

武佐川河口維持に関する実験的考察

正員 北海道開発局土木試験所 次長 古谷 浩三

正員 “ 鴻上 雄三

I. ま え が き

武佐川は根室海峡に注ぐ特殊河川で、昭和33年試験工

事として彎曲河口が切替えられ、左岸防砂突堤と右岸並杭工の施工とともに、切替前後の汀線、河口前面の砂州河川

の水位変化などの調査が継続されている^{1),2)}。左岸突堤は2,3の計画変更がなされ昭和34年9月、延長約65mの図-1に示すような構造で竣工した。堤体は石砕工、コンクリートブロックおよびコンクリート十字ブロックからなり、天端幅2m、横断法勾配1:2で、コンクリートブロックは60×60×45cm, 60×60×65cmの2種、十字ブロックは1辺40cmの6脚で、底層が5列12行並びの4段積で、上部は9列2行並びである(写真-1)。

図-1 防砂突堤縦断面図

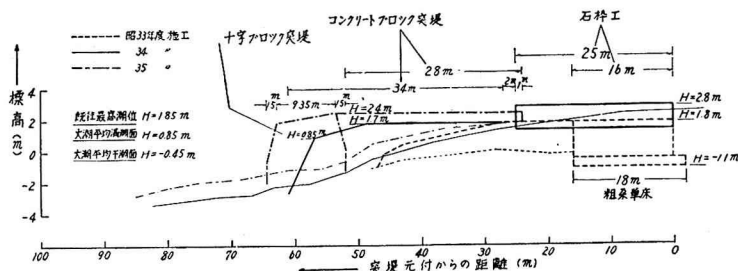


写真-1 試験工事竣工状況

その後、台風15号(9月下旬)などの時化により、十字ブロックの先端部、コンクリートブロックの1部崩壊、石砕工中詰石の沈下などの被害はあったが、全体としては安定していた。しかし、昭和35年1月16日夜半から来襲した低気圧は、根室半島東端を停滞気味に発達しながら通過し、試験工事に大きな被害を与えたので、その復旧にあたり次のような根本的対策を講ずる必要が生じた。

- 1) 設計に対象とすべき波浪諸元、最高潮位の決定
- 2) 構造設計上の検討
- 3) 既設構造物を再使用する場合の補強対策

この実験は、これら諸問題を解決するために昭和35年8月実施したもので、災害時の海況を構造物被災の状況記録、あるいは現地住民の観察などから推定し、模型上に再現して被災原因を調べ、とくに上記3)について検討し河口処理本工事に対する指針を得ようとしたものである。

II. 被災時の概況

武佐川改修事業所の災害報告によれば、被災の状況は次のとおりである(写真-2, 3)。

災害の範囲……1) 導流堤(左岸突堤)崩壊流失

- { 6脚ブロック延長12m, 総計155箇
- { コンクリートブロック延長28m

2) 昭和33年度切替河口の閉塞

災害前後の状況…図-2に示す。

被災現場を目撃した住民の話を総合すれば、波浪はNE方向から襲来し波頂に白波がみられたとのことから風波と考えられ、砕波高は3~4mで沖ではこれより低く、砕波は十字ブロック先端付近で始まり、もとの海岸線付近で完全に巻波になっていた。海岸は+2.0m以下の部分の欠損が激しく、+1.0m線まで後退した。欠損土砂は突堤のコンクリートブロック部分を越流し、石砕工付近ではその天



