

港湾技術資料

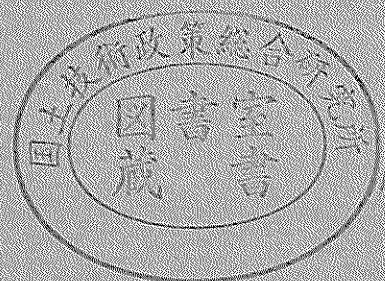
TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 789 Dec. 1994

北海道南西沖地震津波による奥尻港東防波堤の被災再現実験

鶴谷 広一
中川 康之

運輸省港湾技術研究所



目 次

要 旨	3
1. はじめに	3
2. 津波による被災状況と再現実験の方法	4
2.1 奥尻港での被災状況	4
2.2 被災再現実験の方法	5
3. 定常流による開口部での流れの測定結果	7
3.1 正転流の結果	7
3.2 逆転流の結果	8
4. 非定常流による被災再現実験結果	10
4.1 被覆ブロック洗掘の再現実験結果	10
4.2 洗掘状況再現実験結果	12
5. 被覆ブロックの移動限界に関する基礎的検討	14
5.1 被覆ブロック単独での移動限界	14
5.2 敷き並べた被覆ブロックの移動限界	17
6. 結 論	18
7. おわりに	19
参考文献	20

Model Experiment for Reproduction of Disaster at Okushiri-Higashi Breakwater by Hokkaido-Nanseioki Earthquake Tsunami

Hiroichi TSURUYA*
Yasuyuki NAKAGAWA**

Synopsis

The caisson blocks of breakwater heads in Okushiri port, standing to each other on opposite sides of the water way for small craft, fell down and submerged during the attack of tsunami on July 12, 1993. A vast scouring of rubble mound has been observed around there and it is considered owing to the strong current induced by the tsunami. In order to reproduce the damage and estimate minimum weight of armor units against tsunami current, model experiments, the scale 1/15, are carried out. In the experiments, the tsunami is simulated using oscillatory currents produced by pumps, and the damages similar to that in the field, viz scouring of rubble mound and slant of the caissons, can be reproduced. Discussion about critical velocity for armor units movement is also included.

Key Words: Tsunami disaster, scouring of rubble mound, minimum weight of armor units

* Chief of Hydrodynamics Laboratory, Marine Hydrodynamics Division
** Member, Hydrodynamics Laboratory, Marine Hydrodynamics Division

北海道南西沖地震津波による奥尻港東防波堤の被災再現実験

鶴谷 広一*
中川 康之**

要 旨

平成5年7月12日に発生した北海道南西沖地震津波により、奥尻港東外および東B防波堤の開口部でマウンド部が洗掘され堤頭函がそれぞれ転倒水没するという被害が生じた。その原因として津波来襲時に開口部（幅約35mの船通し）が狭窄部となり、そこでかなり速い流れが生じたことが考えられる。これまで、津波による防波堤の被災形態は、津波力による直立部の滑動・倒壊が多く、今回のようなマウンド部の洗掘による被災例は数少ない。しかし、同様の防波堤形状をもつ港湾は全国に多数存在するため、今後このような被災に対する対策を考えていく上で、ブロックの洗掘現象に関して検討しておくことが重要である。

そこで本論文では、奥尻港東外および東B防波堤の開口部を実験水槽内で1/15の模型により再現し、津波を想定した流れを作用させることによりマウンドブロックの洗掘状況を調べた。実験ではまず定常流による水位・流速分布の測定を行い、開口部周辺での流れのパターンを調べた。つぎに現地スケールで周期10分の津波を想定した往復流を作用させることにより、被災状況の再現ならびにマウンドブロックの移動状況について調べた。さらに長水路を用いて、被覆ブロックの移動限界に関する検討も行った。

キーワード：北海道南西沖地震津波、奥尻港東防波堤、局所洗掘、マウンドブロックの安定重量

1. はじめに

1993年7月12日に発生した北海道南西沖地震津波は、日本海沿岸の広い地域にわたって港湾構造物に被害をもたらした（高山ら，1994），特に震源地に近い奥尻島（図-1）では奥尻港、青苗漁港、神威脇漁港において防波堤や港湾施設が被災した。

過去に発生した津波による防波堤の被災形態としては、直立部ケーソンの滑動・転倒が目立つが、今回の津波でも奥尻港北防波堤で同様の被害が生じた。また、堤頭部マウンドの洗掘によるケーソンの倒壊という、これまでもほとんど例がない被災も生じた。直立部の滑動・転倒による被災については、その原因に関する検討がいくつかなされ（伊藤ら，1969；谷本ら，1984），非砕波津波の津波力を求める式も提案されている（Tanimoto，1983）。一方、洗掘による被災については1968年の十勝沖地震津波の際に、八戸港内の防波堤端部が洗掘を受けた被害の調査報告（堀口・横田，1969）や、流れによるマウンドブロックの移動に関する検討（岩崎ら，1984；谷本ら，1988）がなされている。

今回の津波で、洗掘により生じた最も大きな被害は奥尻港東外および東B防波堤の開口部（幅約35mの船通し）であり、マウンド部の洗掘により両防波堤の堤頭函が転倒、水没するに至った。津波来襲時には開口部が狭窄部となることから、そこで生じたかなり速い流れが被災の原因であると推定される。船通し部を有する防波堤が設

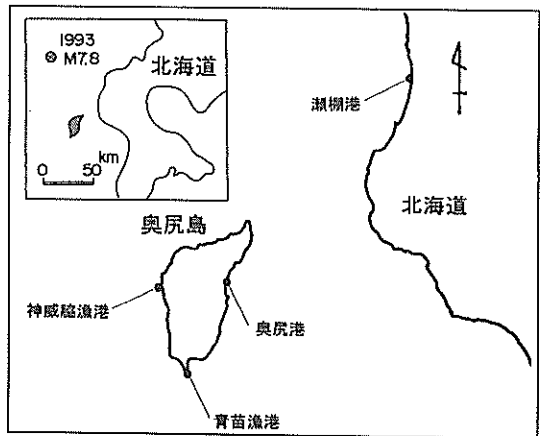


図-1 奥尻島と被災した主な港湾の位置

* 海洋水理部水理研究室長

** 海洋水理部水理研究室

置されている港湾は国内に多数存在するため、このような被災への対策を検討することは重要である。

そこで本研究では、奥尻港の東外防波堤および東B防波堤の開口部（図-2）の洗掘によるマウンド部の被災状況の再現とマウンド被覆材の安定重量に関する検討を目的として模型実験を行った。実験では水槽内に模型縮尺1/15の防波堤開口部を再現し、定常流を作用させたときの流れの様子（水位・流速分布の測定）と津波を想

