

# 港湾技研資料

TECHNICAL NOTE OF  
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE  
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 90 Dec. 1969

高知港津波防波堤に関する模型実験

(第4報)

木 村 久 雄  
工 藤 国 守

運輸省港湾技術研究所



# 高知港津波防波堤に関する模型実験（第4報）

## 目 次

要 旨	3
1. ま え が き	3
2. 水理模型実験の目的	4
3. 相似性に関する考察	4
3-1 相似性	4
3-2 粗度係数	5
3-3 模型及び時間縮尺	6
3-4 砂及びブロック	6
4. 実験設備及び実験条件	6
4-1 実験装置	6
4-2 模型	6
5. 実験方法と実験ケース	7
5-1 測定方法	7
5-2 実験ケース	8
6. 実験結果及び考察	9
6-1 Case. 1	9
6-2 Case. 2	20
6-3 Case. 3	28
6-4 考 察	31
7. あとがき	33
参 考 文 献	33
付録 洗掘防止工法として矢板の場合	34
1. 概 要	34
2. 実 験 結 果	35
3. 結 論	35

# A Model Experiment on the Tsunami Breakwaters at the port of Kochi (4th Report)

Hisao Kimura\*  
Kunimori Kudo\*

## Synopsis

In this report we describe the experiment conducted to know the changes of various surrounding conditions in the case of the intrusion of tsunami after the construction of Tsunami Breakwater at the port of Kochi. The main purpose of the present experiment was to perform the model tests of the score-prevention work against the local and sea bottom scoring at the vicinity of the mouth of Tsunami Breakwater. The effects of the score-prevention work are examined in comparison with the previous experimental results described in the preceding report.

Concerning the problem of the scoring of movable bed, there are difficulties both in generating experimentally the unsteady flow due to tsunami and in applying the similarity law to the tractive force and the bed material load. Since, however, it is difficult to investigate the properties of scoring theoretically alone, the analogical method is used by means of comparison experiments. Therefore the amount of displacement of blocks due to scoring has been obtained to the qualitative extent.

The model used in the experiment, whose scale is 1/100 both in horizontal and in vertical, consists of the limited region of water channel which is necessary for the investigation of scoring at the vicinity of the mouth of Tsunami Breakwater

As for the score-prevention works, a few different cases have been examined experimentally where the bottom is paved directly with the blocks.

---

\* Member Hydraulic Laboratory, Hydraulics Division

## 高知港津波防波堤に関する模型実験

### 第 4 報

木 村 久 雄\*  
工 藤 国 守\*

#### 要 旨

この模型実験は、津波浸入時における津波防波堤設置に伴うその周辺の種々な条件変化、特に津波防波堤開口部付近の局部洗掘、海底洗掘についての洗掘防止工法に関して実験を行ない、これまでの実験結果と対比して洗掘防止工法の効果を把握するものである。移動床の洗掘の問題については、津波による不定流の実験的な再現および掃流力、流砂量等に相似率の適用が困難である。

しかし洗掘の性質を理論的にのみ追求して行くことは困難であるので、比較実験による類推的な方法を用いている。したがって洗掘によるブロックの移動量は、定性的な範囲で求めることにした。

実験に使用される模型は水平、垂直縮尺を $1/100$ とし、津波防波堤開口部付近が津波による洗掘のみを把握するために必要な水路を設けている。洗掘防止工法としては移動防止用のブロックを地盤に直接投入した場合について、2～3の例を上げて実験的に検討を加えた。

#### 1. ま え が き

高知港（浦戸湾）は四国南岸の重要港湾であって、室戸岬と足摺岬とに囲まれた土佐湾のほぼ湾奥に位置している。

泊地は広く湾入した浦戸湾にあるため、極めて静穏な天然の良港のようであるが、港口付近の地形は、太平洋に面している約2kmの区間は狭く屈曲し最小幅員は僅か130mに過ぎない。

したがって潮汐の干満によって港口より流入、流出する潮流の速さは、湾内外に対比して港口が狭い為、流速が速くなっている。

近年になって湾内の広い泊地を工業用地にする埋立計画及び大型船舶の入港可能にする必要にせまられ、港口を改良し維持することが問題となり、ここ数年間に埋立及び航路拡張と同時に津波防波堤の設置される内側の導流堤は完了している。

津波防止対策に関しては、当研究所で1961年に現地調査及び浸入する津波の計算を行ない、それに基づいて模型実験を1963年より1968年の間に渡り行なっている。（津波防波堤と呼ばれていることを以下防波堤と称する）

津波に関する模型実験の経過について概括的ではあるが、要約すると次のごとくである。

〔第1報、港研報告 第3巻2号 1964年6月〕

この実験目的は

- 1) 津波浸入時における防波堤設置による効果
- 2) 大潮漲潮時における船舶の航行維持の問題
- 3) 港湾が整備された場合における長浜川の水位変動について、以上について検討した結果は
  - 1) 防波堤設置は、津波浸入時に対し、その浸入を抑制し非常に有効である。
  - 2) 常時の場合を考えると動水断面積の減少によって、流速が増し流出側の防波堤付近に逆流が発生し複雑な流況をしている。よって小型船舶に多少の影響を与えるものと考えられる。
  - 3) 長浜川突堤は延長120mにし先端部30mは内側（120°）に法線を定めれば、流れの浸入を防ぎ、又は水位変動防止に効果がある。

〔第2報、港湾技研資料 No. 25 1966年9月〕

この実験の目的は

- 1) 津波引波時における防波堤設置に伴う湾内の流況変化について、
- 2) 大潮退潮時における船舶の航行維持の問題
- 3) 防波堤設置による港内の海底洗掘及び推積を調べ

\* 水工部 水理研究室

る。以上について検討した結果は、

- 1) 津波没入時に対して有効であるが引波時は、流出抵抗が増し、上流側における水位低下に時間が、かかるので疑問が残る。
- 2) 大潮漲潮時と大体同じ傾向を示すので、多少小型船舶に影響を与えるものと考えられる。
- 3) 全面に渡る海底洗掘の状態は、洗掘の開始の偶然性に左右され、洗掘分布が多少変わるものと考えられる。

特に重要である防波堤付近の洗掘が激しいので、防波堤の基礎等に十分考慮を必要とする。

〔第3報、港研報告 第7巻第2号 1968年6月〕

この実験の目的は、

- 1) 固定床の実験により、津波の没入時及び大潮の漲潮時に、防波堤の法線が変化した場合、その内側の水路と周辺の工作物に対する流況がどのように変化するか、
- 2) 移動床の実験により、津波の没入時における防波堤の直接構造上の問題として、防波堤付近の床固め工法について調べる。以上について検討した結果は、
  - 1) 防波堤の法線については、接岸より直角に、一方は斜めに出し絞り幅は同じにした結果、斜めに出した方が、直角より流心が内側に寄る傾向を示すので、長浜川への影響が少なくなる。津波抑制効果については、斜めに出すと約10%の流出抵抗が減少し、流れやすくなり効果は減ずる。又、内側の各種導流堤は、主流との距離が狭い為、導流堤の間隙より出入する流れに乱れが発生し、導流堤先端部の洗掘に対しても十分な対策が必要であり、且つ堤内を出入する小型船舶は特に注意しなければならない。
  - 2) 防波堤両区間を結ぶ線上に床固め工法を行なった結果より判断すると、勾配がある場合その斜面に沿って流れが流出するため、跳水現象が生じ洗掘量が増大する。又、直立の場合流れの一部が床固めの壁面にあたり流速が遅くなり、その部分の圧力が増加する。その結果床固め前面では主流が海底から離れ、乱れによって局部的に洗掘される。この床固め工法は欠点があるので、他の工法を実験的に研究する必要がある。

本報告は、今まで実施してきた上記の実験資料を参考にして、防波堤付近の洗掘防止工法について検討を加えることにした。現在、第三港湾建設局で防波堤を設計中であり、それには防波堤の構造物の安定性（津波による

洗掘の可能性が強い）について、基礎の施工に十分考慮を必要とする。

したがって洗掘防止工法が最も重要な課題である。しかし、これらの問題は流砂の相似関係について、十分な解決方法がない現状であるので、模型実験により定性的な防止工法及びその効果を考察しなければならない。

## 2. 水理模型実験の目的

高知港は過去において南海道地震時の津波により、甚大な財産、人命の災害を経験している。

したがって今後港湾が整備され防波堤が設置された場合、港内の条件はそれに応じて変化してゆくことになるが、この際将来高知港に津波が来襲することを想定し、津波対策の一環として発生する災害を最小限度に止めることが必要である。

高知港（浦戸湾）の場合、港口付近の地形が狭く屈曲しているため、そこに設置される防波堤付近の流れが複雑であり、それらの境界の形が単純でないために、基礎理論による解析的手段だけによっては、構造物の計画、設計に必要な資料を得ることは非常に困難と考えられる。したがって水の流れに関係ある構造物の設計に関しては、模型実験による検討が必要とされる。

洗掘防止工法については、前回の実験で床固めの条件を変化させた時の洗掘状態について検討した結果、歪模型の場合は、局部的な問題として水制工（床固め）の型が異なってくるため、水の運動及び砂の運動に対して行なわなければならない。

しかし、双方の洗掘量に差異が生じるため現地への対応は、極めて困難である。

以上の結果より今回は歪なし模型で、防波堤開口部付近を拡大し、比較実験により洗掘防止工法の効果を把握するのを目的とする。

## 3. 相似性に関する考察

### 3-1 相似性

港湾、河川関係の水理実験は、ほとんど重力に関するものであってその実験結果は重力に関する相似率によって現地に換算し適用する。重力に関して導きたる相似率とは、模型の縮尺の事であるが、この縮尺の中には長さの縮尺のみならず一般の力学量（質量、時間速度、加速度、力等）の縮尺を含むものである。

本実験は、水平及び垂直方向の縮尺 $1/100$ で巾 $2.8\text{m}$ の2次元模型で、流れに対して不等流の式を用いてフルード数を等しくした場合の相似の法則を成立させることが

できるが、本実験のように防波堤設置による急激な水位差を生ずる箇所による二次流に対しては、この方法は成立しない。

又、流速あるいは流量ごとき量に対してのみ実験を行なう際は、相似率に頼って実験の結果を実際のものに拡張することができるが、移動床実験の場合、洗掘、推積の問題となると流砂力、流砂量等に関する相似関係は、まだ未解決であるので、本実験は洗掘によるブロックの移動量は、定性的な範囲しか求めることはできなかった。

そこで模型の縮尺 ( $1/n^*$ ) が 1-1 式のごとく決定される場合を考えると、模型は現地と同じ密度をもつ水を使用しているから、密度は変わらないという条件 1-2 式と重力の加速度は、やはり現地と変わらないという条件 1-3 式のもとに力学上すべての量が決定される。

そこで現地を Suffix 1. また模型を Suffix 2. とすれば、

$$\frac{l_2}{l_1} = \frac{1}{n^*} \dots\dots\dots(1-1)$$

$$\frac{m_1}{l_1^3} = \frac{m_2}{l_2^3} \dots\dots\dots(1-2)$$

$$\frac{l_1}{l_1^2} = \frac{l_2}{l_2^2} \dots\dots\dots(1-3)$$

$$(1-2) \text{より} \frac{m_2}{m_1} = \frac{l_2^3}{l_1^3} = \frac{1}{n^{*3}} \dots\dots\dots(1-4)$$

$$(2-3) \text{より} \frac{l_2}{l_1} = \left(\frac{l_2}{l_1}\right)^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{n^{*\frac{1}{2}}} \dots\dots\dots(1-5)$$

面積  $\frac{S_2}{S_1} = \frac{l_2^2}{l_1^2} = \frac{1}{n^{*2}} \dots\dots\dots(1-6)$

体積  $\frac{C_2}{C_1} = \frac{l_2^3}{l_1^3} = \frac{1}{n^{*3}} \dots\dots\dots(1-7)$

流速  $\frac{V_2}{V_1} = \frac{l_2 t_2^{-1}}{l_1 t_1^{-1}} = \frac{1}{n^{*\frac{1}{2}}} \dots\dots\dots(1-8)$

加速  $\frac{a_2}{a_1} = \frac{l_2 t_2^{-2}}{l_1 t_1^{-2}} = 1 \dots\dots\dots(1-9)$

流量  $\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{l_2^3 t_2^{-1}}{l_1^3 t_1^{-1}} = \frac{1}{n^{*\frac{5}{2}}} \dots\dots\dots(1-10)$

力  $\frac{P_2}{P_1} = \frac{m_2 l_2 t_2^{-2}}{m_1 l_1 t_1^{-2}} = \frac{1}{n^{*3}} \dots\dots\dots(1-11)$

