

港湾技術研究所報告

REPORT OF PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

第6巻7号

Vol. 6 No. 7

(通巻第44号)

駿河湾台風6626号総合調査研究報告

- 駿河湾海岸踏査報告……………佐藤昭二・森平倫生・入江功・谷本勝利
台風6626号の波浪……………高橋智晴・鈴木禧実・佐々木弘
駿河湾の高潮……………伊藤喜行・谷本勝利・木原力
田子浦港西防波堤洗掘実験……………森平倫生・木原力
田子浦海岸堤防模型実験……………川上善久・谷本勝利
田子浦港の開発と過去の災害……………堀口孝男

1967年8月

運輸省港湾技術研究所



総 説

昭和41年9月18日カロリン諸島の東に発生した熱帯性低気圧は、北西に進み、23日0時マリアナ諸島の北部に達し台風6626号となった。この台風は、発達しながら北進を続け、25日0時遂に御前崎の西側に上陸した。

このときの中心気圧は960mb、最大風速35m/secで、進行速度は毎時65kmであつた。台風はそのまま、駿河湾の西側を北上し、甲府、前橋付近を通過し、25日午前9時三陸沖に去つた。その経路に当つた各県では集中豪雨による死者を含む崖くづれや洪水災害をもたらしたが、駿河湾には異常な高波が発生し、甚大な災害を蒙つた。特に、焼津田尻海岸、大洗海岸、富士海岸、吉原海岸では海岸堤防の破壊や越波によつて、約20名の死者、330戸に達する家屋の全半壊などの被害を受けている。

港湾施設の被害は、大井川港、清水港、田子浦港で目立っている。特に、田子浦港では、防波堤が波浪によつて基礎洗掘をうけて傾斜し、越波によつて航路護岸が被災すると共に、付近の海岸堤防を越波し住家に被害を与えた。

このような災害を復旧するためには、台風による高潮や波浪の特性を明らかにすると共に、それに対応する対策施設の合理的な計画設計がなされなければならない。このため台風6226号に関連して、駿河湾海岸踏査、波浪と高潮の解析、田子浦港の防波堤洗掘実験と防潮堤越波実験を行つた。

これらの調査研究は、災害復旧の緊急な要請に対応するため、何人かが分担して行つた。その実験解析の途上において、何回か各担当者が集つて基本的な考え方を統一するように出来るだけ努めた。しかし、各研究はほとんど同時に開始したものであるので、報告をまとめるに当つて、各研究が、それぞれ独立な形態をとることとなつた。従つて、ここに、報告特集として取りまとめたものである。

第1編、駿河湾海岸踏査報告では、踏査結果にもとづいて、沿岸各地の海浜性状、海岸構造物、台風時の海象状況の要点を示した後、駿河湾沿岸を東海岸、内浦湾沿岸、湾奥地区及び西海岸に分け、それぞれの海岸性状の特性を述べると共に、それらが、台風6626号を中心とするこの数年来の台風とどのような関連性をもつかを示し、台風6626号による災害の特性を指摘した。

第2編台風6626号の波では、台風6524、6604と共に台風6626号の貴重な波の実測資料を解析してそれらの相互関係と特性を明らかにし、推算も加えて、台風6626号の田子浦付近の波の性質を結論づけた。

第3編、駿河湾の高潮では、本台風に先立つて行つていた高潮の過去の実測値の解析と、伊勢湾台風級の仮想台風による数値計算に加えて、台風6626号の実測値と数値計算とから駿河湾の高潮特性を示した。

第4編田子浦港西防波堤洗掘実験では、台風6626号による洗掘形状と深さを再現し得るような波を実験的に求め、これを用いて対策実験を行い、西防波堤復旧に対する資料を得た。

第5編田子浦港防潮堤越波実験では、現地踏査の結果から堤防背後の砂丘を台風6626号時の波が1mの厚さで越流したものととして、そのような波を実験的に求め、この波を用いて復旧防潮堤の高さ、形状、位置等に関する実験を行つた。

更に、V字型の防潮堤配置における越波についても2・3の実験を行つた。

付録田子浦港の開発と過去の災害では、昭和33年より掘込港湾として開発された田子浦港の経緯を述べるとともに、17世紀以来記録されている災害の跡を辿つて、今回の災害に対する参考資料とした。

総 目 次

駿河湾台風6626号総合調査研究報告

総 説

第1編 駿河湾海岸踏査報告

……………佐藤昭二・森平倫生・入江功・谷本勝利…………… 1

第2編 台風6626号の波浪

……………高橋智晴・鈴木禧実・佐々木弘……………71

第3編 駿河湾の高潮

……………伊藤喜行・谷本勝利・木原力……………95

第4編 田子浦港西防波堤洗掘実験

……………森平倫生・木原力…………… 151

第5編 田子浦海岸堤防模型実験

……………川上善久・谷本勝利…………… 187

付 録 田子浦港の開発と過去の災害

……………堀口孝男…………… 219

第4編 田子の浦港西防波堤洗掘実験

目 次

概 要

| | |
|------------------|-----|
| 1. まえがき | 151 |
| 2. 模型と現地の相似性について | 152 |
| 3. 実験装置および実験方法 | 153 |
| 4. 実験結果ならびに考察 | 156 |
| 5. 結 語 | 169 |
| 附録一1 追加実験 | 170 |
| 附録一2 写真集 | 178 |

Model Experiment on the Scouring of the West Breakwater in Tagonoura Port

Michio Morihira*
Tsutomu Kihara**

Sinopsis

Tagonoura harbour is located in the most inner part of Suruga Bay and lies in the path of typhoons generated over the Pacific Ocean south of Japan. With its axis north and south and its mouth opening southward to the Pacific, the bay is extremely susceptible to flooding caused by large waves and typhoon surges.

In the fall of 1966, Suruga Bay was attacked by the severe typhoon which generated very large waves, especially in front of Tagonoura harbour. Owing to the attack of large waves generated by this typhoon, the front toe of the west breakwater was scoured out in 4.5m depth and the caisson of No. 10 was inclined to the offshore direction.

As the results of this disaster, the function of the west breakwater was missed in some degree, so that in order to return the west breakwater to the normal condition and get the function of the breakwater as it was, a several methods for repair works were suggested from Shizuoka Prefecture, Port and Harbour Bureau and Port and Harbour Research Institute, Ministry of Transport, after detail discussions were made.

In this report, the experimental results on the several repair work methods mentioned above have been discussed and some ideas to get the function of the breakwater which stands on a sandy sea bottom have been shown.

The repair work methods used in the model experiment were as follows.

- (1) to sink the caisson in front of the west breakwater in such a manner of getting the crown height of the caisson of -8.0m. The caisson is 14m in width, 17m in height and 15m in length.
- (2) to build new caisson type breakwater in the rear side of the west breakwater.
- (3) to build Tetrapods mound with or without asphalt-mat under it in the front side of the west breakwater. The crown height of the mound is -7.0m and the width of crown is 10.5m.

We got some useful conclusions from this model experiment. In order to prevent the west breakwater from scouring, (1) method would be recommended, but if it is considered only to get the whole function as the breakwater rather to prevent the west breakwater, (2) method would be recommended.

*Chief Resercher, Hydraulic Division

**Breakwaten Laboratory, Hydraulic Division

第4編 田子の浦港西防波堤洗掘実験

森 平 倫 生**
木 原 力*

概 要

この報告書は田子の浦港西防波堤前面の洗掘模型実験について述べたものである。

西防波堤は、1966年の26号台風により洗掘災害を受け、その機能が著しく低下した。このため色々な災害復旧工法が提案され、そのうちの代表的な工法について模型実験を行なった。模型の縮尺は $1/30$ と考へ、現地と模型の相似性については種々の考え方があるが、実験の期間が非常に短かく制限されたため、第2章に述べるような方法をとつた。この方法によれば、定性的にも定量的にもかなりの精度で現地の将来のありうべき姿を表わしうるものと考えられる。

実験の結果、西防波堤の本体をあくまでも大波による洗掘から防護する観点にたてば、現在の西防波堤の前面に根固めケーソンを施工する工法が最もよく、西防波堤本体の防護は考へないで、防波堤としての機能を原形に復するの立場にたてば、西防波堤の背後に新たに根入れの深いケーソン堤を建造する工法がよいことが判明した。

1. 序 論

この報文は静岡県田子の浦港西防波堤先端部の10号ケーソン附近の堤脚洗掘に関する模型実験結果ならびに災害復旧工法について述べたものである。

田子の浦港西防波堤はこれまでも幾多の災害を蒙ってきたが、昭和41年9月24日から25日未明にかけて駿河湾に來襲した台風26号により、その先端部の10号ケーソンの11号ケーソンと9号ケーソンとの間にあるコンクリート継手が崩壊し、堤脚洗掘により10号ケーソンは外海方向に傾斜した。

この災害復旧にあたって、田子の浦港前面は $1/4 \sim 1/6$ と急勾配の砂浜海岸であることから、西防波堤前面に幅14m、高さ17m、長さ15m程度、ケーソンを図-21に示すように天端高が-8mとなるように沈設し、さらにそのケーソンの前面に根固めブロックを置き、西防波堤前面の洗掘を防止しようとする工法が提案された。これに対して、この工法の前面根固めケーソンの施工が容易でなく、工期もかなり長びくことが予想されるので、現在の西防波堤本体を前面根固めケーソンと考へ、背後に新たにケーソン堤を築造する案が出された。その他考へられる堤脚洗掘防止工法としては、西防波堤前面堤脚部にテト

ラポッド等の異形ブロックあるいは捨石による離岸堤式潜堤により砂の沖側への移動流出を防止し、堤脚洗掘をある限度でおさえる工法などがある。いずれにせよ、災害復旧の前提にたてば西防波堤本体をあくまでも本体としての機能を持たせるような洗掘防止工法を見出すのが本すじである。

ここに行なつた模型実験においては、西防波堤前面に根固めケーソンを沈設しその前面に根固めブロックを設置する工法、西防波堤背後にケーソン堤を築造する工法ならびに西防波堤前面堤脚部にテトラポッドを投入する工法の3種について検討を加えた。

実験の結果つぎのことが判明した。まず西防波堤前面に根固めケーソン、根固めブロックを設置する工法は純粹に西防波堤堤脚部の洗掘防止という観点からは、ここにとり上げた工法のうちでは最も効果的である。西防波堤と根固めケーソン間の砂は碎波による乱れとか、反射波により洗掘はするが、この洗掘が西防波堤本体に悪影響を与えるほど大きくはない。しかし、根固めケーソン前面に設置される根固めブロックの効果はあまり期待できないようである。反射波により根固めブロック底の砂はすい出され2~3mは沈下するようである。

つぎに西防波堤前面堤脚部に天端高-7m、天端幅

**水工部 主任研究官
* 防波堤研究室

10.5m, 前面法勾配 1 : 1.33 のテトラポッドマウンドを直接砂の上に投入した場合であるが, ほぼ西防波堤本体前趾の下端あたりまで洗掘され, 本体の安定性に悪影響を与える恐れがある。なおテトラポッドは波高 9m 程度の波に耐え得るよう 54ton 重量 (縮尺の $1/30$ として模型で 2kg) のものを選んだので, 沖側に移動するか陸側に打ち上げられるとかの現象はみられず, 投入場所に沈下していった。この場合本実験では検討していないが (追加実験で検討した) テトラポッドマウンド底面に洗掘防止としてアスファルトマット等を利用すればかなり洗掘深を小さくすることができるであろう。

最後に西防波堤背面にケーソン堤を築造する案であるが, 西防波堤の11号ケーソンと10号ケーソン, あるいは10号ケーソンと9号ケーソン間のコンクリート継手が破壊すれば, またたくまに西防波堤堤脚の洗掘は, 背後コンクリート壁からの反射波により促進され転倒あるいは傾斜にいたるようである。9号, 10号, 11号ケーソン間の継手は西防波堤本体の弱点であり, 強大な台風による波力に耐え得るような継手の建設は困難であつて, たとえ, 西防波堤前面に有効な洗掘防止工を設置したとして

も, 継手の崩壊により継手からの航路内への侵入波が出入船舶に悪影響を与えることになることから背後ケーソンの根入れを十分に背後ケーソンのみで航路の静穏をもたらそうとする考え方も有効であろう。

2. 模型と現地の相似性について

波の砂移動を含む模型実験において単に問題となり不明確なものは模型と現地の相似性である。水面附近の水運動に対しては Fronde の相似則が成立するであろうし, 海底附近の運動に対しては Reynolds の相似則が成り立つであろう。こういった2つの相似則を同一の模型内に成立させることは不可能である。この種の問題の相似則に対しては種々の考え方があるが, ここでは我々の考えた相似に対する考え方を述べることにする。

まず, 我々が注目したのは, 台風26号来襲前の西防波堤前面の海底勾配 ($1/6$) と来襲後の前面海底勾配である。図-1にはこれらの海底勾配が示されている。台風26号による波が外力として西防波堤に作用したことによって図-1の斜線部分の砂が堤体背後あるいは沖側に移動した。

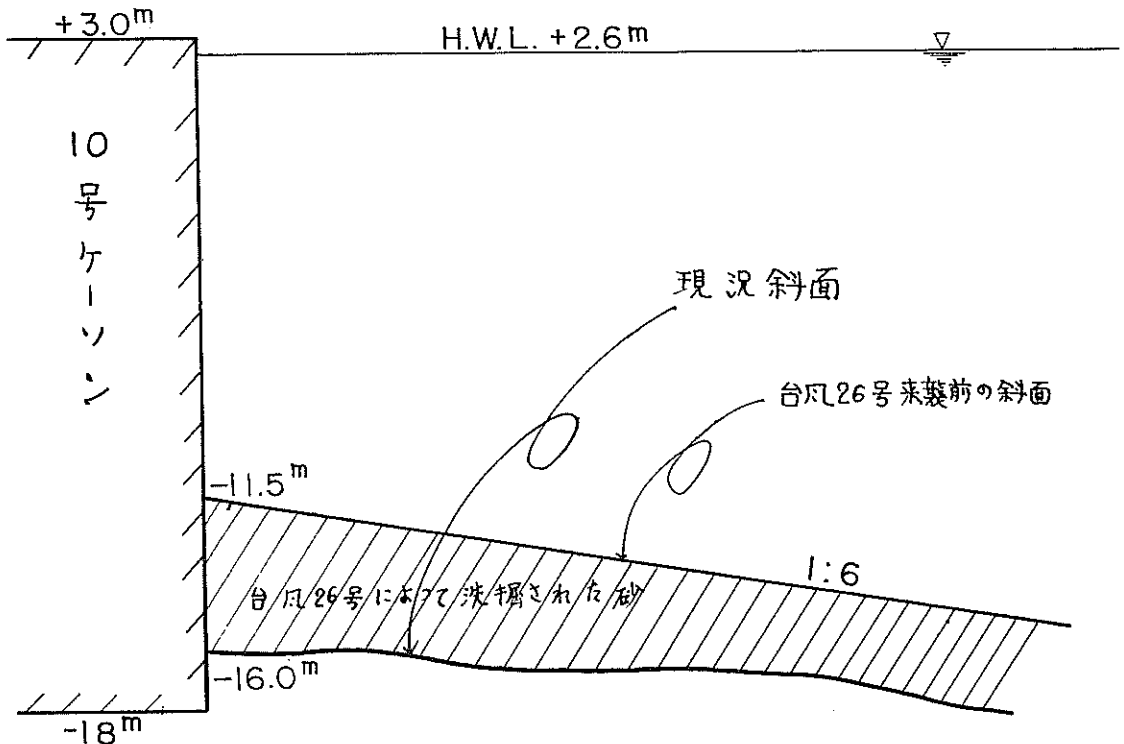


図-1 台風26号来襲前の10号ケーソン前面斜面

この図から砂がどのような機構で図一1に示した掘れ方をしたのか明らかではないが、とにかく移動した砂の絶対量はおさえることができた。そこで任意の砂を選定し台風来襲前の西防波堤前面斜面(勾配1:6)をつくり、西防波堤を設置し、任意の波をこれに作用させて台風来襲後の前面勾配ができるような波の諸元とその作用時間を求めることにした。反復試行によつて求められた波の諸元は必ずしも台風26号時に来襲した波の諸元を $1/30$ にしたものである必要はない。こうして求められた作用時間を含む波の諸元が台風26号来襲時に西防波堤に作用し、前面洗掘を形成した外力の模型(縮尺 $1/30$)における外力であると考えた。この実験ではすでに述べたように3種の洗掘防止工法について検討を加えたわけであるが、それぞれの洗掘防止工法に対して上記の方法で選定された波を選定された作用時間だけ作用させ洗掘状況を観察した。このようにして得られた最終洗掘形状が洗掘防止工完成後に台風26号来襲時に西防波堤に作用した外力と同規模の外力を有する台風が来襲したときに生ずるものと考えた。

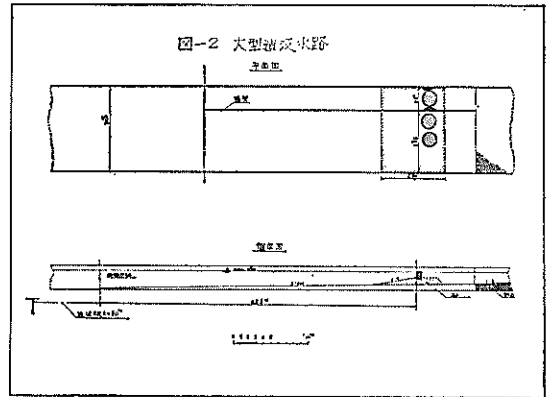
ここで問題となるのは10号ケーソンの11号ケーソンと9号ケーソンとの継手の崩壊である。台風26号来襲前には継手は完全であったが、すでに述べたように来襲後には継手は崩壊し、10号ケーソンは前傾し両側にすき間が生じてしまった。完全に波の背後への透過をさえぎった場合とすき間を波が流れとなって往復運動をする場合とでは、堤脚洗掘の状況は全く異なったものになるであろう。こういった台風による大波の来襲時に防波堤附近の洗掘機構が全く異なったものになるような実験を行なうことは不可能に近く、また一挙にこういった現象を模型に再現させることによって現象の本質を見失う恐れもある。そこで将来の大波によつて継手が崩壊した場合を想定して、すき間のある場合とない場合について上記の3種の洗掘防止工法を検討することにした。