定した非定常流を作用させたときの被覆ブロックの洗掘の状況を調べた。さらに長水路を用いた被覆ブロックの移動限界に関する検討も行った。

2. 津波による被災状況と再現実験の方法

2.1 奥尻港での被災状況

模型実験の対象となった奥尻港東外防波堤と東B防波堤の開口部の津波による被災状況を図-3に示す。かな

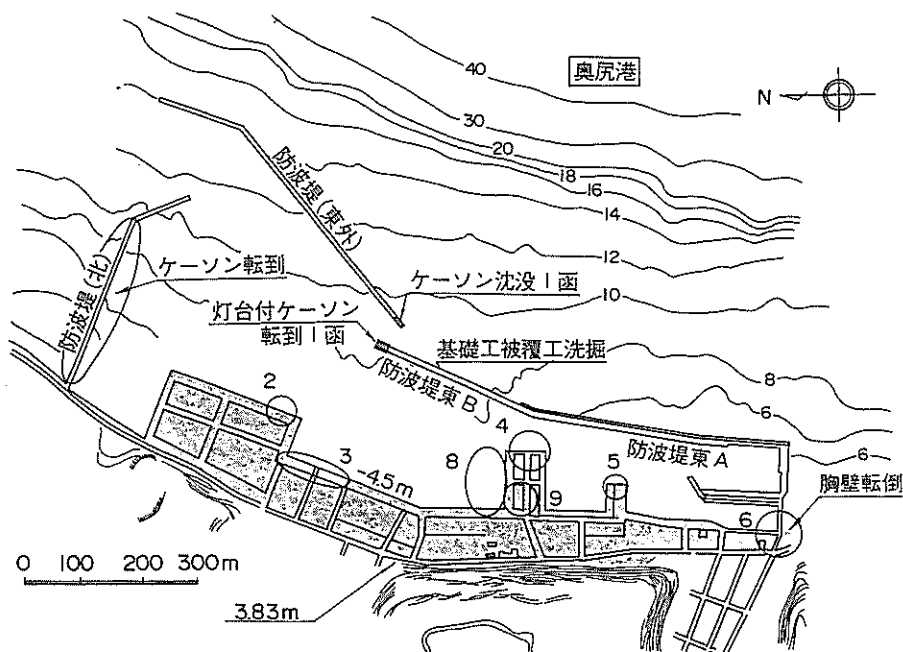


図-2 奥尻港内での被災状況

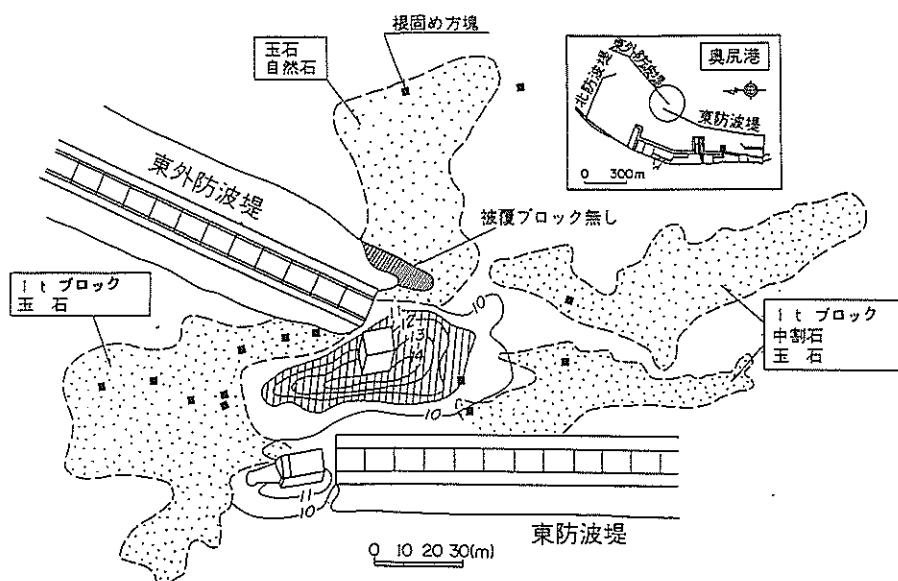


図-3 開口部の洗掘による被災状況

り広い範囲にわたり被覆ブロック (1t (9.8kN) 型異形ブロック) および砂地盤が洗掘されている。特に両防波堤の堤頭函基礎部のマウンド洗掘により各堤頭函が転倒・水没した。また最も洗掘が激しい開口部中央では、洗掘深が原地盤より3~4mの深さまで達している。

2.2 被災再現実験の方法

(1) 模型の平面配置

実験は港湾技術研究所の大水深海洋構造物実験水槽内の大水深槽 (長さ50m, 幅20m, 深さ3.5m) にて行った。模型縮尺は水平・鉛直方向ともに1/15とし、相似則はフルード則に従うものとした。したがって、流速の縮尺は $1/\sqrt{15}$ となる。東B防波堤と東外防波堤の模型は図-4に示すように、実験水槽のほぼ中央に開口部が位置するように設置した。

(2) 防波堤模型の断面形状

東外防波堤と東B防波堤の断面形状を図-5および図-6に示す。直立部は鉄筋コンクリート製の蓋付函形模型とし、内部に碎石および水を注入することにより現地の水中重量に合わせた。マウンド部は模型縮尺に合わせた碎石により基礎マウンドを形成し、その上にやはり模型縮尺に基づいて製作した被覆ブロック (1t (9.8kN) 型) および根固め方塊 (1.5m×2.5m×1.0m) のモル

タル製模型を配置した。また被覆材の散乱状況の観察を容易にするため、前出の図-4に示すようにマウンド部を6領域に分割し、それぞれ色分けした。写真-1は流れを作用させる前の開口部の状況である。水深については、開口部周辺の平均水深9.5mに津波来襲推定時刻の潮位+0.4m(H.W.L.)を加えた9.9mとし、模型では66cmの一樣水深で実験を行った。なお、今回の実験はコンクリート床で行ったため、現地で見られた砂地盤の洗掘については再現していない。

(3) 実験の種類および測定方法

対象とした現地の開口部は幅が35mしかなく、津波来襲時には著しい狭窄部となるため、港内と港外での水位差により生じた流れが洗掘の原因であると考えられる。したがって、再現する津波は実験水槽に付属している4台の軸流ポンプにより発生させた。これらのポンプは入力するアナログ信号により、回転数ならびに回転方向を自在に変化させることが可能であるため、任意の流れを水槽内に発生させることができる。なお、ここでは港外から港内へ向かう流れを正転流、その逆を逆転流と呼ぶことにする (図-4)。

実験に用いた流れの種類と測定内容を表-1に示す。まず、実験1では開口部周辺での流れのパターンを詳細

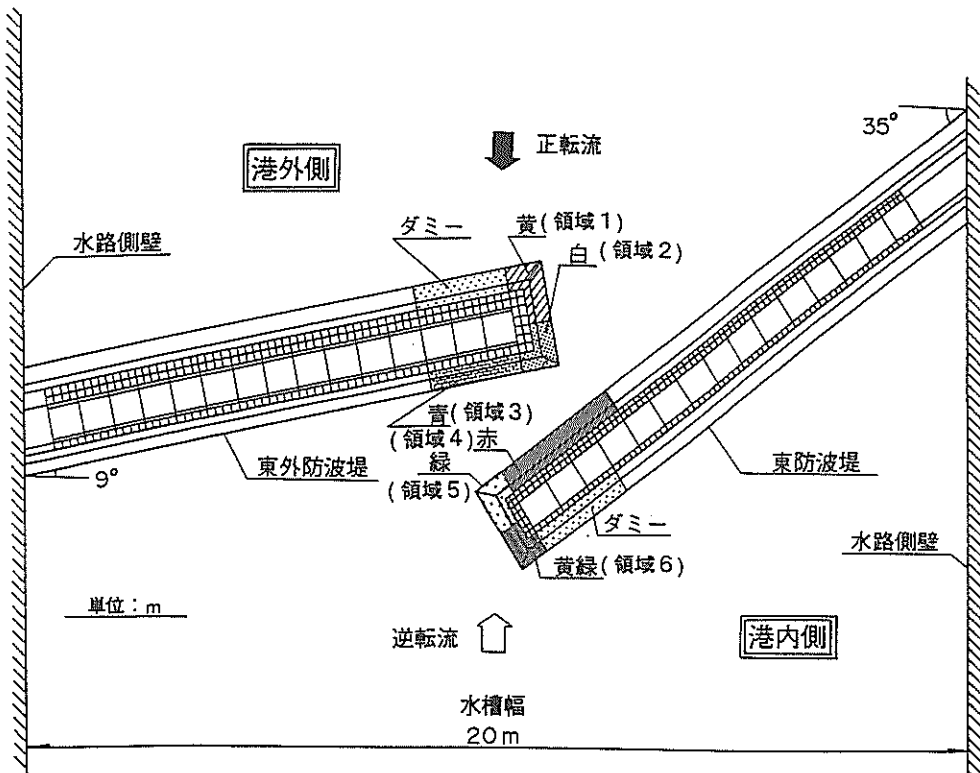


図-4 防波堤模型の平面配置

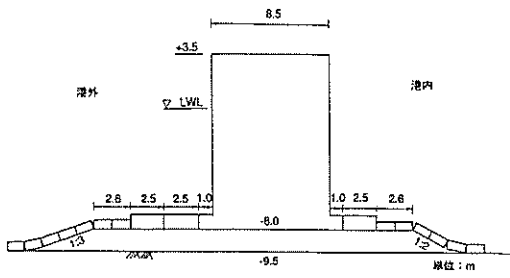


図-5 東外防波堤の断面

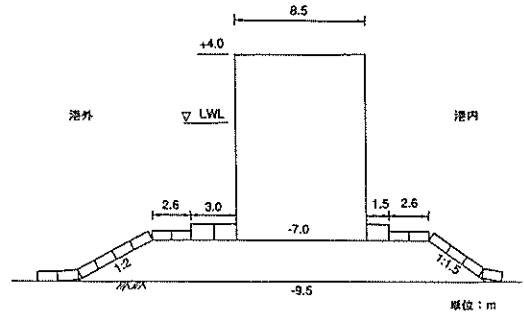


図-6 東B防波堤の断面

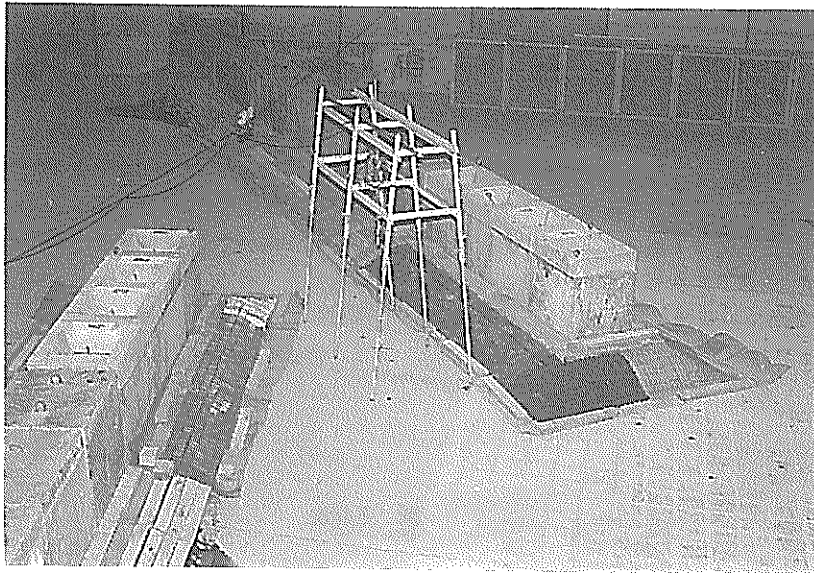


写真-1 模型設置状況

に把握することを目的として定常流による水位・流速分布の測定を行った。そのときの測定点を図-7、図-8にそれぞれ示す。ただし、ここではブロックの移動する限界よりもやや小さめの流速で測定を行っているため、その結果は必ずしも被災時の流れ場に相当するわけではない。

