

船揚場張ブロックの設計法について

On Design of Precast Concrete Plate of Slipway

木 村 克 俊*

船揚場の斜路部分に使用される張ブロックは、標準形状が一律に定められているだけで入射波の条件が考慮されていないため、浮動や飛散などの被災例が見受けられる。

本報文では、船揚場における張ブロックの波に対する安定性と外力について水理実験を行って検討し、入射波条件を考慮した標準型張ブロックの設計法を提案している。

《コンクリートブロック；水理模型実験；安定性》

目 次

1. ま え が き
 2. 現地の被災例
 3. 実験模型の概要
 4. 水中での張ブロックの動き
 - 4-1 張ブロックの動揺パターン
 - 4-2 動揺状況の定義
 5. 張ブロックの安定性について
 - 5-1 実験方法
 - 5-2 実験結果
 - 5-3 現地被災例との比較
 - 5-4 考 察
 - 5-4-1 張ブロックの一般的な挙動
 - 5-4-2 張ブロック厚の効果
 - 5-4-3 張ブロックの長さの効果
 6. 張ブロックに加わる外力について
 - 6-1 外力の定義
 - 6-2 圧力の測定方法
 - 6-3 安定実験との比較
 7. 張ブロック厚の算定法
 8. あとがき
- 参 考 文 献

1. ま え が き

船揚場は小型船舶や漁船を陸上と海上の間で揚げ降ろしするための施設で、水産物の搬入、悪天候時や越冬期

の避難および船体の修理などの目的で利用されている。その構造としては、図-1のように水際に斜路を設置する方式が一般的である。斜路の陸上部はコンクリート舗装されるのに対し、感潮部と水中部については施工上の理由からプレキャストコンクリート製の張ブロックが使用されている。

現設計法では、張ブロックの標準形状は長さ $L=2.0$ m、幅 $B=2.0$ m、厚さ $t=0.3$ mと一律に決められているが、過去に斜路を遡上する波により張ブロックが飛散した例もいくつかみられる。このため現場担当者のなかには、来襲する波の条件を考慮した船揚場設計法の確立を望む声も少なくない。

本研究では、標準形状を含めた6種類の張ブロックの安定実験を行い、その安定限界を求めるとともに、碎波時における張ブロックの挙動とそれに作用する外力について考察した。その結果をもとに、入射波条件を考慮した張ブロックの設計法を提案している。

2. 現地の被災例

図-2は被災を受けたA港の船揚場の断面図と被害状況である。当時の潮位は+1.5 m程度で、入射波は $H_{1/3}=2.0$ m、 $T_{1/3}=11.2$ secと推定される。図-2によると岸側から数えて1~5例の張ブロックが被害を受けており、そのうち7枚は陸上まで打上げられている。打上げられた張ブロックの移動方向から考えて、波が船揚場に対して斜めに入射したことがわかる。

