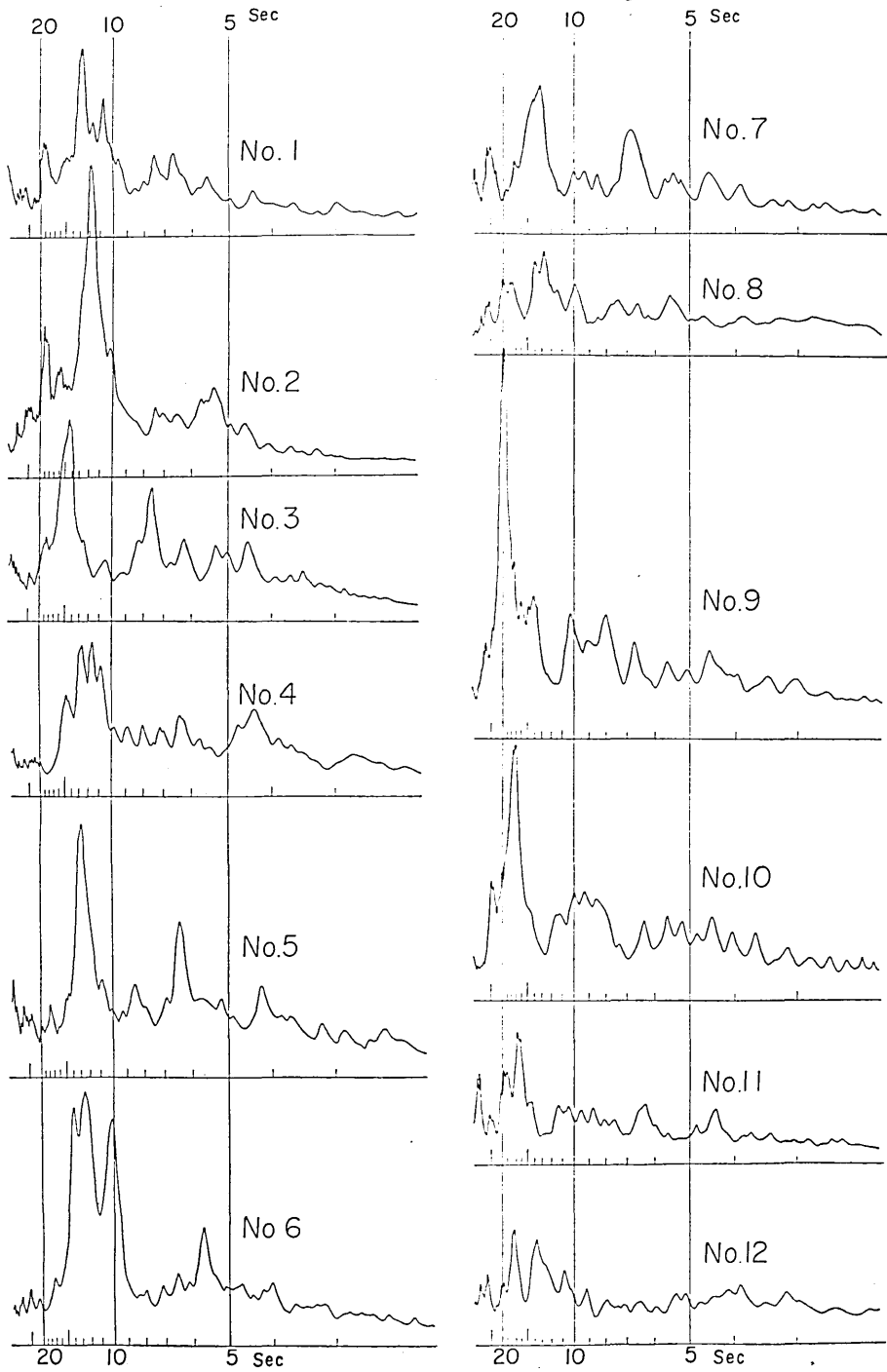


Fig. 12. Spectra of wave records of Fig. 11.