つぎに被災後の住民の証言を参考にして、現地スケールで周期10分の津波を想定し、正弦波信号を流れ発生装置に入力することにより往復流を作用させてブロックの移動について調べた。この非定常流を用いた実験においては、1回の実験で6.5周期分の波を作用させた。実際はこの地域に津波が何波来襲したかは不明であり、構造物が実質的に被災したのは何波目までであったのかについても疑問が残る。また、各波の強さが一様であったかも不明である。しかし、2~3波の来襲があったと推定されること(高山ら,1994)と、実験では各波ごとの崩壊

過程を知るという目的から、ここでは上記の通り作用させることとした。

まず、実験2ではブロックの移動に至る流速レベルが未知であったことから、入力信号の振幅を調整することにより流速レベルを徐々に上げてゆき、最終的にマウンド部の洗掘による堤頭函の転倒が起こるまでの合計6ケースの実験を行った。すなわち、各ケースが終了する度に一端流れを止めた後、ブロックの移動が見られた場合でもブロックは元の位置に戻すことなく次のケースを実行し、最終的に両防波堤の堤頭函が転倒するまで計測を行った。またこのときの水位・流速の測定点の位置を図-9に示す。

一方、実験3ではブロックの移動が確実に起こる流速レベルに固定して、1ケース分(6.5周期)の往復流を作用させた後にブロックの移動状況を測定した。このときの各計測器の設置点を図-10に示す。

表-1 実験内容

	流れの種類	周期	流れの向き	開口部で流れの強さ(m/s) (非常常: 正転/逆転)	測定項目(測定器の配置図)
実験1	定常流	—	正転	0.88(現地換算 3.41)	流速・水位(図-8)
			逆転	-0.81(" -3.14)	
実験2	非常常	156s (10分)	逆転より開始	0.81/-0.20~2.00/-1.26 (3.14/-0.77~7.75/-4.88) の間で段階的に増強	流速・水位(図-9) ブロック移動
実験3	非常常	156s (10分)	逆転より開始	1.12/-1.99 (4.34/-7.71)	流速・水位(図-10) ブロック移動

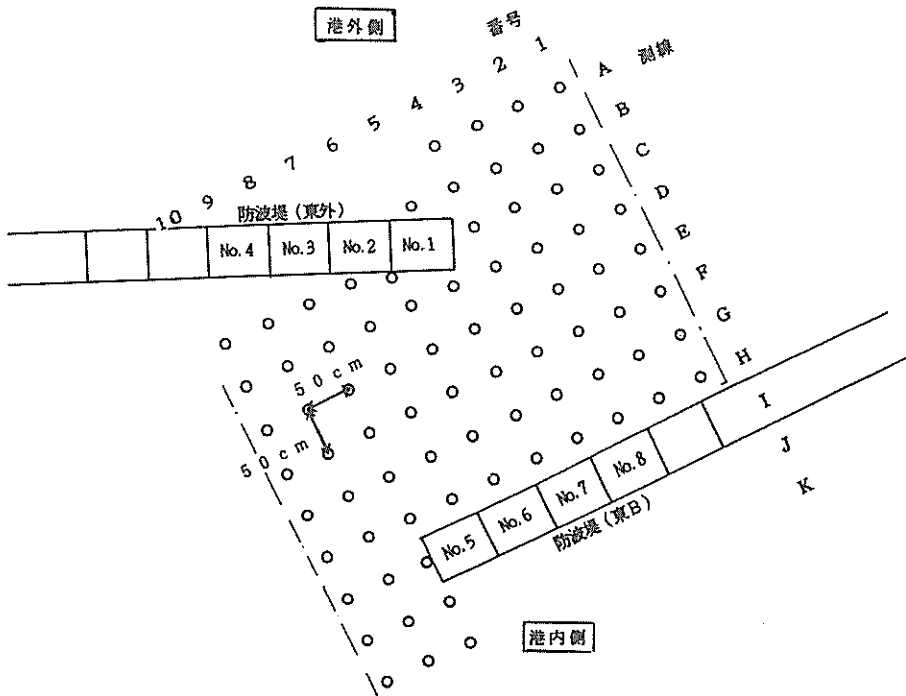


図-7 定常流の水位測定点(実験1)

なお、いずれのケースにおいても、水位・流速の測定には容量式波高計および電磁流速計(x-y成分用、x-z成分用)をそれぞれ使用した。

3. 定常流による開口部での流れの測定結果

3.1 正転流の結果

実験1における正転流を作用させたときの開口部付近での水位分布および水平流速分布の測定結果をそれぞれ図-11, 12に示す。以後、特に断りの無い限り実験での値で示すことにする。まず水位分布の結果(図-11)を

みると、測定範囲内における港外側の最大上昇量が測点A1で4.2cm、また港内側の最大下降量が測点J10において-6.95cmとなった。したがって最大水位差が11.50cmとなり現地スケールでは1.72mに相当し、2点間の直線距離から求めた平均水面勾配は0.02となる。また東外防波堤端部において局所的な水位の低下が見られるが、これは防波堤端部を回り込む流れにより生じる渦の影響である。

一方、このときの開口部中央付近(図-12, 測点H1)では静水面下10cm(現地換算1.5m)の地点で88.2cm

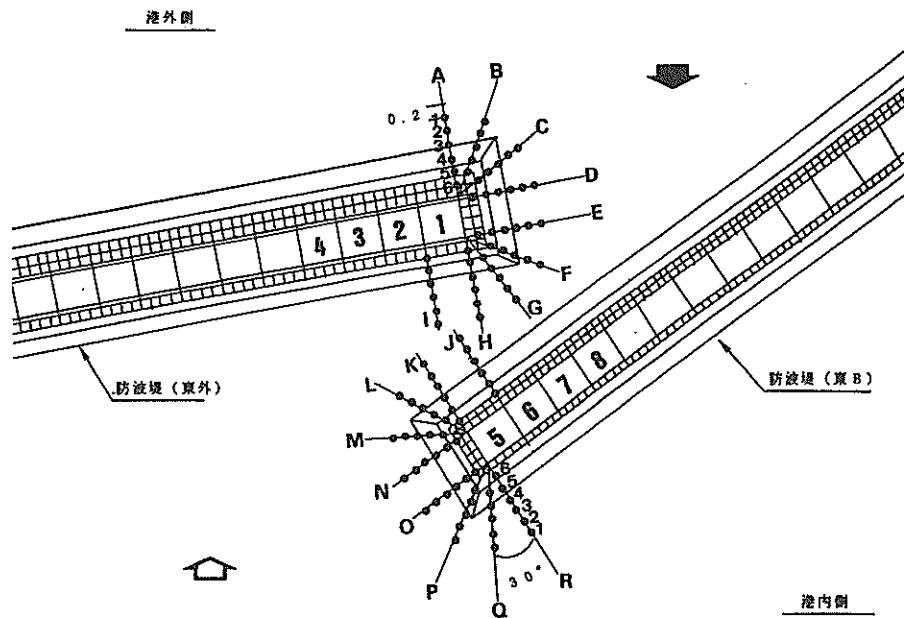


図-8 定常流の流速測定点 (実験1)

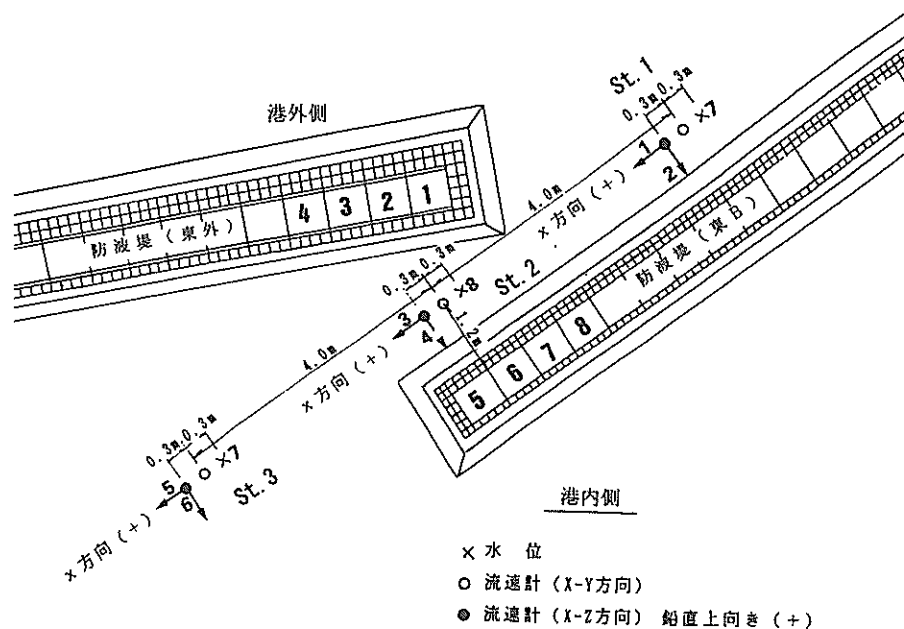


図-9 非定常流の水位・流速測定点 (実験2)

/s (同3.42m/s), 底面上10cmの地点で88.7cm/s (同3.44m/s) の水平方向の流れが生じている。また、図-12を見ると全体的な流れのパターンとしては、両防波堤の港内側近傍は流れの剥離領域となるため平均流速が小さくなっているのに対し、東外防波堤を回り込むようにして港内側に流入する流れが開口部中央付近で強くなっている。また今回の計測で最大平均水平流速を記録した