写真-2 河口閉塞および防砂突堤の崩壊流出状況

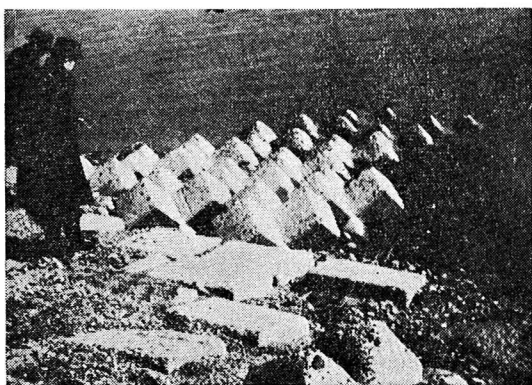


写真-3 十字ブロック最下段の残存状況

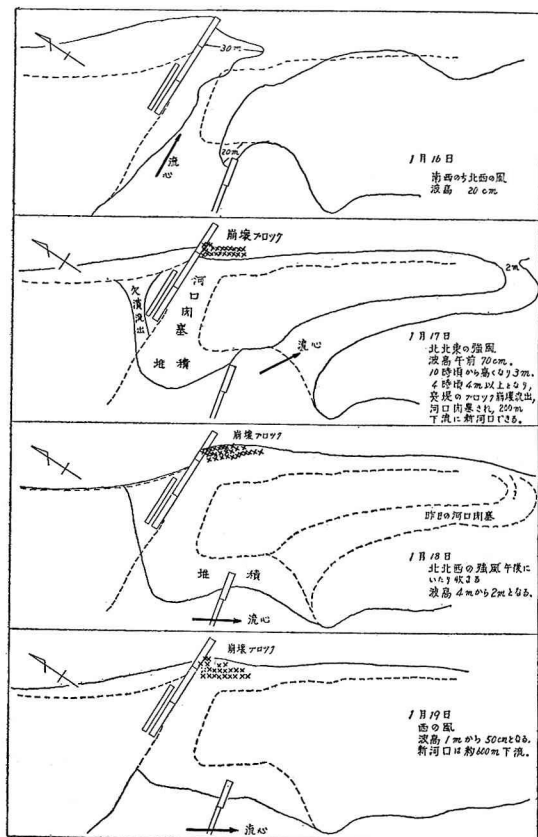


図-2 被災前後の河口状況

端まで盛上げられた。また突堤に遮ぎられた遡上波は、石
砕工基部を 15 m 離れたところまで V 状に欠潰し河口部に
流出堆積した。流水は大きいので 4 m^2 、厚さ 1 m 平均し
て 50 cm のものが、瞬間最大 40 m/sec の風により、左岸
+3.0 m の地点へ押し上げられた。また、この時化は 15~20
年来のもので基模は以前の方が大きかったといわれる。

高波と防砂突堤の崩壊飛散により海岸の地型は大きく変
化し、左岸では従来の堆積土砂の流失による欠潰を、右岸
では河口付近が著しい堆積をみせている。地型変化の一例
を基線上の各測点から海側への縦断面図で示せば 図-3 のと

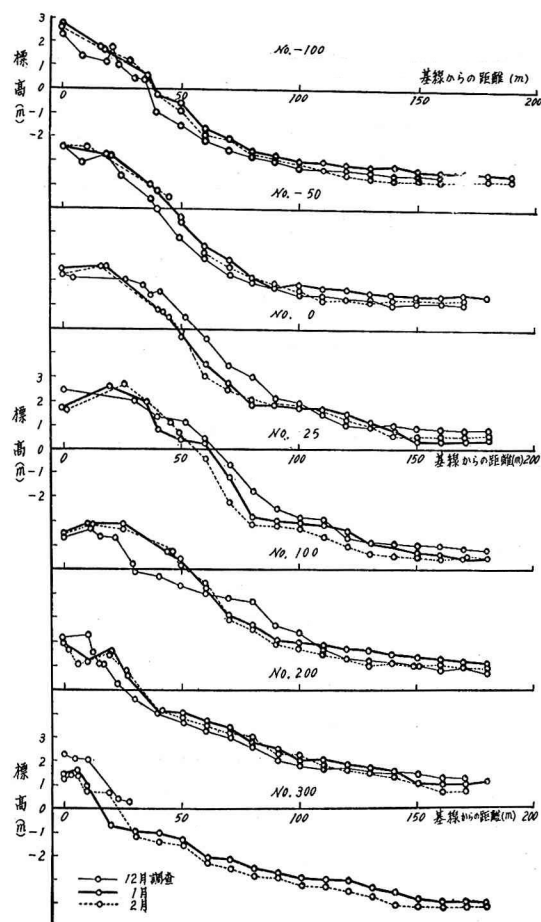


図-3 被災前後の地型変化の1例

おりで、No. 50, 0, 25 では碎波の落下により海底地型の急変する水深がほぼ 3.0 m で、No. 100, 100, 200, 300 では 1.0~2.0 m となっている。