図-3はB港についての入射波 $H_{1/3}=0.7\sim 1.0$ m、周期 $T_{1/3}=12.0$ secでの被災例である。当時の潮位はおよ

* 港湾研究室員

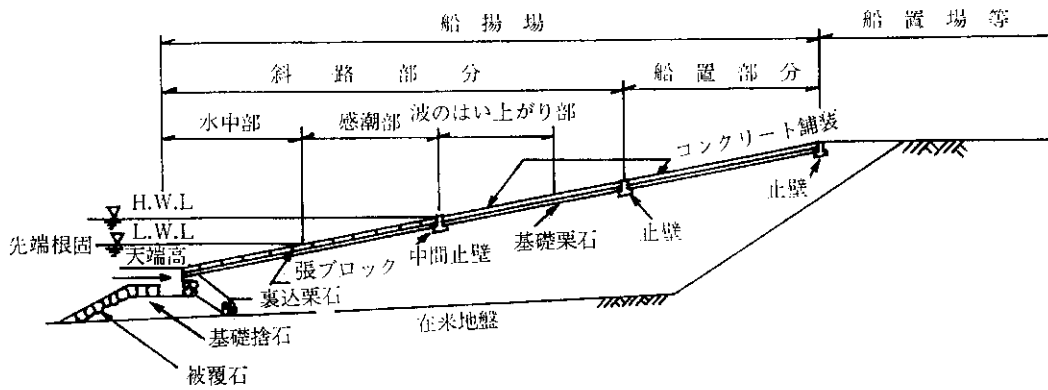


図-1 斜路式船揚場の一般形式

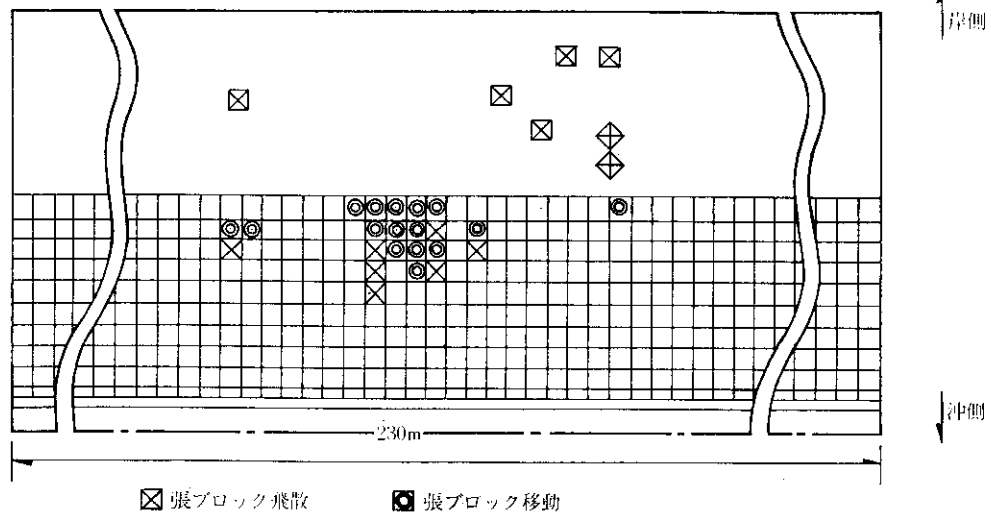
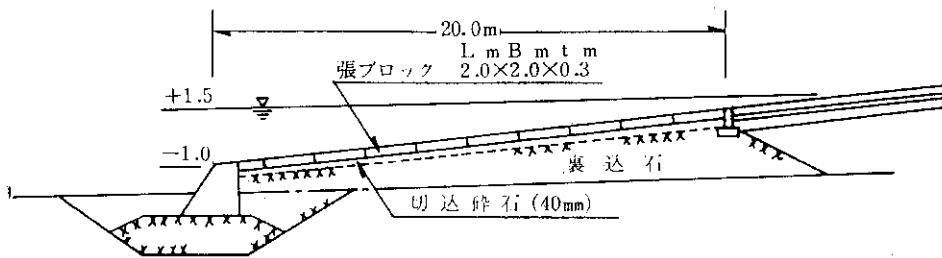


図-2 A港での被災例

そ+1.5mと考えられる。この例では飛散は1枚だが、張ブロックの一辺が5~15cm持ち上がったものが21枚あった。その内訳は、岸側が持ち上がったのが14枚、沖側が持ち上がったのが6枚、その他1枚であったが、これらの張ブロックの設置位置と挙動の間には特定の傾向はみられない。

以上の2例では、標準厚の30cm張ブロックを使用していたにもかかわらず被災を受けている。これは張ブロック厚が船体上架の際の荷重に耐え得る厚さとして決められただけで、個々の張ブロックの波に対する安定性が

考慮されていないことによると推定され、その検討が必要である。

3. 実験模型の概要

実験は土木試験所港湾研究室の規則波造波水路(長さ24.0m, 幅0.8m, 高さ1.0m)を使用して行った。水路は図-4のように起波部分の水深を0.6mとし、中央部に1:15の傾斜面を作り、後方の水深の0.3mところに船揚場の模型(図-5)を設置した。前後を壁体で囲まれた部分には、下層に粒径3~5cmの碎石、表層に粒径

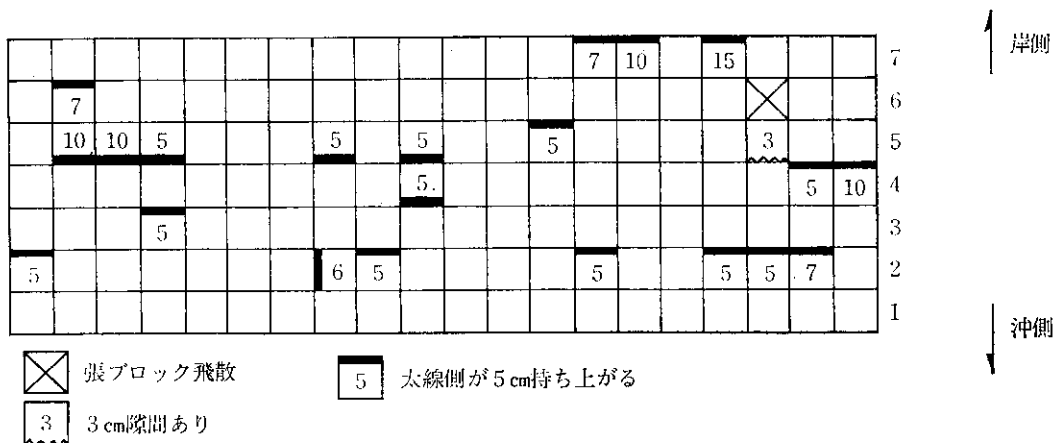
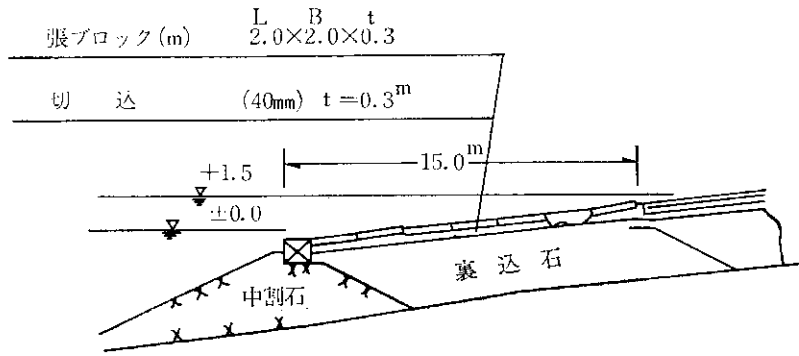


