

泊港の埋没について

理学博士 速水 頌一郎*
 准員 堀 俊之**
 准員 足立 昭平***

ON THE SAND BURRIED TOMARI-HARBOR

(JSCE APR. 1950)

Shoichiro Hayami, Dr. Sc., Tosiyuki Hori, C.E.Assoc. Member and Shohei Adachi, C.E.Assoc. Member

Synopsis The weakest point of a harbor built on sandy shore is the filling up by drifting sand. There have been not a few instances where a harbor was abandoned due to inadequate counter measure taken to this. Therefore, it is very important to know special characters of the drifting sand, but very few fact is known about it since research activity on the problem has been scarce. This article is based on a survey made to sand buried Tomari harbor in the last year. The study has led to a confidence that seiche an essential factor of cause that brought about filling up of the harbor. So, as a part of the study on drifting sand, an explanation connecting the seiche with the burrial of the harbor. Due to paper space allowed, most of equations on the theory is omitted from this article, and desired to be published separately.

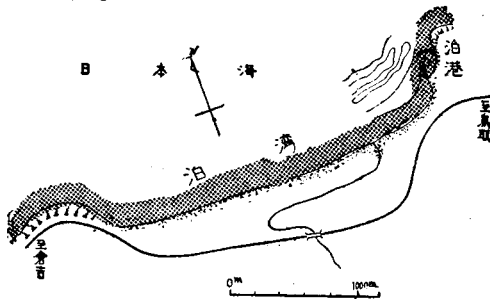
要旨 砂浜に設けられた港の最弱点は漂砂による埋没であつて、その処置を誤つたために廃港の憂目を見た実例も少くない。それで漂砂の性質を知ることは築港上極めて重要であるが、今日までこれに関する研究は微々たるもので、殆ど不明であるといつてもよい。本文は昨年われわれが泊港埋没について行つた調査結果を基礎としたものであつて、セイシが港内埋没の重要な要素であることを確信したので漂砂考究の1部としてセイシを港内埋没に結びつけて考えてみた結果を説明する。紙数の関係上、理論に関する式の大部分は省略し、改めて発表したい。

1. 泊港の概要

泊港は鳥取市西方約25kmに位する小漁港で、約4kmの砂浜を形成する浅い矩形形の泊湾(仮称)の東端にあり港口は西に開き、南は砂浜に続いている。沖合に豊富な漁場を有し、帆船漁業の時代には附近随一