III. 被災時の海況

被災時の海岸近くの波浪は災害記録および観察から推測されるが、沖の状況は不明でこれを求めるため天気図、風向、風速、気圧、潮位などの記録を収集解析した。

(1) 異常低気圧

1 月 16 日から来襲した低気圧は、各地に稀有の災害をもたらせたが、その発達機構は文献 3) を参照されたい。

図-4、5 にそれぞれ低気圧の進行経路と等圧線、被災前

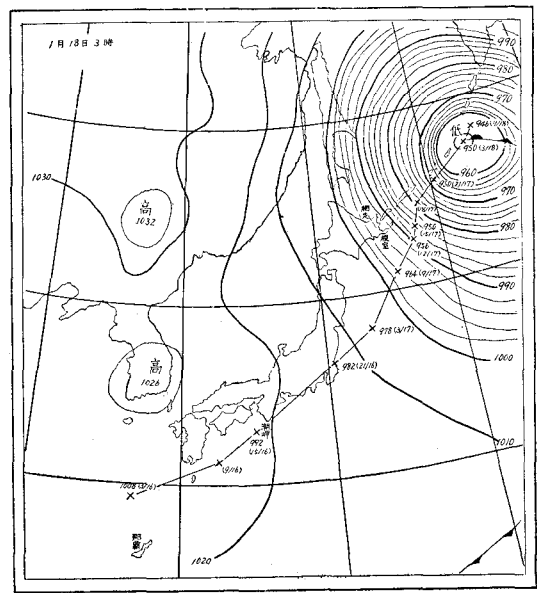


図-4 低気圧の進行経路と等圧線

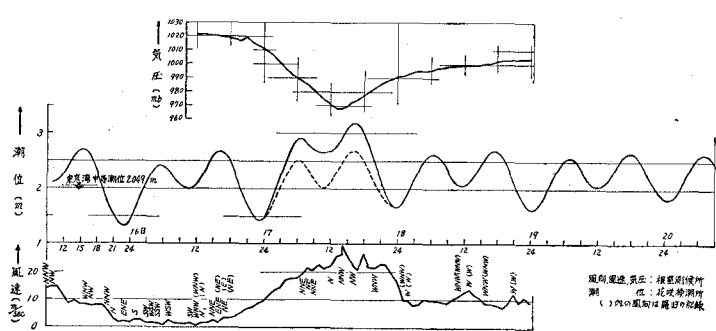


図-5 被災前後の気象、潮位

後の風向、風速、気圧、潮位の記録を示す。

(2) 最高潮位

台風や移動性低気圧が海上を進行すれば、気圧低下による海面の吸上げや、風による海水の堆積作用がおこる。

前者は

$$\eta = 0.991 \Delta p \quad \text{ここに} \quad \Delta p = (1010 - p),$$

p : 最低気圧 (mb)

後者は Colding の実験式

$$\zeta = 4.8 \times 10^{-2} FV^2/h \cos^2 \theta$$

ここに F : 吹送距離

V : 風速

h : 水深

θ : 風の海岸線への入射角

から水面の上昇量 η, ζ (cm) はそれぞれ 42, 15 cm と求められる。

最高潮位は推定潮位に偏差を加えたものであるから、東京湾中等潮位を基準にとれば

$$(2.68 - 2.05) + 0.42 + 0.15 = 1.20 \text{ (m)}$$

と計算される。一方、実測によれば 1 月 17 日の平均高潮位、偏差は図-5 からそれぞれ 1.16 m, 0.53 m となり計算値とほぼ一致する。

なお、気象庁発行昭和 35 年潮位表によれば、花咲観測所における 1954~1956 年の高極潮位は 1956 年 2 月 11 日に中等潮位上 1.284 m で、今回の基模はそれに次ぐものと考えれば、頻度としては 3~4 年に 1 度といえよう。