となり、歪のない模型で成立するのでこれを取り扱うことにした。

### 3-2 粗度係数

粗度については、本実験のように防波堤による急激な水位差が生ずる場合、一樣水路における粗度の算出方法では成立しない。

そこで水路全体の粗度と防波堤部分の粗度から次式により、防波堤の作用を受けない部分の粗度を算出している。Mannig の流速公式  $V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}}$  を用いて防波堤の作用を受けない部分の粗度  $n_1$  及び防波堤の部分の粗度  $n_2$  とすれば次式が得られる。但し  $VbR = QR$  はほぼ一定とすれば  $Vb = Q'$

$$n_1 = \frac{1}{V_1} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \dots n_2 = \frac{R^{\frac{4}{3}}}{V_1^2} \cdot \frac{\Delta h_1}{l_1^2} \dots \Delta h_1 = n_1^2 l_1 \frac{V_1^2}{R^{\frac{4}{3}}}$$

$$n_2 = \frac{1}{V_2} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \dots n_2 = \frac{R^{\frac{4}{3}}}{V_2^2} \cdot \frac{\Delta h_2}{l_2^2} \dots \Delta h_2 = n_2^2 l_2 \frac{V_2^2}{R^{\frac{4}{3}}}$$

……………(2-1)

となる。そこで上記の式より

$$n_2 = \frac{R^{\frac{4}{3}}}{V_2^2} \cdot \frac{\Delta h_1 + \Delta h_2}{l_1 + l_2} = \frac{R^{\frac{4}{3}}}{V_2^2} \cdot \frac{n_1^2 l_1 \frac{V_1^2}{R^{\frac{4}{3}}} + n_2^2 l_2 \frac{V_2^2}{R^{\frac{4}{3}}}}{l_1 + l_2}$$

$$= \frac{n_1^2 l_1 - \frac{b}{b_1^2} + n_2^2 l_2 \frac{b}{b_2^2}}{l_1 + l_2} \dots\dots\dots(2-2)$$

そこで  $b_1 = b$  とおと

$$n_2 = \frac{n_1^2 l_1 + n_2^2 l_2 \frac{b_1^2}{b_2^2}}{l_1 + l_2} \dots\dots\dots(2-3)$$

となる。この場合防波堤部分の粗度  $n_2$  の値を求めれば

$$V_2 = c \sqrt{z_g \Delta h_2} = \frac{1}{n_2} R^{\frac{2}{3}} \left(\frac{\Delta h_2}{l_2}\right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(2-4)$$

上式より  $n_2$  が求められ、これを 2-3 式に代入すれば  $n_1$  が得られる。即ち、防波堤 (堰) の作用を受けない部分  $n_1$  を本実験に使用した粗度である。

$l_1$ …防波堤部分を除いた水路距離

$l_2$ …防波堤部分の水路距離

$b_1$ …防波堤部分を除いた水路巾

$b_2$ …防波堤の絞り巾

$\Delta h_1$ …水路全体の水位差

$\Delta h_2$ …防波堤付近の水位差

この模型は水平、垂直縮尺が  $1/100$  であるから模型の粗度は、現地の  $1/2.15$  となる。

3-3 模型及び時間縮尺

表-1 模型縮尺

	現地	模型
水平	1	1/100
垂直	1	1/100
流量	1	153ℓ/sec
時間	1	1/10
ブロック	1 (50t, 5×5×0.9m)	1/n³ (50gr, 5×5×0.9cm)
粗度	1 ( 0.035 )	1/2.15 (0.016)

表-2 実験時間

模型 1/10	現地 1 (1600sec)
160sec (160秒)	1 (1600sec)
300sec (5分)	1.875 (3000sec)
600sec (10分)	3.750 (6000sec)
900sec (15分)	5.650 (9000sec)
1200sec (20分)	7.500 (12000sec)

注) 周期1600秒は1961年当研究所において高知港内の水路に没入する津波の計算から用いた。

3-4 砂およびブロック

本実験に使用した砂は、平均粒径0.2%のもので、現地との相似率は、限界掃流力などについて比較すれば、次のごとくなる。

仮に現地を suffix1 模型を suffix2 とすれば

$$k_1 d_1 = \tau_1 = \rho g h_1 \frac{d h_1}{L_1} \dots\dots\dots(3-1)$$

$$k_2 d_2 = \tau_2 = \rho g h_2 \frac{d h_2}{L_2} \dots\dots\dots(3-2)$$

- k...限界掃流力と粒径との関係を表わす係数
- d...砂の粒径
- τ...限界掃流力
- g...重力の加速度
- h...垂直距離
- L...水平距離

となりここで k は

$$k = (\rho_s - \rho_w) \phi \left( \frac{d_0}{\beta} \right) \dots\dots\dots(3-3)$$

- ρ<sub>s</sub>.....砂の密度
- ρ<sub>w</sub>.....水の密度

$\phi \left( \frac{d_0}{\beta} \right)$ .....無次元化した粒径と比重の関数

のように表わされる。

そこで上記により模型の縮尺を考えると

$$k_2 d_2 = \rho g \frac{h_1}{100} \cdot \frac{d h_1}{100} \frac{100}{L_1} = \frac{1}{100} \rho g h_1 \frac{d h_1}{L_1} \dots\dots\dots(3-4)$$

$$k_1 d_1 = \rho g h_1 \frac{d h_1}{L_1} \dots\dots\dots(3-5)$$

となりここで  $\frac{k_1}{k_2} = \alpha$  とすれば

$$\therefore d = d_1 \frac{1}{100} \alpha \dots\dots\dots(3-6)$$

(α は 1, またはそれより大きい値であろう)

そこで模型に使用した砂の粒径 α=1 と仮定すると、 $\frac{d_2}{d_1} = \frac{1}{100}$  に縮尺しなければならない。しかし現地の平均粒径は 3 mm 程度である。これを模型に換算すると 0.03mm の粒径となり、このような小さな砂を求めることは困難である。したがって本実験は砂の粒径に関しては、相似率を無視して定性的な範囲を知ろうとするものである。

ブロックについては、捨石重量の安定計算(港湾技研設計基準)及び現地における機械的能力から本実験に用いたブロックの重量は50gr(現地換算50t)と定めた。

4. 実験設備及び実験条件

4-1 実験装置

本実験装置は、当所流理実験室の廻流装置を有する平面水槽内を用いて行なっている。又給水設備は 30kW の電動機に直結させた 300 耗斜流ポンプを動力とする廻流水路内にあり、平面水槽の流水口より地下回流水路に入り、揚水ポンプにより高水槽に上げ、再び樋頭水槽を経て平面水槽上に廻流する。流量の制御は樋頭水槽に取り付けてある幅80cmの矩形鋭縁量水堰の溢流深を用いて、流量との関係を計算及び実測から算出している。

そこで樋頭水槽の外壁に取り付けたマンメーターで高水槽のバルブを調整し、定められた流量を読み取っている。

4-2 模型

模型は、前述した廻流装置を有する平面水槽内(3.4m×15.7m)図-1に示すように、防波堤開口部付近が津波による洗掘を把握するために必要な水路を水平及び垂直縮尺を 1/100 で製作した。前回の実験での防波堤開口部付近の流速、流向、水位差等を一致させる。そこであらかじめ開口部付近の床面(計画水深)より約 40cm 掘り下げて固定床(調整)の実験中は、掘り下げた部分に砂を

締め固め上部（底面）を約2cm厚さモルタルで仕上げている。移動床実験の場合は、そのモルタル部分を解体して実験用砂に取り換えて行っている。

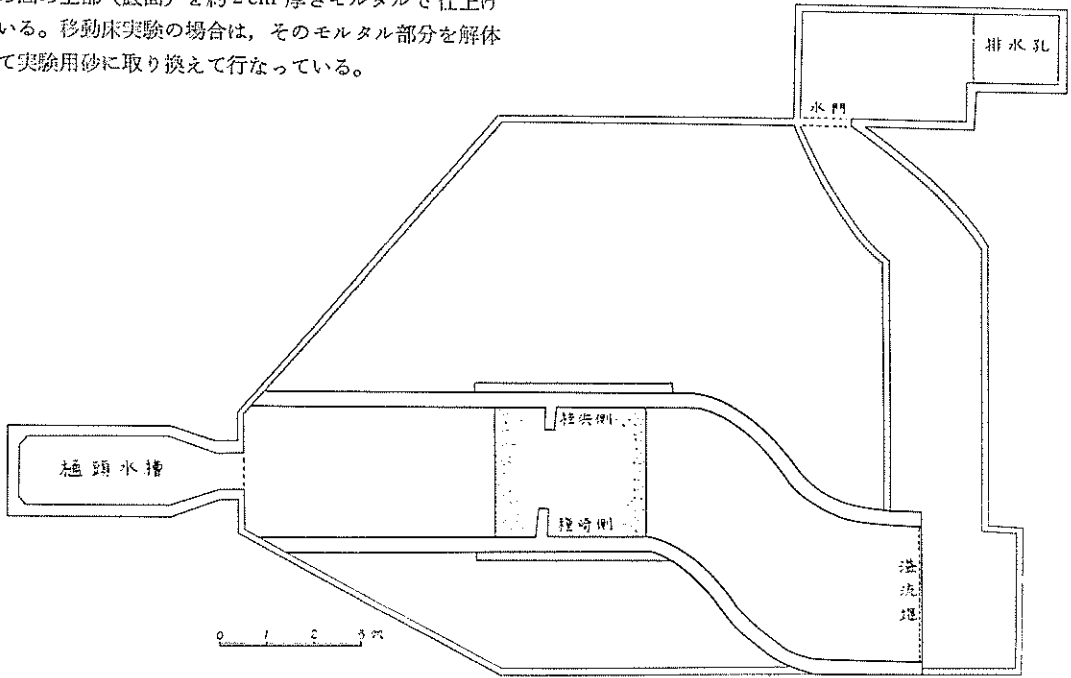


図-1 実験装置および模型配置図

模型の粗度は現地の  $1/2.15$  であるので前回の実験と Waterways Experiment Station No.2-364 June 1953 年などによる資料を参考にした。

又、流量は上記の条件下で模型範囲の上流と下流の水位差が4cm(4m)とした時に流れる流量を本実験の津波流量としている。

## 5. 実験方法と実験ケース

### 5-1 測定方法

この模型実験での水面勾配は、前回の実験と一致させ

るため水位測定を上流と下流の2点を選んでネオン管式水位計によって1.0mmの精度で測定している。又、模型面の水深は下流の溢流堰を調節することによって可能であり、模型に通水を開始する時にもこの堰で原型が崩されるのを防ぐことが出来るので有効である。

ブロックの投入の際は、砂であらかじめブロックの厚さを残して図-2に示すように砂槽の底面に水抜き弁を設置して、一度水を通して砂を締め固めた後に基準面を仕上げる。

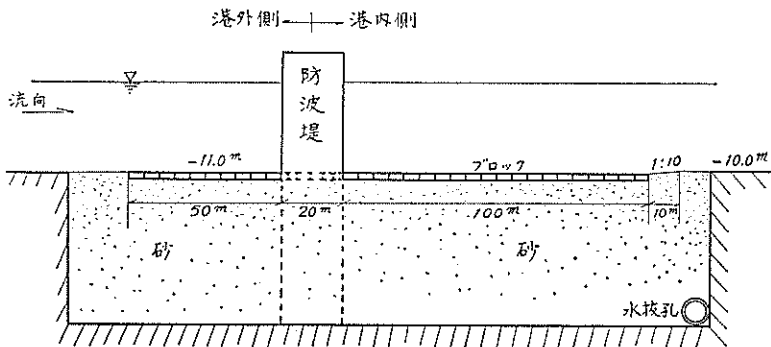


図-2 ブロック投入における基準断面



その上にブロックを敷き並べて計画水深（ブロックの天端）とした。又、ブロックの後面に1:10の勾配を設けているのは、防波堤より港外側の波高1mの有効を考慮して計画水深-11mに定め、港内側は水深-10mとなっているため、その接続を10m間で行なったに過ぎない。

測定に使用した時間は、300秒、600秒、900秒、1200秒間で、それぞれの時間における周期が防波堤を通過する時に起きる洗掘の状態及びブロックの沈下量を測定台に取り付けたポイントゲージにより測定している。

ブロックの移動については、模型上5mのところからその傾向をカメラを使用して撮影を行なっている。

なお、ポイントゲージの先端に直鋸板（直径5mm、

厚さ0.5mm）を取り付け、計画水深に合わせた基準面よりその高低を測定した。実験順序は、まず短い時間より測定を行ない次に原型を崩さないようあらかじめ一定水深に合わせてから防波堤に接近する流れの位置を決め時間を測定し各々の時間範囲に基いて実験を進めることにした。

### 5-2 実験ケース

洗掘防止工法として使用するブロック敷き並べ範囲、大きさ、重量等については、前もって協議され 図-3-1 ~ 3 に示す配置が決定した。これに基いて洗掘防止の効果が的確に把握できるように留意し、下記の如き3種類について実験を行なっている。