圖一 泊港の位置

Fig. 1 Location of Tomari-harbor

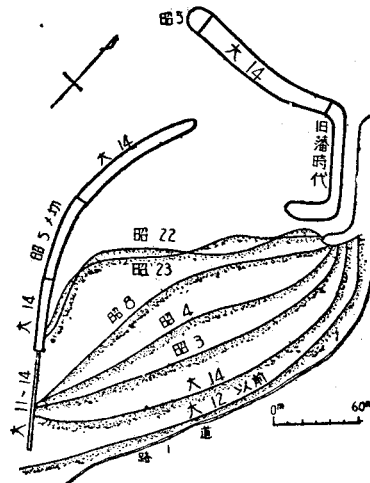


* 京都大学助教授, 理学部地球物理学教室
 ** 京都大学, 大学院学生, 工学部土木工学教室
 *** 香川縣土木部港湾課

の基地として栄えていたが、近年発動機船による漁業の進歩とともに、大型漁船の收容上防波堤を設けた

圖一 泊港築堤と汀線變化

Fig. 2 Construction of Tomari-harbor and yearly changed seaside line



が、漂砂に対する顧慮を欠いたために、港内は急速な埋没を始め、水面積の1/2をうばわれて今日に至っている。

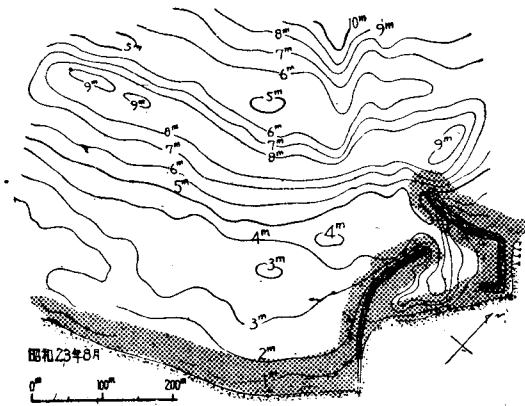
2. 海底地質及び地形

泊港附近の海底については、古い資料がないので、昔の状況は不明であり、また昭和21年8月、22年4月及び10月に行つた深淺測量も、その範囲が狭くて調査の対象とするには不充分であつたから、23年8月相当詳細に深淺測量を行つた。これは北防波堤から西へ約600m、沖合へ約500mの範囲で、測線間隔は20m、測点間隔は10mとした。これを見ると岸から400m附近に、幅50~90m、高さ3mに及ぶ巨大な砂畦が認められ、又距岸150~200m附近に小さい砂畦がある。海底勾配は大體20%で、22年度測定値と

変りなく、この値が本海岸における大略の平衡勾配を示すものと考えられる。古い資料がないのでよくわか

圖-3 泊港附近深淺圖

Fig.3 Water depth around Tomari-harbor



らないが、このような勾配が現在の港の位置においても前からあつたものと考え、現在の港内には著しい堆積が行われていることになる。かかる平衡勾配と成立堆積との関係を探るため、22年10月及び23年8月に海底200ヶ所の採砂を行い、篩による機械分析をした。その結果粒径0.15~0.2mmの砂が約70%を占め、その分布形式は非常に興味あるものであつたがここでは省略する。このような分布は波による擾乱運動のみでは考えられず、水分子の規則的な流れがこれに関係しているものと推察される。舞鶴海洋气象台の実測によれば、潮流は5~10cm/secで、この場合殆んど問題とならない。

3. 砂粒發生の機構

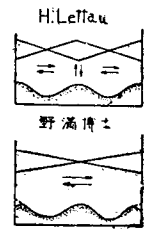
セイシのような定常波と、泊港の埋没問題とを結びつけて考える前に、泊港で見出されたような砂粒がどの様にして生ずるかを検討してみる。これに関しては現在まで定説と認められるものはないが、多くの海岸で砂粒が何列も海岸に並行して存在している事実よりも、定常波説が確からしいと考えられる。これについては、ドイツのH.Lettau氏及び我國の野満彦治博士が興味ある理論を展開している。

Lettau氏は砂粒が浮游して運ばれるとし、野満博士は砂粒が掃流力によつて海底を轉流するものと仮定して、いずれもセイシの作用でこれを説明している。両氏の理論誘導には、いずれも不明瞭な点があるがその本質とする所は、砂粒發生というような1方向的な現象が時間経過につれて、週期的定常波運動から如何にして生ずるかと言うことであつて、これを要約すれ

ば、 $\int \cos at dt$ の如き項は、時間 t がたつても増加しないのに反し、 $\int \cos^2 at dt$ の如き項は、 t の経過とともにその値が増加の一方を辿るという点にある。

Lettau 氏の場合は $n=1$ となつて原振動の腹に砂粒が出來て2倍節の水底起伏を生じ、野満博士の場合は $n=2$ となつて原振動の腹及び節に砂粒を生じて4倍節起伏となる。泊灣の場合、沖合の大きい砂粒は灣に生ずる定常波の節に當り、又岸に近い小砂粒は灣口を節とする原振動の3倍節振動の節の位置或は沖合の砂粒によつて灣口が浅くなつたためのタンク振動の節の位置に近いように思われる。この様にして考えると、泊灣ではセイシの問題が重要視されたので、果してセイシが実在するかどうか測定してみた。