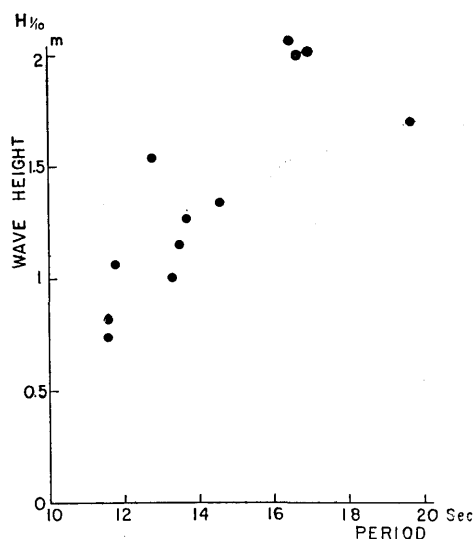


Fig. 13. The relation between the period and wave height.

Longuet-Higgins⁴⁾によれば，大洋中の波浪で平均波高 \bar{H} ，波高大なるものから $1/10$ の平均波高 H_{10}^1 とすれば次の関係がある。

$$H_{10}^1/\bar{H}=2.0$$

剣崎で上期間6時間毎の波浪記録から10分間の波高を読取ると $H_{10}^1/\bar{H}=1.9$ が求められた。次に周期から

$$L=vT, \quad v=\sqrt{gL/2\pi} \sqrt{\tanh 2\pi h/L}$$

の式により波長を計算するとおよそ200~600mとなる。従つて台風時の波浪は可成り波長が長く沖合までおよぶことが視われる。

5. 剣崎の波高と東京湾内の潮位変動との関係

湾口における波高と，湾内の潮位変動との関係については，すでに御前岩の波浪観測から駿河湾の潮位を論じた¹⁾。今回東京湾においても同様に，剣崎の波浪観測から湾内の潮位を二三調べた。

May 12, 1961 東京湾は低気圧の影響で，僅かな高潮があり，剣崎で波高1m以上が観測されている。Fig. 14は東京湾内の検潮記録から当時の潮位偏差を示す。Fig. 15は第2室戸台風による潮位偏差で，東京湾外の布良においても千葉の潮位同様，可成りの高

4) M. S. LONGUET-HIGGINS, "On the Statistical Distribution of the Heights of Sea Waves", *Journ. Marine Res.*, **11** (1952), 254.