3. 実験装置および実験方法

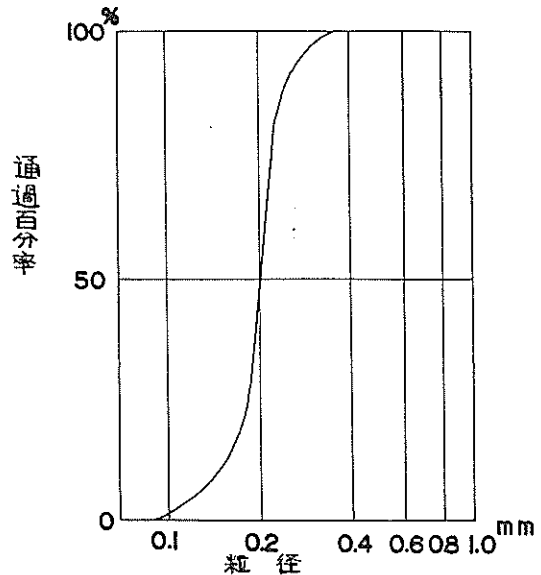
実験に使用した水路は図一2に示すように長さ105m、幅3m、深さ2.5mの大型造波水路である。この水路底には $1/100$ の勾配がついていてその一端はコンクリート壁で仕切られている。幅の広い方の水路幅は2.05mであり、幅の狭い方の水路幅は0.80mである。この水路内に発生する波は最大波高70cm、周期1sec~7secのものである。

造波板から約70mの地点に図一3に示す粒度分布の砂で前面勾配1:6の斜面を製作した。

幅の狭い方の水路では主として10号ケーソン附近の二次元的な波擲状況を把握するためケース1~ケース7ま



図一2 大型造波水路



図一3 使用した砂の粒度曲線

での実験を行ない、幅の広い方の水路では西防波堤先端部の三次元的な洗掘状況を把握するためケーソン10号と11号を使用してケース8~ケース9の実験を行なった。ここで実験ケース1~9までの内容を紹介するとつぎのようである。

ケース1: 前面勾配が1:6の砂面上に継手が完全である10号ケーソンを設置し、波を反復試行により作用させ、台風26号来襲後に西防波堤前面に形成された前面勾配が模型内に再現される波をつかんだ。この場合把握した波の諸元は波高、周期およびその作用時間である。(図一4参照)

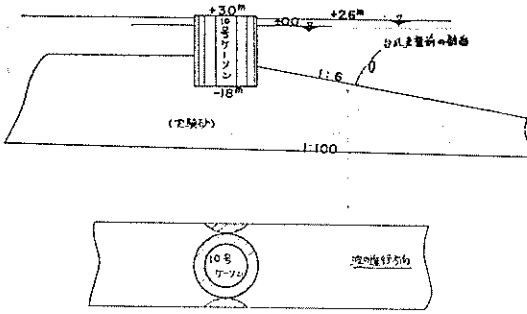


図-4 継手のある実験断面図にならびに
平面図(Caes 1)

このケースを含みケース9までの模型にとり
いれた防波堤等の配置の根拠は図-5に
示すとおりである。

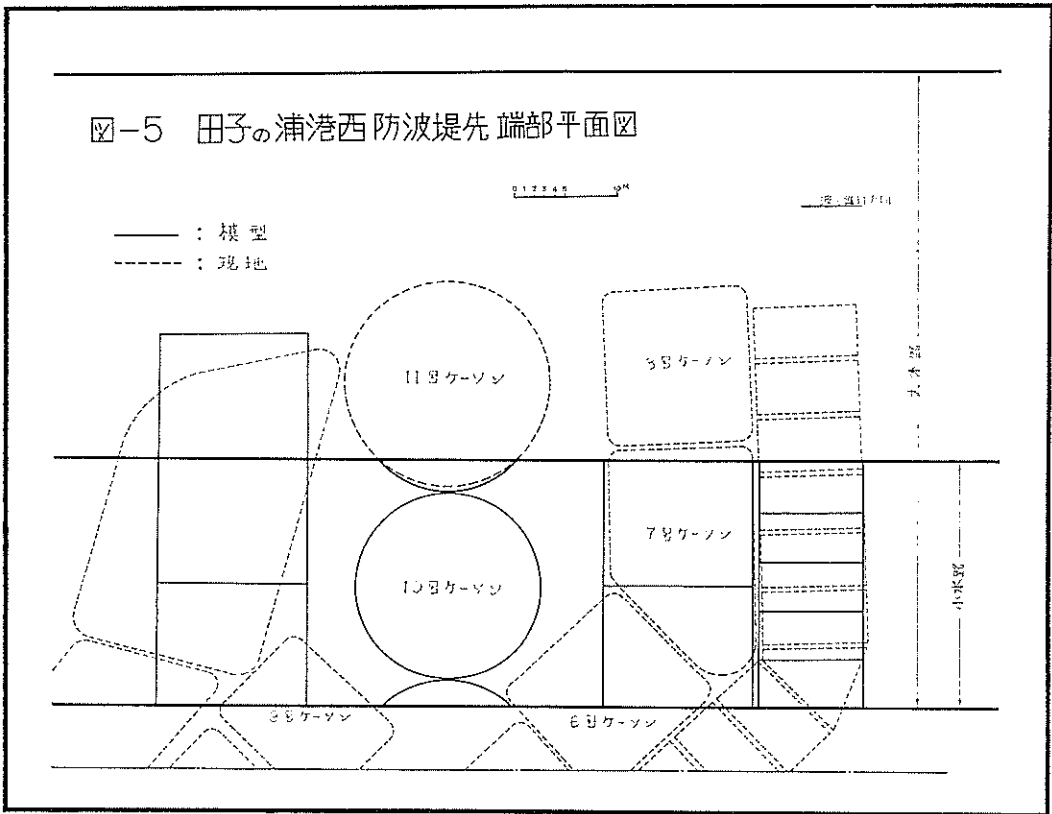


図-5 田子の浦港西防波堤先端部平面図

ケース2：ケース1で見出した波を使用して、西防波
堤前面にケーソンならびに根固めブロック
を現況斜面上に設置した場合の洗掘状況の
観察を行なった。(図-6参照)ここに現

況斜面とは台風26号来襲後の深淺測量によ
り得られた西防波堤前面斜面をさす。
(継手は完全)

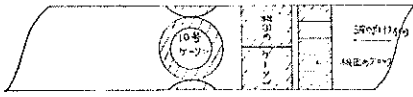
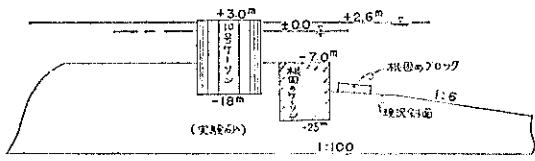


図-6 継手のある場合の根固めケーソン
根固めブロック設置後の実験(Case 2)

ケース 3 : ケース 1 で見出した波を使用して、ケース 2 と同じ斜面上に継手の完全な10号ケーソンならびにテトラポッド洗掘防止工を設置した場合の洗掘状況の観察を行なった。(図-7 参照)

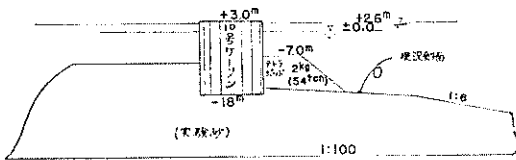


図-7 継手のある場合のテトラポッド投入
実験(Case 3)

ケース 4 : ケース 1 と同じ斜面上に継手なしの10号ケーソンを設置し、反復試行によりケース 1 と同じ洗掘深が得られるような波の諸元を見出した。(図-8 参照)

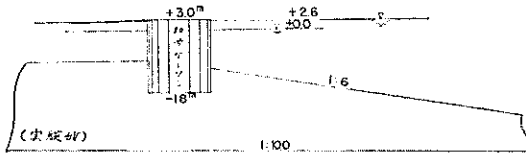


図-8 継手のない実験断面図ならびに平面図

ケース 5 : ケース 4 で見出した波でケース 2 と同じ斜面上に継手なしの10号ケーソンの前面にケーソンならびに根固めブロックを設置した場合の洗掘状況について実験した。(図-

9 参照)

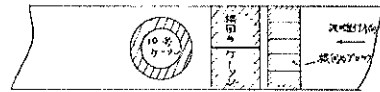
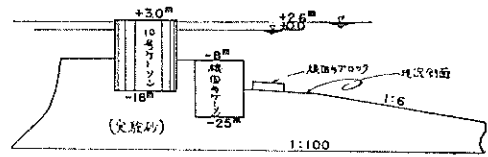


図-9 継手なしの根固めブロック投入後の
実験(Case 5)

ケース 6 : ケース 4 で見出した波を使用してケース 2 と同じ斜面上に継手なしの10号ケーソンならびにテトラポッド洗掘防止工を設置した場合について洗掘状況の観察を行なった。(図-10 参照)

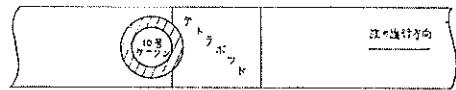
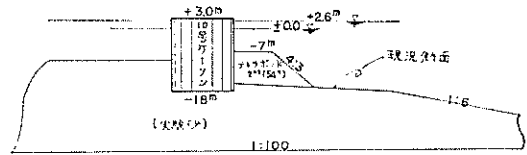
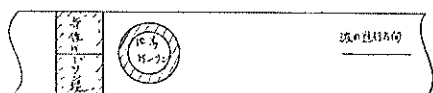
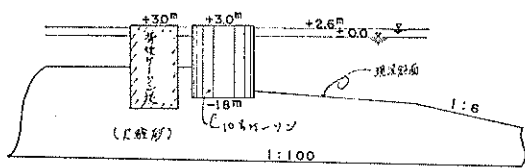


図-10 継手なしのテトラポッド投入実験
(Case 6)

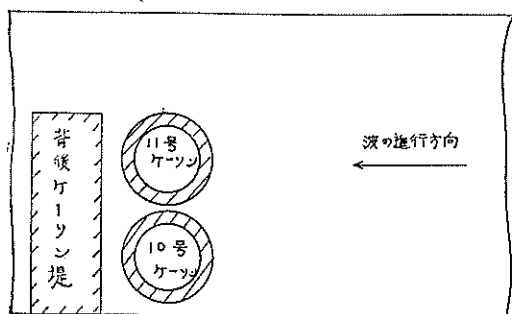
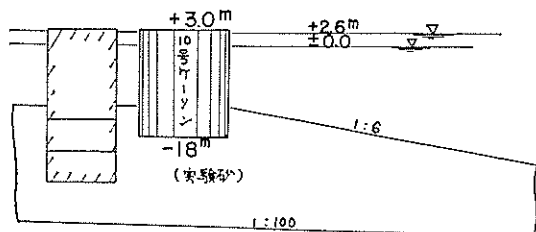
ケース 7 : ケース 4 で見出した波で、ケース 2 と同じ斜面上に継手なしの西防波堤10号ケーソンならびに背面にケーソン堤を設置した場合の洗掘状況の観察を行なった。(図-11 参照)

ケース 8 : 幅の広い方の水路を利用して図-12に示すように10号ならびに11号ケーソンを継手なしの状態で設置し背後にケーソン堤をおき実験を行なった。前面斜面勾配は1:6とした。(図-12 参照)

ケース 9 : 前面斜面を現況斜面としてケース 8 と同じ実験を行なった。(図-13 参照)



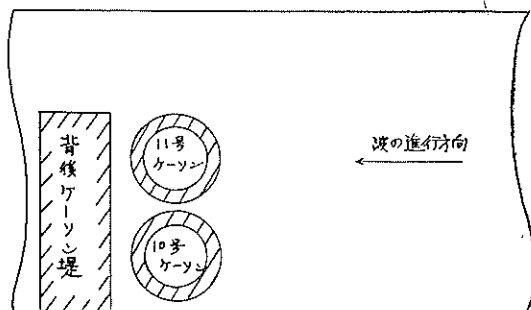
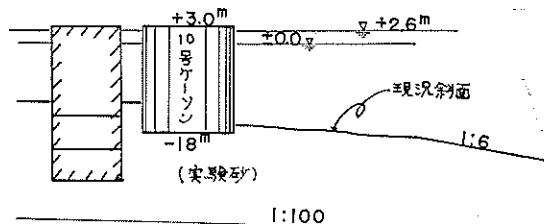
図一11 西防波堤背後にケーソン堤を設置した場合(Case 7)



図一12 背後にケーソン堤を設置した実験(Case 8)

実験は上記のケース1から順をおってケース9まで行なったが、波の諸元はすべての実験が終了した後に検定した。

模型の縮尺は $1/30$ とし、模型10号ケーソンならびに模型11号ケーソンは鉄筋コンクリート製のもので中詰には小砂利を使用した。(写真一参照) 背後ケーソン、前面根固めケーソン、根固めブロック等の模型はすべてコンクリート製である。また使用した模型テトラポッドは重量2kgのもので、 $1/30$ の縮尺で現地に換算すると54ton重量のものである。設計基準(案)によれば静水面から深さH(波高)まではテトラポッド重量は静水面附近の重量と同じにすべきことが云われている。この実験に使用したテトラポッド洗掘防止工の天端高は-7mで、H.W.L.から天端まで9.6mの深さがあり、この値はほ



図一13 背後にケーソン堤を設置した実験(Case 9)

ぼ来襲波高に等しいことから、洗掘防止工天端附近のテトラポッド重量は上記の値を必要とするがそれ以後では急激に小さくなる。しかしながらここでは洗掘防止工全断面を重量2kgのテトラポッドで作った。なお第2章では言及しなかったが、テトラポッド等の安定性を検討する場合は Froude 相似則を使用して作用させる波の諸元を決定することは論を待たない。洗掘の時間的変化は大型造波水路の一部片面にあるガラス壁に竹尺をあてて読みとった(幅の狭い水路において)。幅の広い水路の実験では洗掘深はポイントゲージにより読みとった。また、波高は竹尺により周期はストップウォッチにより測定した。特に重要なケースについては写真の撮影も行なった。実験に用いた潮位は+2.6m一種であり、この潮位は台風26号来襲時のものである。

4. 実験結果ならびに考察

実験に使用した波の諸元を表一1に示す。表中dは堤脚水深をhは沖測波高 H_1 を測定した位置の水深を、 H_2 は西防波堤設置位置の波高を、 x_0 は砕波点の堤体前面からの距離を、 H_0 は砕波高を示している。また T, L_0, H_0 はそれぞれ波の周期(sec)、深海波長、深海波高を表わしている。継手が必要な場合と完全にない場合に使用した波の現地での値は縮尺を $1/30$ としてつぎのようになる。

継手のある場合(ケース1-3, ケース2, ケース3)

$$H_0 \cong 12\text{m}, T \cong 11\text{sec}$$

継手のない場合(ケース4-3, ケース5, ケース6, ケース7, ケース8, ケース9)

$$H_0 \cong 16\text{m}, T \cong 11\text{sec}$$

表-1 実験に使用した波の諸元

| | e (cm) | T (sec) | L ₀ (cm) | H ₁ (cm) | H ₂ (cm) | H ₀ (cm) | X _H (cm) | H ₀ (cm) | d (cm) | h (cm) | H/L | d/L | 使用のケース |
|-----|--------|---------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------|--------|-------|-------|--------------------|
| (1) | 10 | 3 | 1405 | 26 | 27 | 28 | — | — | 47 | 145 | 0.020 | 0.034 | 1-1 4-1 |
| (2) | 15 | 2 | 624 | 37.5 | 44 | 40.5 | 0 | 4.4 | 47 | 145 | 0.065 | 0.076 | 1-3, 2, 3 |
| (3) | 20 | 2 | 624 | 50 | 54 | 54 | 90 | 59 | 47 | 145 | 0.086 | 0.076 | 4-3, 5, 6, 7, 8, 9 |
| (4) | 12.5 | 3 | 1405 | 35 | 37 | 37.5 | — | — | 47 | 145 | 0.027 | 0.034 | 1-2 |
| (5) | 25 | 4 | 2495 | 30 | 35 | 30 | 0 | 35 | 47 | 145 | 0.012 | 0.019 | 4-2 |

まず、西防防堤ケーソン間の継手が完全である場合の実験結果についてながめてみよう。図-14~16にはケー

ス1-1~1-3までの洗掘の時間的変化が示されている。

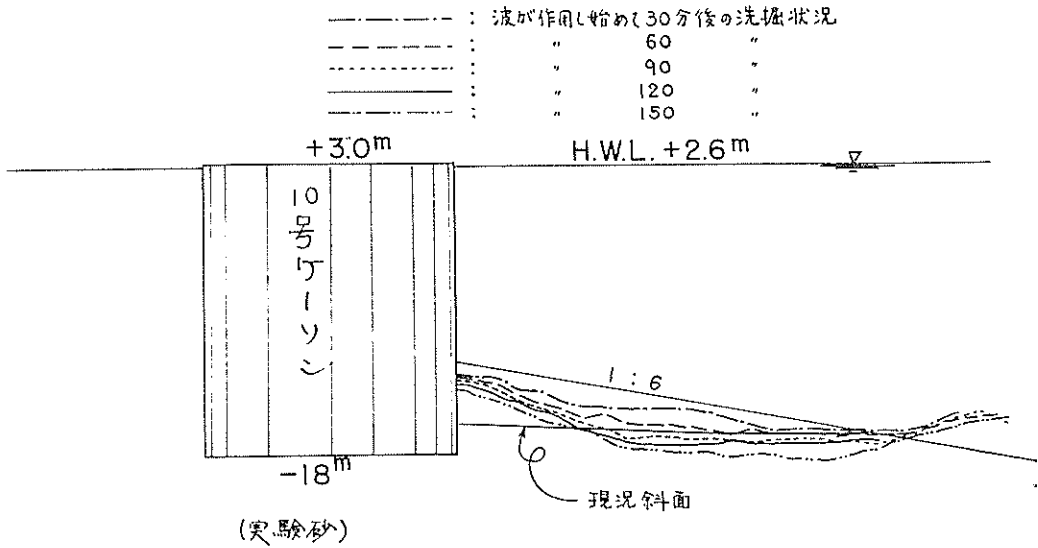
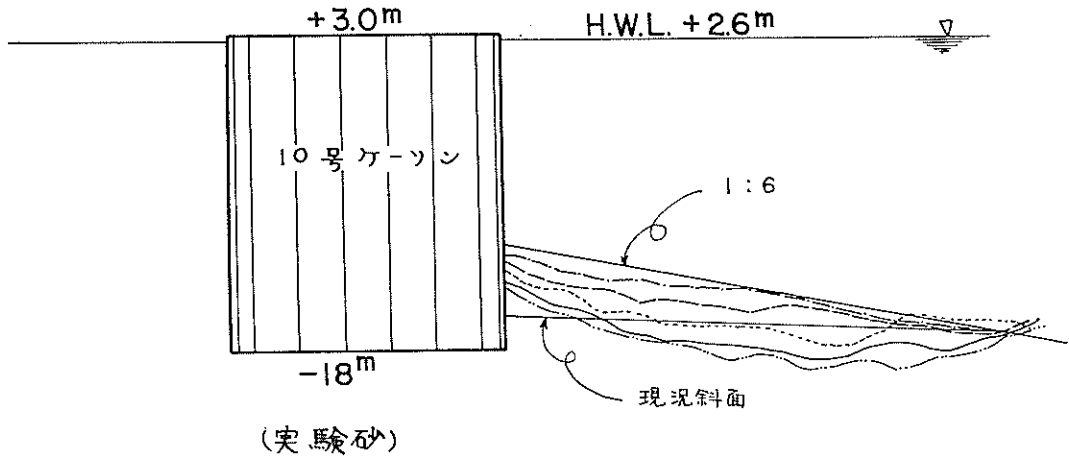