圖-4 理論比較圖
Fig.4 Theoretical comparison chart

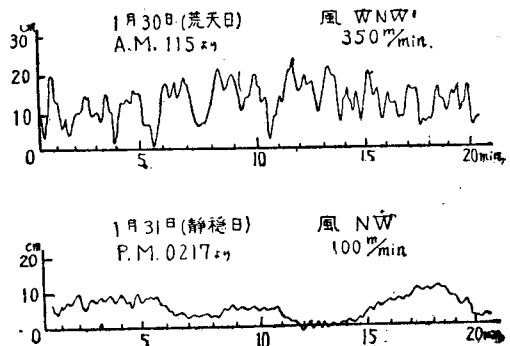


4. 泊灣におけるセイシ圖

セイシの主原因は風と考えられ、かつ漂砂は激浪ある時期に著しいと思われるので、セイシの観測もこの様な時期が適當である。そこで本年1月下旬都合よく荒天の日とその翌日の静穏の日をとらえて観測し、荒天時のセイシ發生減衰の様様を知ることが出來た。外海に曝露している所では、碎波の影響大きく観測が困難であるから、西防波堤東側の港内で目盛を附した竹竿を立て、双眼鏡で5秒毎の水位の変動を約4時間にわたつて観測した。この防波堤は巨大捨石構造であるから、間隙多く碎波の影響は概ね除かれ、セイシを観測するのに都合がよかつたが、観測結果の一部を紹介すると圖-5の如くである。これによると1, 2.4, 8, 15分程度の週期が認められ、静穏の日には長週期以外は消滅している。然しこのままでは非常に見難いので、55秒(11ゲの観測値)の連続平均を求め、1分前後の週期を分離した。

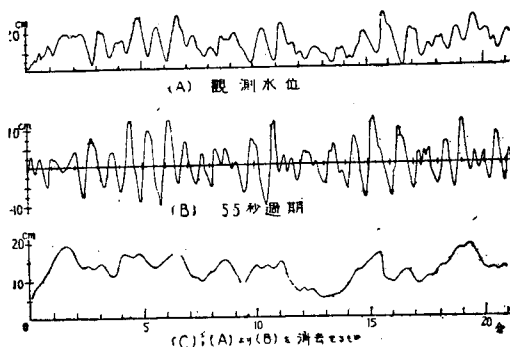
圖-5 観測水位の1例

Fig.5 On example of measured sea level



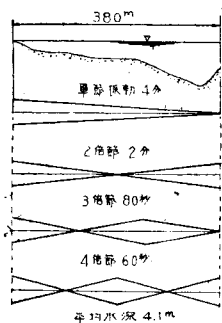
圖一六 観測水位及び連続平滑結果

Eig.6 The measured water level and result of conteneous smoothening



その結果は圖一六の如くで、1分前後の週期の変動は明かに5分週期のビートを打っているから、これは週期の近接した2ヶの波が喰りを生じていると考えられ、これを分析すると50秒、75秒の2波を得る。同様な分析を行つてゆくと、結局主要週期は50秒、75秒、2、4、8、15分となる。そこで概算ではあるが、泊湾の

圖一七 泊湾の振動週期
Fig.7 Period of vibration of Tomari bay



平均水深を4.1m、沖の砂畦までの距離を380mとして、理論的に求めて見ると、4分は湾口(沖の砂畦)を節とする湾の基本振動に当り2分は沖の砂畦の発達による岸との間のタンク振動に相当し、1分前後のものは湾口を節とする原振動の3倍節振動及びタンク振動の2倍節振動と考えられる。又8分と15分とは、沖の砂畦と岸とが形成する水道の縦振動と考えられる。以上の如く実測値と理論値とがよく一致し、又前述の砂の分布及び砂畦の位置が野満博士の横型実験によく適合している点から推察して泊湾では風の荒い日にセイシが発達し、それによつて砂畦の発生を促したものであろうと考えても、大過なしと信ぜられる。

5. 港口に週期的振動を與えた場合の矩形港内の振動

風によつて生ずるセイシの理論については省略するが、こうしたセイシの存在する湾内に、1辺を開いた矩形の港を築造した場合、港内に如何なる振動を生ぜしめるかについて簡単に触れてみよう。その運動方程式と連続式とはセイシの場合と同様であるが、今の場合には傾斜流のみを考え吹送流を除いて考えればよいか

ら、セイシの式から容易に、

$$\frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} + \nu \beta_0^2 \frac{\partial \zeta}{\partial t} - \beta_0 \frac{\sin \beta_0 H}{\beta_0} \frac{\partial^2 \zeta}{\partial x^2} = 0 \dots\dots(1)$$