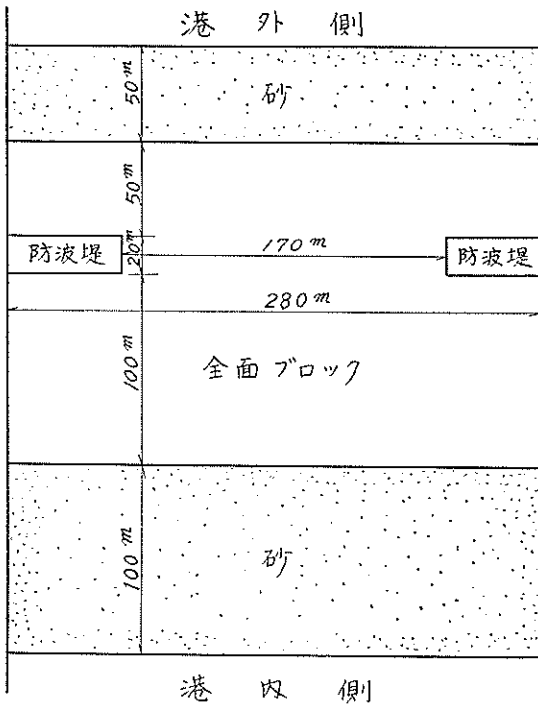


図-3-1 Case 1

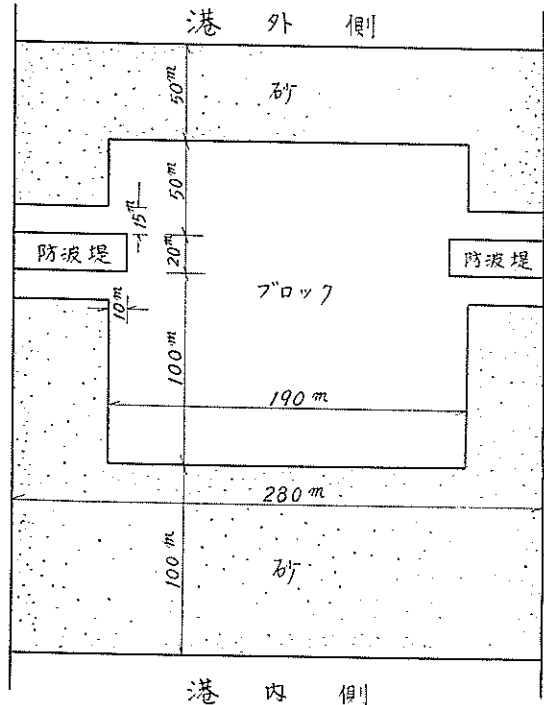


図-3-2 Case 2



この実験に使用した時間は300秒～1200秒で前述したように防波堤開口部付近にブロックを全面的に敷き並べている。法面については、両防波堤の先端より約10cm(10m)岸側に入った位置を法尻として種崎側は、自然勾配1:2で仕上げ、桂浜側は1:5にして行なっている。

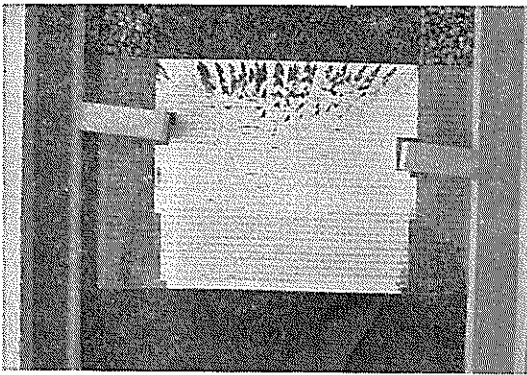
防波堤より港外側は前回の実験と同じく海底一面に小型の砂漣が発生し、大体900秒(約5波)当りでブロックが局部的に1列目が沈下する模様である。防波堤より港内側は、流出口を流出した流れが拡大線とその外側に渦領域をつくって逆流が現われる。

そこで種崎側と桂浜側を比較するとその逆流区域及び区域内での流速は桂浜側が大きい。しかし主流の中心は種崎側に片寄る傾向を示している。洗掘の状況は、必ずしも流速の速い箇所ではなく、主として底面近くにうすい層流底層ができ、そこで非常に大きい速度勾配となり、剪断力が働いて洗掘が生じ底面の形状が異なってくる。

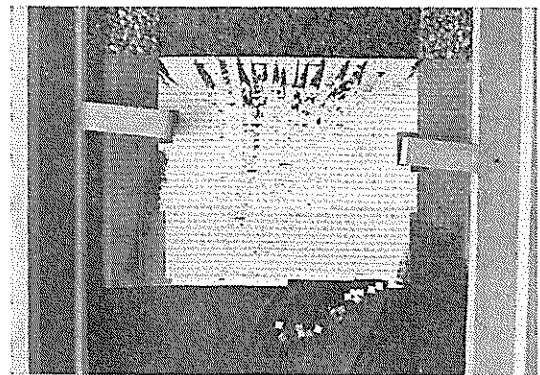
それに伴い垂直の分速度が時間的に激しく変動し流体は互いに入り混り複雑な運動を行なう。この現象が乱れの原因と考えられる。乱れがどのように発生するかは、結局層流が攪乱に対して安定であるかどうかによって決定される。

したがって今回はこの大きな乱れに影響されるものと考えられる。そこで桂浜側の底層付近が主流と逆流の境界付近から洗掘が開始されるのを写真から判断しても明確である。

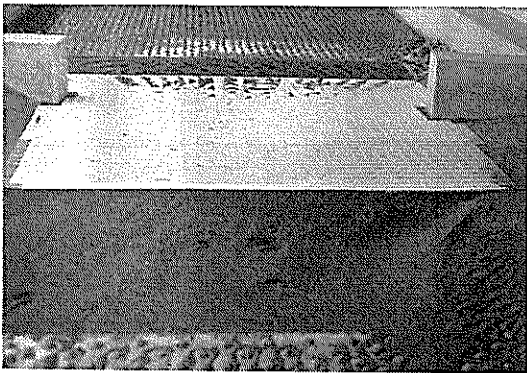
この実験で防波堤開口部付近の流速(8 m/sec)では、ブロックの移動は見られないが、津波の周期(約30分)が模型面で大体600秒(約4波)当りから砂が洗掘され、それに乗じてブロックが断続的に沈下及び移動を開始する模様である。又、各々の測定時間内におけるブロックの移動状況例えば形状、位置、深さ等については、各図に示しているのをそれを参考にされたい。



写-1-1 洗掘状況 (300sec)



写-1-3 洗掘およびブロック変化 (600sec)



写-1-2 洗掘状況 (300sec)



写-1-4 洗掘およびブロック変化 (600sec)

測定表	標型 (cm) 埋地 x/100
0	1
5	2
10	3
15	4
18	5
25	6
28	7
35	8
38	9
45	10
48	11
53	12
58	13
63	14
68	15
73	16
78	17
83	18
88	19
93	20
98	21
103	22
108	23
113	24
118	25
123	26
128	27
133	28
138	29
143	30
148	31
153	32
158	33
163	34
168	35
173	36
178	37
182	38
187	39
192	40
197	41
202	42
212	43
222	44

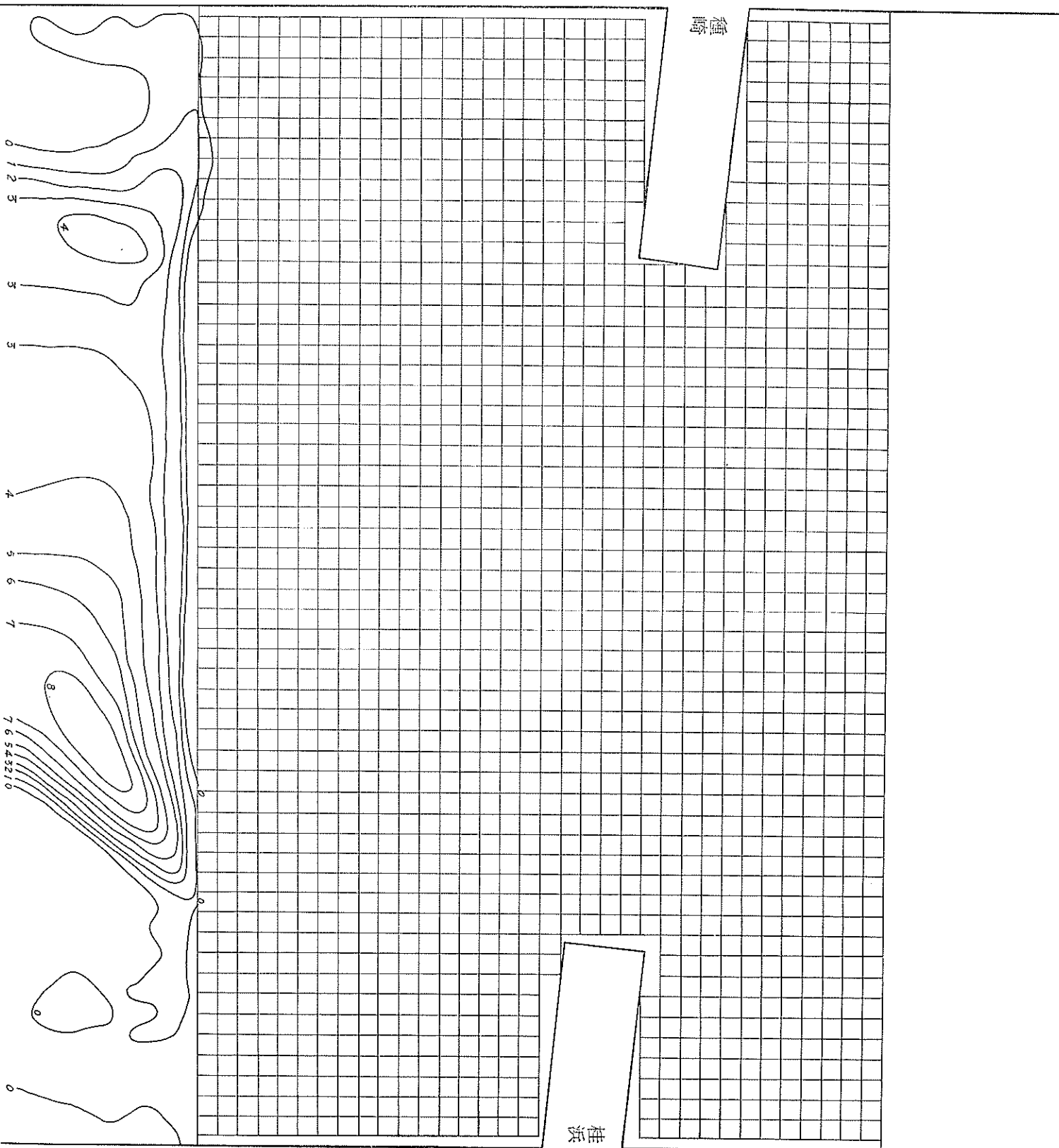


図4-1 洗掘およびプロットの変化 (300sec)  
— 11~12 —

測 定 差	模 型 (Cm) 現地 x/100
1	0
2	5
3	10
4	13
5	18
6	23
7	28
8	33
9	38
10	43
11	48
12	53
13	58
14	63
15	68
16	73
17	78
18	83
19	88
20	93
21	98
22	103
23	108
24	113
25	118
26	123
27	128
28	133
29	138
30	143
31	148
32	153
33	158
34	163
35	168
36	173
37	178
38	182
39	187
40	192
41	197
42	202
43	212
44	222