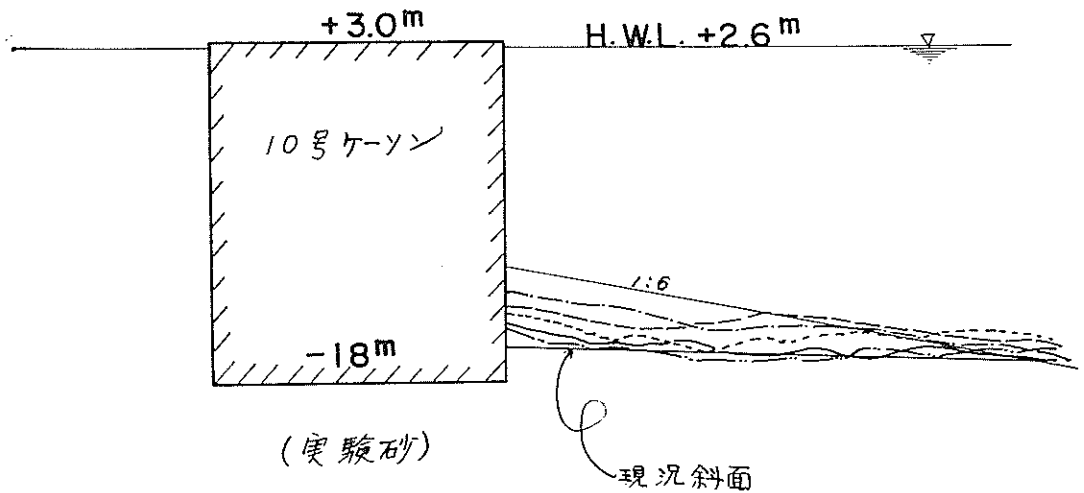
図-14 継手のある場合の外力選定実験結果 (Case 1-1)

| | | |
|-----------|---|---------------------|
| ————— | : | 波が作用し始めて 10 分後の洗掘状況 |
| ----- | : | " 20 " |
| - - - - - | : | " 30 " |
| ===== | : | " 45 " |
| ~~~~~ | : | " 60 " |



図一15 継手がある場合の外力選定実験結果 (Case 1-2)

| | | |
|-----------|---|--------------------|
| ————— | : | 波が作用し始めて 5 分後の洗掘状況 |
| ----- | : | " 10 " |
| - - - - - | : | " 15 " |
| ===== | : | " 20 " |
| ~~~~~ | : | " 23 " |



図一16 継手がある場合の外力選定実験 (Case 1-3)

ケース1-1について洗掘状況を図-14にみると堤前40cm~100cmの範囲の砂は波が作用し始めてから60分後に台風来襲後の斜面とほぼ合致する掘れ方をしますが、堤前0cm~30cmの間は波を150分作用させても台風来襲後の斜面まで掘れることなく、この波の作用時間内に堤前40cm~100cm間にははるかに台風来襲後の斜面以上の深い洗掘深が得られる。そこでケース1-1に使用した波よりも波高の大きい波を作用させて堤体前面により大きい覚乱を与えれば堤前趾の洗掘を増大させることができると考え、ケース1-2の実験を行なった。図-15はこの結果を示しているが、この波によっても期待した洗掘深は得られなかった。ケース1-3では周期を小さくし、偏心を大きくして堤体前面で碎波の得られるような波を作用させた。この結果を図-16に示しているが、この波は堤体前面で碎波することによって堤前に大きな覚乱がおこり、波が作用し始めて約23分後にほぼ台風26号来襲後に現地にできた斜面を得ることができた。よって我々は継手が完全である場合に現地の洗掘状況をこの $1/30$ 模型に再現しうる波の諸元を $H_0=40.5\text{cm}$ 、 $T=2\text{sec}$ 、波の作用時間23分と決定した。図-17はケース1-1~1-3までの最終洗掘状況を比較したものである。

同様にして継手がない場合(ケース4)について図-18にその洗掘状況を示している。

ここに示した3つのケースのうち比較的現地の状況に近いケース4-3の波を継手がない場合の外力とした。すなわち、この場合の波は波高 $H_0=54\text{cm}$ 、周期 $T=2\text{sec}$ 、波の作用時間45分である。参考のために図-19に上に決定したケース4-3の洗掘の時間的变化を示している。

図-20、21はそれぞれ継手が完全である場合とない場合について、西防波堤前面に根固めケーソン、根固めブロックを置いた場合の実験結果を示している。実際の工事においては西防波堤本体と根固めケーソン間のすき間は粗石を捨てこみ、サンドマスチックでかためる工法がとられるようであるが、これを模型に再現させることはかなり困難であるため、一応斜面製作に使用した同じ砂を根固めケーソンの天端高と同じく-8mまで捨て、その洗掘状況を見ることにした。

これらの図によれば西防波堤本体と根固めケーソン間の洗掘深は20cm(現地で6m)程度であり、水深-14m程度が洗掘深の上限であると考えられる。どちらかと云えば継手のない場合の方が洗掘深は大きい(模型で1~2cm、現地で30~60cm程度)ようである。この程度の洗掘では西防波堤本体に悪影響はないようである。しかしこの工法のキーポイントはこのすき間であるから、十分にこの部分の破壊防止対策を考える必要があろう。前面

| | | | | |
|----------|-------|-------|-----------------------|-------------------|
| Case 1-1 | ----- | 150分後 | $H_0 = 28\text{cm}$ | $T = 3\text{sec}$ |
| 1-2 | ----- | 60分後 | $H_0 = 37.5\text{cm}$ | $T = 3\text{sec}$ |
| 1-3 | ----- | 23分後 | $H_0 = 40.5\text{cm}$ | $T = 2\text{sec}$ |
| | ----- | | 被災後の前面勾配(現況斜面) | |

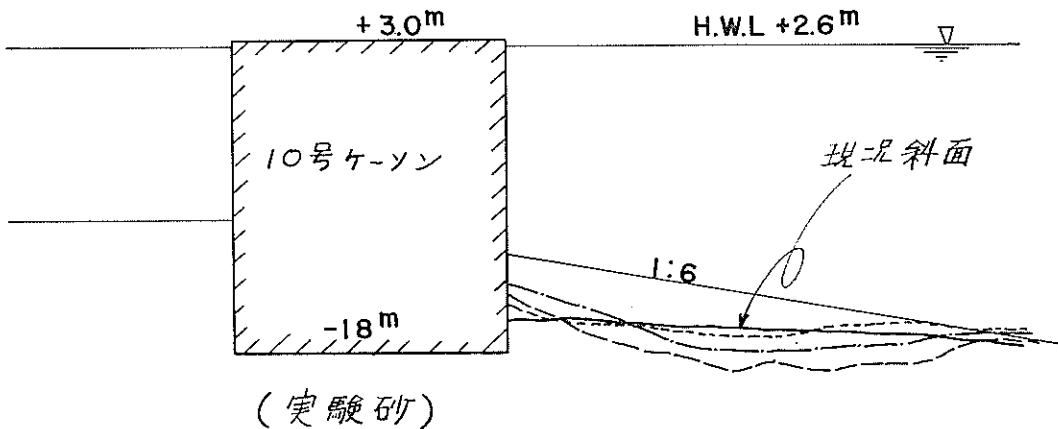


図-17 継手がある場合の最終洗掘深図

- | | | | | |
|----------|-------|-----------------|------------------------|----------------------|
| Case 4-1 | ----- | 90分後 | $H_0 = 28^{\text{cm}}$ | $T = 3^{\text{sec}}$ |
| 4-2 | ----- | 5分後 | $H_0 = 30^{\text{cm}}$ | $T = 4^{\text{sec}}$ |
| 4-3 | ----- | 45分後 | $H_0 = 54^{\text{cm}}$ | $T = 2^{\text{sec}}$ |
| | ——— | 被災後の前面勾配 (現況斜面) | | |

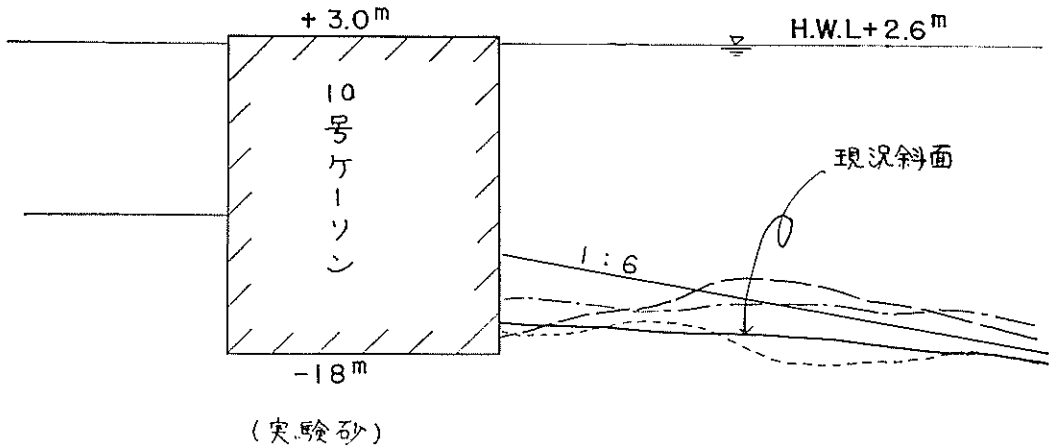


図-18 継手がない場合の最終洗掘深図

- | | | |
|-------|---|-------------------|
| ——— | : | 波が作用し始めて10分後の洗掘状況 |
| ----- | : | " 20 " |
| ----- | : | " 30 " |
| ----- | : | " 45 " |

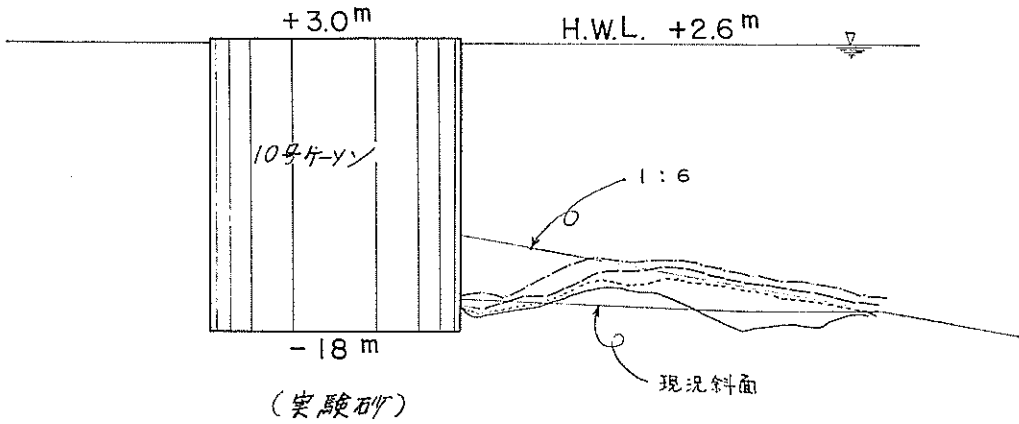


図-19 継手がない場合の洗掘の時間的变化の1例 (Case 4-3)

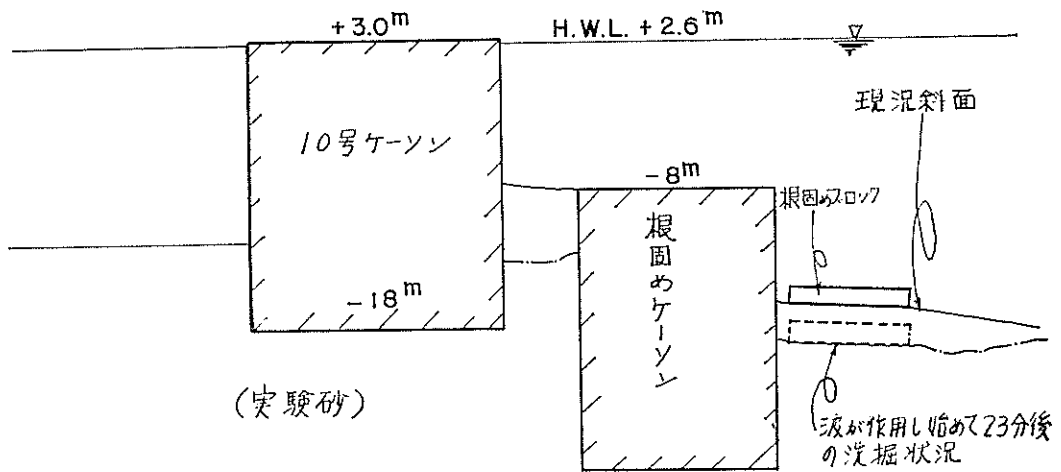


図-20 継手ありの根固めケーソン根固めブロック投入後の実験結果 (Case 2)

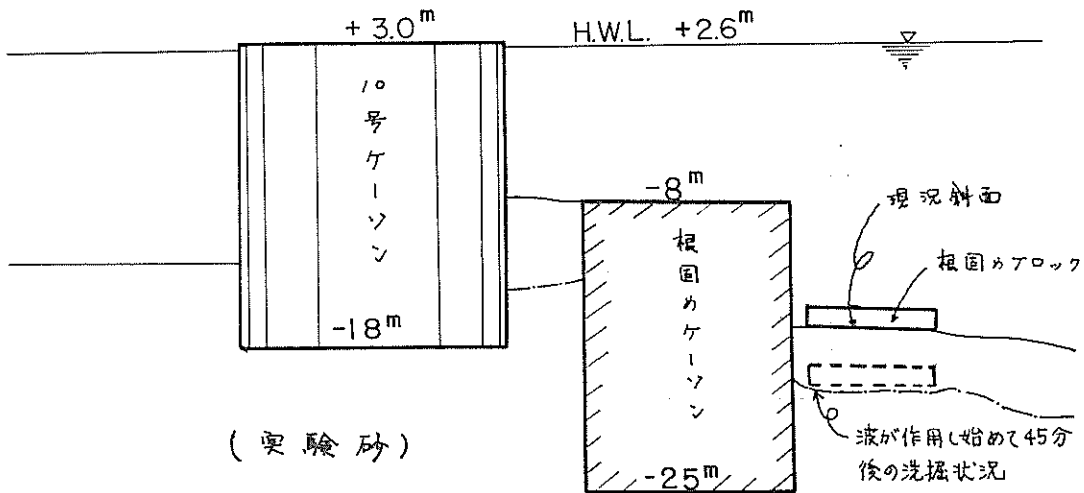


図-21 継手のない場合の根固めケーソン根固めブロック投入実験結果 (Case 5)

根固めブロックは根固めケーソンを洗掘から保護しようとのねらいを持つものであるが、根固めブロックがあっても継手のある場合で10cm (現地で3m) 程度の、また継手のない場合で12cm (現地で3.6m) 程度の洗掘はあるわけでその割には根固めブロックの効果はないようである。

つぎに、西防波堤前面にテトラポッドを投入した場合について継手の完全な場合を図-22に、継手のない場合を図-23にみればどちらのケースもほぼ西防波堤前趾下端あたりまで洗掘されるようである。この程度の洗掘が

あれば西防波堤本体に悪影響を与えることは確実にテトラポッド等の異形ブロックを前面に洗掘防止工として投入するときはアスファルトマットとかその他の材料によるフレキシブルなマットの使用を考慮する必要がある。この場合使用する異形ブロックの重量が問題となるが、積極的に来襲する波浪に耐え得るような重量のあるものを使用することが望まれる。投入した異形ブロックが来襲する波浪によって容易に移動するようであれば洗掘防止工以前の問題となる。

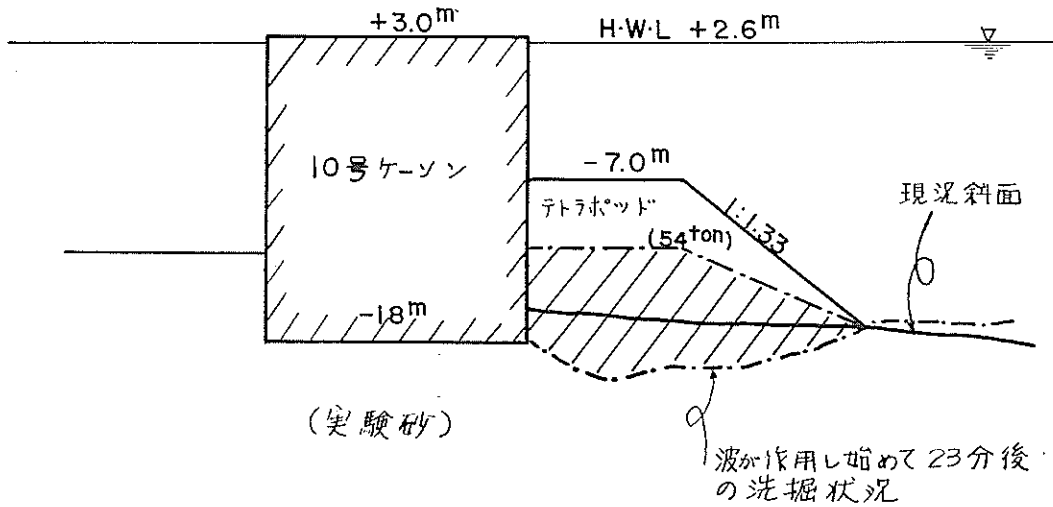


図-22 継手のある場合のテトラポッド投入後の実験結果 (Case 3)