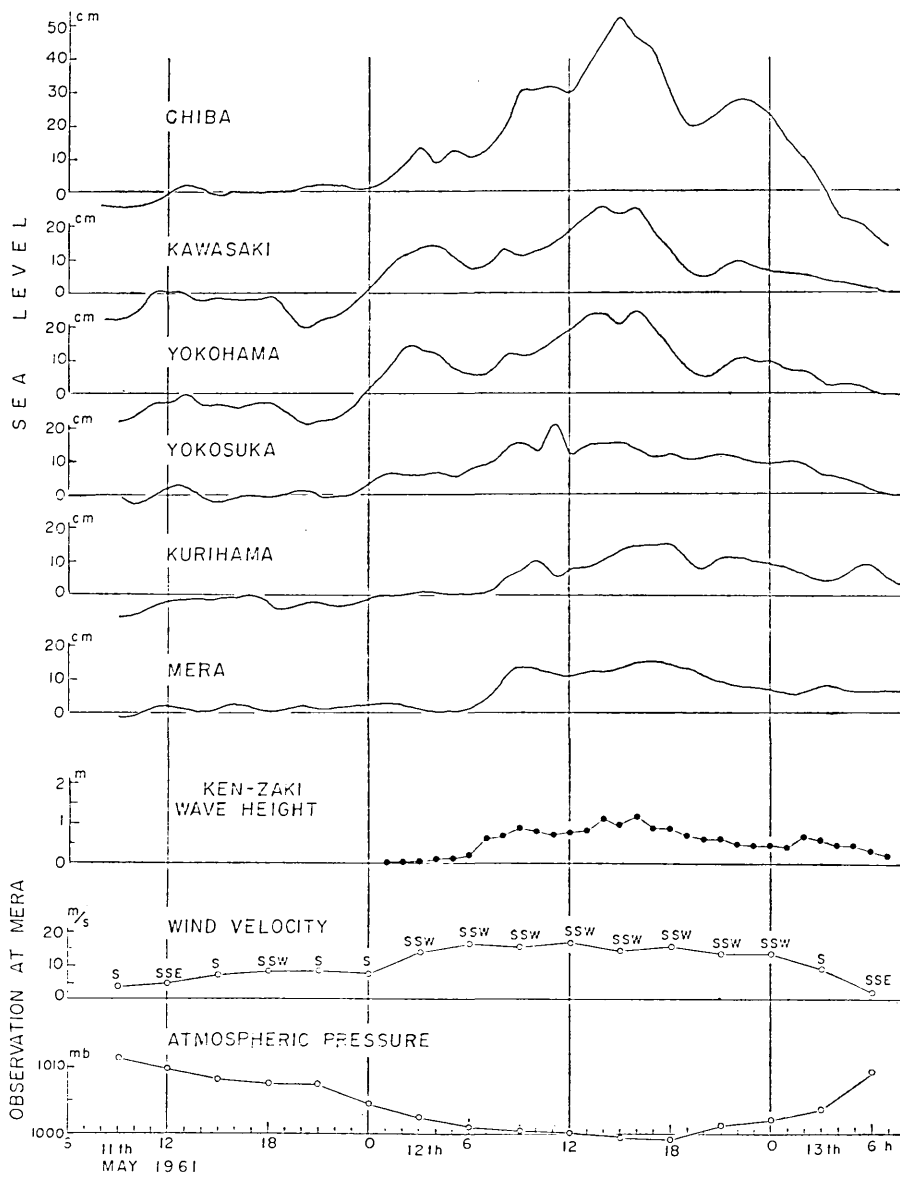


Fig. 14. Tidal anomaly of May 12, 1961 in Tokyo Bay.

潮が認められ注目される。Fig. 16 は湾内の縦断面からみた潮位偏差を参考のため記載した。

次に上記低気圧の際、剣崎の浪高と千葉の潮位偏差との間には、Fig. 17a, に示すよう

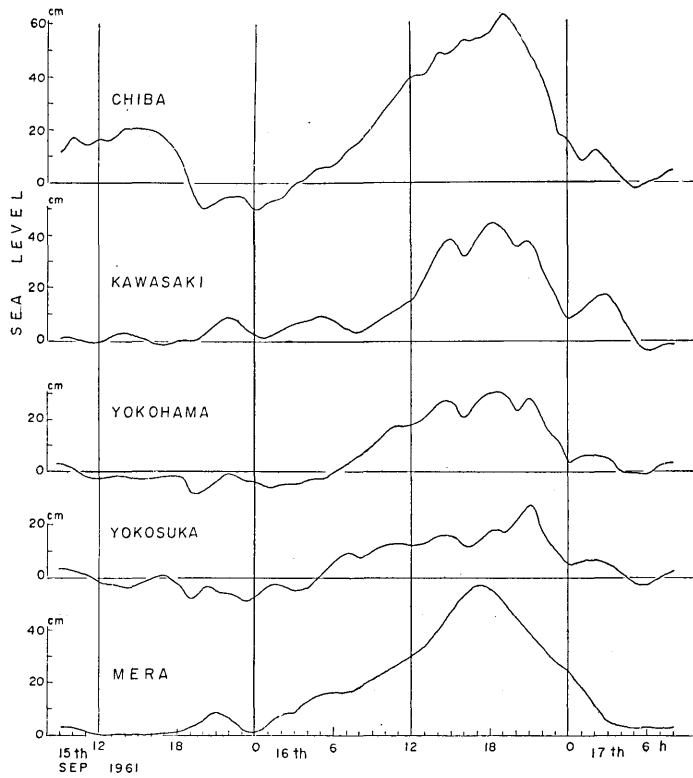


Fig. 15. Tidal anomaly in Tokyo Bay at the time of the second Muroto typhoon of Sept. 16, 1961.