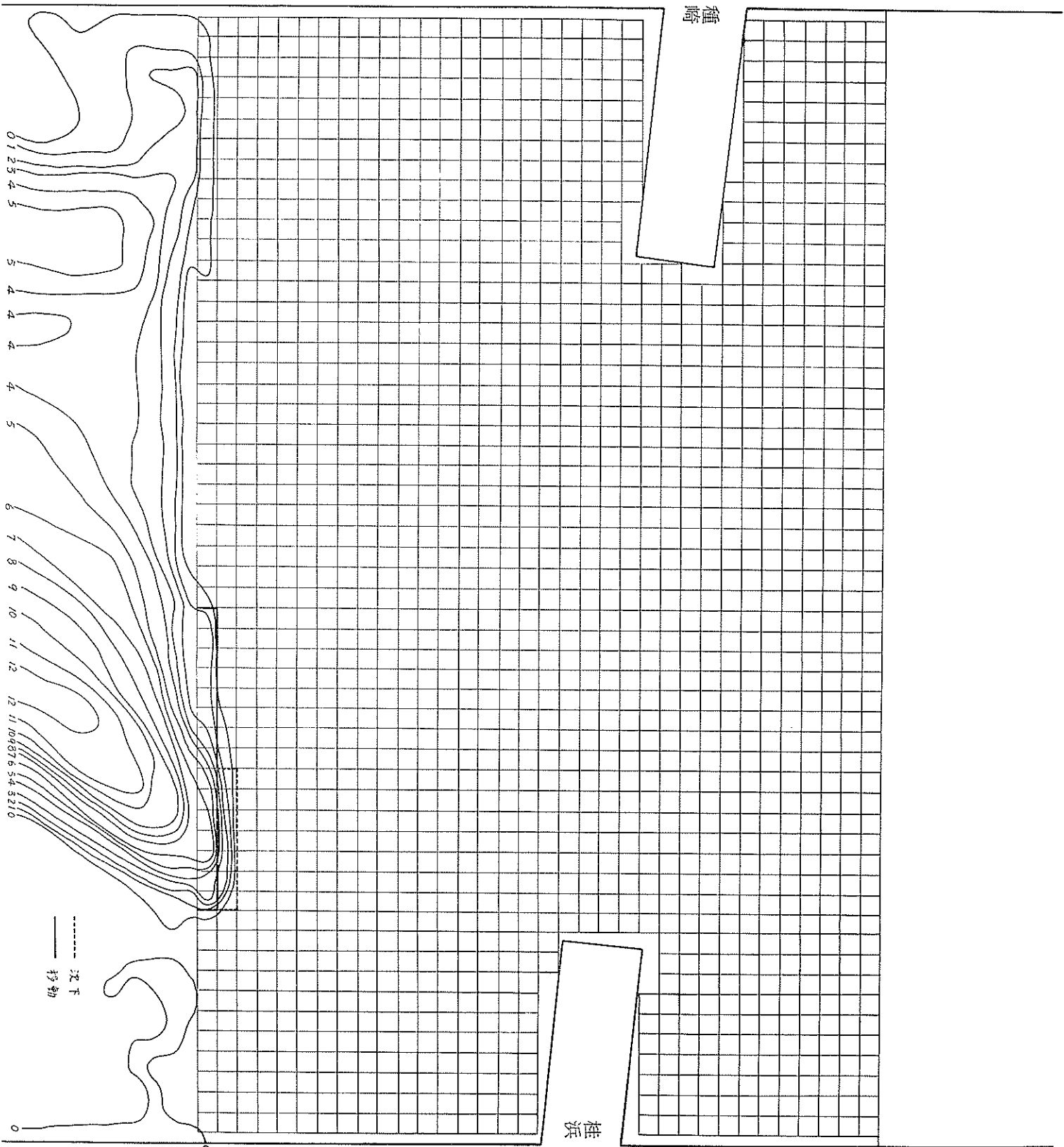


図-4-2 洗掘およびゲロウクの変化 (800sec)  
— 13~14 —

測 定 尺	標 型 (C.M.) 理 地 x/100
1	0
2	5
3	10
4	15
5	18
6	25
7	28
8	33
9	38
10	43
11	48
12	53
13	58
14	63
15	68
16	73
17	78
18	83
19	88
20	93
21	98
22	103
23	108
24	113
25	118
26	123
27	128
28	133
29	138
30	143
31	148
32	153
33	158
34	163
35	168
36	173
37	178
38	183
39	187
40	192
41	197
42	202
43	212
44	222

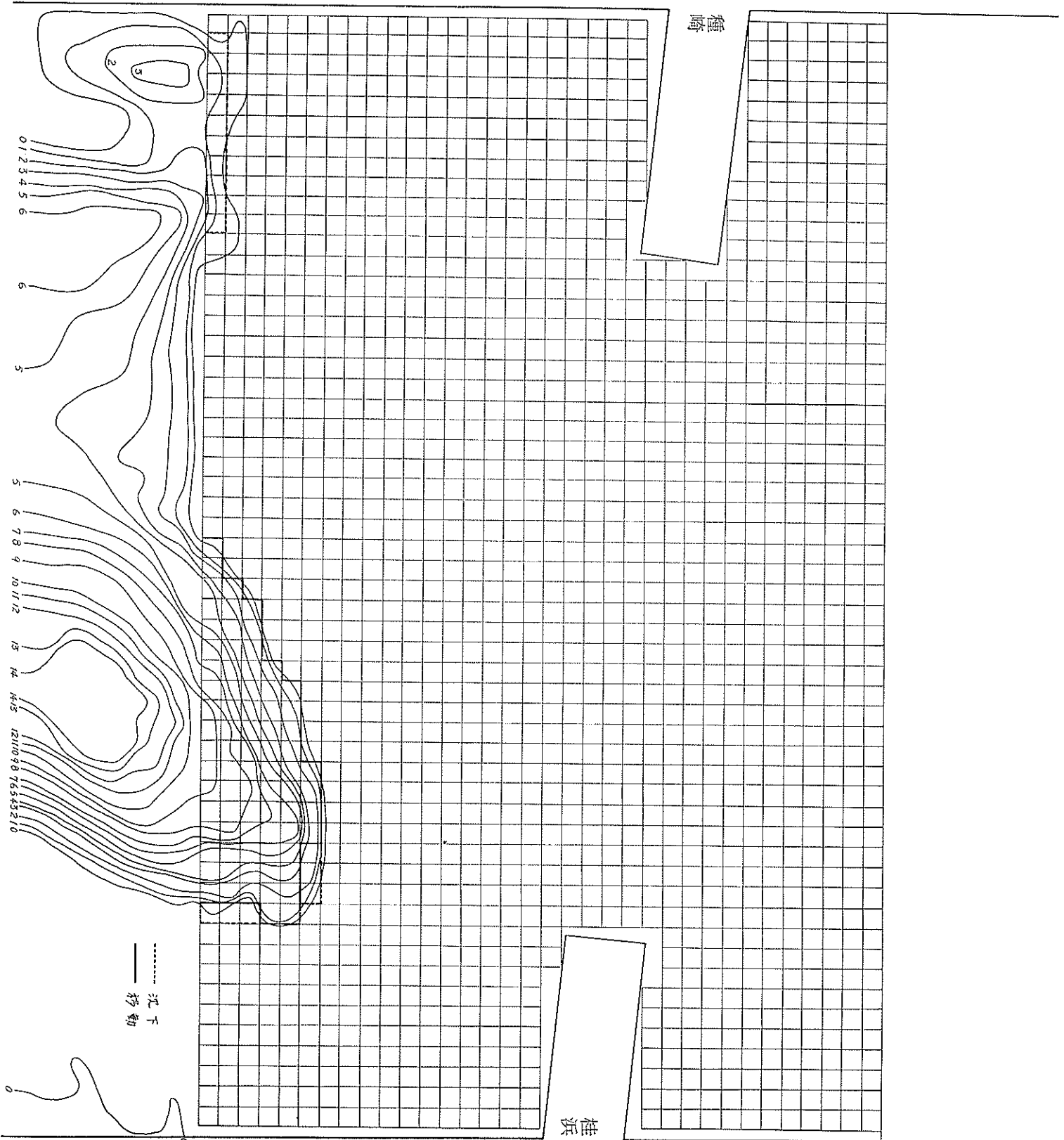


図-4-3 洗掘およびドロック変化(900sec)  
— 15~16 —

測 定 長	機 型 (Cm) 現地 x/100
0	1
5	2
10	3
15	4
18	5
25	6
28	7
35	8
38	9
45	10
48	11
53	12
58	13
63	14
68	15
73	16
78	17
83	18
88	19
93	20
98	21
103	22
108	23
113	24
118	25
123	26
128	27
133	28
138	29
143	30
148	31
153	32
158	33
163	34
168	35
173	36
178	37
182	38
187	39
192	40
197	41
202	42
212	43
222	44

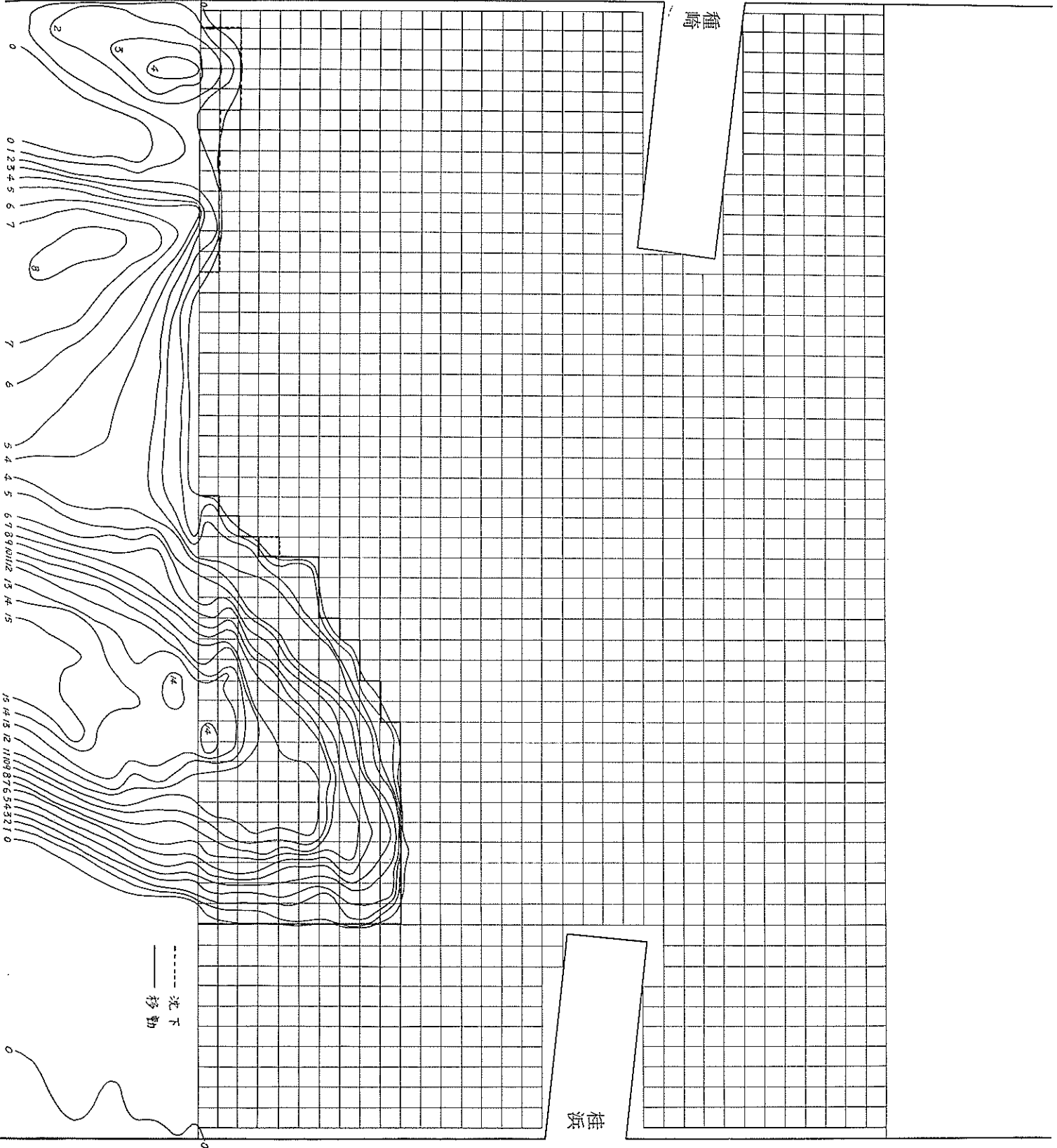
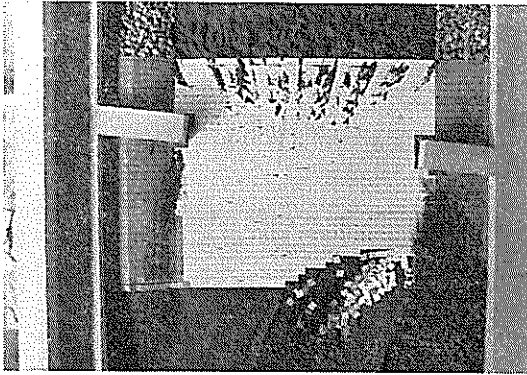
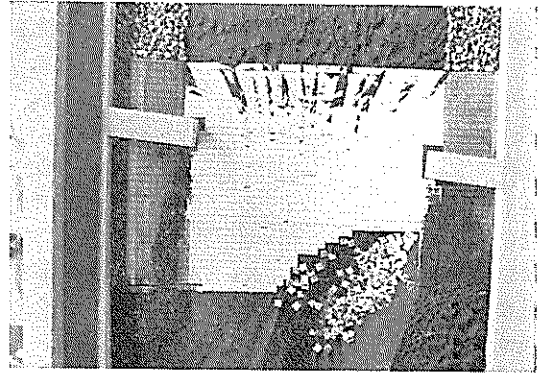