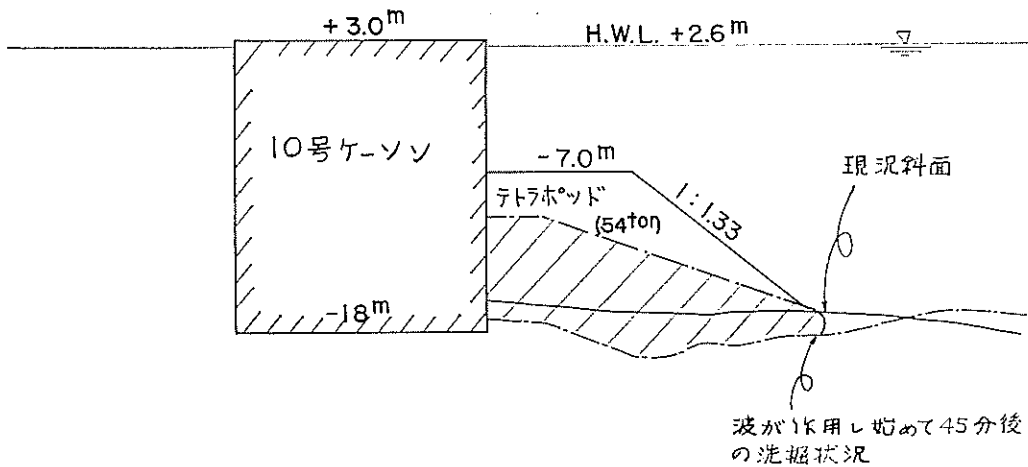


図-23 継手のない場合のテトラポッド投入後の実験結果 (Case 6)

西防波堤を前面根固め構造物と考え、その背後にケーソン堤を設置した場合の実験結果を図-24にみれば、波が作用し始めてわずか5分後に10号ケーソンの底面まで進行し、西防波堤本体に前面根固めとしての機能を期待することはできなくなる。

この実験を行なった幅の狭い方の水路は片面にガラス壁があり、これ以上波を作用させると危険であるので、この場合の全外力（同じ波高、周期で作用時間を45分とする）の作用によってどのような最終洗掘深が得られるか、幅の広い方の水路を使用して実験を行なった。この実験結果を図-25～36に示している。この実験では現況

斜面に対する実験（ケース8）に加えて前面勾配 $1/6$ の場合の実験（ケース9）も行なった。これは平常の波の作用により台風26号によって生じた現況斜面が埋めもどされる可能性があるためと、それに他の目的は前面斜面のこの程度の相違（現況斜面と $1/6$ 勾配斜面の相違）によって最終的な洗掘状況にどの程度の差異がでてくるかをみるためである。

図-25は $1/6$ 勾配（ケース8）の深淺図を示したものであり、基準面（±0m）からの深さをcm単位で示したものである。図-26は同様にして45分後の深淺図を示したものである。また図-27は等洗掘深図を示したものであ

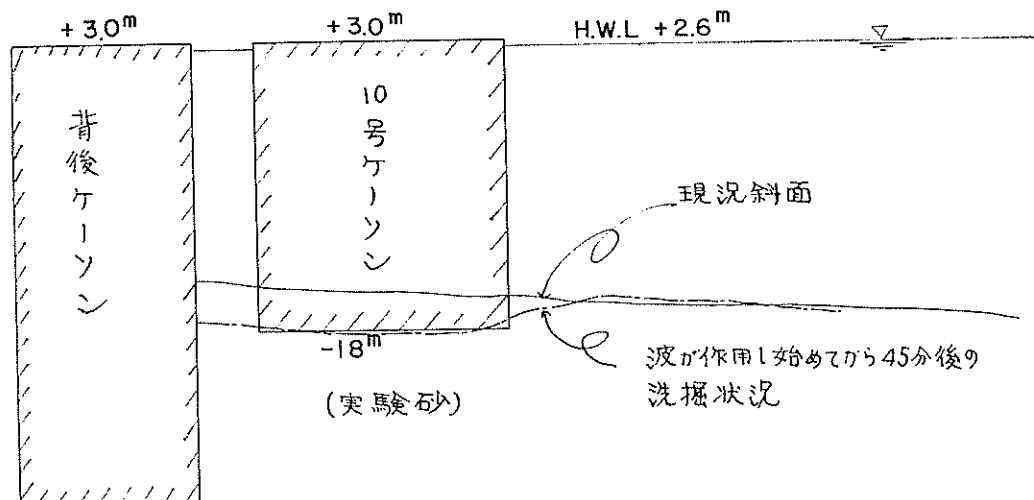


図-24 背後にケーソンを設置した場合の実験結果 (Case 7)

る。

図-27によれば、11号ケーソンと10号ケーソンの間が最も深く洗掘され、その洗掘深は35cm (現地で約10m) に達し、11号ケーソン、10号ケーソン附近はほぼ25cm (現地で7.5m) 以上の洗掘深が得られることがわかる。また西防波堤先端部附近は20cm~25cm (現地で6m~7.5m) の洗掘深が予想される。この図には示されていないが防波堤附近や前面斜面の掘られた砂は堤体前方200cm (現地で60m) を以て、あるいは堤体背後に移動したようである。

図-28は現況斜面の深淺図を、図-29は波の作用後 (45分後) 深淺図を示している。図-30は等洗掘深を示したもので、西防波堤附近は20~25cm (6m~7.5m) 程度の洗掘があるようである。またこのケースでは堤体前方100cm (30m) あたりに堆積がおきている。

つぎに図-31はケース8の測線1 (図-26参照) の縦断面図を、図-32はケース9の測点1 (図-29参照) の縦断面図を示している。同様にして図-33, 34は測線2の縦断面図を、図-35, 36は縦断3の縦断面図を示している。ここで興味あるのは、図-31と32、図-33と34、図-35と36の比較である。局所的な相違や洗掘量の相違はあるが最終的に落ち着く前面斜面や西防波堤本体の沈下の様子などほとんど同じとみてさしつかえないようであ

る。すなわち、図-31, 32によれば、西防波堤法線の延長線と測線1の交点あたりの洗掘後の水深はいずれの場合も-18m前後であり、測線1にそってみてもほぼ洗掘後の斜面は同一とみてさしつかえない。図-33, 34を比較してみても11号ケーソン前趾はどちらのケースでも水深-20m前後まで洗掘されているし、図-35, 36に10号ケーソン前趾の洗掘状況を見ても水深-20m前後までは洗掘されている。これらの事実は初期条件としての前面斜面がこの実験に採用した斜面程度の相違を有していても、外力としての同じ波の作用を受けて最終的に形成される前面斜面にはほとんどの相違を与えないということである。このことは、外力としての波の諸元とその作用時間ならびに斜面を形成している砂の粒度分布が同じであれば、斜面勾配の如何にかかわらず最終的に外力により形成される前面斜面はほぼ同じとみてさしつかえないことを物語るものであろう。

いずれにせよ、現地の洗掘状況把握の困難さや砂移動を含む模型実験のむづかしさ等のために、新構造物設置後の将来の洗掘状況を量的に的確に把握することは不可能に近いような現状であるが、上に述べてきたような考え方をもとにして、各工法について将来の洗掘現象のあり得べき姿をつかむことができたと考えている。

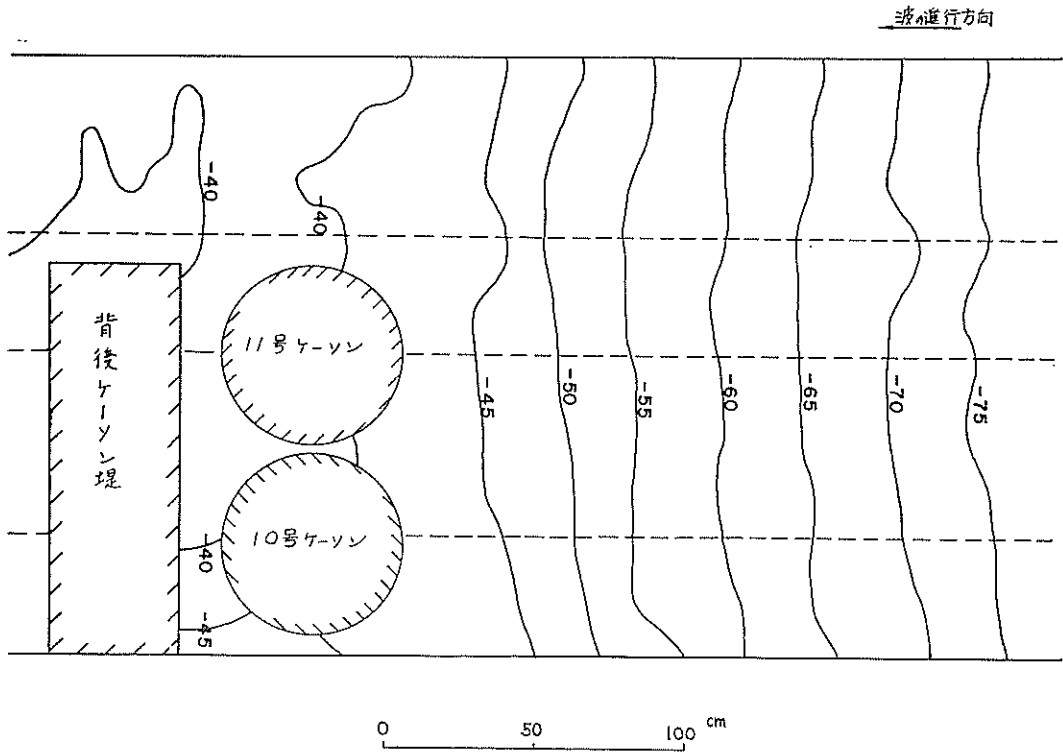


図-25 波来襲前の等深線図

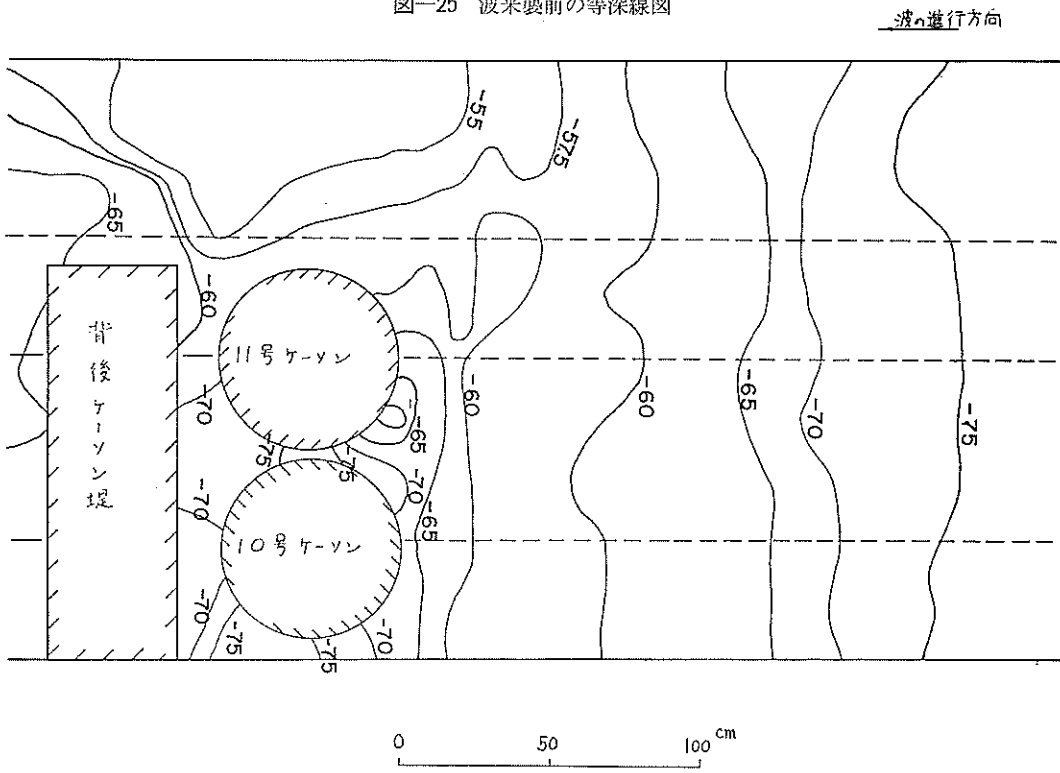
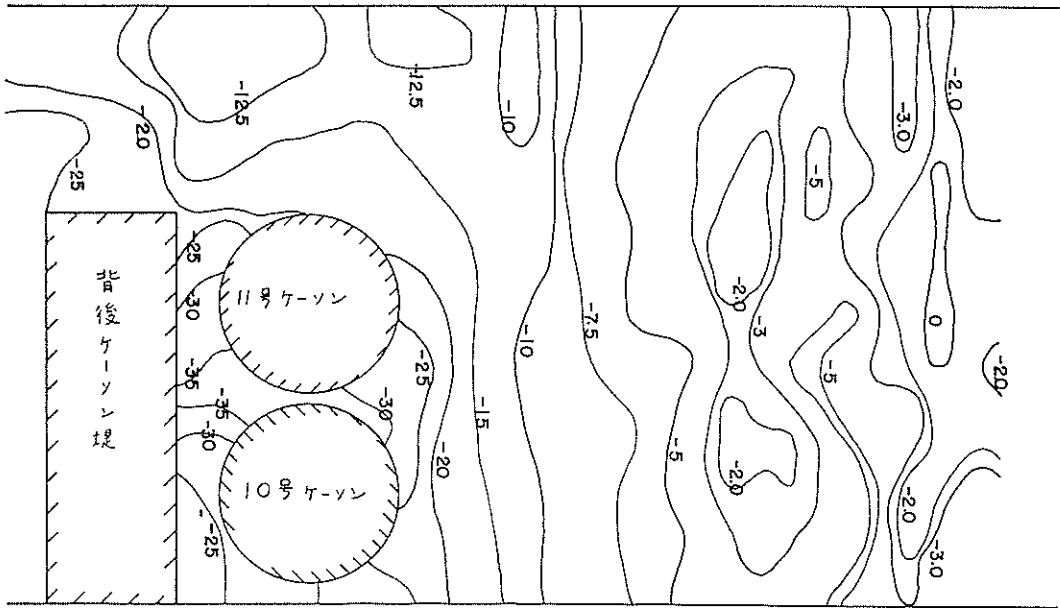


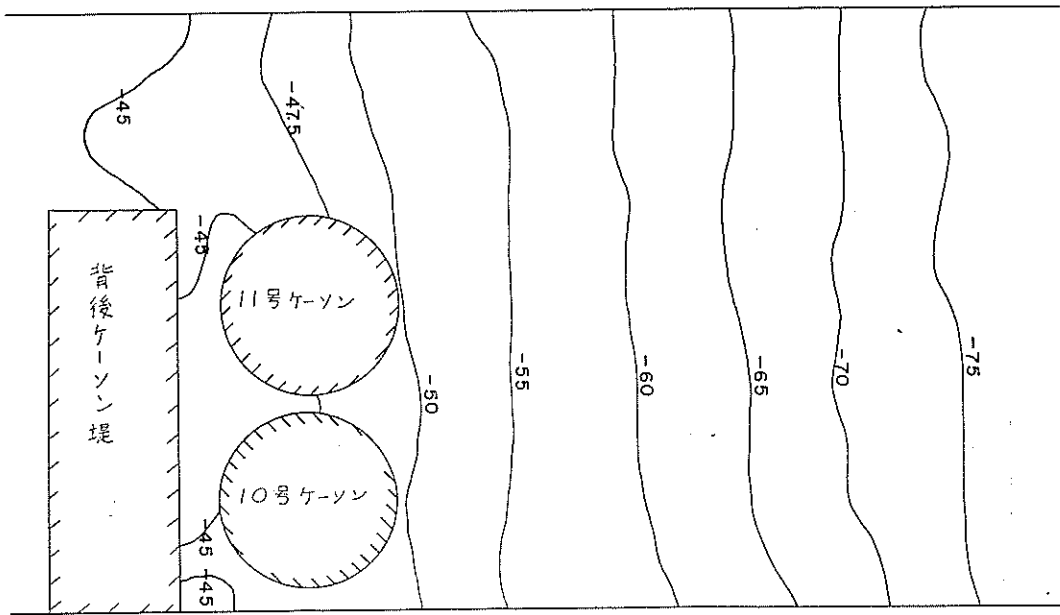
図-26 45分後の洗掘等深線図 (Case 8-2)

波の進行方向



0 50 100 cm
図-27 等洗掘深図 (Case 8)