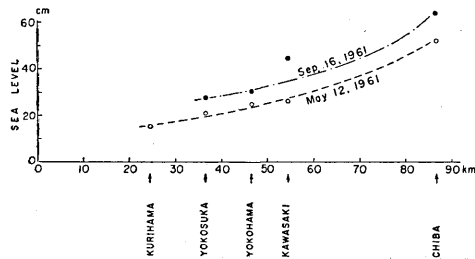


Fig. 16. Distribution of tidal anomalies on the longitudinal section of Tokyo Bay.

に可成り指数函数的な対応がみられる。

上例は東京湾において強い南風が伴った時であるが、湾内の潮位は風向の影響も含まれるので、風と波の作用を分離したい目的で北風の卓越した日を選び同様の比較を試みた。即ち Oct. 8-9, 1961 は台風 24 号が本邦太平洋沿岸に接近し、東京湾内は北風が卓越し

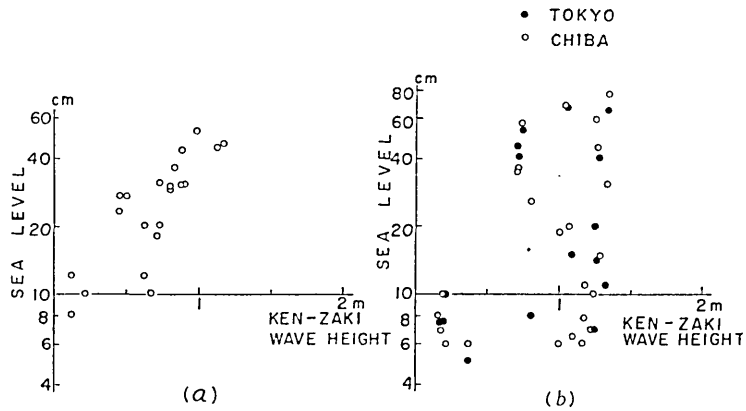


Fig. 17. The relation between the wave height observed at Kenzaki and the tidal anomaly at the bay head
 (a) The case of southerly winds.
 (b) The case of northerly winds.

たときである。このときの剣崎の波高と東京、千葉の潮位偏差との関係を Fig. 17b に示した。潮位偏差は実測潮位と予報潮位の差であるが、風のないときでも偏差は 15 cm 位は度々あるので、これ以上の潮位偏差と波高に着目することにする。その結果をみると点がばらつき定量的なことはいえないが、この場合にも湾口の波高が高まるにつれて湾内の潮位が上昇するようにみえる。