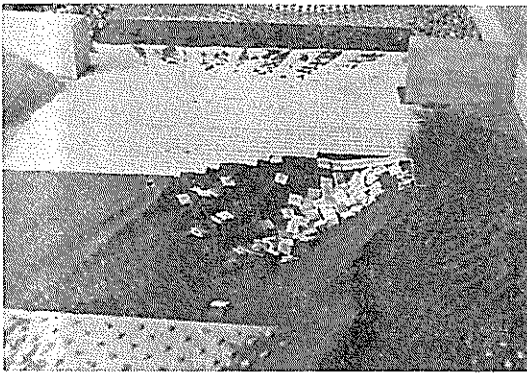
図-4-4 洗濯およびテロウク変化 (1200sec)  
— 17~18 —



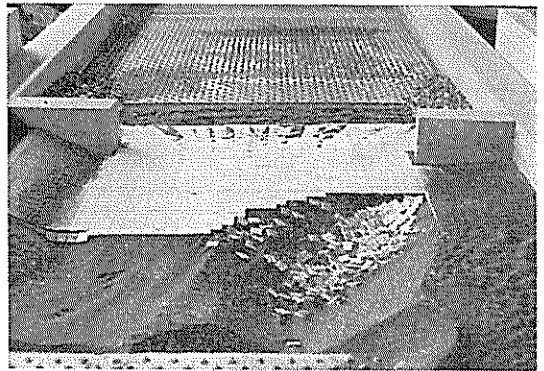
写-1-5 洗掘およびブロック変化 (900sec)



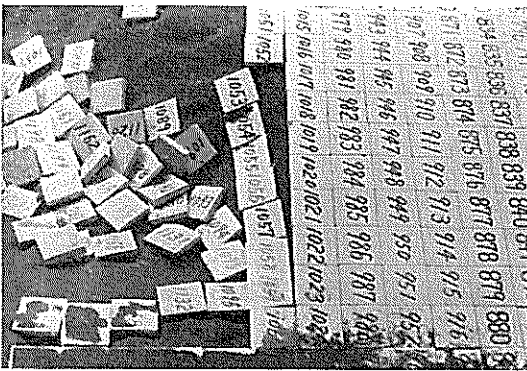
写-1-8 洗掘およびブロック変化 (1200sec)



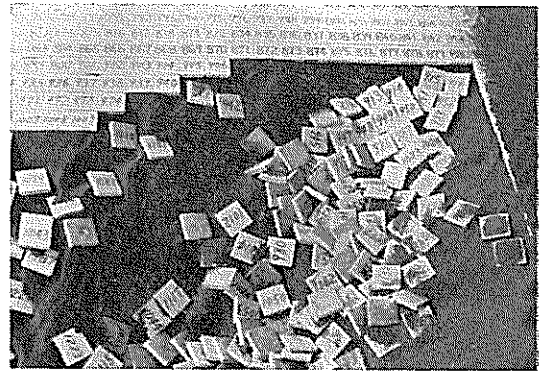
写-1-6 洗掘およびブロック変化 (900sec)



写-1-9 洗掘およびブロック変化 (1200sec)



写-1-7 洗掘およびブロック変化 (900sec)



写-1-10 洗掘およびブロック変化 (1200sec)



300秒(約2波)の実験では、写-1-1~2から観察されるごとく桂浜側の砂連からも前述した主流と反流の境界が明瞭であり、且つこの付近から洗掘が開始されるが、この時間内ではブロックの沈下及び移動は見られない。

600秒(約4波)の実験では、写-1-3~4に見られる様に洗掘箇所については、300秒間流しに時と大体同じ傾向を示している。ブロックの移動は1列目数にして15個面積に換算すれば、 $375\text{cm}^2(375\text{m}^2)$ の範囲が移動する。又、2列目が $175\text{cm}^2(175\text{m}^2)$ のブロックが沈下する傾向を示している。一方種崎側法面の1列目が $125\text{cm}^2(125\text{m}^2)$ 沈下する。

900秒(約6波)の実験では、写-1-5~7に示すようにブロックの移動範囲が6列目距離にして模型面30cm(30m)に延長され、当然のことながら面積 $1950\text{cm}^2(1950\text{m}^2)$ に拡大される。

1200秒(約8波)の実験では、写-1-8~10に示しているが、実際に津波が浸入する傾向として、はじめは小さく次第に大きなものと考え、その掃流力が防波堤開口部付近に及ぼす時間的範囲は、前報で述べたごとく5波長程度と推定される。しかし砂に関する相似率を無視しているので安全側を見込んでこの測定時間を選んでいる。したがってブロックの取り去られる範囲も10列目に延長され面積にして $3625\text{cm}^2(3625\text{m}^2)$ と非常に大きくなっている。

一方種崎側でも主流と反流の境界付近の乱れによってブロックの沈下が見られ、法面部分を含んで $450\text{cm}^2(450\text{m}^2)$ の範囲が沈下する。

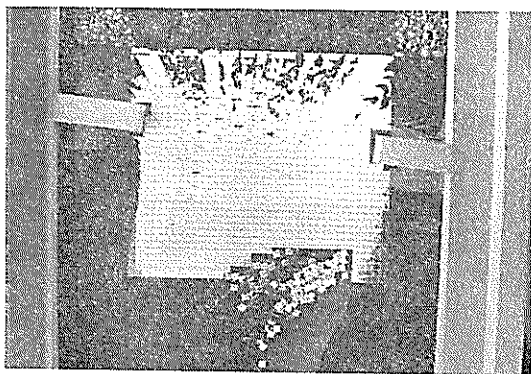
## 6-2 Case 2

Case 2の洗掘及びブロック変化量は図-5-1~3又は写-2-1~8に示している。

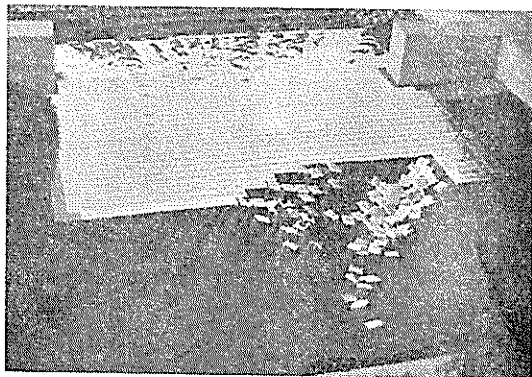
この実験では、兩岸の法面部分は砂に置き換え行なっている。これは第三報で述べたようにこの付近は反流域になり逆に主流によって運ばれてきた土砂で堆積される結果が見受けられるので床固めの必要性はないものと考えられる。ただし防波堤周囲(前面及び後面)は幅15mをブロックで床固め構造物の安定を考慮しその他の条件はCase 1と同じである。なお、このCaseに使用した実験時間の範囲は、600秒~1200秒で300秒を除いている。これはCase 1の結果からブロックへの影響が見られないためこのCaseでは省くことにした。

防波堤より港外側にかけてはCase 1と大体同じ傾向で砂礫が発生し、ブロックは600秒(約4波)当りで局部的に1列目が沈下するようで、特に種崎側にその傾向が著しく現われている。

防波堤より港内側における洗掘状況及びブロックの移動開始の箇所等については、大体Case 1と類似している。



写-2-1 洗掘およびブロック変化 (600sec)



写-2-2 洗掘およびブロック変化 (600sec)

測 定 長	樣 型 (Cm) x 100
1	0
2	5
3	10
4	15
5	18
6	23
7	28
8	35
9	38
10	43
11	48
12	53
13	58
14	63
15	68
16	73
17	78
18	83
19	88
20	93
21	98
22	103
23	108
24	113
25	118
26	123
27	128
28	133
29	138
30	143
31	148
32	153
33	158
34	163
35	168
36	173
37	178
38	182
39	187
40	192
41	197
42	202
43	212
44	222

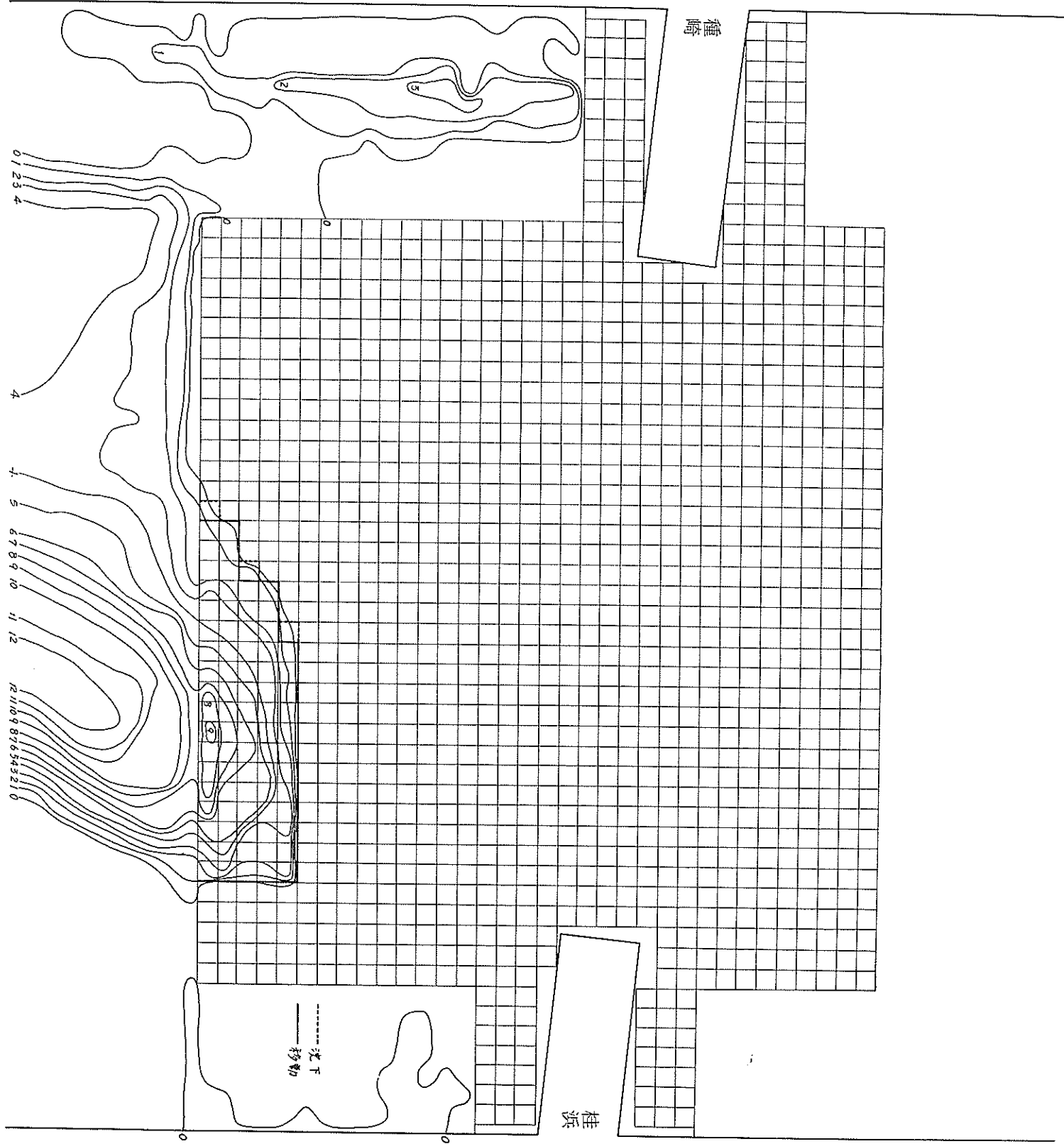


図-5-1 荒掘およびマロツク変化 (600sec)

測定表	標型 (cm) 埋地 x/100
0	1
5	2
10	3
15	4
18	5
23	6
28	7
35	8
38	9
43	10
48	11
53	12
58	13
63	14
68	15
73	16
78	17
83	18
88	19
93	20
98	21
103	22
108	23
113	24
118	25
123	26
128	27
133	28
138	29
143	30
148	31
153	32
158	33
163	34
168	35
173	36
178	37
182	38
187	39
192	40
197	41
202	42
212	43
222	44