のは測点K 6 (図-12, 底面上10cm) での流速119.2cm/s (同4.61m/s) である。

3.2 逆転流の結果

逆転流に関する同様の測定結果を図-13, 図-14に示す。まず水位分布 (図-13) について見ると、港内側の最大水位上昇量は測点J10の4.7cm, また港外側の最大下降量は測点A 3 の-5.78cmであり現地換算で1.57m

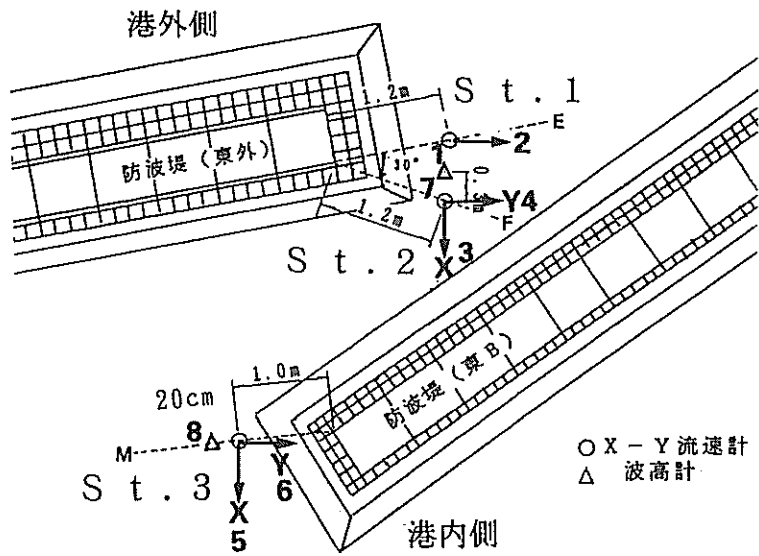


図-10 非常常流の水位・流速測定点 (実験3)

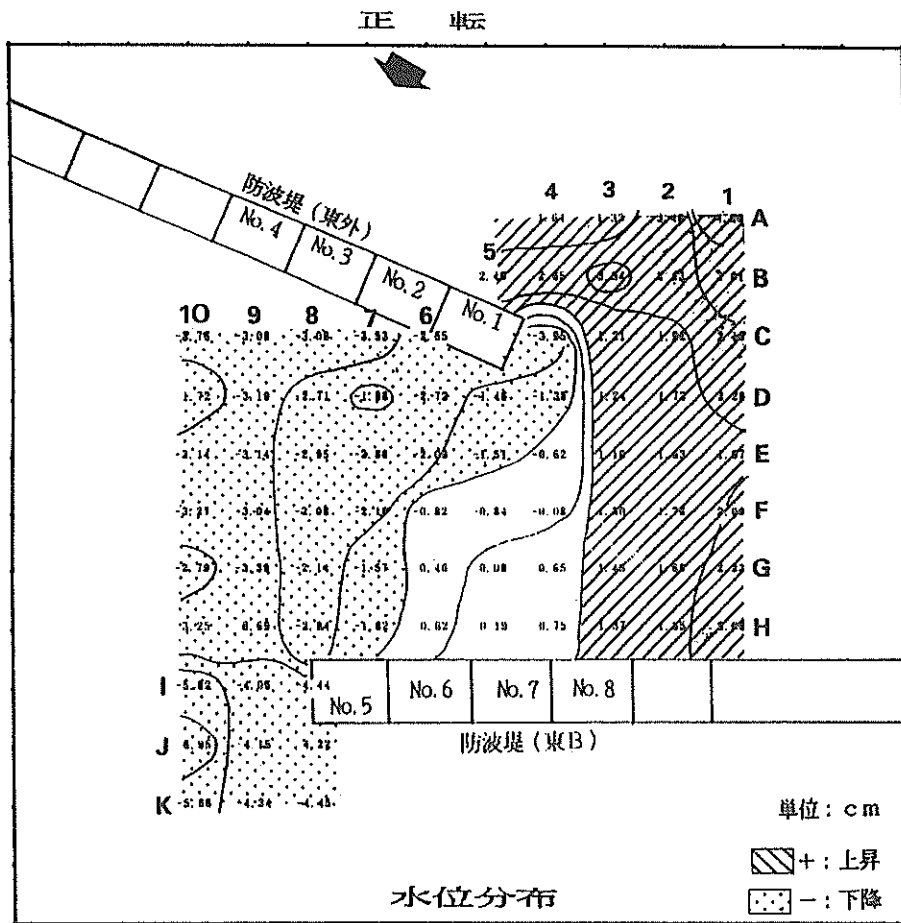


図-11 水位分布 (正転流)

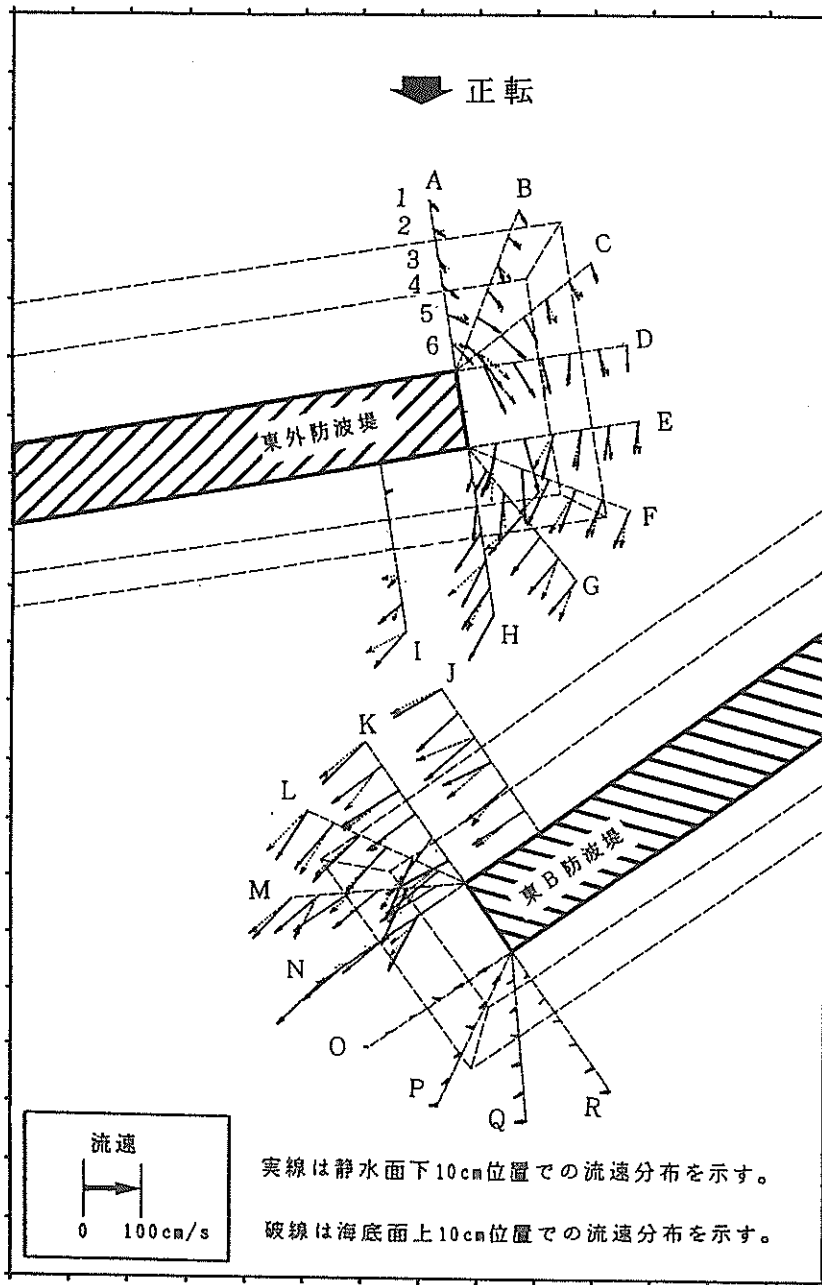


図-12 平均水平流速ベクトル図(正転流)

の水位差に相当する。このときの平均水面勾配は0.018となる。

平均水平流速の分布図(図-14)からは正転流のときと同様に開口部に流れが集中していることがわかり、測点H1での水平流速値は静水面下10cmで81.2cm/s(現地換算3.14m/s)、底面上10cmの位置で89.8cm/s(同3.48m/s)となっている。また流れに対して下手側の防波堤に沿って強い流れが生じていることがわかる。このときの最大水平流速は測点G6(底面上10cm)の126.8

cm/s(同4.91m/s)であった。なお、東外防波堤のマウンドブロックの角部(測点F1~F3)付近では、鉛直方向に水平流速の方向が変化しているがこれはマウンド形状の影響と思われる。