図-3 B港での被災例

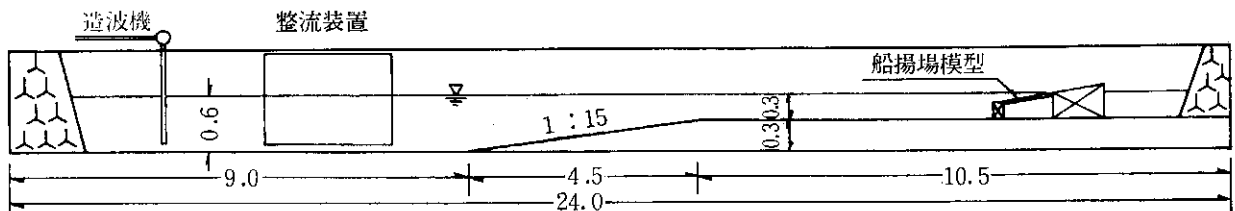


図-4 実験水路断面図 (m)

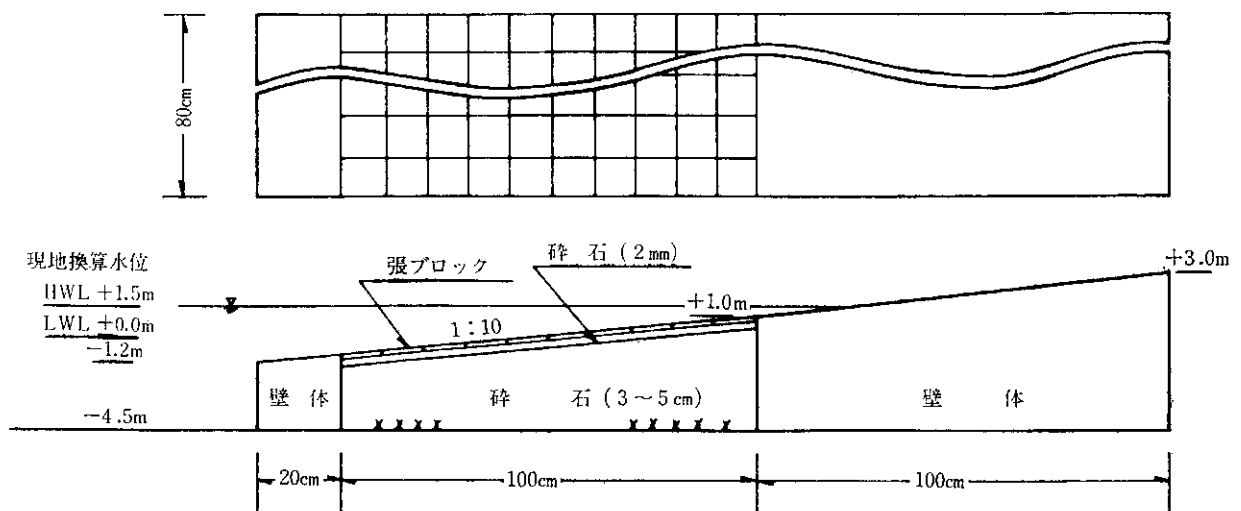


図-5 模型断面図, 平面図

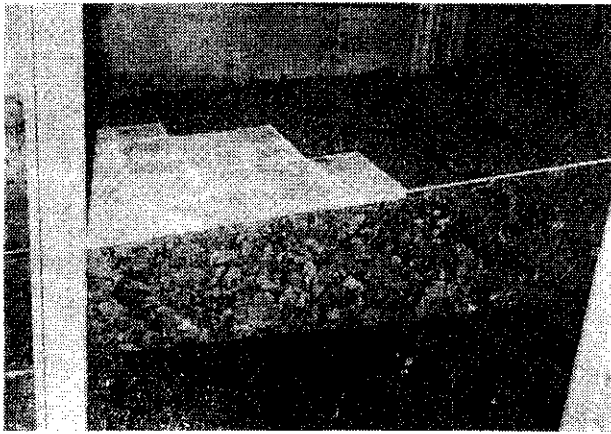


写真-1 敷設途中の状況

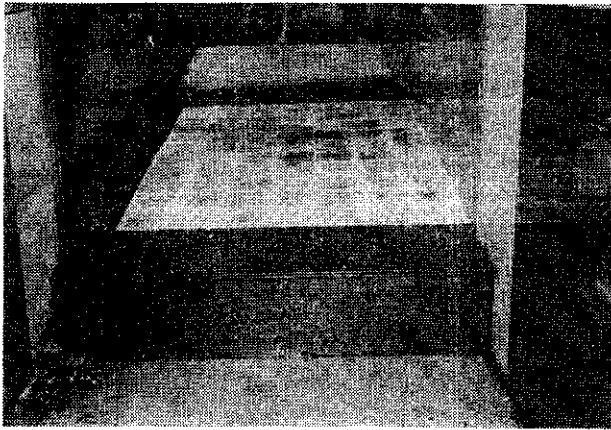


写真-2 敷設完了時の状況

2 mm 程度の碎石を敷き均し、その上に縮尺 1/20 の張ブロック模型を敷設した。写真-1, 2 にその状況を示す。実験での水位は北海道の太平洋岸の H.W.L.+1.5 m を用いた。