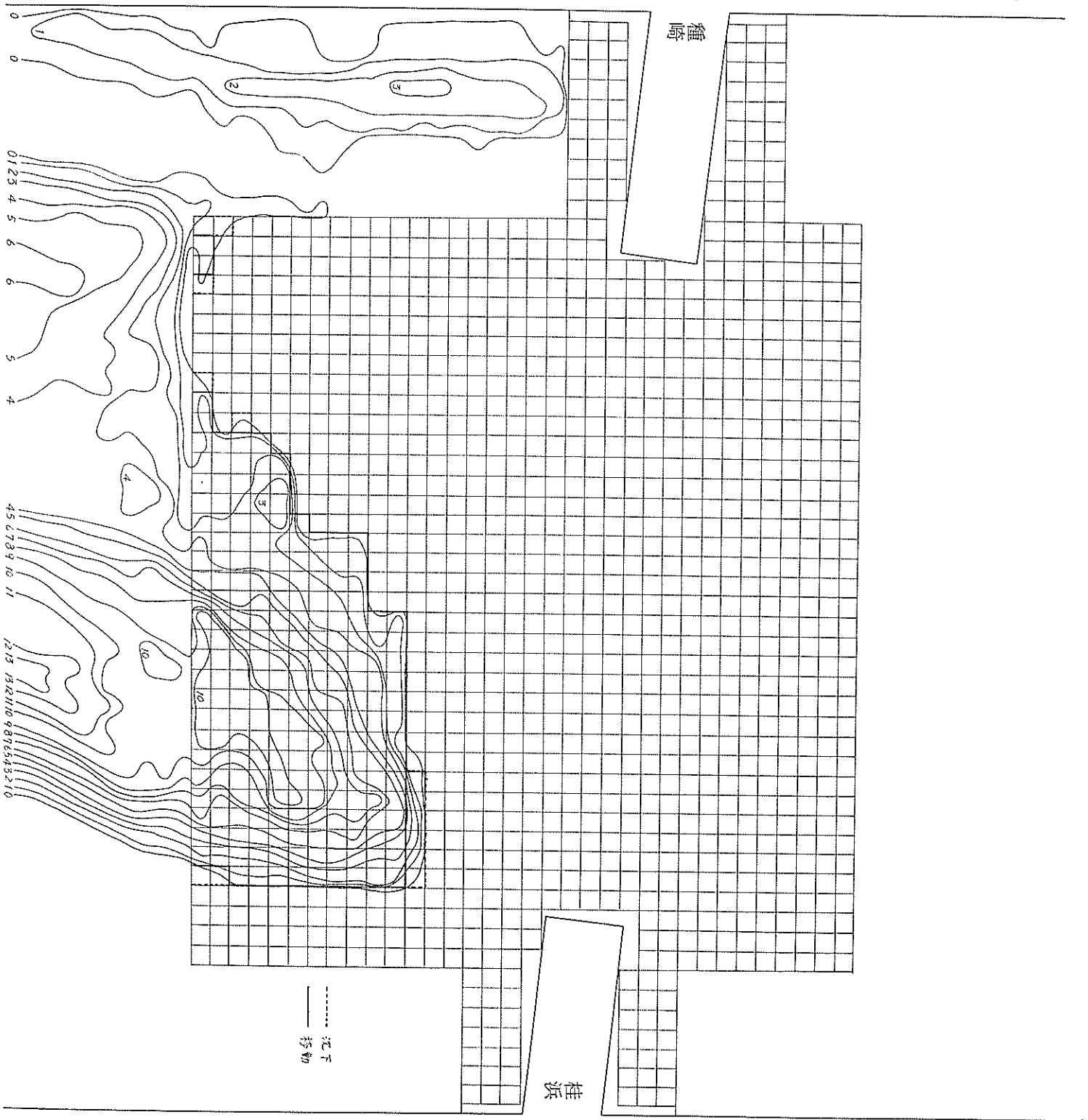


図-5-2 洗掘およびコアの歪化 (900sec)  
— 23~24 —

標高 (cm) 現地 ×100	測定差
0	1
5	2
10	3
15	4
18	5
25	6
28	7
33	8
38	9
43	10
48	11
53	12
58	13
65	14
68	15
75	16
78	17
83	18
88	19
95	20
98	21
103	22
108	23
113	24
118	25
123	26
128	27
133	28
138	29
143	30
148	31
153	32
158	33
163	34
168	35
173	36
178	37
182	38
187	39
192	40
197	41
202	42
212	43
222	44

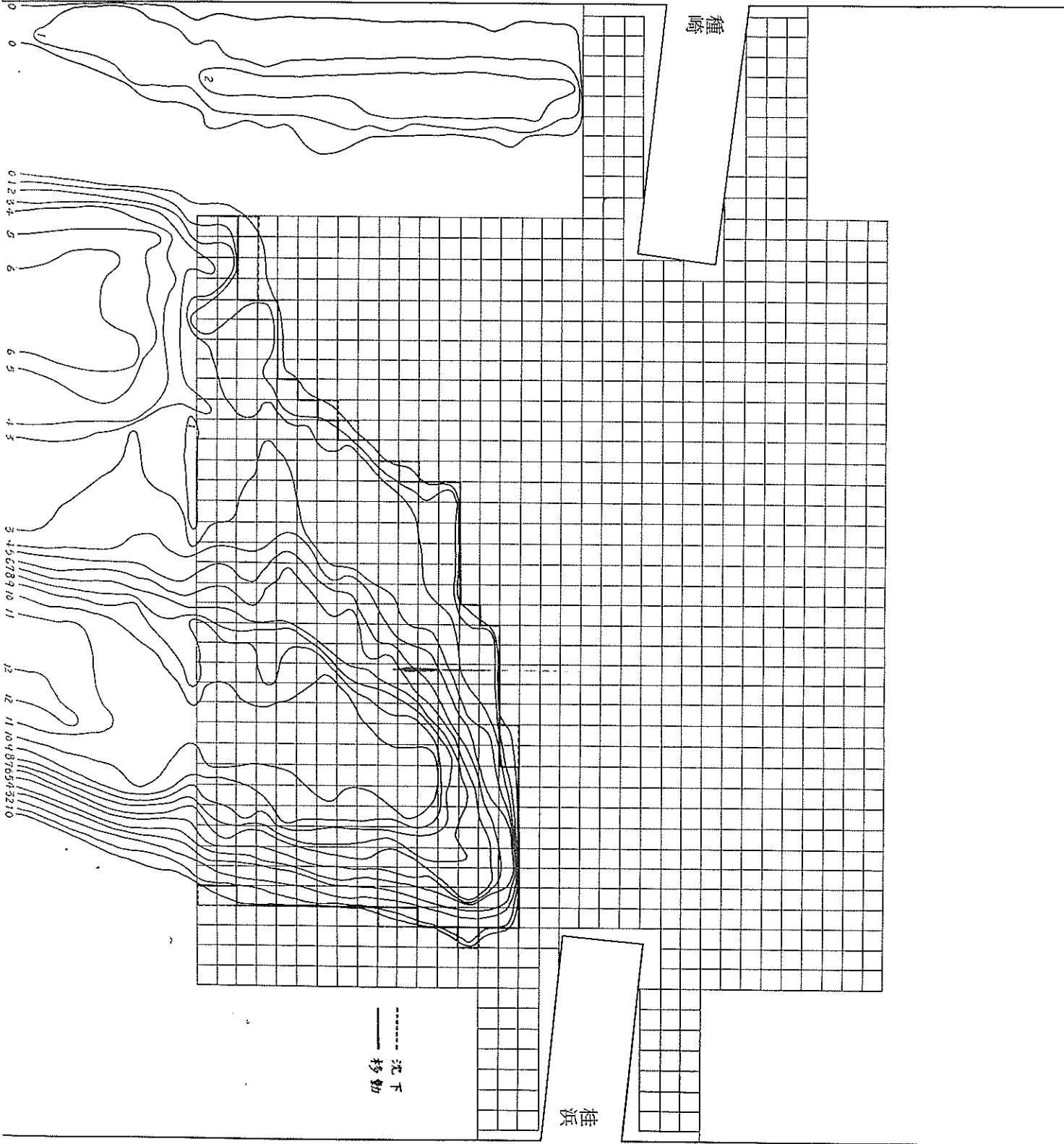


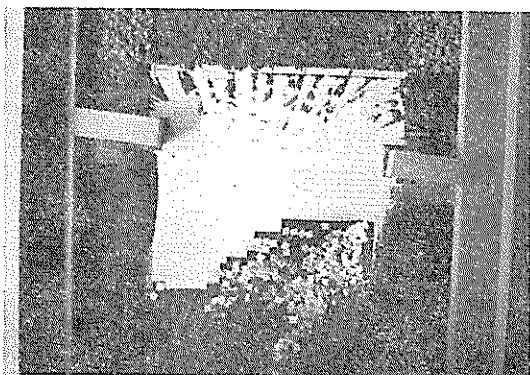
図-5-3 洗掘およびゾロツク変化 (1200sec)

600秒の実験は、写-2-1~2から観察されるごとく距離にして5列目(25m)となり、面積に換算すれば移動量 $2100\text{cm}^2$ ( $2100\text{m}^2$ )又、沈下量 $75\text{cm}^2$ ( $75\text{m}^2$ )となっている。

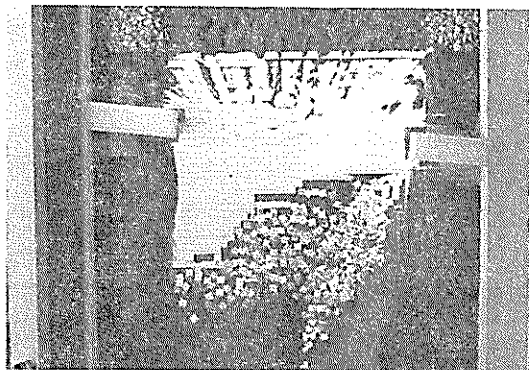
900秒では、写-2-3~5に示しているように移動範囲もさらに大きく拡がり移動量 $6125\text{cm}^2$ ( $6125\text{m}^2$ )又、沈下量

$175\text{cm}^2$ ( $175\text{m}^2$ )に拡大され、一方種崎側においてもブロックの移動が見受けられる。

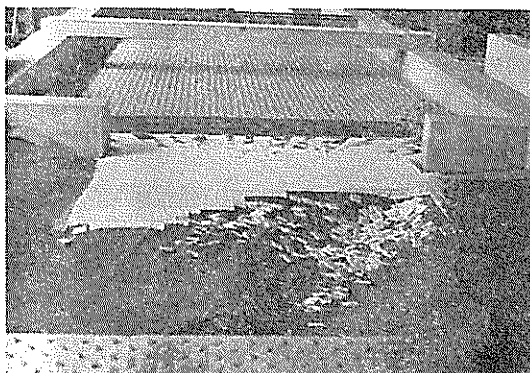
1200秒では、写-2-6~8に示すごとく広い範囲にブロックの移動が生じ模型面で $9325\text{cm}^2$ ( $9325\text{m}^2$ )の移動量を示す。又、沈下量は $250\text{cm}^2$ ( $250\text{m}^2$ )となっている。



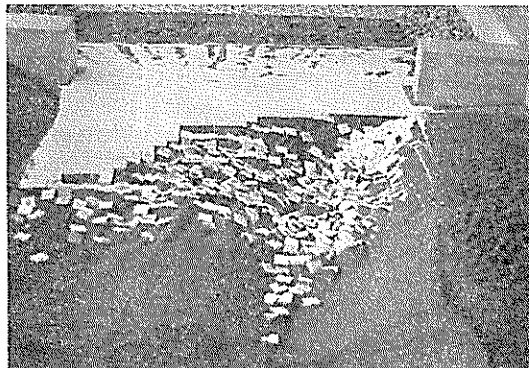
写-2-3 洗掘およびブロック変化 (900sec)



写-2-6 洗掘およびブロック変化 (1200sec)



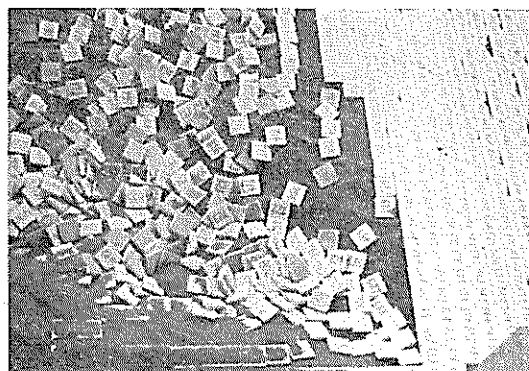
写-2-4 洗掘およびブロック変化 (900sec)



写-2-7 洗掘およびブロック変化 (1200sec)



写-2-5 洗掘およびブロック変化 (900sec)



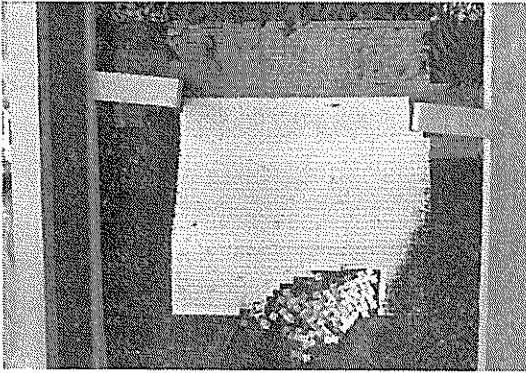
写-2-8 洗掘およびブロック変化 (1200sec)