(3) 波浪

図-5 より羅白で 10 m/sec 以上の強風が、オホーク海に直面する NE 方向に継続するのは 17 日 1 時からである。いま吹送距離を、低気圧の中心から災害の最も激しいと考えられる 16 時の 968 mb の等圧線の間と仮定すれば、約 300 km と概算され、その時の波浪は 25.1 m/sec の風が 10.5 時間継続したことになり、S・M・B の方法から相当吹送距離は 260 km で、波高 8.9 m, 周期 12 sec の高波が生じることになる。しかし、オホーク海は例年 1 月中旬には大半が結水するが、根室海峡は国後島北端まで開口するといわれる⁴⁾ ので、Fetch を 100 km とすれば波高 4 m, 周期 7~8 sec で波は定常状態となる。

一方、災害時の観察などによれば、碎波水深は (2) の水位上昇 1.2 m を考えて $h_b = 2.7$ m, 碎波高は $H_b = 3.0$ m, 周期は前報²⁾ の観測結果から高波時の多出現周期が 7.0~7.5 sec であるので $T = 7.0$ sec とし、Iversen の碎波指標を表わす図表から、沖波高を逆算すれば $H_0 = 2.5$ m 程度と求められる。

IV. 実験の概要

(1) 実験の装置

施設は当所港湾実験室の長さ 10 m, 幅 6 m, 深さ 0.5 m

の平面水槽を用い、武佐川の切替河口部を、十字ブロックの製作都合上縮尺 1:20 に収めた。海底はモルタル固定であるが、構造物が施工延長される部分は長径 0.5 cm の小砂利を敷いた。

(2) 実験に使用した構造物

実験に使用した堤体は石砕工、コンクリートブロックのほか、表-1 に示すように 4 種類で、積重ね方にはいろいろ考えられるが 写真-4 のように手前を沖側として現地で施工した方法を A、それと逆向きを B とした。

表 - 1

	通 称 重 量 (ton)	一辺長 (cm)	重 量 (ton)	縮尺相 当重量 (gr)	縮尺相 当計算 重 量 (gr)
十字ブロック	1	40	1.03	125	129
	2	50	2.01	270	252
	3	60	3.48	412	435
テトラポット	1			115	

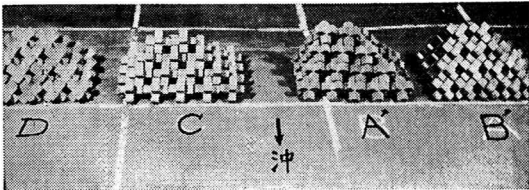


写真-4 十字ブロックの積重ね方

これらは海底に 3 点で接する。また、2 点で接する沖向きの積み方として C、汀線向きを D と便宜的に決めた。十字ブロックの位置は、右岸沖側を原点として沖向きを列汀線向きを行とし、積重ねは上から段と定義した。

(3) 実験 方法

この実験の変化要素は構造物の法先水深、十字ブロックの重量、積重ね方および波高周期である。これらを組合せて、十字ブロックの安定の程度を次の基準により判定し

- 1) まったく動かない。
- 2) 箇々のものが傾いたり沈下して全体的な配列は乱れるが安定といえる。
- 3) 不安定なもののだけが振動し脱落する。
- 4) 全体的に振動し少しずつ脱落する。
- 5) 全体が同時に振動し脱落する。

なお、砕波高、砕波水深、堤脚前面波高、遡上高、突堤沿いの洗掘堆積の状況を観察測定した。

(4) 模 型 波

この海岸に来襲する高波の特徴は、入射角がほぼ 30°～40° で斜入射することで、主波向は N40°E (磁方位) である²⁾。したがって実験波向はこの方向だけに限り、周期は被災時の状況再現のため 1.3, 1.6, 1.8 (現地 6, 7, 8) sec を選び、波高は 5～15 cm の間を変化させた。