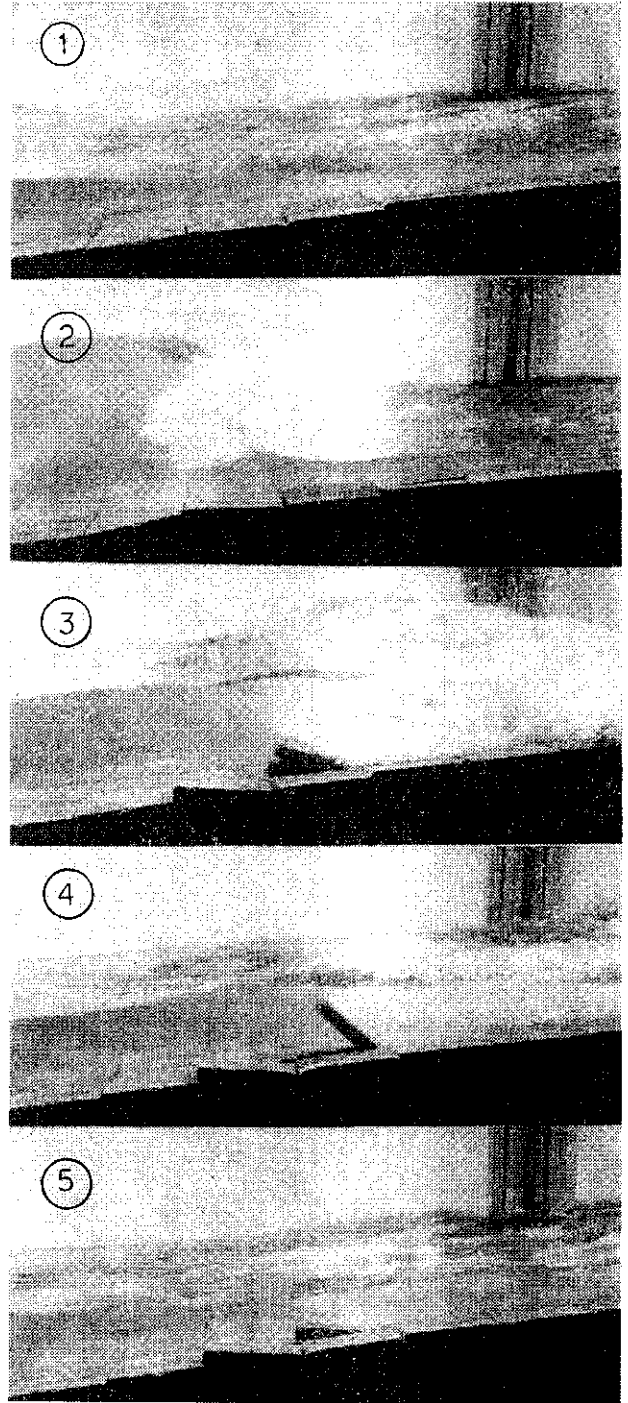
以下、この報文で用いる記号は次のとおりである。

- H_i ; 構造物がないときの水深 0.3 m の部分での進行波の波高
- H_b ; 砕波高
- T ; 波の周期
- L ; 張ブロックの長さ
- B ; 張ブロックの幅
- t ; 張ブロックの厚さ
- m ; 実験値を示す添字
- crit; 限界値を示す添字

4. 水中での張ブロックの動き

4-1 張ブロックの動揺パターン

標準厚 $t=30$ cm の張ブロック (模型厚 $t_m=1.5$ cm) が実験周期 $T_m=1.5$ sec, 砕波高 $H_{bm}=13.0$ cm の波によ



($t_m=1.5$ cm $T_m=1.5$ sec $H_{bm}=13.0$ cm)

写真-3 動揺状況

って動揺する状況を写真-3 に示す。写真の撮影間隔は約 0.3 sec である。

写真-3 の②は、砕波高がピークに達した状態で沖から 2, 3 列目の張ブロックがわずかに傾いている。③は砕波時の衝撃波圧の作用により沖側端が持ち上がった状態である。尾崎らによると、斜面上での砕波圧はもともと作用している静水圧を差引けば直立壁に及ぶ波圧分布

と同様の分布形状になることが指摘されている¹⁾。③の現象については波圧と張ブロックの下面から加わる揚圧力との関係を用いて6の項で考察する。④は碎波後に波向方向の流れを受けてあおられた状態である。そのあと⑤のように、もどり流れを受けてもとの位置にもどされるが、その際隣接する張ブロックの上のり上げることが多い。また、写真-3の①~⑤のサイクルを繰返すにつれて下層の吸いだしが生じ、このため張ブロックが不安定になることが観察された。

4-2 動揺状況の定義

張ブロックの動揺状況は、既報^{2),3)}と同じく次のように定義した。波高の小さな波に対しては写真-3の②のようなごくわずかな運動を繰返すだけである。図-6に示すように、張ブロックの一端がわずかに上下に動くが、隣接する張ブロックとの接触が保たれている状態を「微動」と定義する。

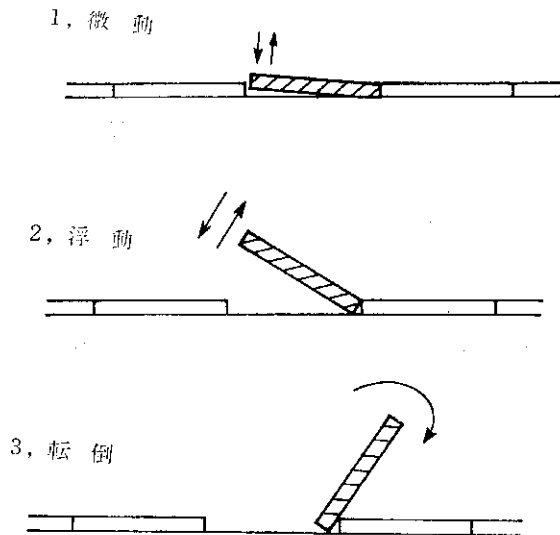


図-6 動揺状況の定義

波高を大きくしていくと、写真-3の③、④のように張ブロックが浮き上がる。この状態を「浮動」と定義する。写真では張ブロックの一端を中心として動いているが、本実験での浮動はこのタイプだけで、張ブロック全体が吸いだされるような現象はまったく見られなかった。