ここに、 ζ : 水位変動、 μ : 海水の渦動粘性係数、
 $\nu = \mu / \rho$
 ρ : 海水の密度、 H : 水深(一定とする)、
 t : 時間
 $\beta_0: \beta_n \tan \beta_n H = f \rho / \mu$ を満足する最初の β の値
 f : 海底面の抵抗係数、 x : 港口に原点をとつて港奥に向つて測り、 $x=l$ を港の奥行とする。

境界条件及び初期条件としては、

$$\left. \begin{aligned} x=0 \text{ にて、} & \zeta(t,0) = a \sin \omega t \\ x=l \text{ にて、} & \frac{\partial \zeta}{\partial x} = 0 \\ t=0 \text{ にて、} & \zeta = 0, \frac{\partial \zeta}{\partial t} = 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots(2)$$

従つて(2)式を満足する(1)式の解を求めればよいが、この解 $\zeta(t,x)$ が x について $0, l$ を含まず、領域 $(0, l)$ 間で sinseries におけるものと考えて解くと結局次のようになる。

$$\zeta_n(t) = a \frac{4\omega^2}{(2n+1)\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{(\omega^2 - \sigma^2) + 4\alpha^2 \sigma^2}} \times \left\{ \sin(\omega t - \delta) + e^{-\alpha t} (\cos \sqrt{\omega^2 - \alpha^2} t + \frac{\delta}{\sqrt{\omega^2 - \sigma^2}} \sin \sqrt{\omega^2 - \alpha^2} t) \right\} \dots\dots(3)$$

ここに、

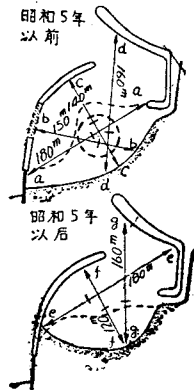
$$\omega^2 = \beta_0 \frac{\sin \beta_0 H}{\beta_0} \left\{ \frac{(2n+1)\pi}{2l} \right\}^2, \alpha = \frac{1}{2} \nu \beta_0^2, \delta = \tan^{-1} \frac{2\alpha\sigma}{\omega^2 - \sigma^2}$$

(3)式の第1項は強制振動、第2項は自由振動を示すが、時間の経過とともに第1項の強制振動のみとなる。従つてこの強制振動と港の固有振動の週期が接近した値であると、共鳴現象を生じて振幅は著しく増大する

6. 泊港埋没の経過

上述の諸点を考慮に入れて、泊港の埋没について説を提出したいと思うが、港内埋没とセイシとを結びつけて考えるには、まず港の固有振動周期を知る必要がある。然るに港の状況は昭和5年を境として著しく境界条件を異にするから、その前後に

圖一八 港内主要固有振動方向及び距離
Fig. 3 Principal direction and distance of characteristic vibration in the harbor



わけて考えて見ると圖-8の通りである。表-1はその主要固有振動週期を概算し卓越セイシとの関係を求めたものである。振動週期の近接するほど共鳴現象が顕著になることは、前節より明かであるが、この表によると湾の卓越セイシと港の固有振動が著しく週期を接近していることが認められ、現在の汀線附近に節が集中してこの附近に砂が集まり、急に浅瀬となつたであろうことは想像にかたくなく、土地の人の言によつても裏付されている。又観測した程度のセイシで砂が動かされるかどうかを調べるに、その最大速度は 22cm/sec

るため港内埋没は殆ど終熄したものゝ如く、近年における汀線は殆ど一定して僅かに出入するのみである。又現在における埋没状況を見るために、昨年8月以来本年1月、3月、7月と深淺測量を行つた結果、港内の浸蝕堆積状況は圖-9のようであつて、その堆積量は多くみても年間 1 000m³ 以下で、港内面積に比しあまり問題とならない。