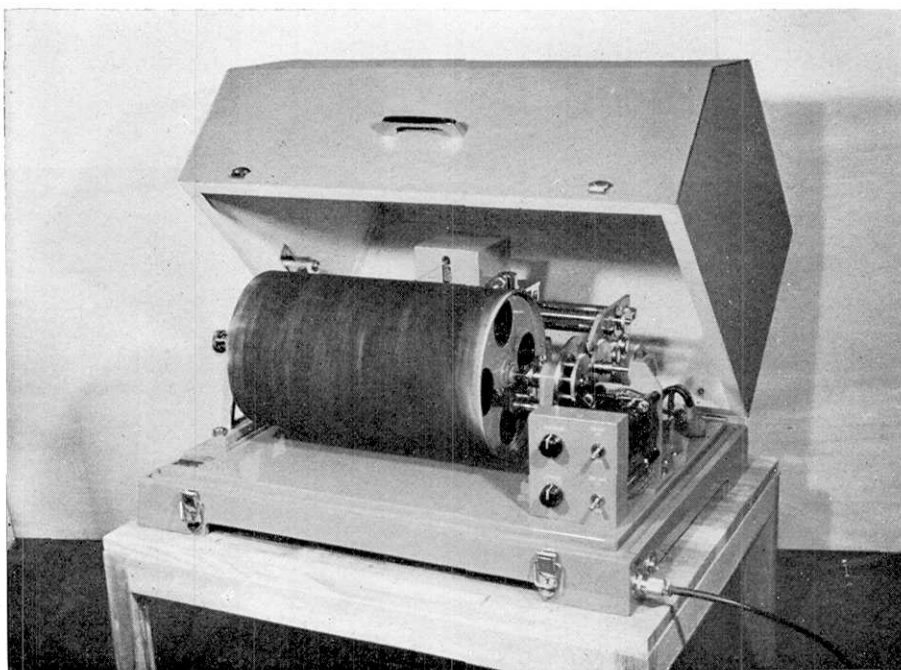
6. あとがき

剣崎における波浪観測は、東京湾口に位置して直接外洋の波浪を観測し得る。特に東京湾における高潮時には極めて貴重な資料を提供し得るであろう。波浪計が設置されて以来 1 年間、東京湾においては顕著な高潮は発生せず、今後観測を継続して資料の収集を行い、波高と潮位の対応を更に解析して行きたい。

終りに波浪観測施設附近の土地使用および、記録器設置に関して神奈川県並びに第三管区海上保安本部灯台部の承認を得たことと、観測にあたっては剣崎航路標識事務所宮下朝夫所長他各職員の御協力によつて行つている。また東京湾の潮位資料は気象庁、水路部、運輸技術研究所、第二港湾建設局および千葉県土木部の御提供による。ここにこれらのことを特記して深く感謝する次第である。



Fig. 18. Standpipe of the wave recorder at Kenzaki Kanagawa Pref.



(震研彙報 第四十号 図版 高橋・羽鳥)

Fig. 19. The wave recorder.

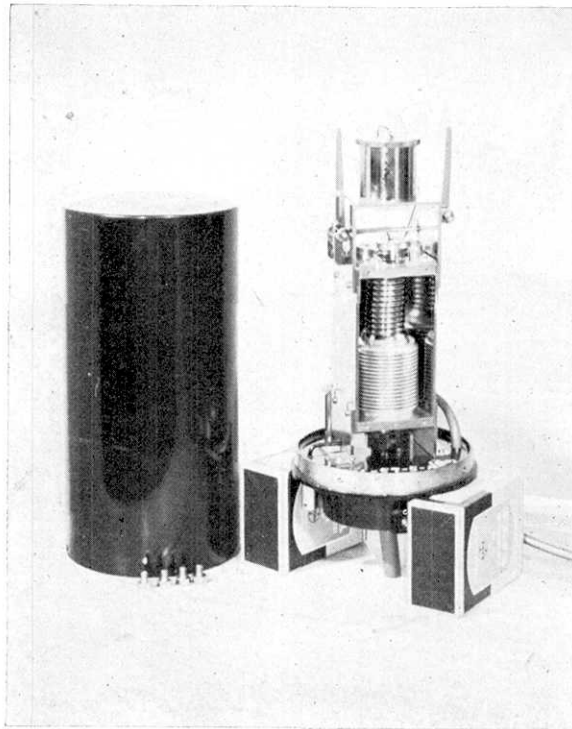


Fig. 20. Transducer for the wave recorder.