さらに波高を大きくすると、浮動した張ブロックが碎波後の流れにより転倒してしまう。これを「転倒」と定義する。

5. 張ブロックの安定性について

5-1 実験方法

安定実験では表-1に示す3種類の周期について、徐々

表-1 実験周期・波高

No.	周期 (T)		波高 (H_i)	
	現地 (sec)	模型 (sec)	現地 (m)	模型 (cm)
1	6.7	1.5	0.4~3.3	2.0~16.5
2	8.9	2.0	0.3~2.9	1.5~14.5
3	11.2	2.5	0.3~2.6	1.5~13.0

表-2 張ブロック模型の諸元

No.	長辺 (長さ) L (cm)	短辺 (幅) B (cm)	厚さ t (cm)	重量 (g)	比重	現地厚 (cm)
1	10.0	10.0	1.0	230	2.30	20
2	10.0	10.0	1.5	340	2.27	30
3	10.0	10.0	2.0	440	2.20	40
4	10.0	10.0	2.5	570	2.28	50
5	15.0	10.0	1.5	500	2.22	30
6	20.0	10.0	1.5	670	2.23	30

(注) No. 1~4は厚さの効果, No. 2, 5, 6は長さの効果を確認するためのケース。

に波高を大きくして微動限界と浮動限界の波高を求めた。波高をさらに大きくすると転倒する例もみられたが、その現象を厳密に把握することがむずかしいため、本報では微動と浮動に限定して考察する。

実験波高は模型設置以前に水深 30 cm 部分で計測した進行波の波高 (以下、通過波高 H_i とする) で整理した。なお、実験有効波は第 20 波までとし、その間の張ブロックの動く状況を目視にて観察した。

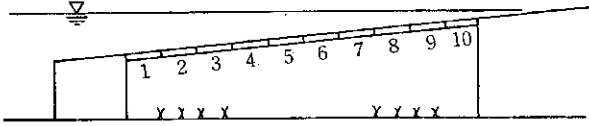
張ブロックは表-2に示す6種類をモルタルで製作した。No. 1~4は、長さ (L) と幅 (B) が同じで厚さ (t) の効果を調べることを目的とし、No. 2, 5, 6は、厚さ (t) と幅 (B) が同じで長さ (L) の効果を調べることを目的としている。模型の仕上がりは誤差が ± 1.0 mm 以内で、比重は 2.2~2.3 であった。

張ブロックの安定は下層の碎石の均し具合や張ブロックの置き方によって大きく左右される。こうした実験誤差をできるだけ小さくするため、同一のケースを3回行うとともに、ひとつの周期についての実験が終わるごとに水槽の水の抜き、碎石面を左官ゴテで均して張ブロッ

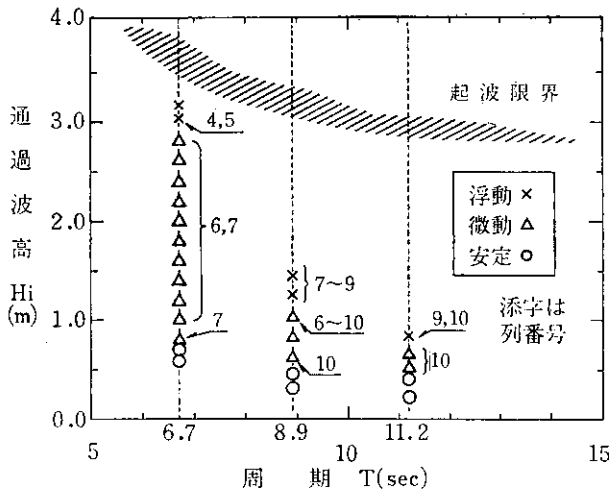
クを再び設置した。なお、以下の実験結果の整理などは現地の寸法に換算した値で行うこととする。

5-2 実験結果

実験データの一例として、図-7に厚さ $t=30\text{ cm}$ 、長さ $L=2.0\text{ m}$ (表-2の No. 2) のケースについての張ブロックの挙動を示す。他の実験ケースについても同様の整理を行うことにより、張ブロックの厚さをパラメーターとして微動・浮動限界を示したのが図-8, 9である。



(a) 張ブロックの列番号



(b) 張ブロックの挙動

図-7 実験データの一例 ($t=30\text{ cm}$, $L=2.0\text{ m}$)

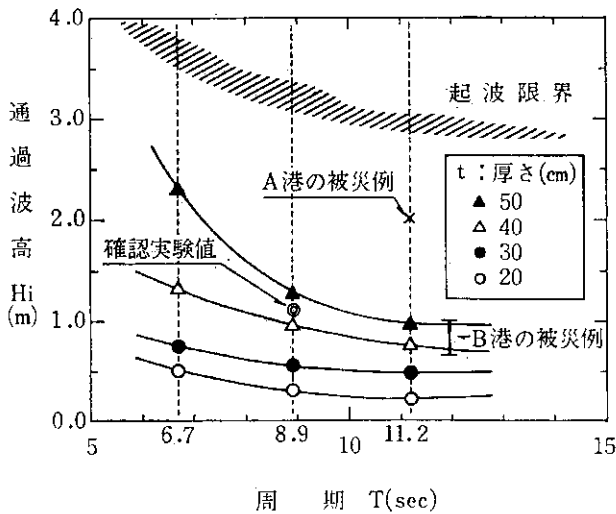


図-8 微動限界算定図 (パラメーター t)