### 6-3 Case 3

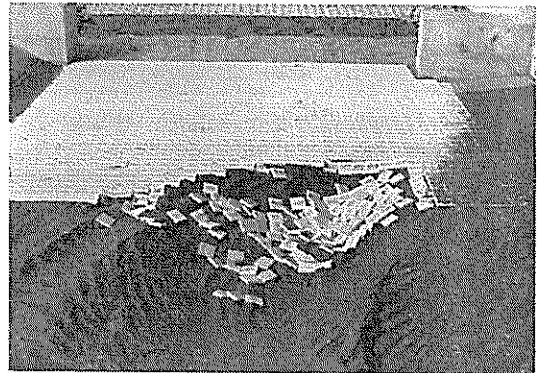
Case 3 の洗掘及びブロック変化量は、図-6 に又写-3-1~3 に示している。この実験は、前述したように Case 2 の条件下で港内側を更に 50m 延長している。これは Case 1~2 の実験結果からブロックの移動が激しく、砂の洗掘によって左右されることを考えれば、今回の実験は前に述べた如く砂に関して相似率を無視しているので、実際は模型より遙かに大きい現象が生じるものと考えられる。したがってこれらを考慮してこの Case を追加することにした。実験に使用した時間は実際に津波が浸入し、その掃流力が防波堤付近に及ぼす時間的範囲が 5 波長程度と推定されることから 900 秒 (約 6 波) を用いている。

防波堤より港外側にかけては、写真から観察されるように小型の砂漣が発生する。この傾向は各々の Case と大体類似しているがブロックについては、総体的に 1 列目が沈下し、特に種崎側は 3 列目面積に換算して  $375\text{cm}^2$  ( $375\text{m}^2$ ) の範囲が沈下する。

防波堤より港内側は、ブロックの敷き並べ距離の延長によって、砂の洗掘及びブロックの移動位置が種崎側に片寄る傾向を示している。この原因は防波堤からの Wake が最も大きな役割を示すものであり、それらは写真の砂漣から判断して明確である。ブロックの沈下量は  $600\text{cm}^2$  ( $600\text{m}^2$ ) となり、移動量は模型面で  $2625\text{cm}^2$  ( $2625\text{m}^2$ ) を示している。



写-3-1 洗掘およびブロック変化 (900sec)



写-3-2 洗掘およびブロック変化 (900sec)



写-3-3 洗掘およびブロック変化 (900sec)

観測 地点	標高 (cm) 埋地 x 100
0	1
5	2
10	3
15	4
18	5
23	6
28	7
33	8
38	9
45	10
48	11
53	12
58	13
63	14
68	15
73	16
78	17
83	18
88	19
93	20
98	21
103	22
108	23
113	24
118	25
123	26
128	27
133	28
138	29
143	30
148	31
153	32
158	33
163	34
168	35
173	36
178	37
183	38
188	39
193	40
198	41
203	42
208	43
213	44
218	45
223	46
228	47
233	48
237	49
242	50
247	51
252	52
257	53
262	54
272	54

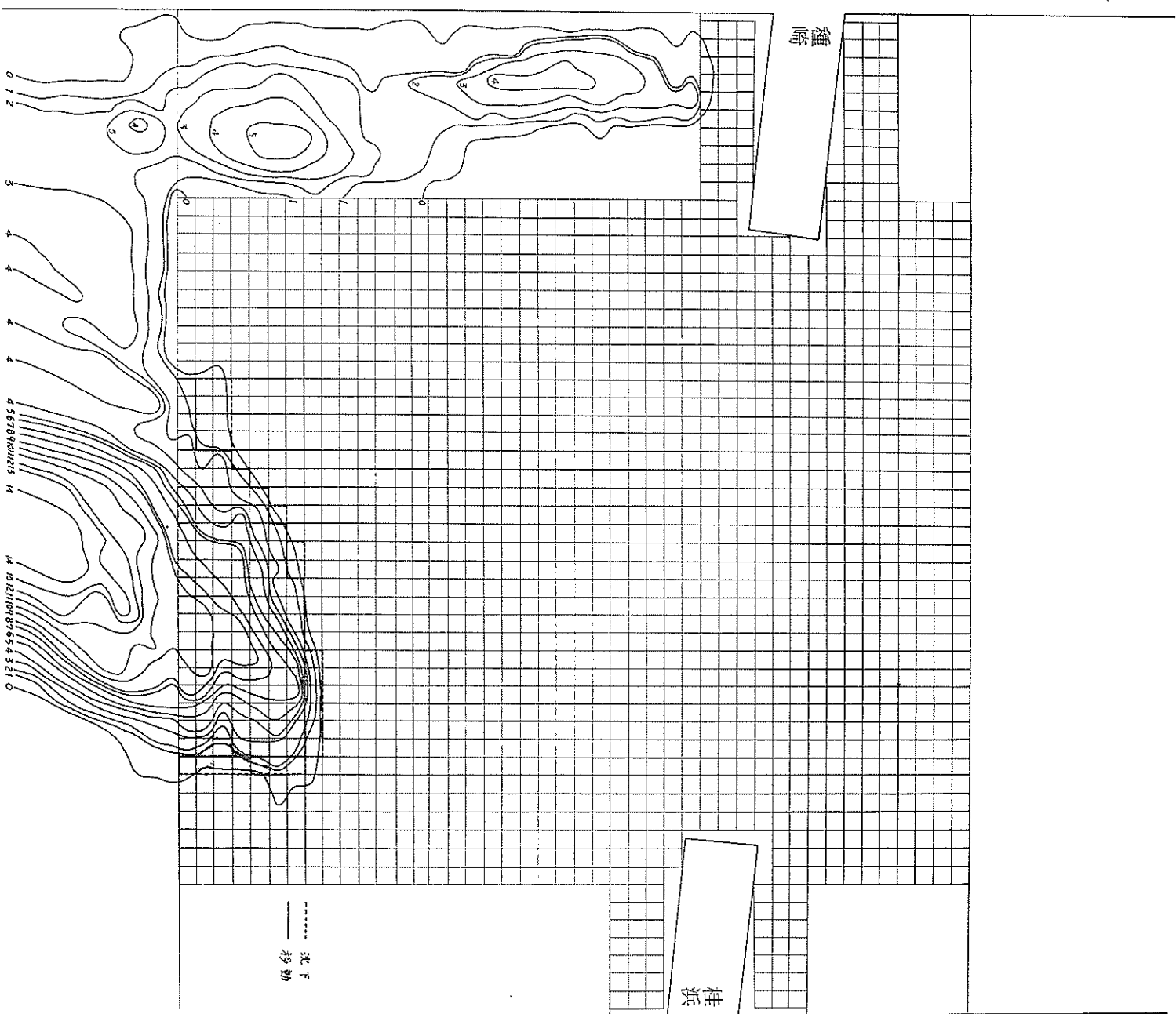


図-6 洗濯おびびアロツク変化 (900sec)

#### 6-4 考 察

以上記述した防波堤開口部付近の洗掘防止工法として、ブロックを地盤上に直接敷き並べた場合に、下流側の洗掘により生ずるブロックの移動状況を知ることができた。そこで津波に対する洗掘防止効果をブロックの敷き並べ範囲によってその大きさ、変化等について各々の Case について検討すれば図-7 の如くである。

この Case 別ブロックの変化図は、移動量、沈下量を合わせた範囲を実測値（例えば図-4）及びそれぞれの写真を参考にして平面積に換算し、比較したものである。

Case 1～2 は前述したように防波堤を中心にして港内外のブロック敷き並べ距離は同じであるが、法面部分が Case 1 はブロック、Case 2 は砂で行なっている。そこで Case 1～2 は一部分を除けば、大体条件が類似

しているので比較することにした。

図から観察される如く Case 1 に対比して Case 2 はそれぞれ測定時間において2～4倍程度のブロック移動量の増加を示している。したがって法面部分の差異によってこのような増加率に疑問が残る、そこでこのような現象が生じた原因について考えられることは、ブロックを敷き並べる際の弛み（締め固めの度合）によるものと考えられる。Case 1 は、水路幅全体にブロックを敷いているため弛みがないが Case 2 では、両端が砂との接触であるために多少の弛みがあるものと考えれば、当然このような結果が生じるものと思われる。Case 3 は、測定時間も一つであり、且つ条件が Case 1, 2 と異なっているので比較の対象にはならないので、参考程度として図の中に入れてある。

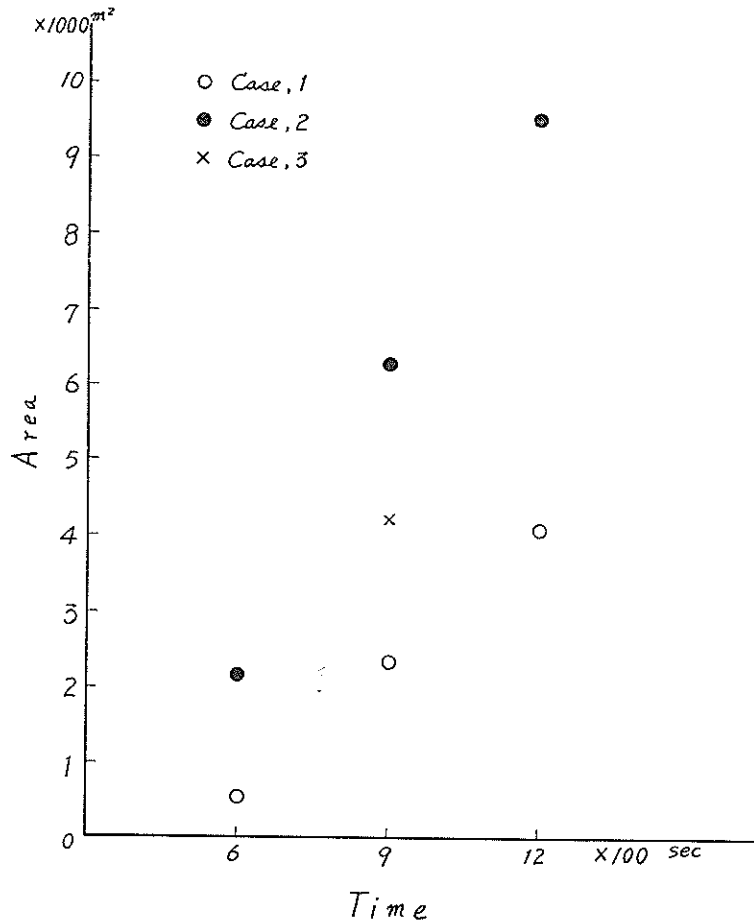
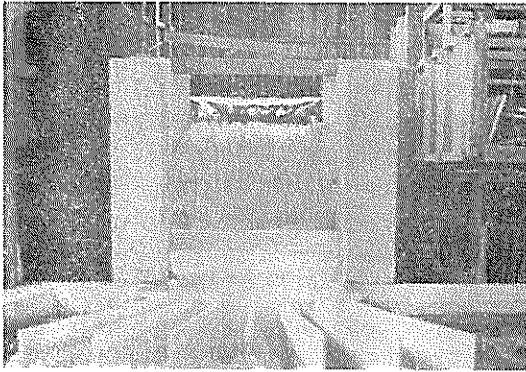
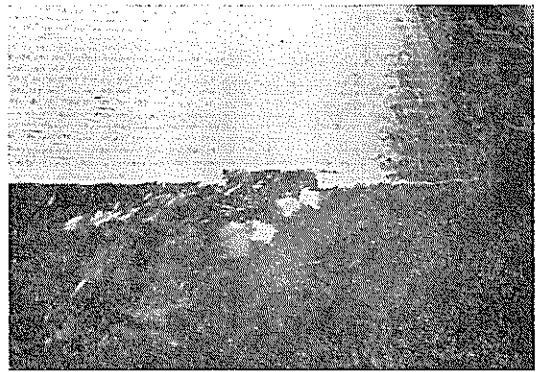