4. 非定常流による被災再現実験結果

4.1 被覆ブロック洗掘の再現実験結果

ここでは被災を生じさせた流速値を概略知るために行った実験2(表-1)、すなわち段階的に流速振幅を大き

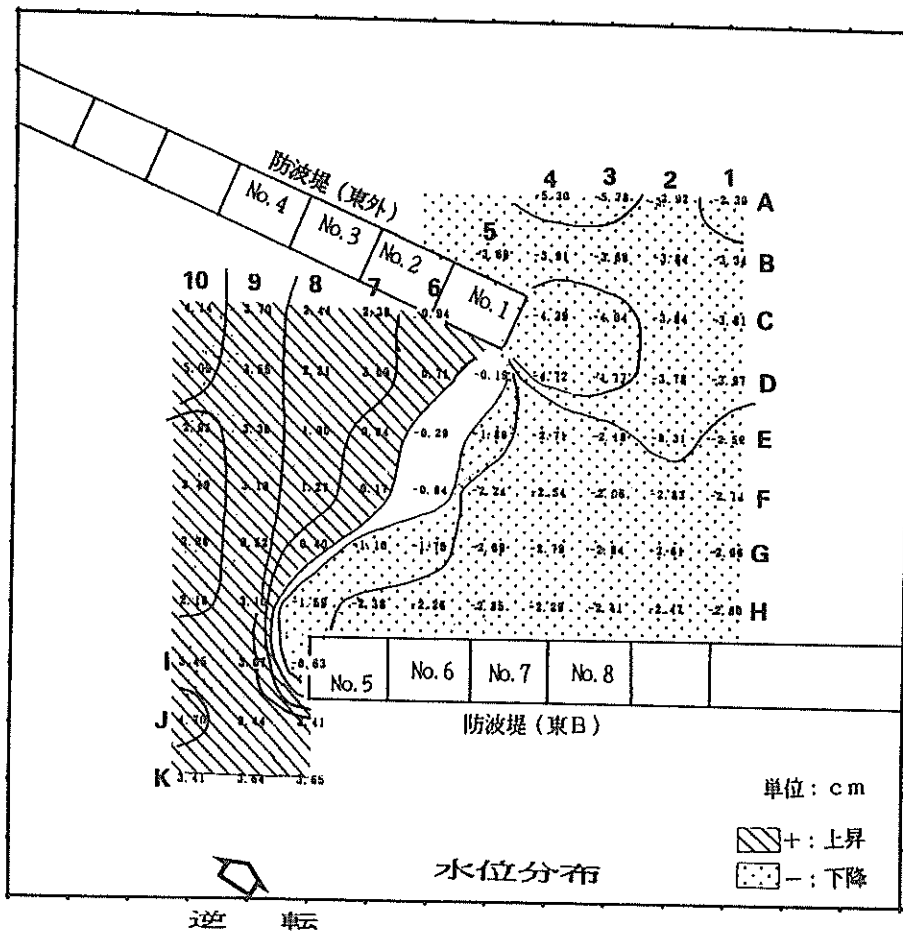


図-13 水位分布(逆転流)

くして往復流を作用させたときの結果について示す。図-15は図-9中の各測点で計られたケース3での水平流速および水位の時間波形を示しており、このような流れを振幅を変えて作用させていったときに観察されたブロックの移動についてまとめたものが表-2である。

まずケース1, 2の段階では領域5(図-4参照)の港外側角部が数ミリ程度移動しかけたが、大きな移動には至らなかった。つぎのケース3において初めて大規模なブロックの移動が観察されたが、それは港外から港内へ向かう正転流の際に領域2すなわち東外防波堤端部港内側の角部で発生した。角部のブロックが流された後はその周辺が少しずつ流されていき、ブロックが流された部分の基礎マウンド(碎石)は容易に流れ出し、すぐにコンクリートの床面が見えるまでになった。一方、ケース2の時点でわずかな移動を見せていた領域5のブロックはこのときも大きな移動はしなかった。またケース3の終了時点では、堤頭函模型の転倒に至るまでのブロックの洗掘は生じなかった。

さらにケース4の段階では領域2のブロックはほとんど流出し、領域1のブロックおよび堤頭函基部の根固めブロックも逆転流により流された。ケース5になり領域4, 5のブロックが正転流により港内側へ流出し始め、このときには東外防波堤端部の根固めブロックのほとんどが流されている。最後のケース6において東外および東Bの堤頭函は、防波堤法線方向とそれと直角方向にそれぞれ転倒した。写真-2は全ケース終了後の開口部模型を上方より撮影したものである。

以上の実験結果より、まずブロックの移動限界がケース2および3の間にあることがわかり、またマウンド部の洗掘によるケーソンの転倒が生じるには開口部中央付近では 2.0m/s (現地換算 7.75m/s)以上の流れが生じていたものと推測される。なおSt. 2の流速値と同一地点で測られている定常流の実験での流速値をもとに、ブロックの移動が最初に見られた領域2付近の水平流速値を線形外挿により求めたところ、 $117.6\sim 146.2\text{cm/s}$ (同 $4.55\sim 5.66\text{m/s}$)となった。したがってマウンドの

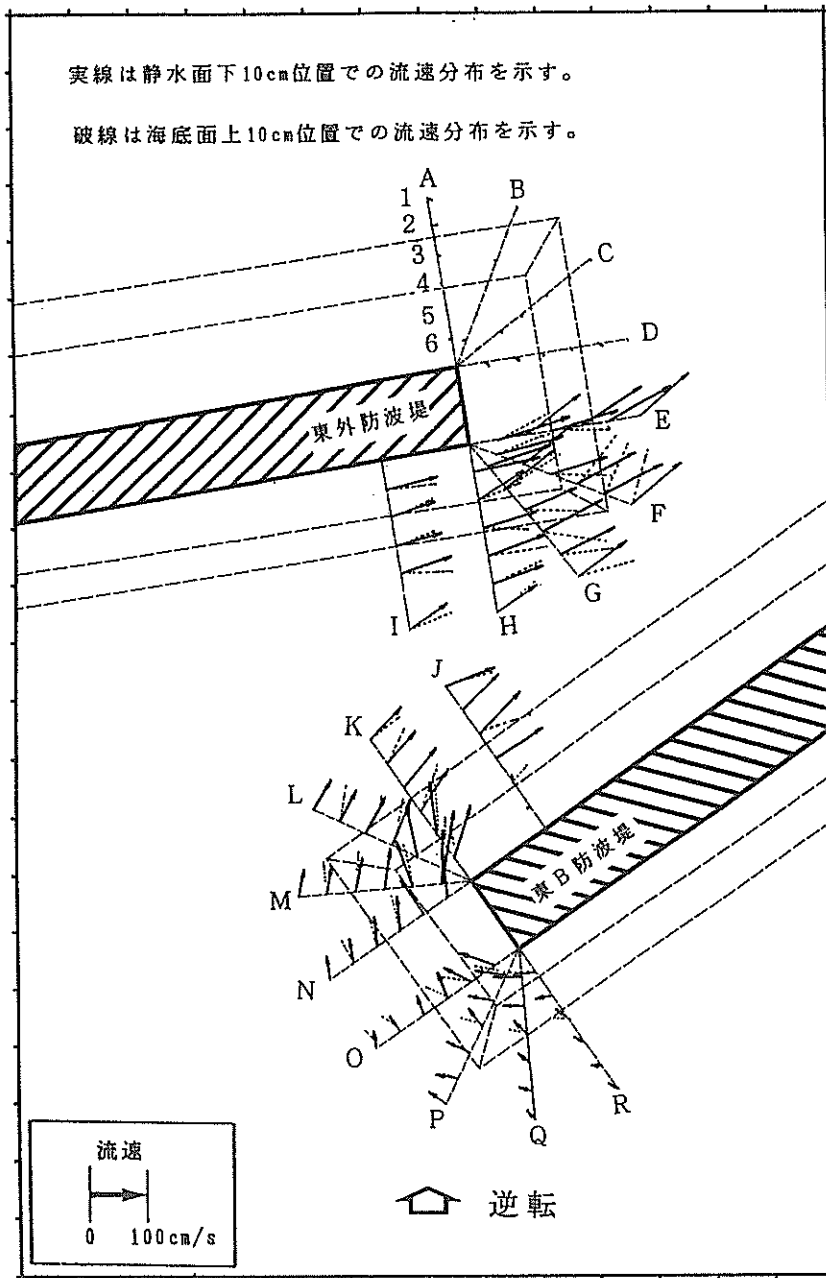


図-14 平均水平流速ベクトル図(逆転流)

角部に置かれたブロックの移動限界流速はこの間にあると推定される。

4.2 洗掘状況再現実験結果

前項の実験結果をもとに、ブロックの移動およびそれらの洗掘による堤頭函の転倒が起こると思われる流速値を作用させた。図-10におけるSt. 1~3で測られた水平流速および水位の測定結果を図-16に示す。

ここでも最初に移動が見られたのは、正転流時における領域2の角部からであった。第2波目以降、領域2、

3、4のブロックがそれぞれ移動し、第3波目の正転流時には東外防波堤のマウンド部が崩壊した。さらに第4波の正転流時に東外堤頭函が傾き始めた。一方、東B堤頭函も最後には防波堤法線方向に傾斜した。

表-3は実験終了後に測定したマウンドブロックの各領域別の被害率(初期の設置個数のうち移動したものの割合)とその流出方向をまとめたものである。また、マウンド部の最終的な洗掘状況を図-17に示す。なお、図中の矢印は各堤頭函の傾いた方向を表す。これをみると、