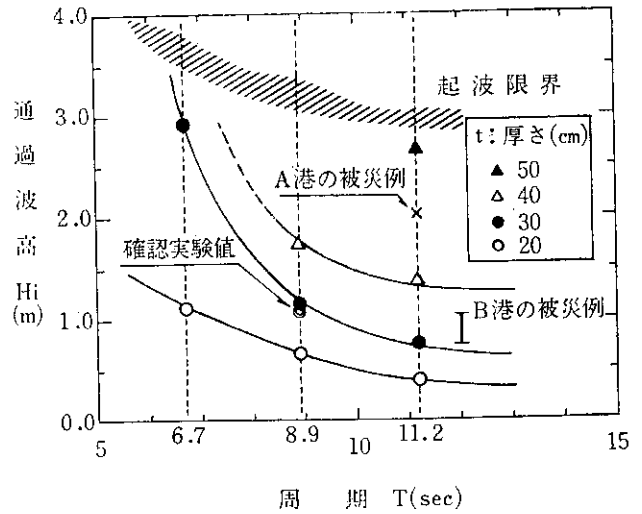


図-9 浮動限界算定図 (パラメーター t)

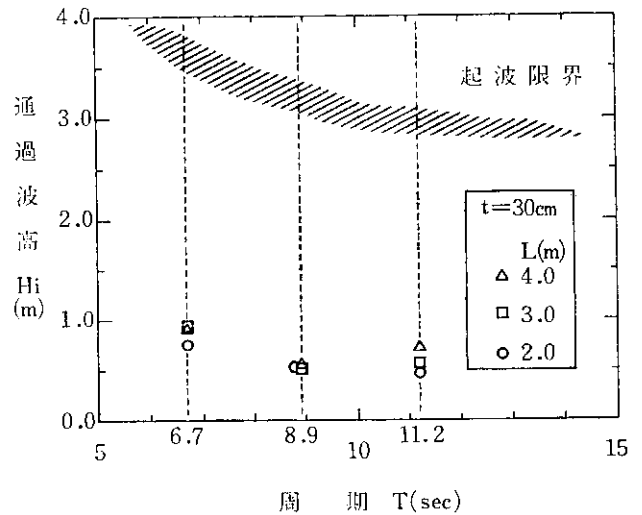


図-10 微動限界算定図 (パラメーター L)

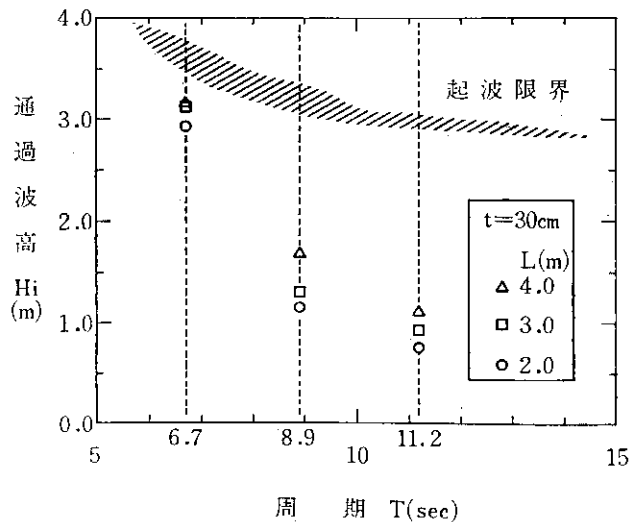


図-11 浮動限界算定図 (パラメーター L)

また、張ブロックの長さ L をパラメーターとして微動・浮動限界を示したのが図-10, 11 である。なお、図-9 では $t=50$ cm の $T=8.9$ sec, $t=50$ cm の $T=6.7$ sec および $t=40$ cm の $T=6.7$ sec の3ケースがプロットされていないが、これは起波限界波高でも浮動が生じなかったためである。

5-3 現地被災例との比較

2の項に示した現地被災例を実験結果と比較するため、被災発生時の波浪条件を図-8, 9のなかにプロットした。その結果、A港の例については図-9に示すように張ブロック厚 $t=30$ cm の浮動限界を大きく越えており、現地で張ブロックが転倒し、さらに陸上に打上げられたことも十分理解できる。またB港の場合は図-9で $t=30$ cm の浮動限界をわずかに上まわっていることから、現地では全体的に微動が繰返され、何枚かの張ブロックに浮動が起きた結果、図-3のように張ブロックの一端が持ち上がったと考えられる。

以上わずか2例による検証であるが、危険側の領域である周期の長いケースについては、実験と現地で良好な一致が確認された。

5-4 考 察

5-4-1 張ブロックの一般的な挙動

船揚場の斜路のような緩斜面上を波が遡上する場合に

は、もどり流れや水位上昇などの影響が絡み合って現象は非常に複雑になる。その場合、周期が大きなファクターになることは木村・瀬山が指摘している⁴⁾。ここでは、図-7に示した例を用いて張ブロックの一般的な挙動について述べる。周期の長い $T=8.9$ sec および $T=11.2$ sec のケースでは、 $H_i=0.5$ m 程度の比較的小さな波高で汀線近傍の張ブロックが微動を始め、波高が大きくなるにつれて次第に沖側の張ブロックが浮動する傾向がある。こうした張ブロックの動きは波が砕けた位置の直下で起こることが観察された。