図-7 各 Case 別のブロック変化

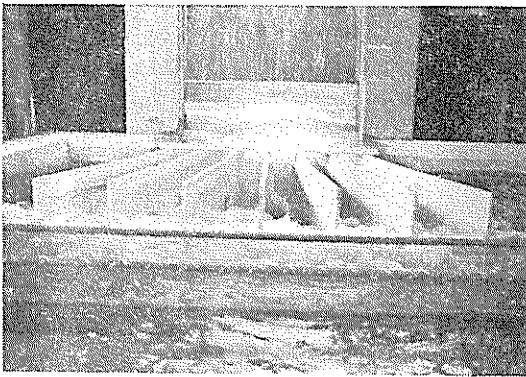




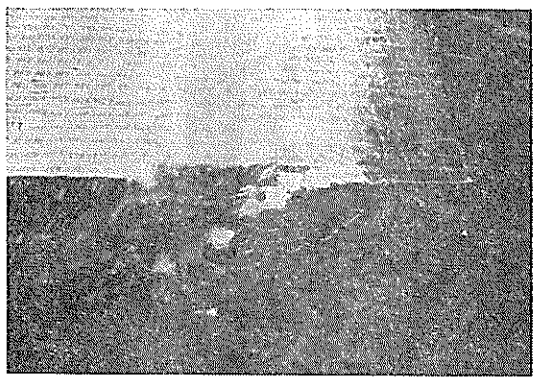
写-4-1 樋頭水槽の流出部



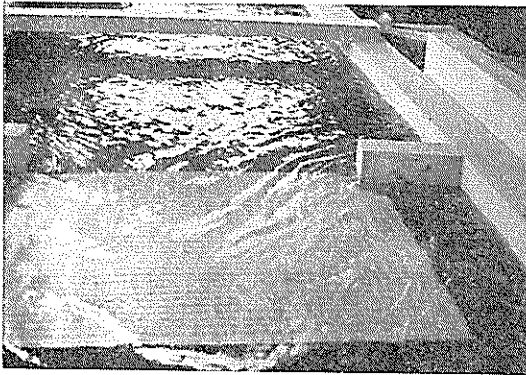
写-4-4 ブロックの移動状況 その1



写-4-2 模型上流側の整流部



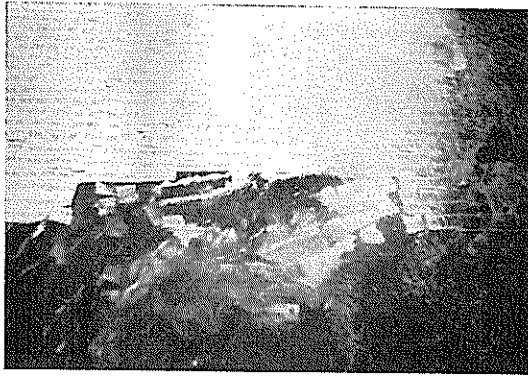
写-4-5 ブロックの移動状況 その2



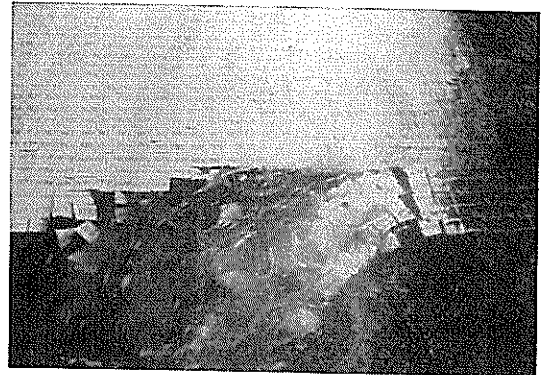
写-4-3 津波防波堤開口部付近の流況



写-4-6 ブロックの移動状況 その3



写-4-7 ブロックの移動状況 その4



写-4-8 ブロックの移動状況 その5

写-4-1~8 は Case 3 の実験中に撮影したもので、これは樋頭水槽から水を流して模型面に至る流況及びブロックの取り去られる模様を示したものである。

## 7. あとがき

この実験は、特に防波堤開口部付近の洗掘防止工法の検討であるので実験に必要な模型もこの付近が主体とした水路を設けている。実際にこの実験のように流れに両岸より直角に近い構造物を設置すれば、急激な水位変化及び反流域の発生により複雑な流況を示してくる。したがって洗掘に影響する要素が大きく、特に今回の実験では前述したように洗掘の開始する箇所は、必ずしも流速の速い所ではなく主として底面近くにうすい層流底層ができ、そこで非常に大きい速度勾配となり、剪断力が働いて洗掘が生じ底面の形状が異なってくる。それに伴い垂直の分速度が時間的に激しく変動し、その付近における流体は互いに入り混り複雑な運動を行なう。この現象が乱れの原因と考えられる。したがって今回もこの大きな乱れに影響されることが本実験より明らかである。一連の実験より当防波堤付近の洗掘防止工法を検討すれば次の如くである。

- 1) 防波堤法線及び流路の湾曲の影響で特に桂浜側が底面付近に乱れの発生頻度が大きくブロックの移動も激しくなっている。
- 2) 実際に現地でブロックを敷き並べる際に隙間(弛み)のないように作業が出来るかどうか、実験結果によるとブロックの弛みが移動量に大きな影響を与えることが考えられるので施工には十分な考慮を必要とする。
- 3) この実験は津波浸入時のみであるが、実際は浸入+引波の定常流として行なっている。しかし現象が多少異なってくるので引波時を考慮すれば、実験結果より

港外側は増大し港内側は減少するものと考えられる。

- 4) 採用する洗掘防止工法は Case 2 に近いものを使用し数値的に示すならば、ブロック敷き並べ距離を港外側 60m~70m 港内側 80m~100m の範囲位でよいものと思われる。
- 5) ブロックの数量が多いため現地での作業が非常に困難であるから例えばブロックの敷き並べ範囲を防波堤付近に止めその区間を鋼管杭又は矢板を用いて行なうのも一つの方法ではないかと考えられよう。以上概括的ではあるが本実験の結論とした。

なお、この実験のため、種々御便宜をはかっていただいた第三港湾建設局神戸調査設計事務所所長高橋基次氏並びに事務所一同及び懇切な御指導を賜った港湾技術研究所水理研究室長浜田徳一氏、高潮津波研究室長加藤始氏並びに研究室一同に深く感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 高知港津波防波堤に関する模型実験 (第1報)  
柴山煒彦, 木村久雄, 武村莞爾  
港湾技術研究所報告 第3巻2号 1964年6月
- 2) 高知港津波防波堤に関する模型実験 (第2報)  
柴山煒彦, 木村久雄, 高木幸夫  
港湾技研資料 No. 25 1966年9月
- 3) 高知港津波防波堤に関する模型実験 (第3報)  
木村久雄, 工藤国守, 柴山煒彦  
港湾技術研究所報告 第7巻2号 1968年6月
- 4) 高知港口模型実験について  
浜田徳一, 寺西孝雄, 原中裕人  
運輸技術研究所報告 Vol. 3 No. 9~10, 1953年10月
- 5) 水理公式集 土木学会 1963年増補改訂版
- 6) 流体力学 藤本武助著, 養賢堂 1968:10

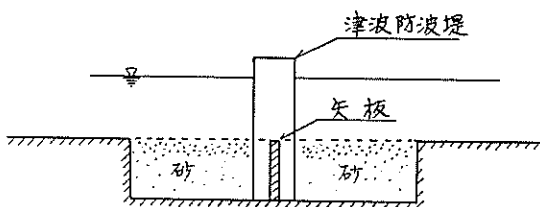
## 附 録

### 洗掘防止工法として矢板の場合

#### 1. 概 要

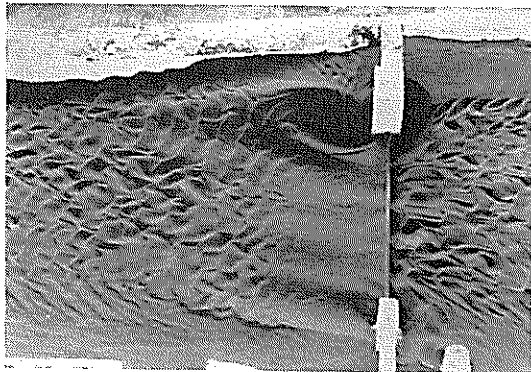
この模型実験は、第三報で報告した床固め工法の追加であり、矢板に相当するものとして耐水ベニヤ(幅10%)を用い実験を行なった。相似性については無視するという条件下で比較実験による類推的な方法を用いている。したがって測定した洗掘結果は大体定性的な範囲である。

#### 2. 実験結果

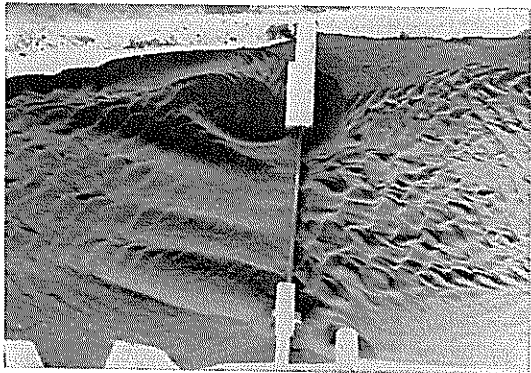


附図-1 矢板断面

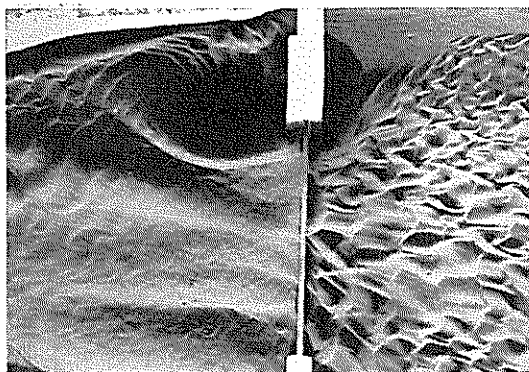
附図-1に示す如く幅1cm 現地換算(2m)の直立壁で両津波防波堤間(170m)に設置し、種崎側の法面は第三



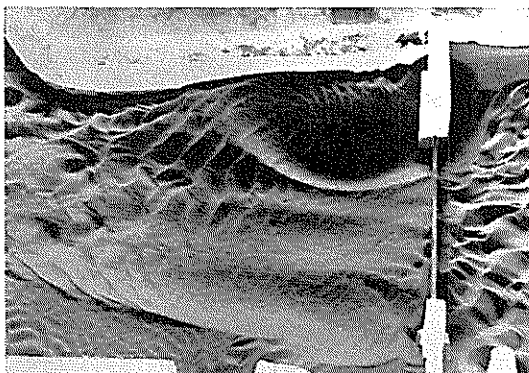
附写-1-1 洗掘状況 (180sec)



附写-1-2 洗掘状況 (300sec)

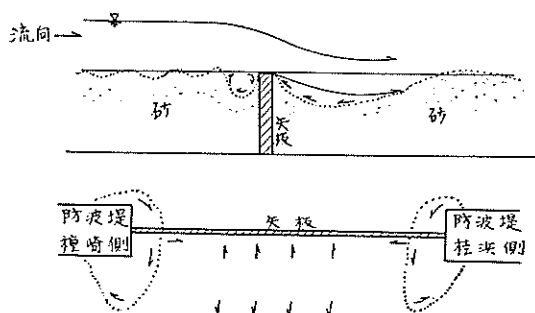


附写-1-3 洗掘状況 (600sec)



附写-1-4 洗掘状況 (1200sec)

報の Case 4 の実験と同じく海底面に使用した砂で自然勾配に仕上げ測定を行なった。実験に使用した時間は180秒, 300秒, 600秒, 1200秒で各々の洗掘状況は附写-1~4に示している。なお、現地で津波の浸入が津波防波堤付近に生じる掃流力の及ぼす時間的範囲を模型面に換算すると大体300秒~600秒間流した時に起る洗掘結果として見ればよい。洗掘の状況は津波防波堤より港口にかけては、洗掘は小さく海底一面に小型の砂澱が発生し、自然勾配にした法面で海底付近が僅かであるが削り取られる模様である。津波防波堤に接近するにしたがって断面の縮小により流速が増大しそれに伴い流砂量が増加する。矢板前面(上流側)の海底は洗掘され低下し附図-2に示すごとく流れの一部が壁面に跳返り水平方向を軸とした渦を起す原因となる。この結果流速が遅くなりその部分の圧力が増加して局部的に洗掘される。津波防波堤先端部は流れの加速の著しいところであり、したがって剪断力が大きく円形状に洗掘され量的に大きい箇所である。防波堤を通過した直後の矢板後面(下流側)では図に示すような流砂の動きが現われる。この現象は



附図-2 洗掘時の流況（流砂の動き）

矢板のすぐ後で流れの流線が底面からはく離を起してその部分に逆流が生じ、その範囲は海底変化に伴い移動する。又、逆流によって運ばれてきた砂が矢板壁に当り上に飛び出し再び主流によって下流側に輸送される。津波防波堤を通過した後は、急激な水位変化と両先端部からの大きな乱れによって洗掘力が大きくなる。その範囲は

現地に換算して矢板面より約 100m 付近に渡り深みを形成している。推積については、前回の実験と同じく種崎側防波堤の背面に現われる。これは反流域が発生しその反流が主流に比べてかなり弱いもので主流によって運ばれてきた砂が推積の原因と考えられる。

### 3. 結 論

矢板による海底及び局部洗掘について検討すれば

#### 1) 海底洗掘

実験では全面に渡る海底洗掘の状態は洗掘の開始の偶然性に左右され洗掘分布が多少変るものと考えられる。したがって数多くの実験を行ないその平均値から算出するより手段はないものと思われる。

#### 2) 局部洗掘

津波防波堤付近の局部洗掘は、前回の実験 Case 1 直立壁と洗掘の状況は総体的に見て類似している。又、洗掘量の大きいところで比較しても多少の差異はあるが殆んど変わらない。

港湾技研資料 No. 90

1969・12

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所  
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 株式会社 第一印刷所  
東京都中央区湊町2-16