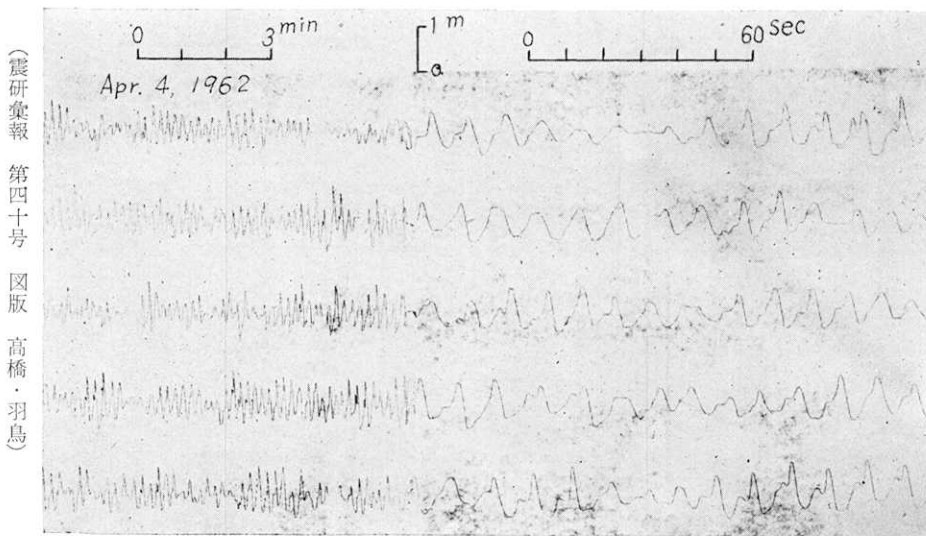


Fig. 21. An example of record.

28. *Wind Wave Observation at Kenzaki Lighthouse at the Mouth of Tokyo Bay. (Preliminary Report)*

By Ryutaro TAKAHASI and Tokutaro HATORI,
Earthquake Research Institute.

1. In connection with the study of storm surge in Tokyo Bay, wave observations have been made on the coast neighbouring the Kenzaki lighthouse at the mouth of Tokyo Bay. The main object of the observation was to establish the empirical relation between the wave height at the mouth of the bay and the sea level rise at the head of the bay.

The observation has been made since April 20, 1961. The variation in wave height and period (see Fig. 9 and Table 1 in the text) during the last 12 months and several records of waves at the time of typhoons have been studied.

2. The wave recorder consists of a sensing part elected in the sea and a recorder installed in the lighthouse. The two parts are connected by a 3-conductor electric cable. The sea water flows in and out through a hole at the bottom of the iron pipe of the sensing part, and makes the metal bellows at the top of the iron pipe change its length. The motion of the bellows is transformed into an electric signal by means of a low-torque potentiometer, nylon string connecting the bellows and a pulley on the axis of the potentiometer. Long-period motions of the sea level are eliminated by a slow-leak capillary tube provided between the iron pipe and the bellows.

The recorder is a pen galvanometer of sensitivity $1\text{mm}/25\mu\text{A}$ and a revolving drum wound with smoked paper. This combination gives the joint sensitivity of 1 mm deflection on the record for the change of sea level of 17 cm. The drum revolves once in an hour and shifts horizontally by 12mm per revolution. The recording speed is 30mm/min for the first half revolution and 6 mm/min for the record half revolution of the drum. The alternation of the recording speed is made automatically by a special gear train, as shown in Fig. 8, driven by a 5 W Warren motor.

3. During the period of observation there was no damage due to storm surges along Tokyo Bay. A part of the wave record during the second Muroto typhoon of September 16, which caused a medium surge in Tokyo Bay, is shown in Fig. 10 in the text. Spectral analyses were made of the wave records of 4 min length taken at 6-hour intervals during the period from Sept. 13, 0800 to Sept. 16, 0700. During this period the sea ran gradually heavy. Gradual increase of the predominating wave period with time can be seen from Fig. 12. In Fig. 13 the relation between the period and wave height is given.

4. The relation between the wave height observed at Kenzaki and the amount of tidal anomaly at the bay head is shown in Figs. 17a and 17b for two cases. Fig. 17a shows the case of May 12, 1961, when a southerly wind caused a slight surge in Tokyo Bay. Fig. 17b shows the case of a northerly wind which blew on Oct. 8-9, 1961. In both cases there seems to be a positive relation between the wave height and the tidal anomaly, regardless of the direction of winds, although in the case of the northerly wind the plotted points are somewhat scattered. Definite results need further observations.