一方、周期の短い $T=6.7$ sec では、 $H_i=0.8$ m 以上で6, 7列目の張ブロックが微動する。さらに $H_i=2.0$ m 以上になると船揚場に達する前に砕波するため、波高を大きくしても波のエネルギーは砕波により減少し、張ブロックに加わる外力もあまり変化しない。このため、図-9に示すように、周期が短いケースで浮動限界波高が飛躍的に大きくなるものと考えられる。

5-4-2 張ブロック厚の効果

図-8, 9によると、張ブロック厚 t を増すことにより耐波性が確実に向上することがわかる。ここでは張ブロック厚 t と微動・浮動に対する限界波高 H_{crit} の関係を定量的に把握するため、図-8, 9を周期ごとに整理して図-12を得た。以下この図を用いて考察する。

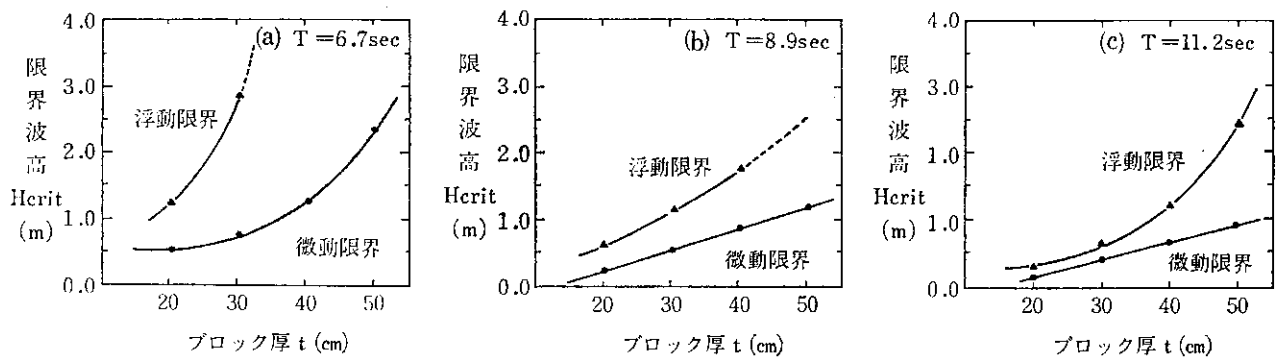


図-12 張ブロック厚と微動、浮動限界波高の関係

$T=8.9$ sec と 11.2 sec については、微動限界波高 H_{crit} が張ブロック厚 t に比例している。 $T=6.7$ sec の場合は t に対する H_{crit} の増加割合がさらに大きくなっている。

浮動限界では t に対して H_{crit} が飛躍的に大きくなっている。その要因としては重量増加が最大の要素であるが、それだけでなく浮き上がろうとする際に隣接する張ブロックから受ける拘束力の影響も無視できない。ここで1個の張ブロックが隣接する張ブロックの上まで浮き上がるために必要な変位を Δx とすると、図-13に示すように、

$$\Delta x = \frac{t^2}{\sqrt{t^2 + L^2}}$$

となる。たとえば、 $t=50$ cm の場合は Δx が 12 cm 以上にならなければ張ブロックが浮動しないことになる。したがって、張ブロック全体が吸いだされる現象が起きないと仮定すると、施工時に張ブロック間の隙間をあけないよう留意すれば浮動は起きないと考えられる。

5-4-3 張ブロックの長さの効果

張ブロックの長さ L と微動・浮動限界波高 H_{crit} の関係を定量的に把握するため、張ブロック厚 t が 30 cm の

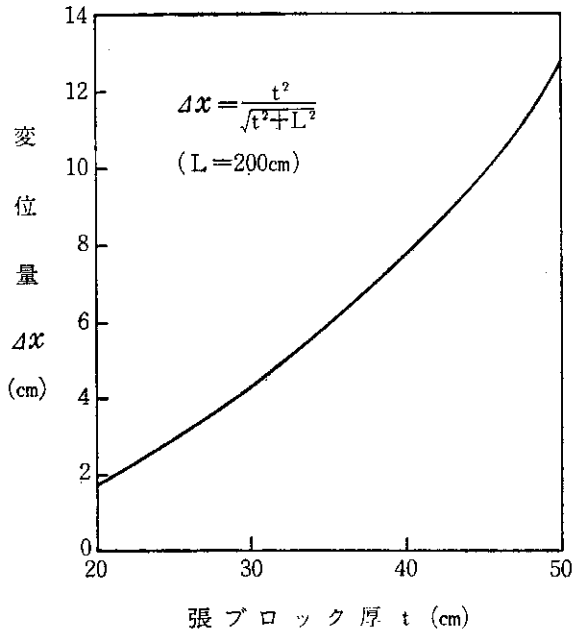
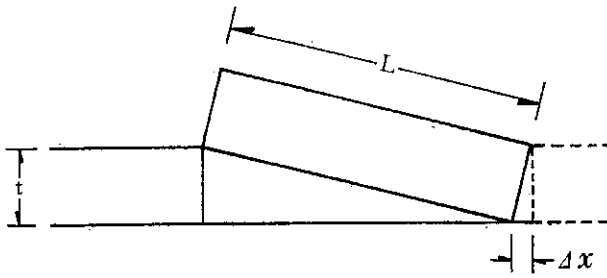


図-13 変位量と張ブロックの関係

例である図-10, 11を周期ごとに整理して図-14を得た。以下、同図を用いて考察する。

微動限界については $T=11.2$ sec のケースで H_{erit} が t に比例する傾向がみられるが、これはこの条件の波が最も岸側の張ブロックより岸側で碎波するため、たまたま長い張ブロックの方が重心が碎波点から遠くなることにより安定になったと考えられる。 $T=6.7$ sec と 8.9 sec