7. 今後の対策

以上泊港埋没の主原因はセイシに共鳴せる港内振動であると考えに至つた経緯をのべたが、この推定に

表-1 港内外振動の比較

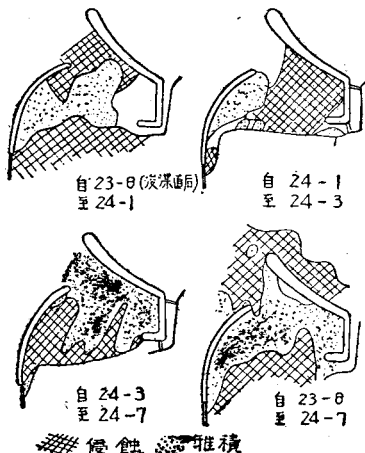
固有振動週期(秒)	63.3(cc)		81.5(aa)		48.2(dd)		40.6(bb)		54.2(ff)	
港外セイシ週期(秒)	50	75	50	75	50	75	50	75	50	75
上 2 項 の 比	1.27	0.84	1.63	1.09	0.96	0.64	0.81	0.54	1.08	0.72
港内外波高比	1.2	6.9	0.2	10.5	∞	1.3	4.5	0.8	11.1	1.9
振 動 型 式	湖水	湖水	湖水	湖水	湾	湾	湾	湾	湖水	湖水

(第1欄にある(aa)などは圖-8における位置を示す。)

大過なき限りもはや泊港の埋没はこれ以上急激には生じないと考えてよいことになる。應急対策としては浚渫船による浚渫が最適であるが、上述の過程をよく認識して、再び共鳴を生ぜしめるような愚策は避けねばならない。又地元民のいうように西防波堤間隙を充填することも決して無意味ではない。何となれば潮抜(東防波堤東側水路)と西防波堤間隙の間を東西方向にうごく水の往復運動は、砂を1部港内にもたらずであろうことも考えられるからである。昨年末、この潮抜を地元民の手で閉塞したが、その結果は必ずしも良好でなく、港内東側及び港口に砂がつき始めている。これは1方の口を閉ざされたため、上述の東西方向往復運動が遮ぎられ、西防波堤間隙より入つた水が港口から逆流して港口より進入する波とぶつかり、碎波を発生し易くなつている事実からも推測しうる。そこで潮抜を閉じるならば、西防波堤間隙も充填せねば意味がないと考えられる。以上の如く泊港埋没の研究をやつて來たわけであるが、問題はセイシのみにとどまらないので、引続き研究を継続している。最後に本研究に対して終始御援助を賜つた京都大学工学部土木工学教室並びに地元の方々に厚く御礼申し上げる次第である。

大過なき限りもはや泊港の埋没はこれ以上急激には生じないと考えてよいことになる。應急対策としては浚渫船による浚渫が最適であるが、上述の過程をよく認識して、再び共鳴を生ぜしめるような愚策は避けねばならない。又地元民のいうように西防波堤間隙を充填することも決して無意味ではない。何となれば潮抜(東防波堤東側水路)と西防波堤間隙の間を東西方向にうごく水の往復運動は、砂を1部港内にもたらずであろうことも考えられるからである。昨年末、この潮抜を地元民の手で閉塞したが、その結果は必ずしも良好でなく、港内東側及び港口に砂がつき始めている。これは1方の口を閉ざされたため、上述の東西方向往復運動が遮ぎられ、西防波堤間隙より入つた水が港口から逆流して港口より進入する波とぶつかり、碎波を発生し易くなつている事実からも推測しうる。そこで潮抜を閉じるならば、西防波堤間隙も充填せねば意味がないと考えられる。以上の如く泊港埋没の研究をやつて來たわけであるが、問題はセイシのみにとどまらないので、引続き研究を継続している。最後に本研究に対して終始御援助を賜つた京都大学工学部土木工学教室並びに地元の方々に厚く御礼申し上げる次第である。

圖-9 港内浸蝕堆積圖



(昭和24.10.15, 関西工学会連合講演会土木部会にて講演)

参考文献

- 1) H.Lettau: "Seiches des Frische Hafes", Ann. d. Hydro. Mar. Meteor., 60 Jahrg (1932).
- " " : "Stehende Wellen a/s Ursach umgestaltender Vorgänge in Seen", Ditto, S.385.
- 2) 野満隆治 "定常波による湖海の砂堆と砂鏈" 地球物理, 第7巻第1号(昭18年6月)