波の進行方向



0 50 100 cm
図-28 波来襲前の等深線図

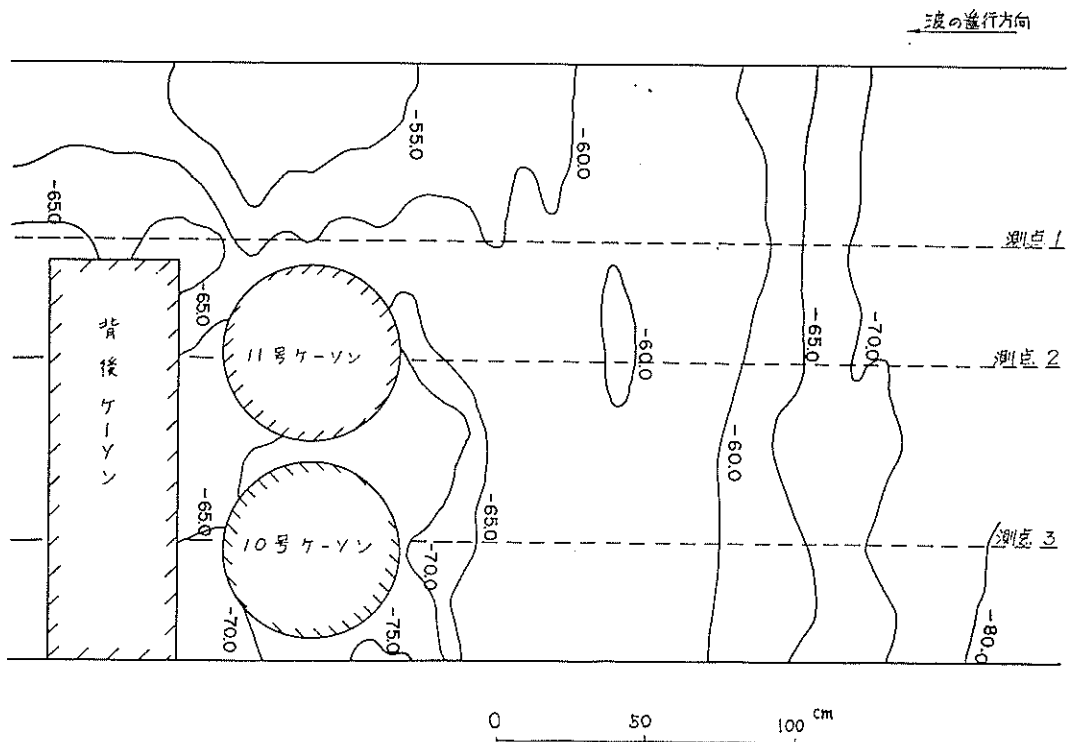


図-29 45分後の洗掘等深線図

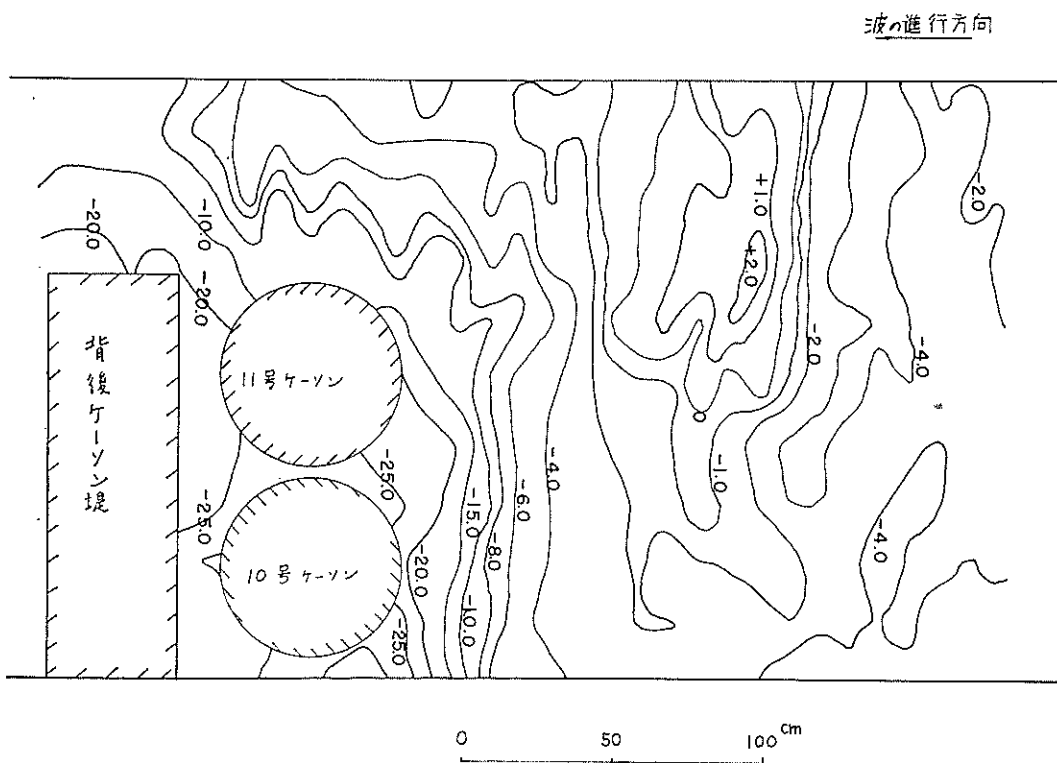
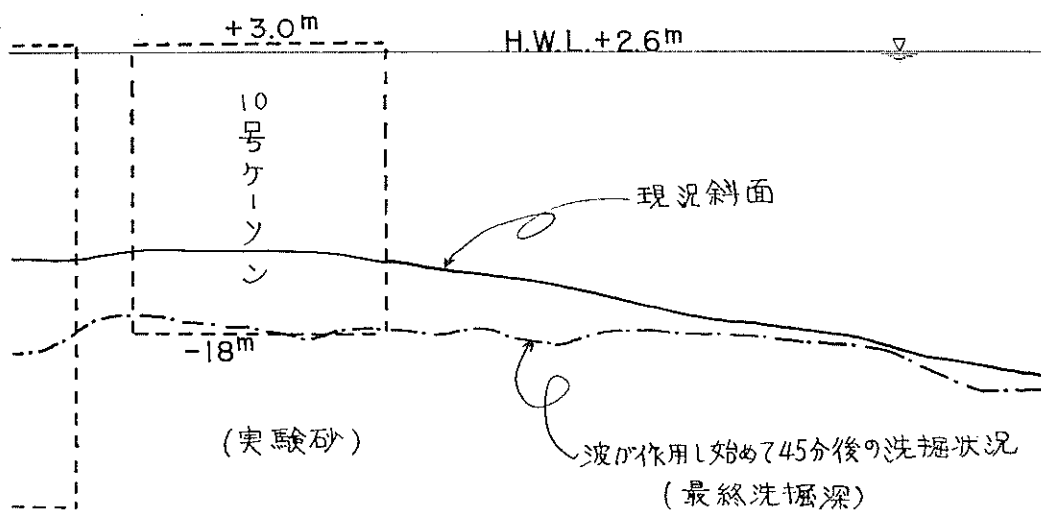
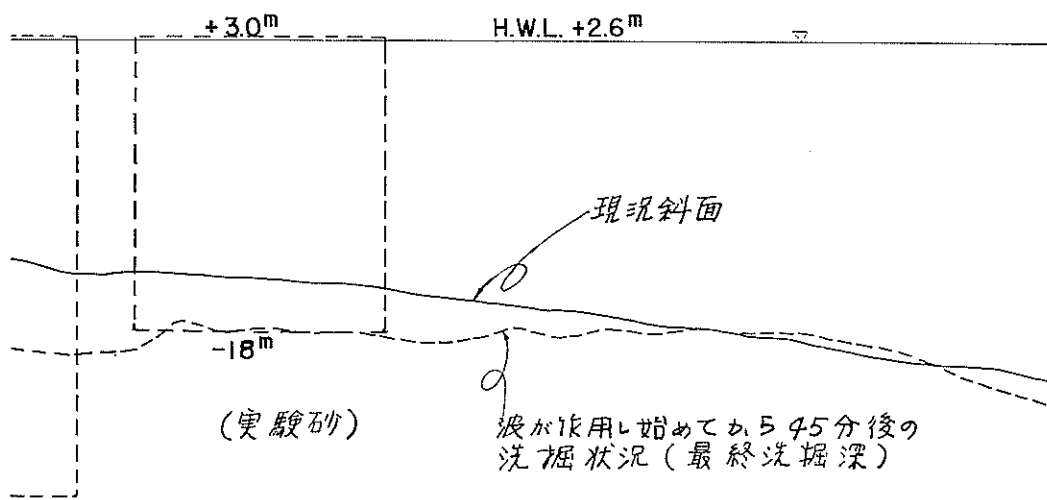


図-30 等洗掘深図 (Case 9)



図—31 測線1の洗掘状況 (Case 8)



図—32 測線1の洗掘状況 (Case 9)

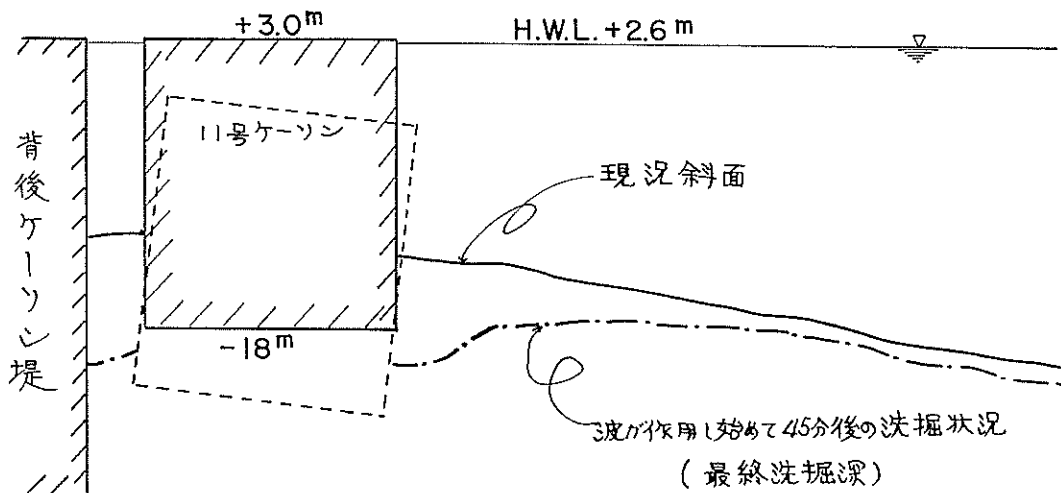


図-33 測線2の洗掘状況 (Case 8)

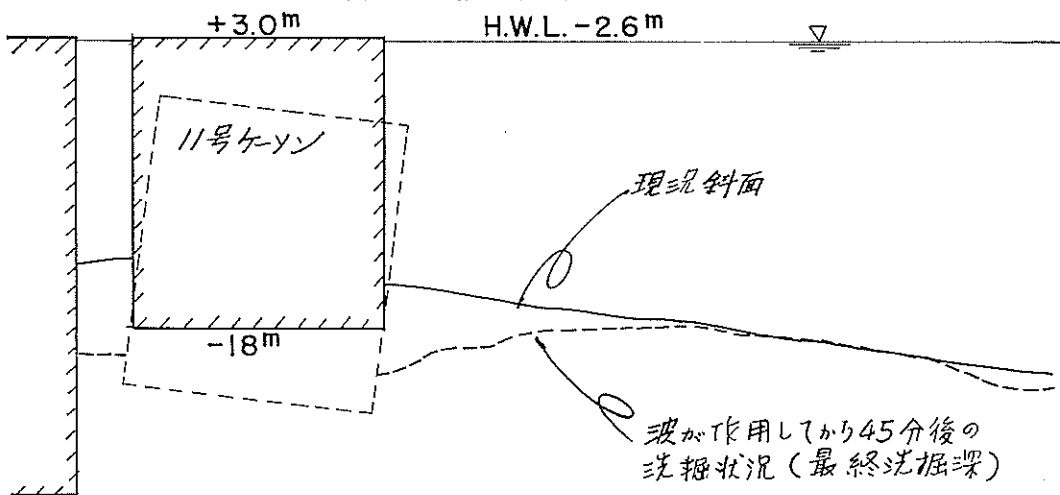


図-34 測線2の洗掘状況 (Case 9)

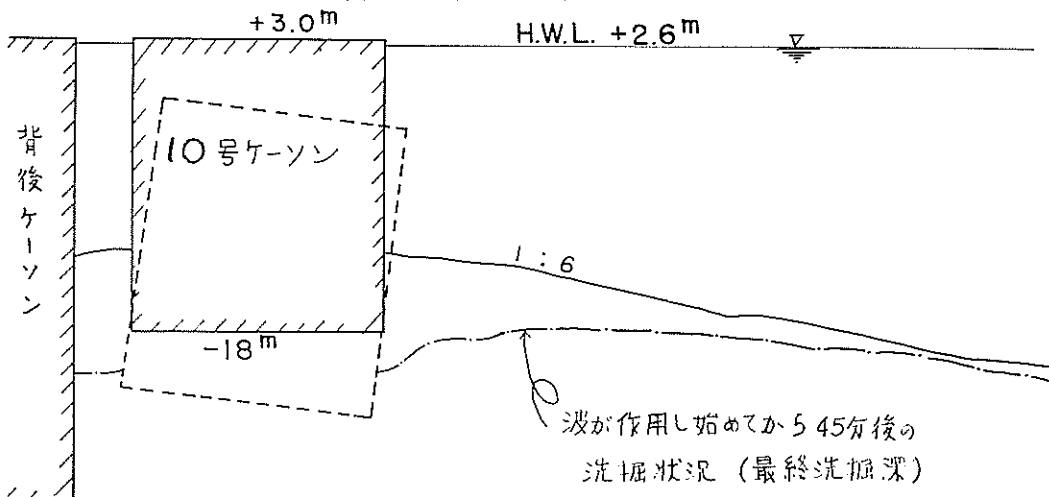


図-35 測線3の洗掘状況 (Case 8)

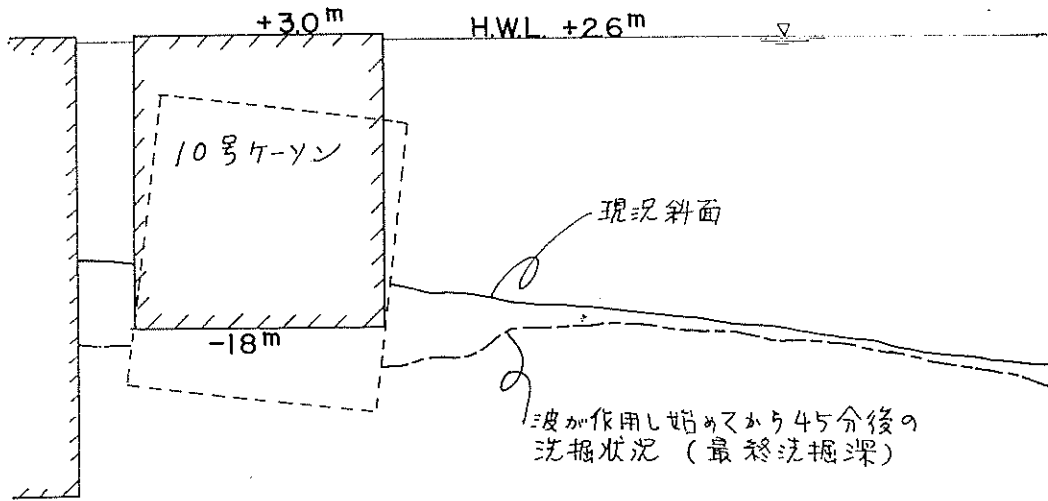


図-36 測線の3洗掘状況 (Case 9)

5. 結 語

この実験により得られた結果を列挙すると次の通りである。

- (1) この実験で比較検討した3つの工法のうちでは西防波堤前面に根固めケーソンを沈設し、根固めブロックを投入する工法が洗掘防止工として効果的である。
- (2) テトラポッド等の異形ブロックを洗掘防止工に使用する場合は、まず作用する外力に対して十分に耐え得る重量をもたせることであり、砂斜面と異形ブロック間にマット等を使用することが望まれる。
- (3) 西防波堤本体を本体と考えない立場をとれば、背

後ケーソンの根入れを十分にすることで洗掘にも来襲する激浪にも耐え得る防波堤ができるわけである。この場合背後ケーソンの根入れは-25m以上あることを必要とする。

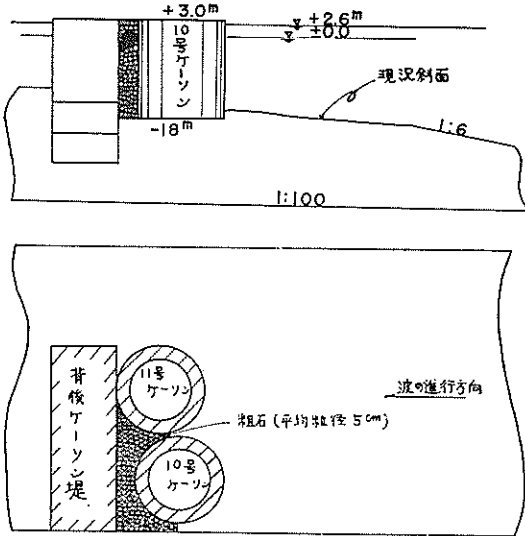
いずれにせよ、(1)に述べた工法とここに述べた工法で最も重要なのはそれぞれ根固めケーソン、背後ケーソンの根入れ長であるので、すべての努力をケーソンの根入れ長を大きくする方向に払うことである。

なお、多大の労力と時間を要したこの実験は防波堤研究室、守屋義一、五十嵐忠成、鎗水幸雄各技官の協力を得て行なわれた。

附録一 追加実験

ここに行なった追加実験はつぎの7ケースである。それぞれのケースの内容とその目的をつぎに示す。

ケース10：11号ケーソンを背後ケーソンに接触させ11号ケーソン、10号ケーソンと背後ケーソンの間に粗石（粒径5cm）をこれらのケーソンと同じ天端（+3.0m）まで積みあげ、前面勾配は現況斜面としたものである。（図一37参照）これは、実際の施工にあたって背後ケーソン堤を11号ケーソンに接触させ波の透過を防ぎ、粗石をすき間に投入することにより洗掘深をより小さくしようとのねらいを持つものである。



図一37 11号、10号ケーソンを背後ケーソン間に粗石を投入した実験（Case10）

- ケース11：根固めケーソンと根固めケーソンの間に7cm（現地で2m）の間隙をつくり、すき間のある10号ケーソンを現況斜面上に設置したものである。これは根固めケーソンの実際の施工にあたって根固めケーソン間のすき間をなくすことは困難であり、入念に施工したとしてもある程度のすき間が生じることからこのケースを採用した。
- ケース12：前面根固めブロックの洗掘に対する効果を見るための実験で、10号ケーソンはすき間があり根固めブロックはすき間のない状態の実験である。このケースと根固めケーソン