V. 実 験 結 果

(1) 被災状況の再現

前述のように各種の観測あるいは推定によつて、被災時の海況の判断はつくが、模型的にこれらの波が災害の状況を再現するか検討する必要がある。

そこで、各周期を固定してどの程度の波高をもつ波が突

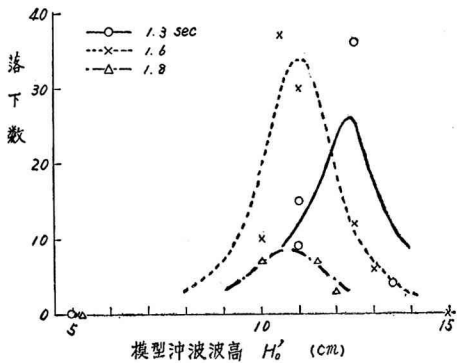


図-6

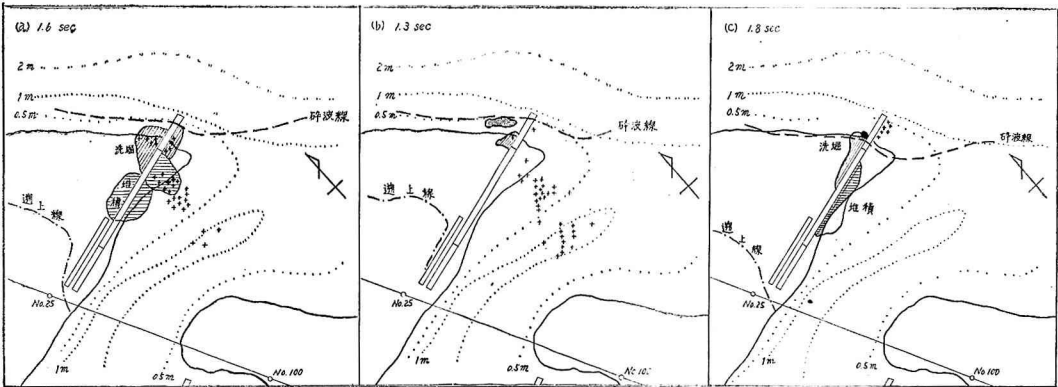


図-7 突堤付近の周期別崩壊流出の状況

堤を大きく破壊するかを調べ 図-6 に示した。図で横軸に模型沖波波高 H_0 をとり、縦軸には、5~20 分起波して最初に重ねた十字ブロックの配列がそれ以上乱されなくなる時までの、最初の配列から転落あるいは流出した十字ブロックの総数をとつてある。

この図によれば、1.3 sec の場合もかなりの脱落をみせているが、安定状態の分類によれば 1.3, 1.8 sec の場合が 3), 1.6 sec が 4) となつていたので、1.6 sec, 11.0 cm の場合が被災時の海況に近いものと考えられる。また、十字ブロックが最初に 1 箇落下する時間は、その積重ね方によつて当然異なるといえるが、7~10 回の測定を平均をとれば 1.3, 1.6, 1.8 sec でそれぞれ 40, 30, 150 sec というように周期によつて異なる傾向が認められ、これも十字ブロックの安定状態を現わす指数となることがわかる。

なおこの図で、落下数の最大を示す模型沖波波高を求めて波の energy を計算すれば、各周期ともほぼ同一の値を示す。これがある定間隔を離れた突堤上において異なり、その結果落下数を異にすることは、砕波点の位置に原因することが考えられ、各周期について十字ブロックの移動状況を示す 図-7 によつてもうかがえる。