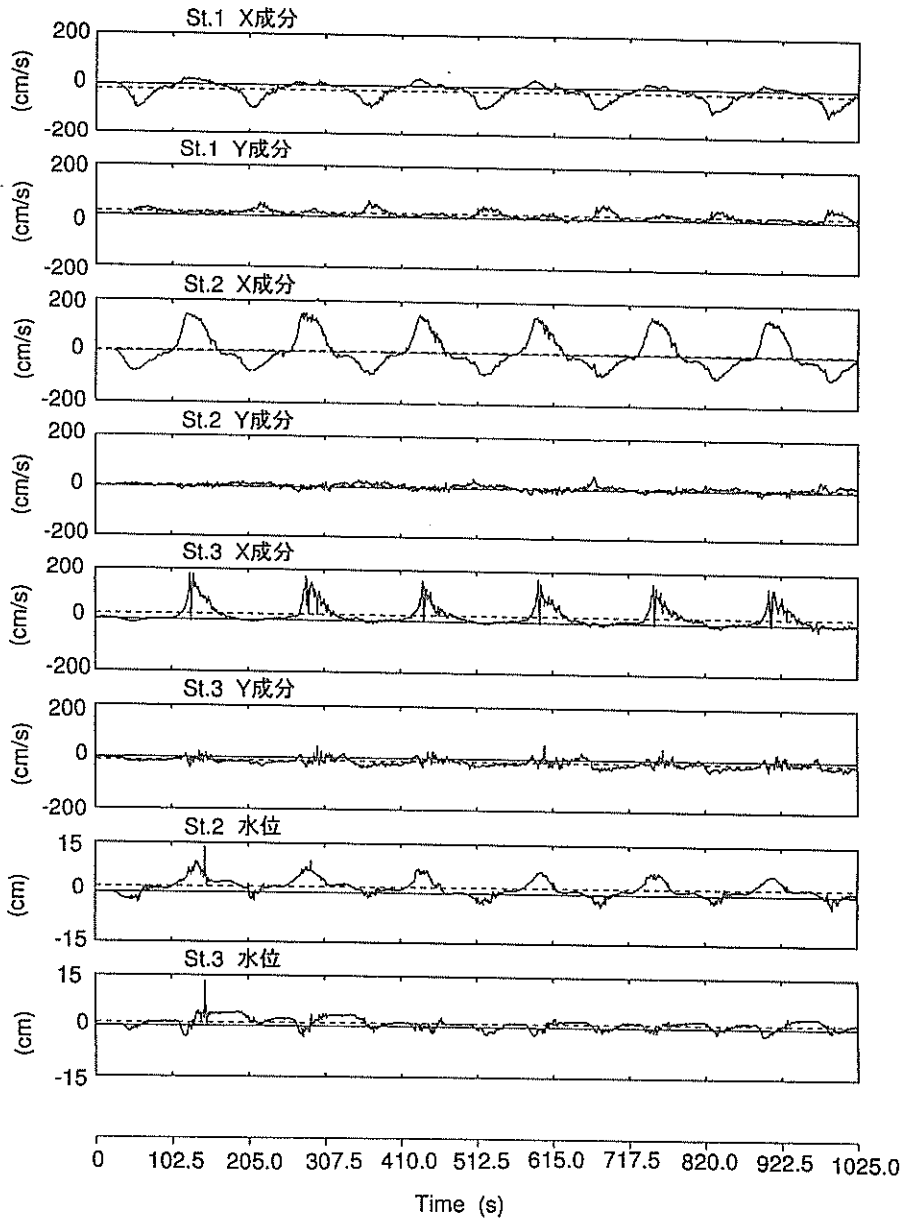


図-15 非定常流の水位および流速波形（実験2，ケース3）

各堤頭函の基底部およびその周囲で特に被害率が大きくなっており、現地での被害状況図（図-3）における防波堤端部のマウンド部の洗掘状況がうまく再現されていることがわかる。定常流の実験による水平流速分布測定の結果では、各防波堤に沿う流れの流速値が大きかったものの、ブロックの移動は角部から生じやすいため防波堤端部のほうが流れによる被災が発生しやすいことが実験でも確かめられた。

一方、移動したブロックは正転・逆転流それぞれに対して下流側の防波堤のほぼ延長線上に散在していた。現地の被災状況（図-3）をみると、東外防波堤の堤頭函

の港外側端部周辺にも洗掘を受けたブロックの堆積がみられたが、今回の実験結果にはこの傾向はみられなかった。この原因としては、津波の来襲方向が実験において正しく再現されているかどうか、あるいは海底地盤の洗掘を再現していないことによる堤頭部の崩壊過程の再現性に原因があるのではないかなどが考えられる。また、一旦動き出したモルタル床上的ブロックは、現地の砂地盤上より移動距離が大きめになると考えられる。なお現地データにおいてはブロックの詳細な移動場所の記録はないが、実験結果では参考のため各領域ブロックの移動先（港内側か港外側か）を表-3に示しておいた。

表-2 各ケースごとのブロックの移動に関する観察結果

ケース	流れの向き	移動状況
1	終了時	緑ブロック（領域5）の一部が港内側に数ミリ移動するが、大きな移動は無し。
2	終了時	緑ブロックの一部が港内側に数ミリ移動するが、大きな移動は無し。
3	正転（2波目）	白ブロック（領域2）の角部が港内側に移動を開始。
	終了時	白ブロックの被覆ブロックは角部を中心に約6割が流出。
4	正転（1波目）	黄ブロック（領域1）が港内側へ移動開始。
	正転（2波目）	青ブロック（領域3）が港内側へ移動開始。
	終了時	白は全て、黄は約半分、青は開口部に近い数個がそれぞれ流出。
5	終了時	領域2の根固ブロック流出、黄ブロックの約8割が流出
6	正転（1波目）	赤（領域4）および緑（領域5）の外周が一気に流出。
	逆転（5波目）	東外の堤頭面が法線方向に転倒
	逆転（6波目）	東Bの堤頭面が法線と直角方向に転倒。



写真-2 非定常流作用後の状況

5. 被覆ブロックの移動限界に関する基礎的検討

5.1 -被覆ブロック単独での移動限界

被覆ブロックあるいは捨て石等の、ある流速値に対する必要算定重量の算定式として次のC.E.R.C. (1977)の式がある。

$$W = \frac{\pi w U_o^6}{48 \gamma^6 g^3 (w/w_o - 1)^3 (\cos \theta - \sin \theta)^3} \quad (1)$$

ここに

W : 被覆材所要重量(tf)

U_o : 被覆材に作用する流体の接近流速(m/s)

w_o : 流体の単位体積重量(tf/m³)

w : 被覆材の単位体積重量(tf/m³)

g : 重力加速度(9.8m/s²)

θ : 流軸に対するマウンドの傾斜角

y : イシュバッシュ定数

である。

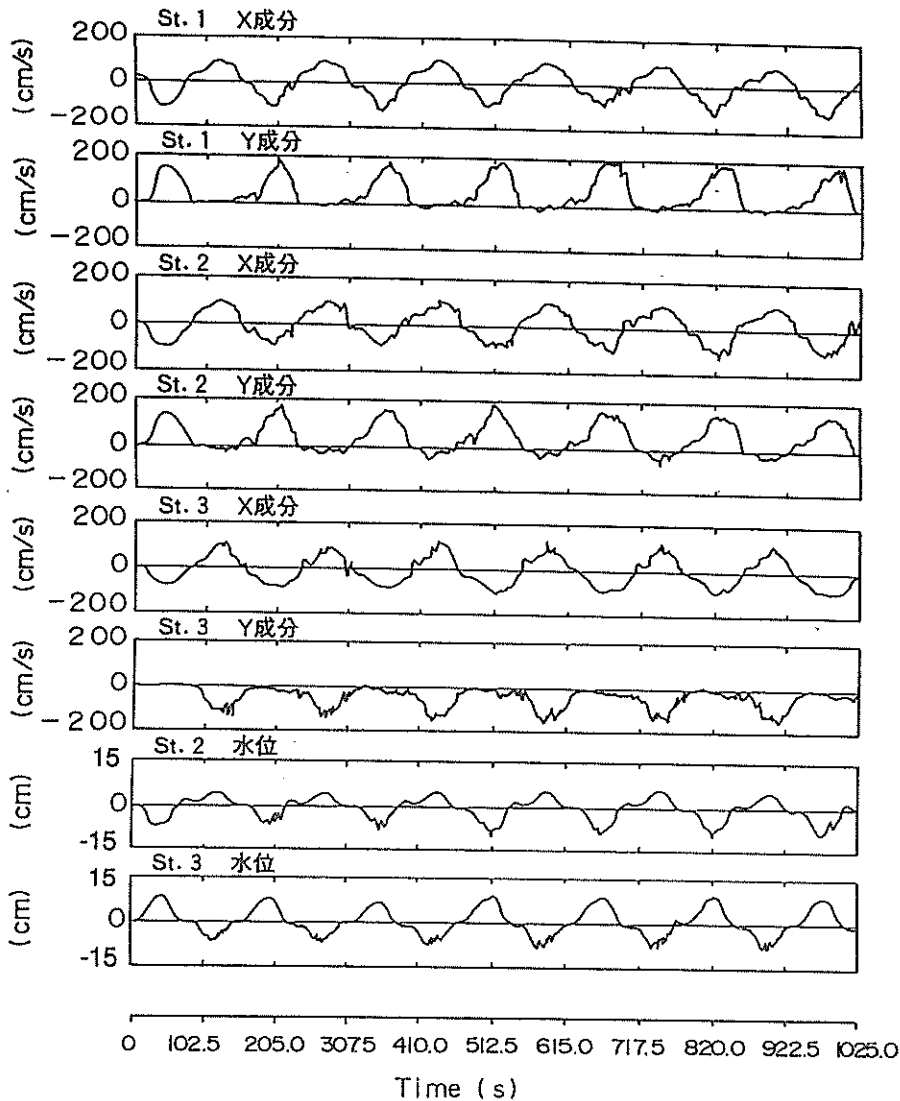


図-16 非定常流の水位および流速波形 (実験3)