ン前面に根固めブロックを投入したケース5の実験結果を対比させることにより、根固めブロック前面の洗掘の相違をつかむことができる。

ケース13：ケース11に対応するもので、根固めケーソンと根固めケーソンの間に7cmのすき間をつくりさらにその前面に根固めブロックを投入したものである。このケースとケース11を対比させることにより根固めケーソンと根固めケーソンの間にすき間のある場合の根固めブロックの洗掘防止効果を比較することができる。

ケース14：このケースは現況の10号ケーソンがさらに現在の状態で台風26号と同程度の外力の作用をうけるとどうなるかをみるためのものである。現況斜面上にすき間のある10号ケーソンを設置したケースである。これはすべての洗掘防止工の効果を相対的に比較するかわりに、このケースと他の個々のケースを比較することにより各洗掘工法の絶対的な良し悪しを比較しようとするものである。

ケース15：このケースはケース16と同様にアスファルトマットの洗掘防止効果をみようとするものである。マット長は35cm、マット厚は約3mmである。

ケース16：アスファルトマットの洗掘防止効果を見るものであり、マット長は150cm、マット厚は約3mmである。なおケース15、16におけるテトラポッド洗掘防止工の形状はケース3、6に使用したのと同じとした。

これらの実験結果を順をおってながめてみるとつぎのようである。なお追加実験で作用させた波はすべて10号ケーソンの両側にすき間のあるケースであるから、沖波波高54cm、周期2sec、波の作用時間45分のものである。

まず、10号、11号ケーソンと背後ケーソンの間に粗石をつめた場合（ケース10）の実験結果を図一38～41にみると、10号、11号ケーソン前面の最大洗掘深は14～15cm程度でこれは現地に換算して4.5m程度であろう。しかし10号、11号ケーソンと背後ケーソン間に投入した粗石（平均径5cm程度）は波運動による粗石底面の砂のすい出しにより沈下し、50cm（現地で15m）程度の沈下量を示している。これらの結果を粗石を投入しないケース（ケース9）と比較してみると明瞭な相違はないが、どちらか

たとえば10号, 11号ケーソン前面の洗掘深は粗石をつめた方が小さいようである。しかし, 背後ケーソンと10号, 11号ケーソン間の砂は粗石を投入した方がよく洗掘される。いずれにせよ, 粗石を投入しないケースと比較

してそれほど洗掘深に大差はないようである。これは, この程度の粗石の幅では波長に比して無視できるくらい小さいので, 洗掘に対する波の作用を大きく変えることができないことを示しているものである。

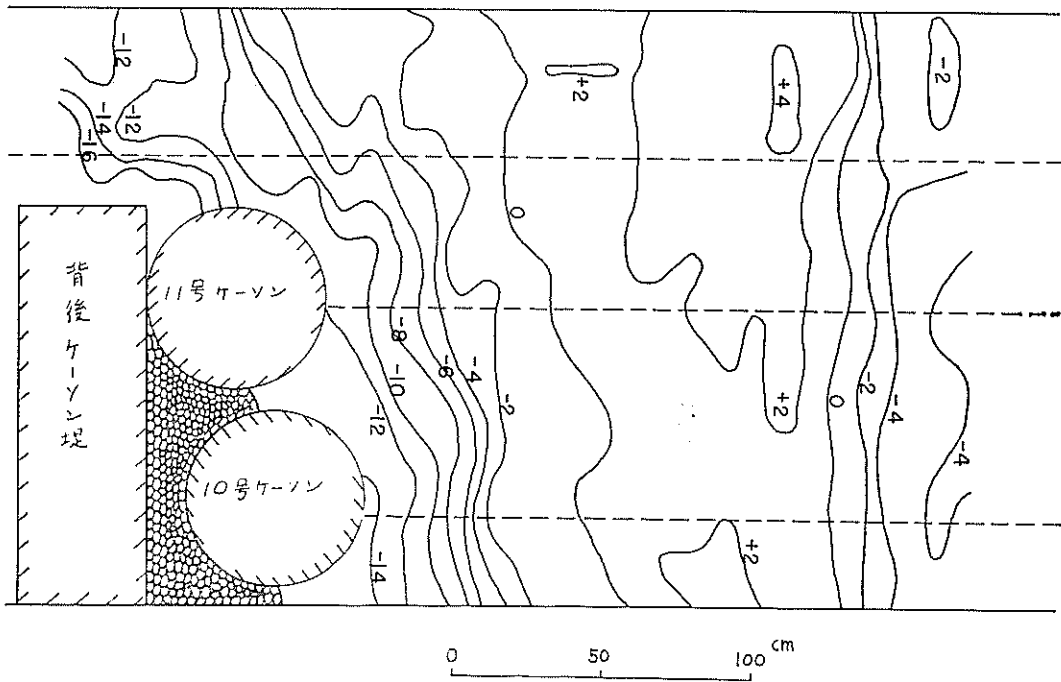


図-38 等洗掘深図 (Case 10)

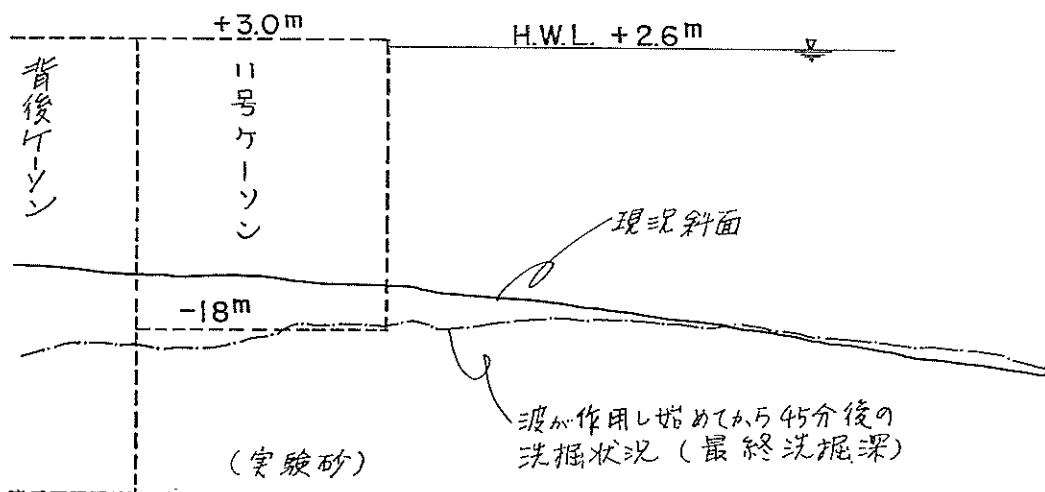


図-39 測線1の洗掘状況 (Case10)

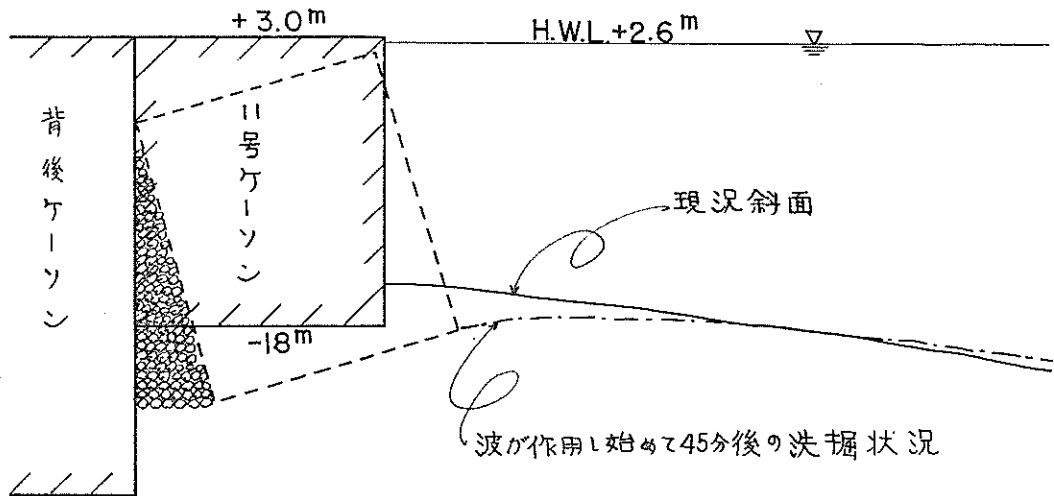


図-40 測線2の洗掘状況 (Case10)

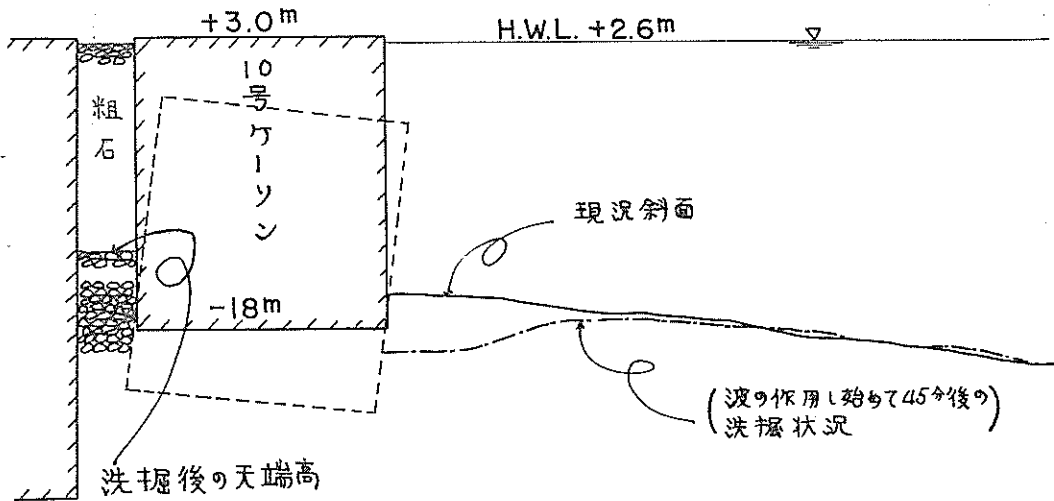


図-41 測線3の洗掘状況 (Case10)

つぎに、根固めブロックなしの状態に根固めケーソンと根固めケーソンの間に7cmのすき間を作った場合の実験結果を図-42, 43にみれば、7cmのすき間を往復運動する水により、すき間ならびに10号ケーソン前面附近の砂は大きく洗掘され10号ケーソンは10cm(現地で3m)程度沈下し、根固めケーソンすき間前面は25cm(現地で7.5m)程度沈下する。またガラス面の測定結果をみても根固めケーソン前面で15cm(現地で4.5m)の洗掘深を示している。この結果によれば洗掘防止工としての根固めケーソンと根固めケーソンの間に現地換算で2m程度のすき間が生じると致命的に洗掘防止効果がうすれることになる。

図-44, 45は根固めケーソン間に7cm(現地で2m)

のすき間のある状態に根固めブロックを投入した場合の実験結果を示したものであるが、この結果をみても10号ケーソンは10cm程度の沈下を生じ根固めケーソン前面の洗掘深も根固めブロックのない場合とほとんど同じであることを示している。

つぎに図-46は根固めケーソンと根固めケーソンの間にすき間のない状態に前面に根固めブロックのない場合の実験結果を示したものである。この図によれば根固めケーソン前面の洗掘深は10cmならずであり、根固めブロックのあるケース5の場合(図-21)と比較してみると根固めブロックがあれば10cm以上の前面洗掘深があることから、根固めブロックはない方がよいようである。

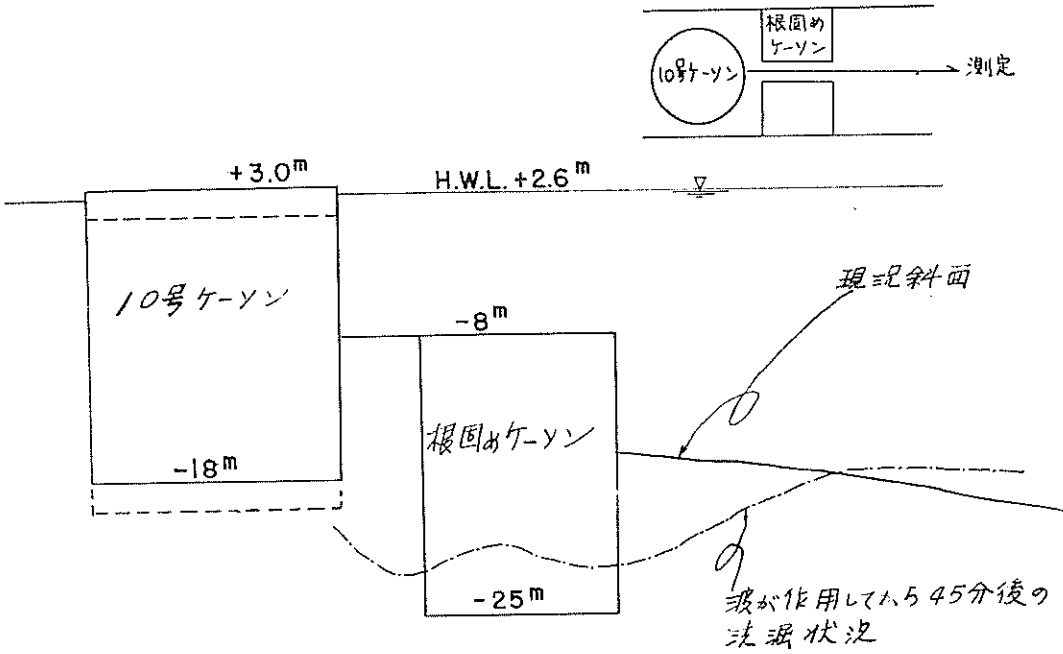


図-42 根固めケーソンにすき間 (7cm) のある場合の洗掘状況 (Case11) (水路中央部)

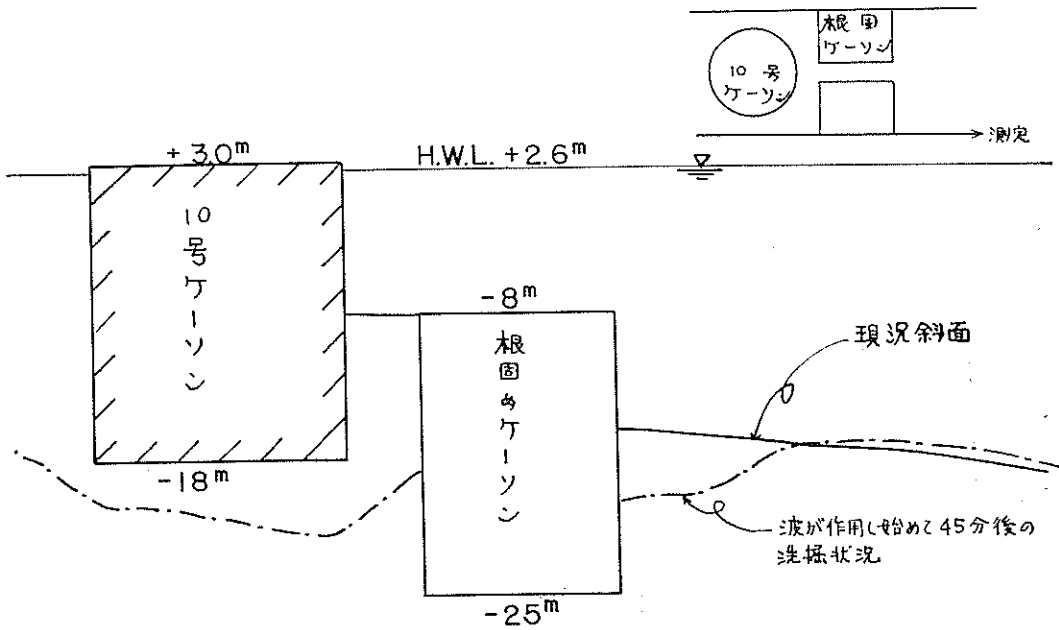


図-43 根固めケーソンにすき間 (7cm) のある場合の洗掘状況 (Case11) (ガラス面における)