(2) 十字ブロックの積重ね方および拡幅に対する実験

上記のように最初の 1 箇の落下時間とか落下数によつて、堤体安定の状態を定性的に示すことができるので、こ

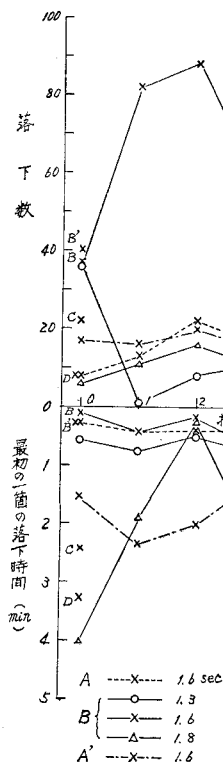


図-8

れによつて十字ブロックの積重ね方あるいは幅員を 1, 2, 4 列増加したときの効果について検討する。積重ね方は、IV. (2) のように分類したもの (ただし、A', B' は A, B の上段を半列だけ右岸側へ移動した正確なもの) を検討し、幅員については下から 5, 4, 3, 2 列の 4 段積みの場合である。

図-8 において拡幅数 0 はこの状態を現わし、B, B' は 1.6 sec の場合非常に落下数が多い、また最初の一箇の落下時間も少ないので不安定な積重ね方といえる。拡幅の場合についてもこの傾向は認められる。

拡幅については、すべての場合が 2 列まで増加しても効果が現われず、現在の 2 倍の 4 列増加して始めて落下数が減少し落下時間も長くなってくる。これは突堤に対して波が斜入射するために、多少の拡幅では波力に抵抗しきれないことを示す。

(3) 十字ブロックの延長に対する実験

十字ブロックの消波作用を利用して無堤時の砕波点あるいは落下点の位置を変え、波力を沖の方から徐々に減殺する効果を考えれば、突堤の延長によつて被害を減少させることになる。この関係を 図-9 のとおり、十字ブロックの位置 (堤脚部における相対水深) と前面波高とで表わし十字ブロックの安定基準を示した。

この図によれば、前面波高で 11.0 cm までは十字ブロックが全く動かず安定であるといえるが、相対水深 0.02 近傍でやや下る部分があるように、堤脚部の位置によつて安定の状況が異なっており、前面波高だけに支配されるとはい

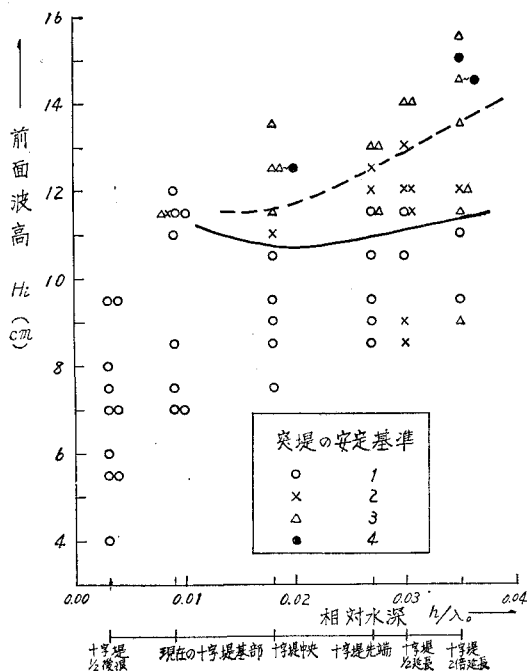


図-9

い切れない。

現在施工した先端部では $h/\lambda_0=0.027$ で、これを2倍に延長すれば $h/\lambda_0=0.035$ であるから、多少の延長によつてさらに安定が保たれるとは考えられず、必然的に現在の大きさのブロックだけでは安定を保ち得ないことを示す。

(4) 補強に関する実験

以上のように現在の1tonブロックでは、どのように積んでも崩壊の度合いが大きいので、1tonのテトラポット、2、3.5tonの十字ブロックに積み変えて検討した。現在と同じ敷幅、延長、高さに積みめば、2tonブロックでは2列3段積み74箇を要する。この実験での2tonブロックの積み方を天端面について表わせば図-10のとおりである。