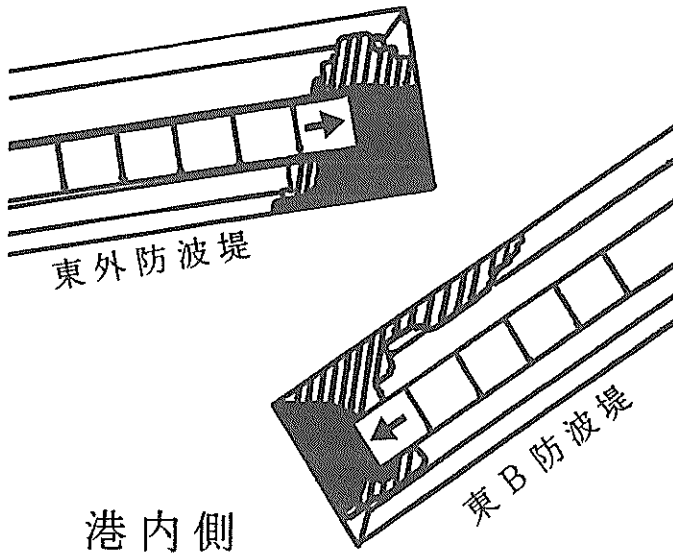
ところで、式(1)はもともと球体に及ぼす力(図-18)のうち、流体力と摩擦力の釣り合い条件から導かれたものであり、イシュバッシュ定数 γ は静止摩擦係数 μ と球体の抵抗係数 C_d の関数として表される。しかしながら実際には碎石や異形ブロック等に上式をそのまま適用し、実験から求められる定数 γ の値を用いて必要重量の算定を行っている。したがって、そこでは底質の違いや他の碎石等とのかみ合わせなどの、物体の移動限界に関与する様々な要因をすべて定数 γ の中に集約させていることになる。その一例として、埋め込まれた碎石に対しては1.20、埋め込みでない場合には0.86という γ の値がこれまでに提案されている。また捨て石堤上に詰まった異形ブロックに対しては、岩崎ら(1986)による実験から γ が1.08程度と求められている。

さて、ここでは他のブロックとのかみ合わせ等の要因を排除し、上述した式(1)本来の意味にできるだけ近い条件下でのイシュバッシュ定数を求めることを目的として、現地で被災したマウンド被覆材(異形ブロック、図-19)のモルタル床上での移動限界に関する実験を行った。実験は、二次元水路内に設置したモルタル床上で行い、図-20に示すように5つのブロックを約10cm間隔で流れと直角方向に並べ、ポンプで発生させる流れの流速を徐々に上げていった。水深は40cmとしているが、ブロック近傍の移動限界流速を求めることが目的であるため、水深の影響は少ないと考えらる。最初にいずれかのブロックが動き出してから5つ目のブロックが動き出すまでの平均流速値を求めることにより移動限界流速値を求めた。流速計は図-20に示すように、ブロックの脇

表-3 被覆ブロックの被害率と飛散方向

	領域	設置個数	被害率 (%)	港内側 (%)	港外側 (%)
東外防波堤	1	98	67.3	65.2	34.8
	2	88	96.6	36.5	63.5
	3	144	38.2	0	100
東B	4	256	18.4	40.4	59.6
	5	120	100	15.8	84.2
	6	102	52.9	9.3	90.7

港外側



黒塗り部：被覆ブロック、砕石ともに流された部分

斜線部：被覆ブロックは流され、砕石のみ残った部分

図-17 マウンドブロックの被災状況

にブロック上面の高さでの流速を測定するように設置した。作用させた流れの流速値を図-21に、また同じ実験の5回の平均を求めた結果を表-4に示す。

表-4の結果から今回の実験に用いた異形ブロック(比重 2.3tf/m^3)のイシュバッシュ定数 y を求めると0.967となり、埋め込みでない碎石に用いられる定数 y よりも大きな値となった。

5.2 敷き並べた被覆ブロックの移動限界

前項ではブロック単体に流体が作用したときの移動限界について検討したが、実際の防波堤マウンド部は多数

の被覆ブロックが隣り合うように敷き並べられており、その移動限界は単独で置かれた場合と状況が異なる。また、開口部の被災を再現した4の実験では、被覆ブロックの移動はマウンド角部の頂点に置かれたブロックから移動が生じていることが確認されている。そこで、実験水路内のモルタルブロック床上に図-22に示すように被覆

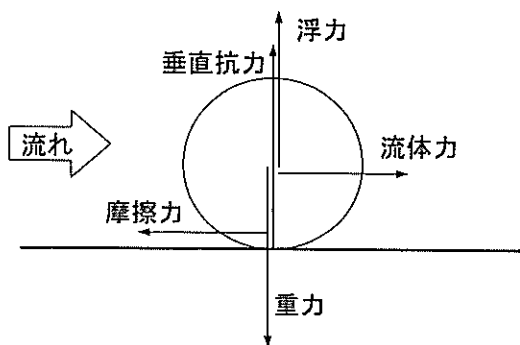


図-18 流れの中に置かれた物体に及ぼす力

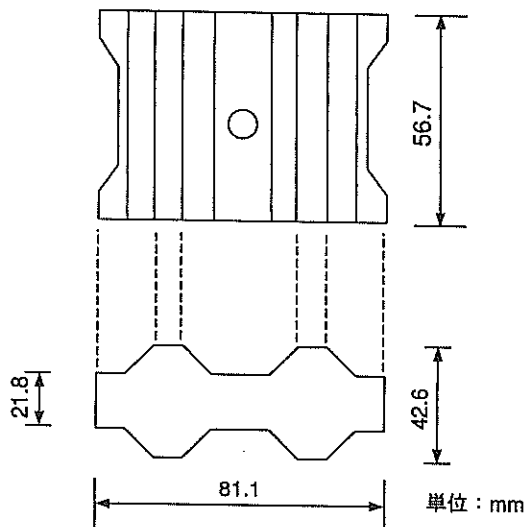


図-19 被覆ブロックの形状

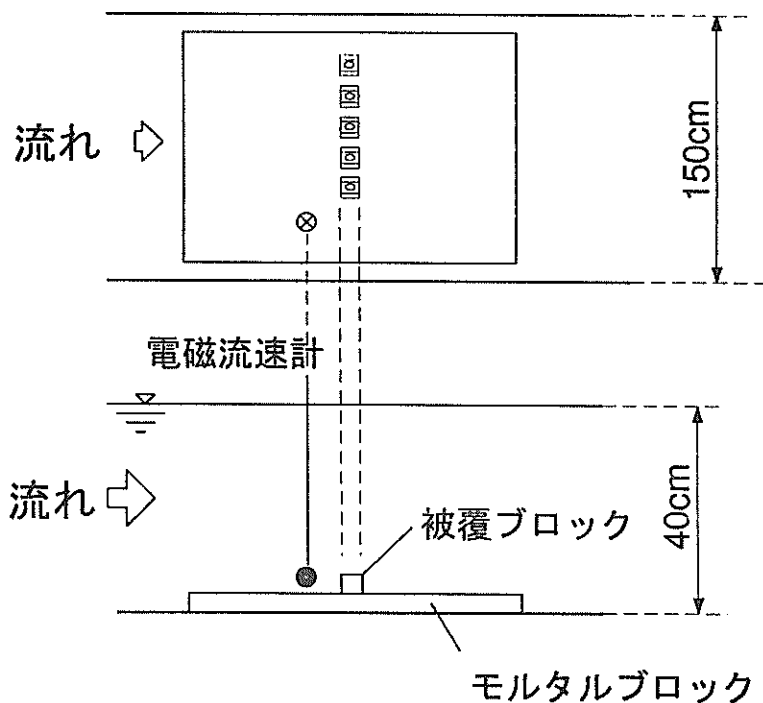


図-20 被覆ブロック単独での移動限界流速の測定

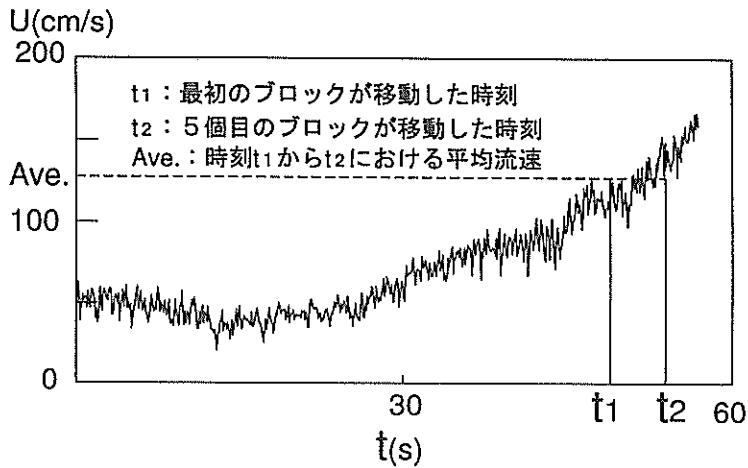


図-21 単独で置かれたブロックの移動限界流速

表-4 被覆ブロック(単体)の移動限界流速測定結果

	移動限界流速 (cm/s)
R u n 1	1 1 0 . 2
R u n 2	1 3 4 . 2
R u n 3	1 2 7 . 4
R u n 4	1 1 9 . 0
R u n 5	1 2 0 . 5
平均値	1 2 2 . 3