(3) 野満隆治 “A theory of Tsunami and Seiches produced by wind and Gradient”, The Memory of The College of Science, Kyoto

Imperial university, Series A, Vol. XVIII. No.4, (1935) p.201

大夕張鉱業所新斜坑セメント注入工事

正員 釘宮 健 二*

CEMENT GROUTING WORKS OF INCLINED SHAFT

(JSCE, Apr. 1950)

by Kenji Kugimiya C.E.Member

Synopsis This is the brief description of the work as well as explanation of the fundamental principles of grouting cement applied. This also shows grouting pressure, grouting capacity, grouting concentration and quantity of grouting cement used at work by field data, classifying the types of cement grouting to division wall cement grouting, Hakobuchi sand stone strata cement grouting, Noborikawa coal bearing strata cement grouting and expeditional cement grouting by grouting pressure time curve, grouting pressure concentration curve.

緒言 本文は三菱鉱業株式会社大夕張鉱業所新斜坑開さくに当り運輸省技術陣が大夕張鉱業所と協力して実施したセメント注入工事の報告である。

1. 施工の概要

a. 一般

大夕張鉱業所新斜坑は、鹿島沢区域深部（整層部約450万屯、逆層部約350万屯）及び雁皮原区域（約1500万屯）に於ける合計2300万屯に及ぶ可採炭量の開発を主目的とし、併せて坑内運搬及び通風の合理化を図るため計画されたものである。

想定通過岩石層は表一の通りで、この中函淵砂岩層と登川夾炭層とが含水層で掘さくを困難ならしめておりこれにセメント注入工法を採用した。

表一 通過予定岩石層

岩 層	岩 種	延長(m)	記 事
上部 菊石層	頁岩	540	白亜紀 含水硬頁 砂岩
函淵層	砂岩	390	
登川夾炭層	同上		
幌別層	頁岩	140	下紀第三紀
夕張夾炭層		.90	
幌内層	頁岩	605	
若鍋層	砂岩	102	
夕張夾炭層		75	
幌別層		193	
計		2135	

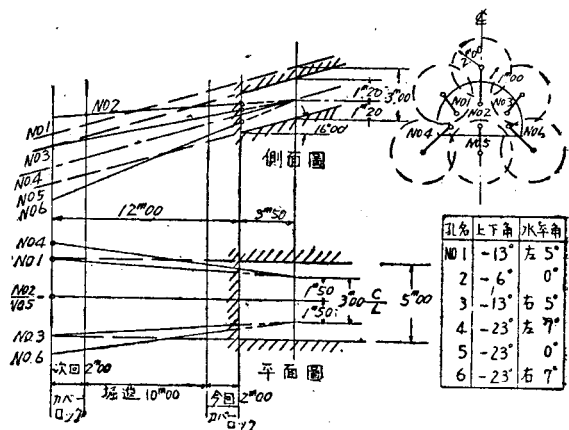
掘さく坑道はベルト卸、入車卸の2本で、その中心間隔は30mである。新斜坑傾斜は下向16°、延長2135m、坑道幅5m、高さ3.20mである。

b. 施工

注入試錐規格 注入試錐は圖一に示す通り実施した。注入孔によるセメント注入の有効範囲を2mと仮定し、注入孔は6本を計画した。実施の結果から見てこの計画は適切なものであつた。注入孔の長さは通常12~15mを用いたが、試錐容易なところでは20mとした。然し20m附近のセメント注入にはなお問題が残っている。試錐にはヘビードリフター及び回転式試錐機を用いた。さく岩機によるさく孔は下向孔は困難なので大体水平孔とした。セメント注入には大和3連式横型注入ポンプを用いた（諸元は後述）。

圖一 試錐注入規格

Fig.1 Specification of boring and grouting



注入作業（圖二参照）カバーロック：セメント溶液が圧入されて行く岩石の割れ目、空洞又は断面面等よ

* 日本建機株式会社