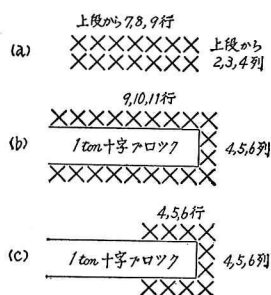


図-10 補強用2ton十字ブロックの天端面の積み方

1) テトラポット

重量は1tonで、この場合の崩壊状況を写真-5に示す。すなわち、テトラポットは正立の4段積みであるが、上段は全部、上から2段目は先端から2/3の長さまで、3段目は砕波の落下点に相当する部分が数箇流出した。最初の1箇の落下時間は10sec、落下箇所は6行目で、安定の状況もきわめて悪く分類5)に属する。

2) 2tonブロックによる積み替え

写真-6に示すとおり、十字ブロックは全く移動せず、コ

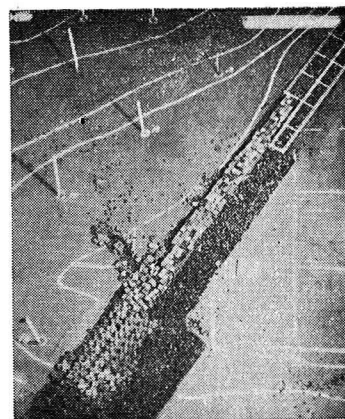


写真-5 1tonテトラポットの崩壊状況

ンクリートブロックだけの移動転落が認められる。したがって、3.5tonには積み替えなかつたが安定であることがいえる。

3) 1tonブロック外側全面の補強

現在の1tonブロックの外側面を、2tonブロックで補強(2列1行3段積み69箇)した場合は写真-7のとおりで、2tonブロック2段1行1列のもの1箇が転落移動した。

4) 1tonブロック外側1部の補強

2tonブロックの補強数を3)の半分、図-10(c)のように減少した場合は、写真-8に示すとおり2tonブロック(2.1, 1)が最初に転落し、右岸側のものが3段目3箇を残して6箇流出した。

以上の実験結果からも認められるとおり、本突堤のように波が斜入射する場合には、突堤と汀線との間で水面の著しい上昇を生じ、ために遡上高も大となり突堤上を越流し、河口側へ落下する。この落下流による河口側の突堤の崩落が著しいので、補強にはとくに留意することが必要である。

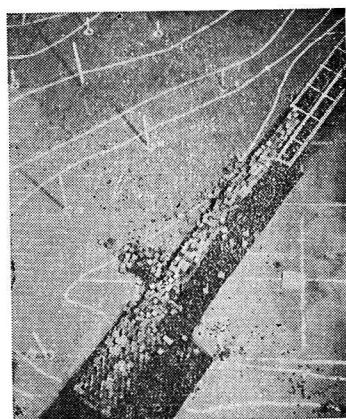


写真-6 2ton十字ブロックによる積み換え

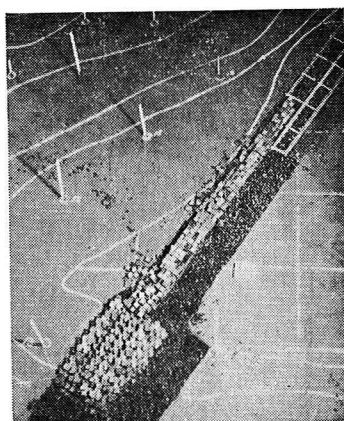


写真-7 1ton十字ブロック外側全面の補強

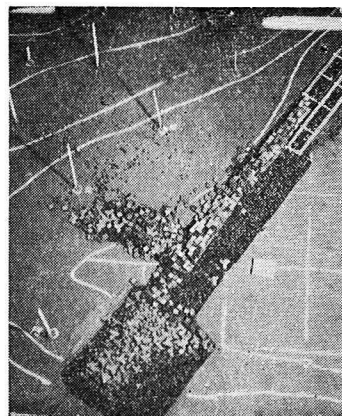


写真-8 1ton十字ブロック外側1部の補強

VI. 今後の対策とむすび

以上の実験結果から突堤被災原因の考察を行ない、今後の対策にあつての指針としたい。

1) 被害を大きくした最大の原因は、低気圧の停滞による強風の連吹と、気圧勾配の急激な降下による海面の上昇とによつて、砕波の落下点が十字ブロック突堤上に重なつたためと考えられる。この実験では、波の遡上や突堤の崩壊流出の状況が、できるだけ実際に近くなるような模型波を選んだが、水位は潮位変化を与えることなく最高潮面だけをとつたので、波の砕波水深は一定となるため、突堤上の砕波の落下点にあたる部分の崩壊は実際のように発しいがそれ以外の部分では比較的波力が弱く、起波後定時間を過ぎれば十字ブロックの崩落はみられずある状態に安定している。