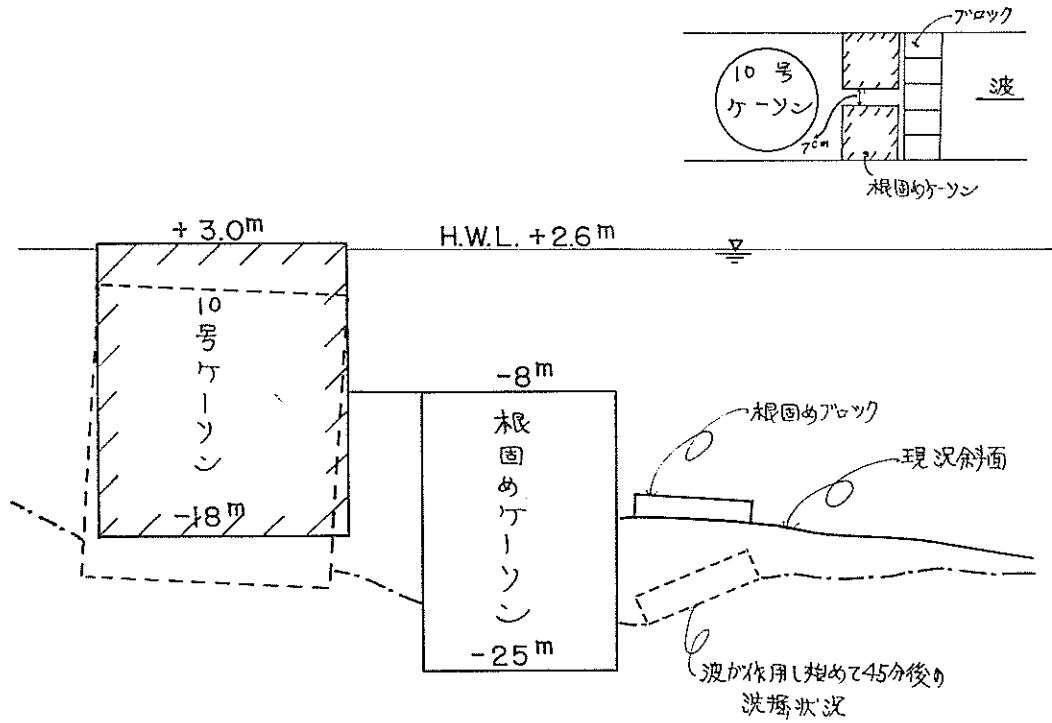


図-44 根固めケーソンにすき間あり、根固めブロックありの実験結果
(Case13) 中央部横断面図

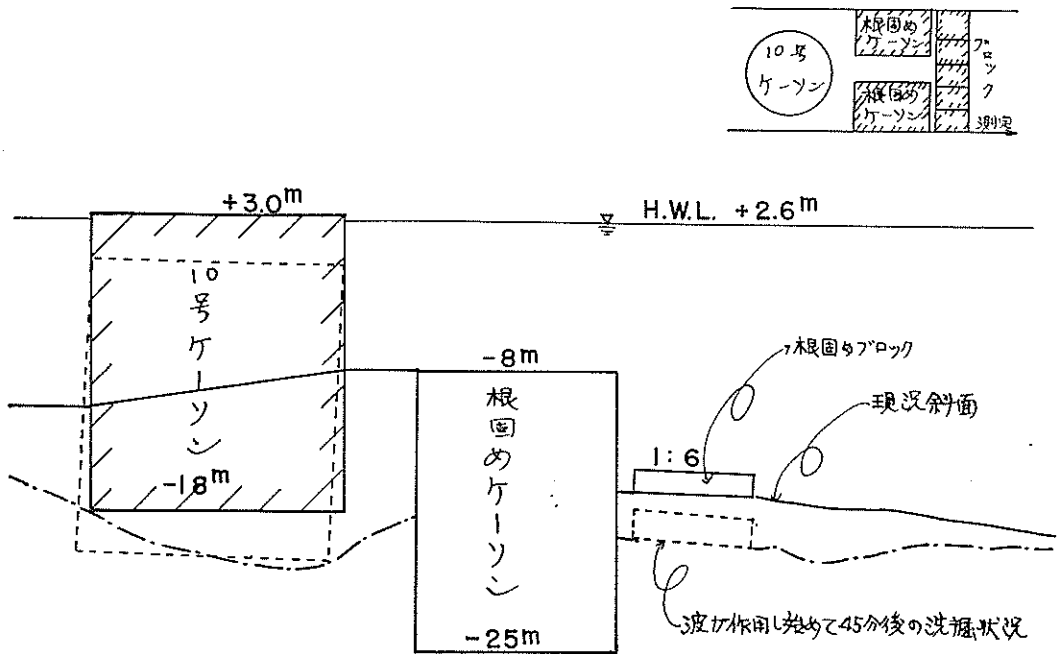


図-45 根固めケーソンにすき間あり、根固めブロックありの実験結果 (Case13) (ガラス面における)

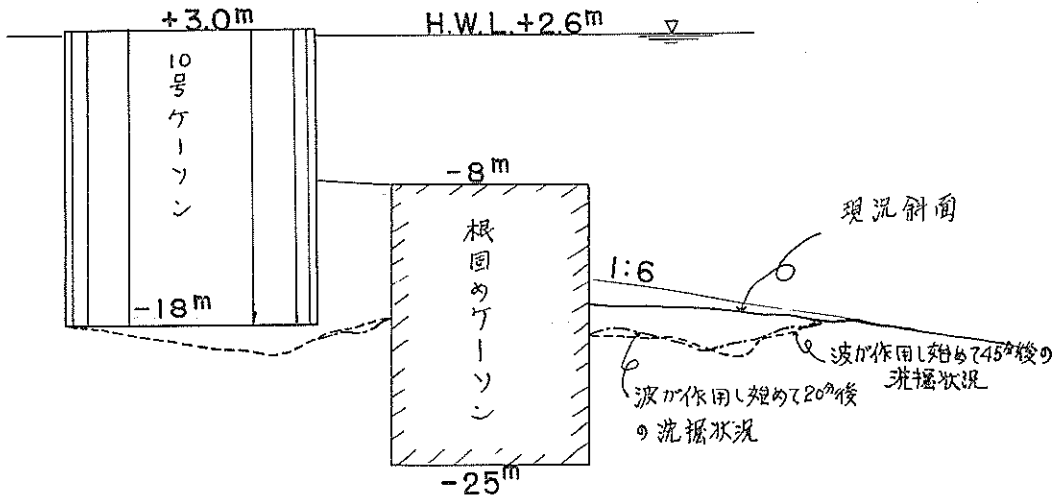


図-46 根固めブロックのない場合の実験結果 (Case12)

現況斜面に台風26号時に来襲した外力に相当する波が来襲した場合にどの程度の洗掘深が得られるか、図-47にその洗掘状況を示している。この図によれば10号ケーソン前面においてはほぼ堤体前趾あたりまで洗掘されるようであり、これまでにこの一連の実験で行なったテトラポッド洗掘防止工あるいは背後ケーソン堤に比較すれば、洗掘深は西防波堤前後に何も無い方が少ないわけで、洗掘防止という観点にたてば、かえって洗掘を促進

させるようなこれらの工法はさけた方がよいことになろう。しかし、防波堤としての本来の機能は防波堤にすぎ間のあることで、十分に発揮できないわけで最も重要なことは防波堤としての機能を減少させることなく、しかも洗掘に耐え得る構造を選定することである。この意味において西防波堤の現状の姿が洗掘に対して他の2、3の工法よりも優れているとしても、何らの対策を施さないことは問題外である。

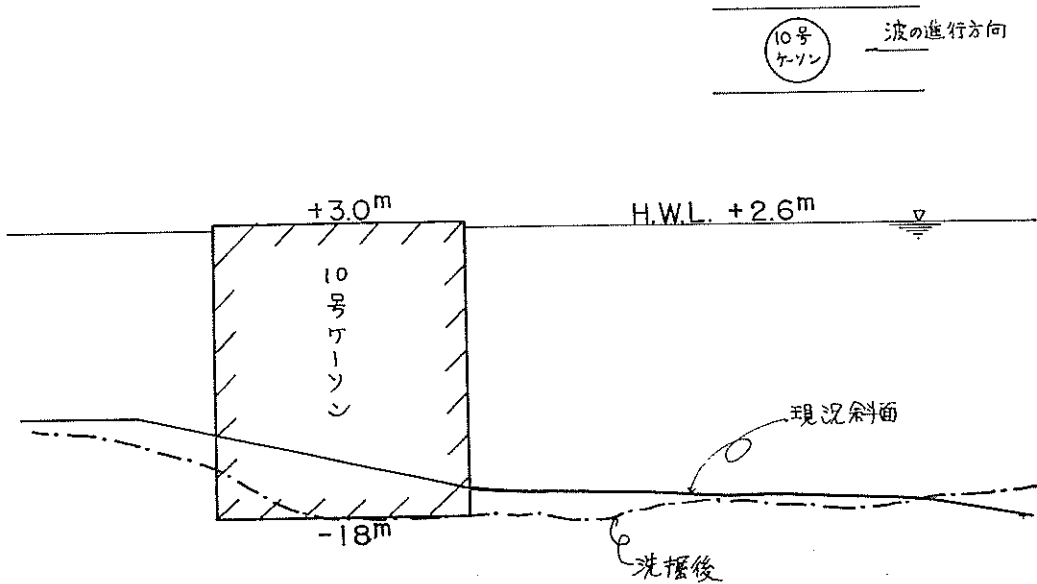


図-47 現状に台風26号が来襲した場合の実験結果 (Case14)

図-48はアスファルトマットをテトラポッド尺幅の約 $\frac{1}{2}$ にわたって10号ケーソン前趾から敷設し、その上に2kg(現地で54ton)のテトラポッドをおさえとして投入したケースの実験結果を示している。この実験ではマットは堤体前趾の砂の移動を防止し、洗掘の程度を軽減するという目的で敷設したのであるが、10号ケーソンが円形ケーソンであるため短形のマットを前面に敷設しても10号ケーレンのすき間は砂面の状態になっているため、マ

ットの前後にどんどんすい出されマットを置かないケースとほぼ同程度(マットを置いた方が掘れ方は大きい)に洗掘深が進行したことから、この程度のマット長では洗掘防止工としてのマットの効果はあまり期待できないようである。もっとも一般の防波堤のように前面が直線で堤体前趾とマットの間にすき間が生じない場合はこの限りではない。

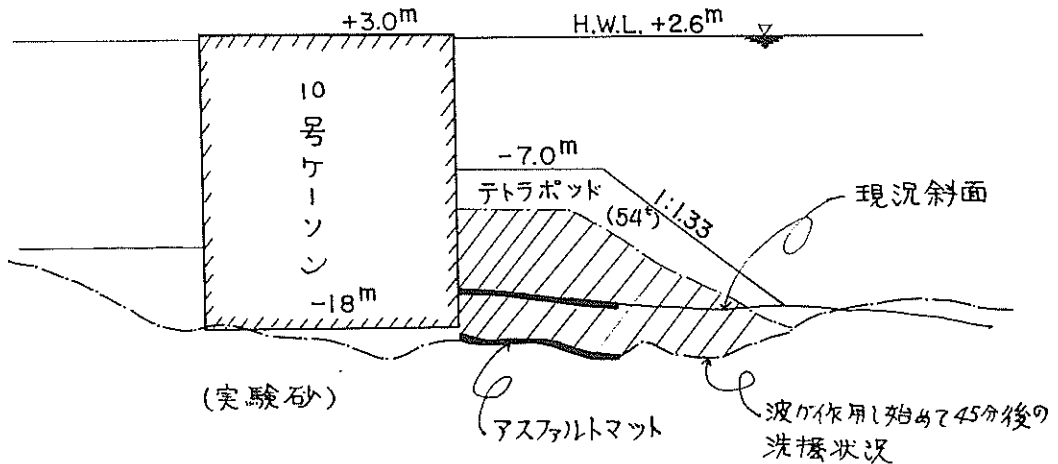


図-48 アスファルトマットを敷設した場合の実験結果 (Case15)

最後に図-49, 50はアスファルトマット長を150cmにした場合の実験結果を示している。ガラス面での観測によれば一様に洗掘されマットの効果はないようであるが、水路中央部における洗掘状況は図-50にみるように10号ケーソン前趾が10cm(現地で3m)程度洗掘されているのみで、他の沖側の部分は洗掘されることなくかえって砂が薄くマット上に堆積した。これらの事実はマットとマットの継手を完全にすれば10号ケーソン前面はある

程度波によるすい出しにより洗掘されるが、他の部分は全く洗掘されることはないことを物語るものであり、この程度のマット長があれば十分に洗掘防止工としてのマットの効果がでてくるものとみてさしつかえない。すなわち、マットの先端部から砂がすい出されることはない。したがって西防波堤前面にアスファルトマットを施工する場合には10号ケーソン、11号ケーソンの前趾を完全にマットで被覆してしまう必要がある。

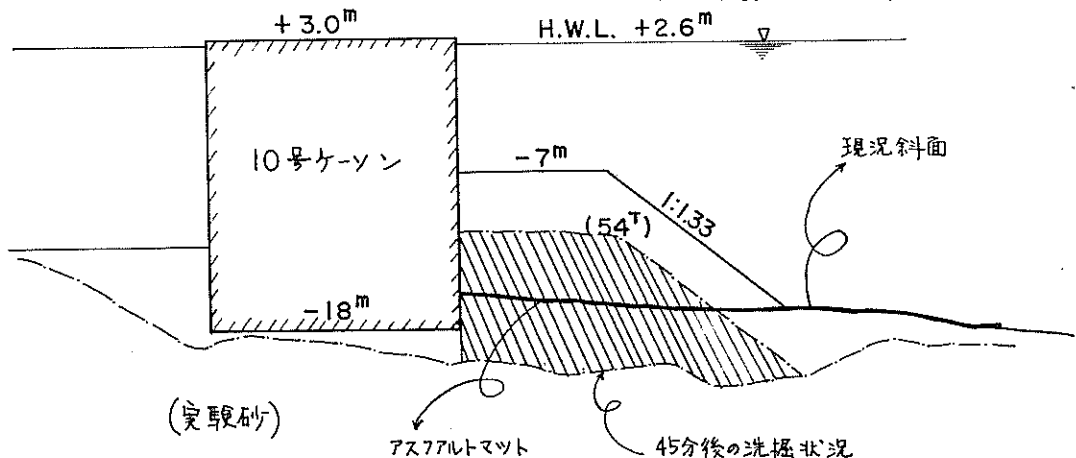


図-49 アスファルトマット(長さ150cm)を敷設した場合の実験結果 (Case16) (ガラス面における)

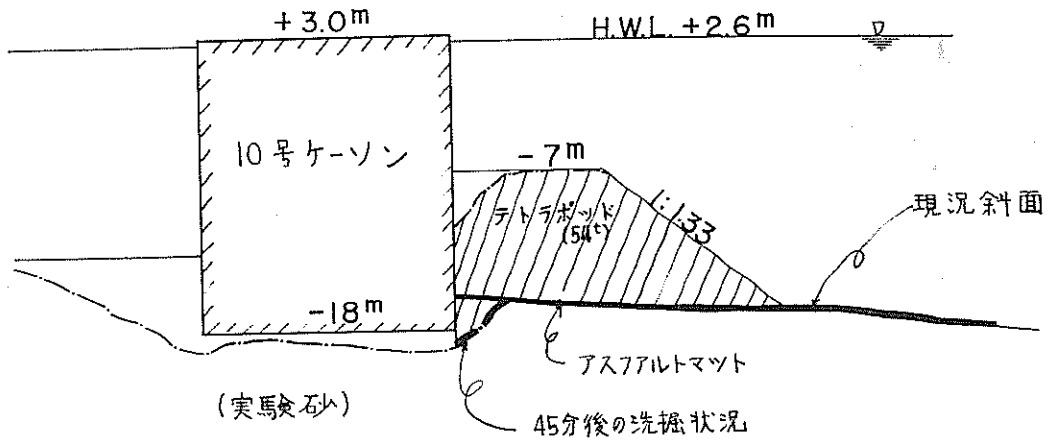


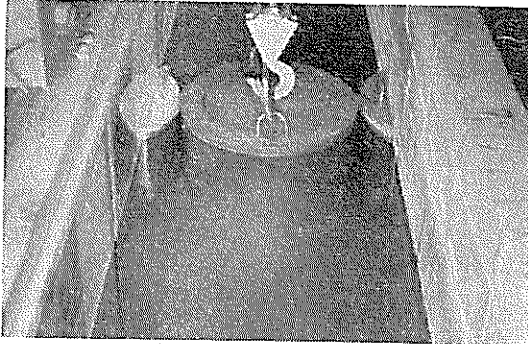
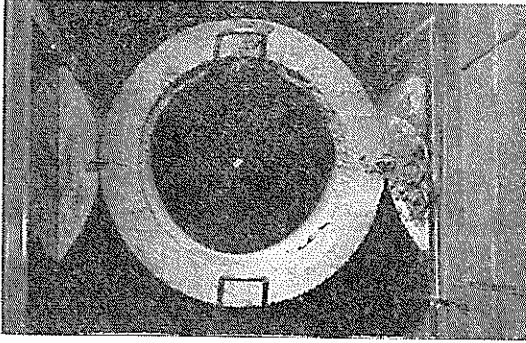
図-50 アスファルトマット（長さ150cm）を敷設した場合の実験結果（Case16）
（水路中央部における）

以上であるが、追加実験では10号ケーソン設備位置の洗掘深が先に行なった実験におけるよりも大きくなっているが、これは（同じ波同じ偏心で同じ周期）を使用したにもかかわらず砕波点が先に行なった実験よりも多少沖側に移動し巻き波が10号ケーソンに直接落下することになったため、厳密に考えれば台風26号時に西防波堤に来襲した外力を表現する模型内の外力としての波でなかったと云える。しかし逆に考えれば外力として追加実験に表現された波を再現するような現地での波の総和としての外力は生じる可能性があるわけで、追加実験に表われた10号ケーソン附近の洗掘状況も現地に出現しうると考えてもよいであろう。こうして先に行なった実験ならびに追加実験の結果をながめてきたところで結論的に云えることは我々にはつぎの2点であると云い得るように思

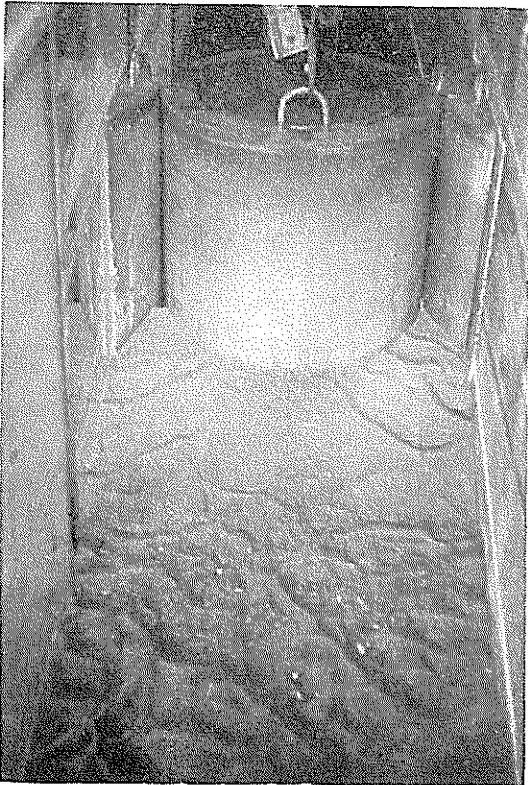
われる。

- (1) 西防波堤の本体をあくまでも洗掘から防護するとの立場をとれば、前面に根固めケーソンを根固めケーソン間にすき間のできないように沈設して、10号ケーソンの9号、11号ケーソンとの間のすき間を完全にする工法か、西防波堤前面になるべく沖側への長さを大きくもたせたアスファルトマットが10号、11号ケーソン前趾を完全に被覆するように入念に施工し、10号ケーソン、9号、11号ケーソン間の継手を完全にする工法を取るべきであろう。
- (2) 施工上、工期上の要請から背後にケーソン堤を設置する場合は背後ケーソンに十分な根入れをもたせることが重要である。