(現地換算 : 4.74m/s)

ブロックを配置し、図-23に示すような流れを作用させることにより角部に置かれたブロックの移動限界流速を調べた。ここでも4.における被災実験のときと同様に、最初に流れ出すブロックは図中矢印で示した角部に置かれたものであり、滑るように移動を始めた。移動限界流速は最初に移動がみられた時刻から数き並べたブロックの約半数が移動する時刻までの流速の時間平均値で算出した。この手順により合計5回行った移動限界流速値の結果とその平均値を表-5に示す。

前述の開口部模型を用いた平面実験の結果、線形外挿により推定したブロックの移動限界流速は117.6~146.2 cm/sの間であったが、ここではその上限に近い値となった。ただし、平面実験での移動限界値はブロックの移動が生じた近傍での流速そのものではなく、定常流の流速分布測定結果を利用した線形外挿値である。これに対し、ここでの結果は移動したブロックのすぐ側で測られた流

速値であり、したがってマウンドの角部に置かれたブロックの移動限界流速値は148.5cm/s(現地換算5.75m/s)に近い値であると考えられる。また隣り合うブロックの影響により移動限界流速は単独で置いたときの約1.2倍まで増大し、このときのイッシュバッシュ定数 y の値は1.17となり、埋め込みの場合の碎石に対するものに近い値となっている。

ただし、実際には被覆ブロックは碎石あるいは砂地盤上に設置されていることから、今回実験で求めたモルタル床上での移動限界値はそれらの状態におけるものと若干異なるものと考えられる。どの様な状態が最も動き易いかについてはここでは検討していないが、定数 y の中にブロックの形状や積み方等の不確定な要素が入り込むことから、それぞれのケースにおける y の値を検討しデータを蓄積させていくことが實際上重要である。

尚、今回の実験の様子に底質そのものの洗掘がない限りブロックの移動は角部から始まることを考えると、頂角部のブロックだけを他のものより重くすることがブロック移動対策の一例として考えられる。

6. 結 論

まず、開口部中央付近でピーク値が2.0m/s(現地換算7.75m/s)を超える往復流を作用させたところ、マウンド部の洗掘が生じ最終的には堤頭函の転倒に至ることが確認された。流れを作用させ終わった後のマウンド部の被覆ブロックの被害状況も、現地の状況に近いものとなった。また、被覆ブロックの移動は防波堤端部の角部から始まる傾向にあり、今回のモルタル床上でおこなわれた実験からは約148.5cm/s(同5.75m/s)で移動が始まることがわかった。一方、被覆ブロック単独で置かれた状態よりも、並べて設置されている場合にはその角部

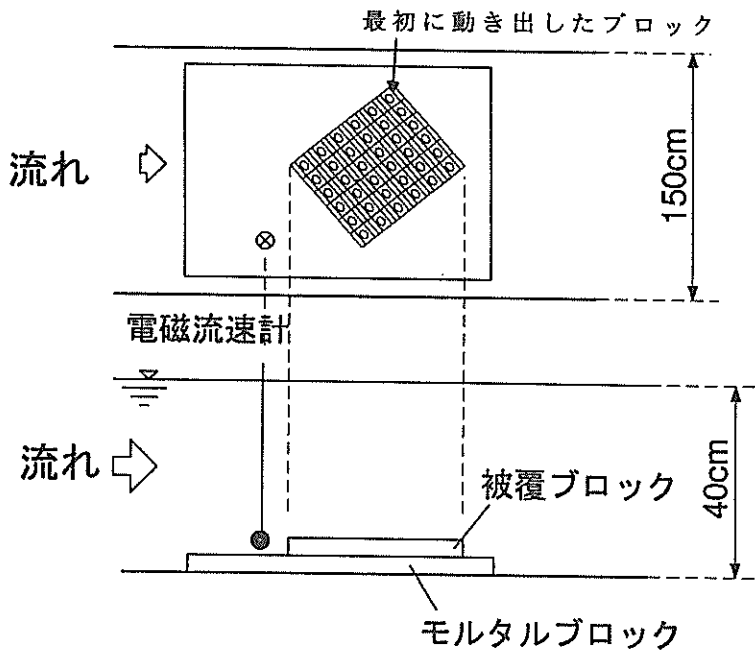


図-22 角部ブロックの移動限界流速の測定

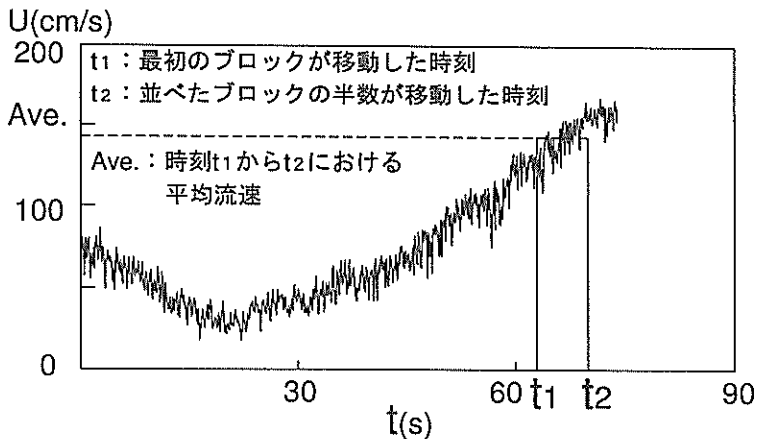


図-23 角部ブロックの移動限界流速

の移動は約1.2倍の流速まで耐えられることがわかった。

7. おわりに

今回の模型実験により、流れによるマウンドブロックの洗掘という被災状況はほぼ再現でき、その時の水位変動や流速等の水理条件が明らかとなった。また被覆ブロックの移動限界に関する定量的な評価も検討されたが、ここで注意しておきたいのは今回の実験はすべて固定床上でおこなわれたことである。すなわち移動床の場合には上記の流速値よりも弱い流れで砂地盤の洗掘は始まり、それに伴うブロックの移動が生じると思われる。

しかし、被災現場ではマウンド部の被覆ブロックと根

固め方塊が広範囲に拡がっていることを考えると、砂地盤の洗掘だけでなくブロックそのものを移動させる程度の流れは生じていたことになる。したがって、現地での被災時には今回の実験で作用させた程度の流速が最低限作用していたものと考えられる。(1994年11月30日受付)

謝辞：今回の被災再現実験は北海道開発局の依頼によるものである。同港湾部港湾建設課、関口信一郎港湾技術対策官並びに関係諸氏に深甚なる謝意を表す。また、同開発土木研究所の水野雄三水工部長および港湾研究室の木村克俊副室長には現地の被災状況の詳細な情報および論文中図面の一部を快く提供して頂いた。また図面作成

表-5 角部ブロックの移動限界流速測定結果

	移動限界流速 (cm/s)
R u n 1	1 4 9 . 9
R u n 2	1 4 1 . 3
R u n 3	1 4 3 . 0
R u n 4	1 5 7 . 2
R u n 5	1 5 1 . 2
平均値	1 4 8 . 5

(現地換算 : 5.75m/s)

等において港湾技術研究所海洋水理部水理研究室中官利之研究員の協力を得た。ここに記して関係各位に感謝の意を表する次第である。

参考文献

伊藤喜行・谷本勝利・木原力(1969) : 長周期波に対する防波堤の効果に関する計算(第5報) - 八戸港の津波計算一, 港湾技術研究所報告, 第8巻, 第3号, pp.19

~46.

岩崎敏夫・真野明・中村武弘・堀越伸幸(1984) : 潜堤のマウンド材およびプレバックド堤に作用する定常流体力に関する実験的研究, 第31回海岸工学講演会論文集, pp.527~531.

高山知司ほか(1994) : 1993年北海道南西沖地震津波の特性と被害, 港湾技研資料No.775, 225p.

谷本勝利・鶴谷広一・中野晋(1984) : 1983年日本海中部地震津波における津波力と埋立護岸の被災原因の検討, 第31回海岸工学講演会論文集, pp.257~261.

谷本勝利・木村克俊・宮崎敬司(1988) : 津波防波堤開口部潜堤の安定性に関する実験的研究, 港湾技術研究所報告, 第27巻, 第4号, pp.93~121.

堀口孝男・横田基紀(1969) : 十勝沖地震津波調査報告, 第15回海岸工学講演会講演集, pp.243~252.

Tanimoto,K.(1983) : On the Hydraulic Aspects of Tsunami Breakwaters in Japan, Proc. of the Int. Tsunami Symposium, IUGG Tsunami Commission, pp.423~435.

Coastal Engineering Research Center(1977) : Shore Protection Manual, Vol. II, p7-215.

港 湾 技 研 資 料 No.789

1 9 9 4 ・ 1 2

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 有限会社 つばき印刷技研

Published by the Port and Harbour Research Institute.
Nagase, Yokosuka, Japan.

Copyright © (1994) by P.H.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted into a
maching language without the written permission of the Director General of P.H.R.I.

この資料は、港湾技術研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本資料の全部又は一部の転載、複
写は、港湾技術研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。