しかし実際には、潮位変動、吹寄せによる海面の上下、波の洗堀堆積作用による水深の変化、あるいは大小の波浪が間断なく繰返されるので、砕波点は定点に固定することなく突堤上を前後し、被害を大きくしたと考えられる。

2) 図-7, 8, 9 に示されるとおり、遡上波は突堤沿いの水量を増し基部付近をV状に河口へ流出する。実験ではこの部分が固定床であるため、流出による洗堀は生じないが、移動床であれば実際のようにこの部分から土砂が流出して、河口を閉塞させるであろう。また突堤先端部20mほどの地盤は、砕波の落下による洗堀をうけ、1部はそのまま突堤を越えるが、1部は堤沿いの流れで押上げられコンクリートブロック堤中央部で、初めはその天端まで堆積され後にはやはり越流して堆積される。突堤地盤の洗堀も崩壊の原因となるが、突堤を越える落下流はその河口側の崩落を著しくするので、被害をうけなかつた石砕工部のように、コンクリート堤部分は両側を木枠で囲み補強する必要がある。

3) 現在の1ton十字ブロックは、前面波高として2.2m程度の波に対しては全く動かず安定であるといえるが、この海岸に來襲する波浪を考えれば軽量すぎる。また十字ブロック堤の多少の延長、拡張あるいは積み重ね方の違いに

よつて安定を増すことは期待できず、必然的に重量の大きいものに積み替えるか補強をするかの対策が必要である。

4) 十字ブロックはテトラポットに比べ、1箇について比較すれば、重心も高く回転モーメントも大きく波力に対しては非常に不安定であり、滑動に対しても抵抗力が小さい。しかし、何層にもがつちりと組合わされればこれらの欠点が除かれ、テトラポットより安定であるといわれる。

しかし天端が低い場合には、どのように積み重ねても上段の角隅部にあるものは、1箇が水中にあるのと同じような作用をうけ、寄せ波、引き波の繰返しによつて揺動され、遂には落下し、その隣りの部分を弱くして全体が散乱することになる。この実験で十字ブロックの最初に1箇落下する箇所を調べれば、総数40回のうち、角隅部の1列1行にあるものが34を示し、このうち上段から順に16, 15, 2, 1となつており、上記のことを表わしている。その他の落下箇所としては、砕波の落下点にあたる部分の両外側列の上段あるいは2段目となつている。したがつて堤頭部の補強にも充分考慮する必要がある。

以上を総合すれば、根本的原因としては波浪に対して十字ブロックの重量の不足が第1として上げられ、被災時のような潮位現象あるいは海況は数年に1度は予想されるので、対策としては2tonブロックに積み替えるか、既設の1tonブロックを利用するならば、その外側全面を2tonブロックで囲み突堤崩落の原因を除き、あわせてコンクリートブロック堤両側も木枠で囲み遡上波の越流による崩落を防ぐなどの方法が考えられる。

参 考 文 献

- 1) 岸・森田・谷口・古谷・星野：武佐川の河口処理（第1報）．第6回海岸工学講演会講演集（1959）．
- 2) 古谷・星野・鴻上：武佐川の河口処理（第2報）．土木試験所月報，第80号，昭和35年3月．
- 3) 北海道の気象：第4巻，第2号，昭和35年2月．
- 4) 沢田照夫：オホーツク海における流水初期の水限および氷厚の推移について．昭和35年度日本雪氷学会研究発表大会講演概要，昭和35年10月．