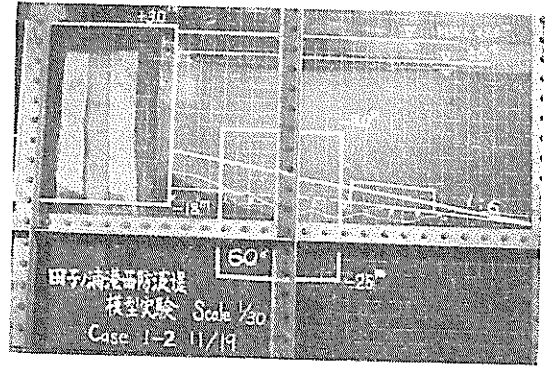
附録—2 写真集



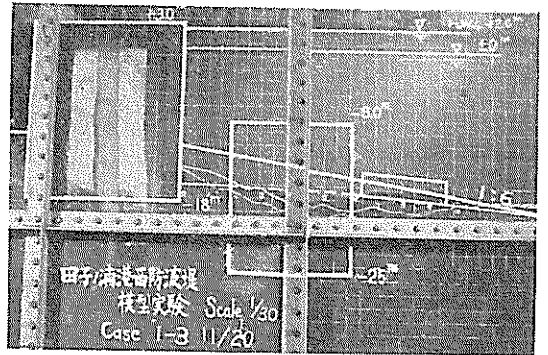
写真—1 模型10号ケース



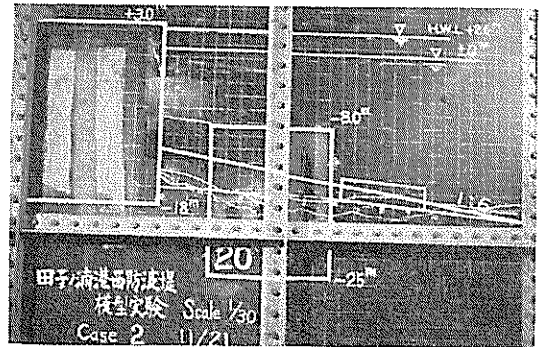
写真—3 Case1—2洗掘状況(60分後)



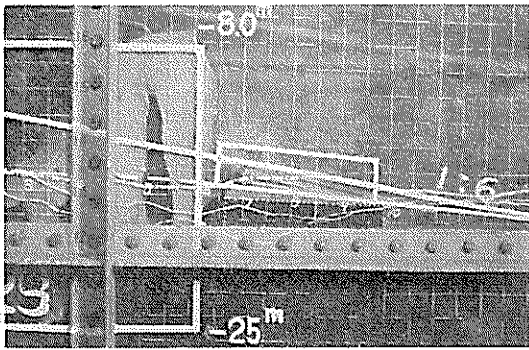
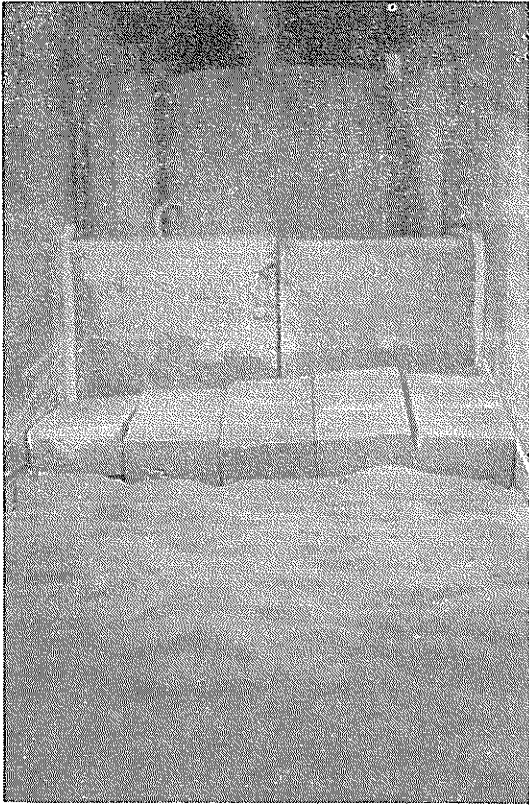
写真—2 Case1—2の洗掘状況(60分後)



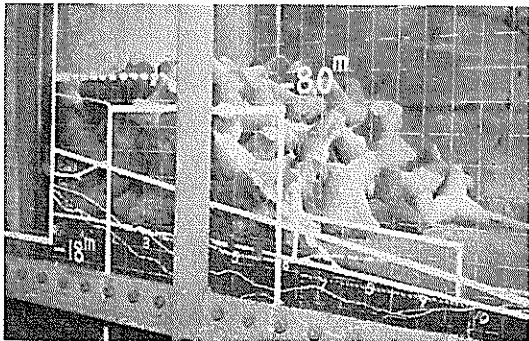
写真—4 Case1—3(23分後)



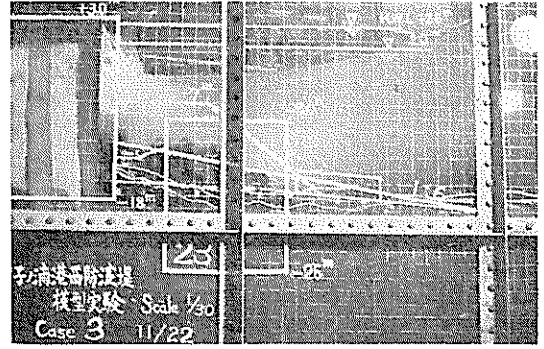
写真—5 Case—2(20分後)



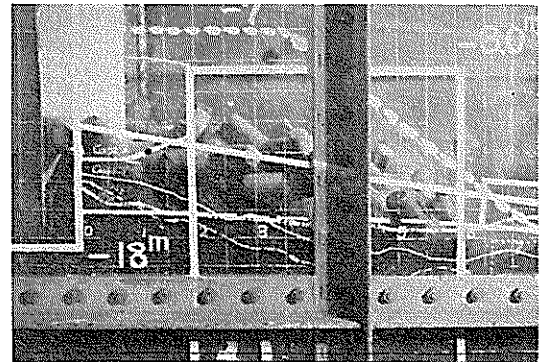
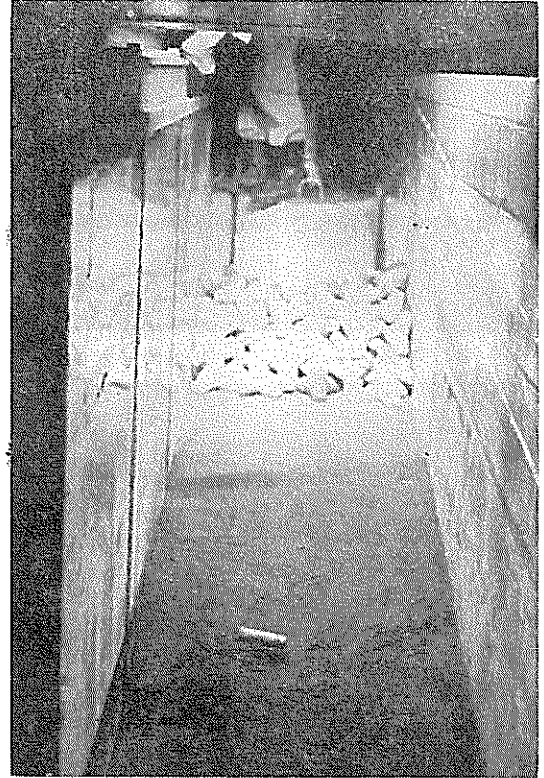
写真一六 Case—2 (23分後)



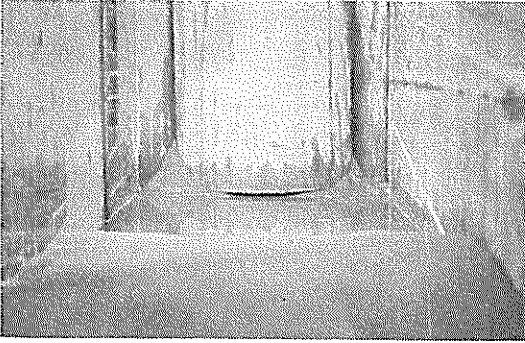
写真一七 Case—3 (23分後)



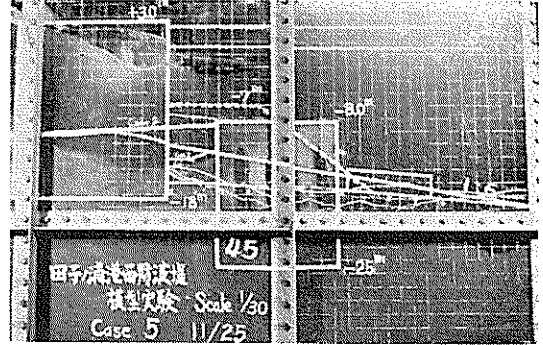
写真一八 Case—3 (23分後)



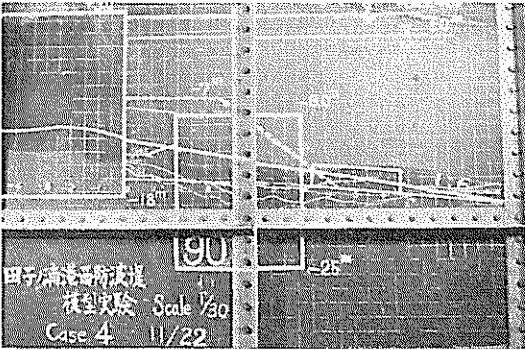
写真一九 Case—3 (23分後)



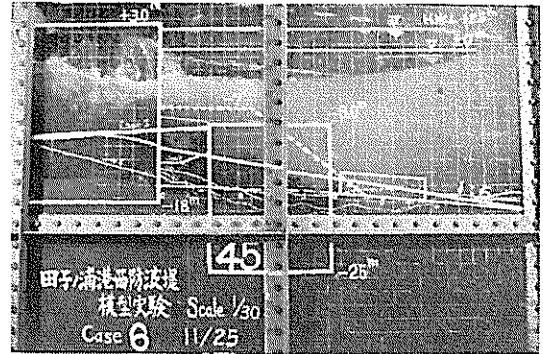
写真—10 Case—3 (23分後)



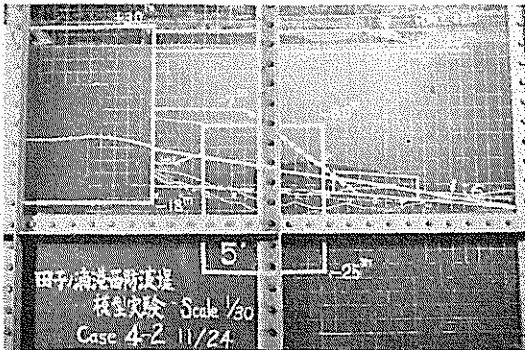
写真—14 Case—5 (45分後)



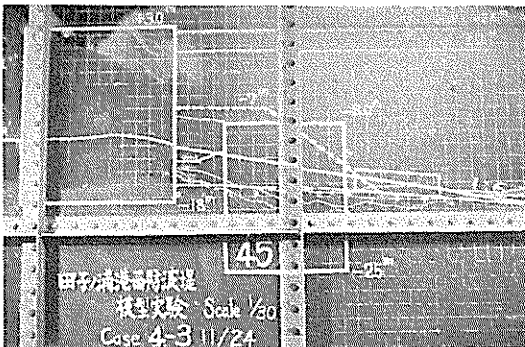
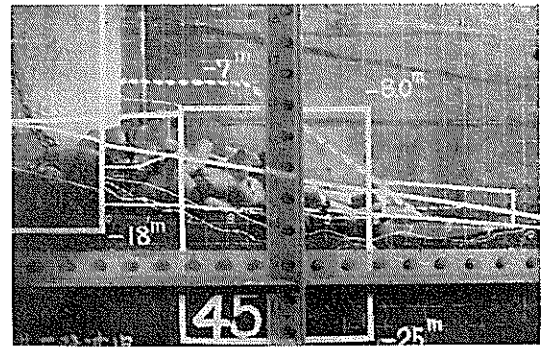
写真—11 Case—4 (90分後)



写真—15 Case—6 (45分後)



写真—12 Case 4—2 (45分後)



写真—13 Case 4—3 (45分後)



写真—16 Case—6 (45分後)

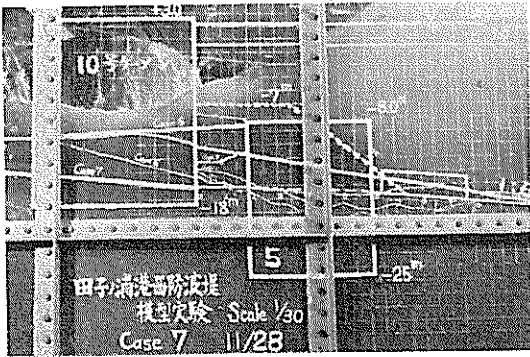


写真-17 Case-7 (5分後)

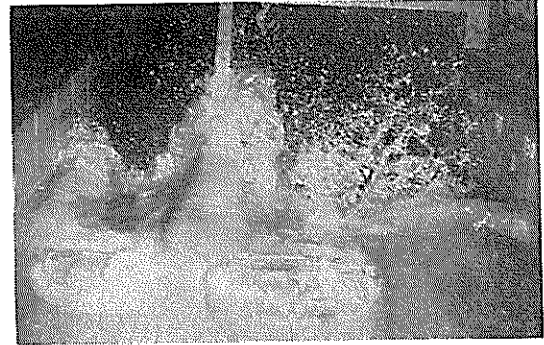


写真-21 Caes-9

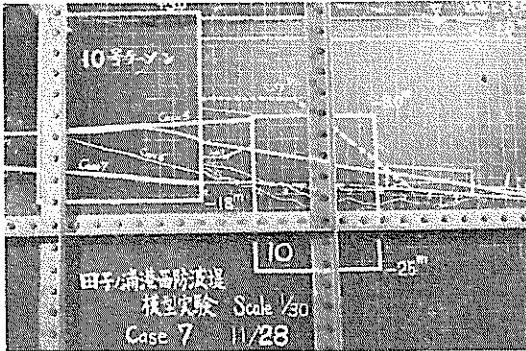


写真-18 Case-7 (10分後)

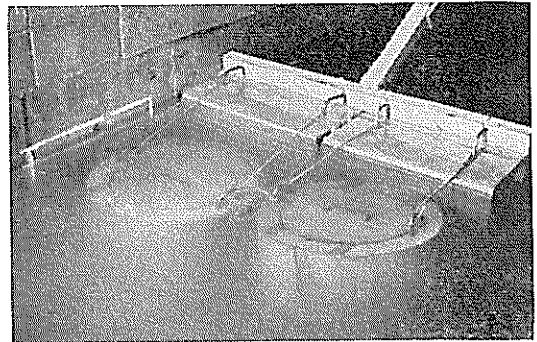


写真-22 Case-10 洗掘後



写真-19 Case-7 洗掘後

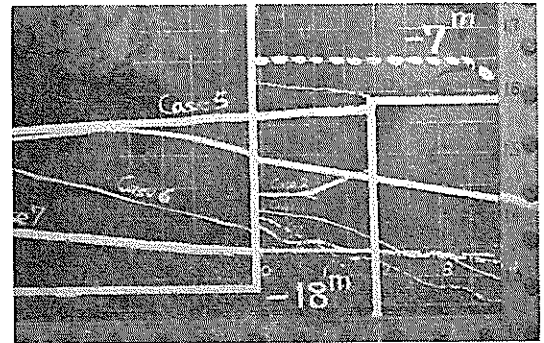


写真-23 Case-11 洗掘後

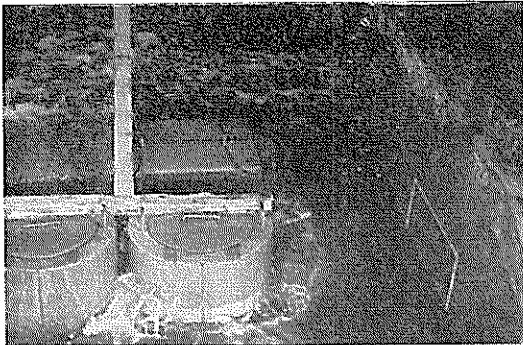


写真-20 Case-8

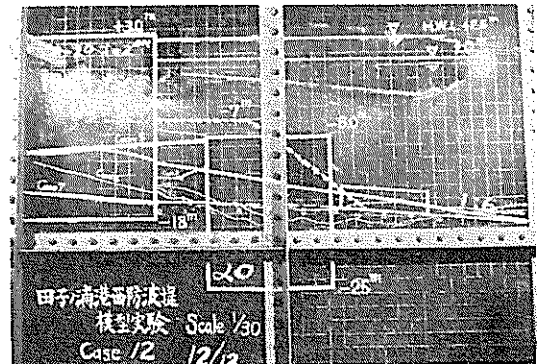
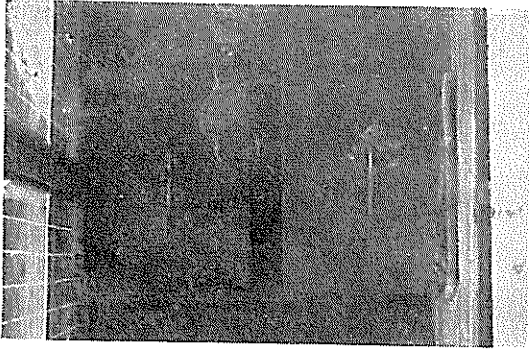
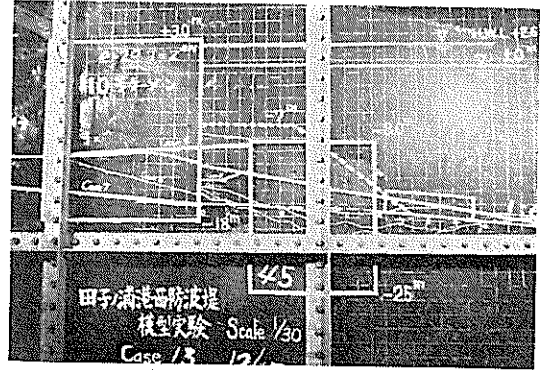


写真-24 Case-12 (20分後)



写真—25 Case—12 (40分後)



写真—26 Case—13 (45分後)