のケースでは、 L の効果はまったくみられない。しかし、実験データには現われていないが、 L が大きいと張ブロック下の碎石の均しが悪い場合にはかえって不安定になりやすいことが観察された。

浮動限界については、 L が大きいほど安定になる傾向がみられる。 $T=6.7$ sec のケースでは波高が大きいため船揚場前面で碎波することにより、 $T=8.9$ sec のような明瞭な安定性の増加傾向はみられないと考えられる。しかし、図-14 b に示すように $T=8.9$ sec の場合、張ブロックの長さを $L=2.0$ m から 3.0 m, 4.0 m とすると、浮動限界波高は 1.2 m からそれぞれ 1.3 m, 1.7 m と大きくなっている。この効果を張ブロックの厚さに換算すると、図-12 b より $L=2.0$ m の張ブロックの厚さ $t=30$ cm をそれぞれ 33 cm, 38 cm としたことになり、若干だが効果があることがわかる。

また、浮動限界を上まわる波に対しては、 $L=2.0$ m では張ブロックが転倒したが、 $L=3.0$ m および $L=4.0$ m のケースでは単に浮動を繰返すだけで、碎波後の流れを受けて転倒する現象はまったくみられなかった。本報では転倒についての実験を行っていないのでこれ以上言及しないが、少なくとも転倒の防止効果を考えた場合は張ブロックの長さ L の効果も無視できないといえよう。

以上の議論をふまえて考えると、現在の $L=2.0$ m が安定性からみて張ブロックの最良の長さとは判断できない。しかしながら、設計法として L の増加を提案するためには、微動と転倒に対する安定性を実験によって再確認し、さらにコンクリートの強度についても考察する必要がある。ここでは張ブロックの厚さに絞って検討することにし、長さについての議論は今後の課題とする。

6. 張ブロックに加わる外力について

6-1 外力の定義

前項までの考察の結果、張ブロックの耐波性向上の方

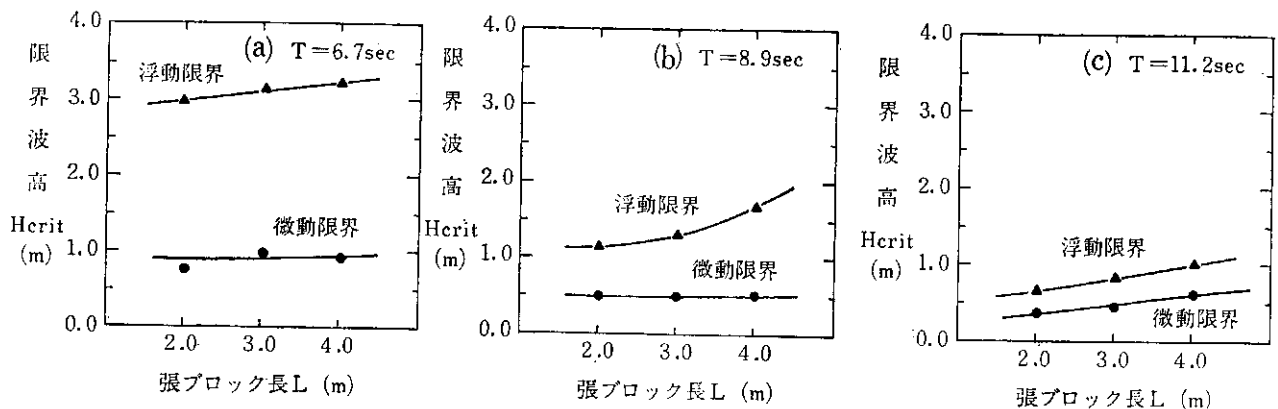


図-14 張ブロックの長さ、微動、浮動限界波高の関係

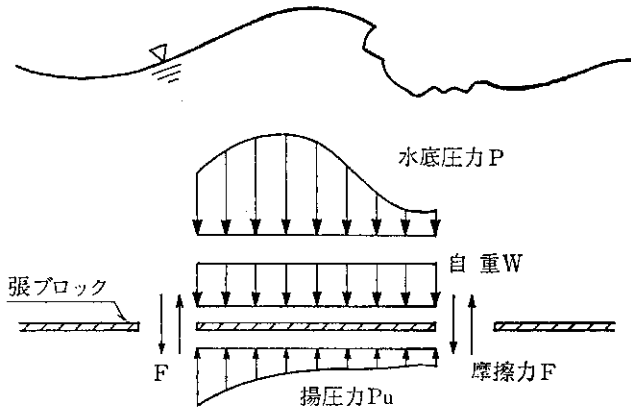


図-15 張ブロックに作用する外力

策としては厚さ t の増加が有効であることが示された。ここでは、張ブロックに加わる波力を解析することにより、厚さ t の効果の定量的な評価を行う。

図-15は張ブロックに加わる外力を示している。水底圧力 P と揚圧力 P_u は時間的にも場所的にも変動する量である。コンクリートの密度は一定だから、自重は浮力を考えて $w=1.3t$ (g/cm^2) の等分布荷重となる。張ブロックが動こうとする際には、隣接する張ブロックとの間に摩擦力 F が存在するが、以下の解析では取扱いを容易にするためその効果を無視する。

6-2 圧力の測定方法

水底圧力 P と揚圧力 P_u の測定は、図-16に示す装置を用いて行った。圧力変換器は張ブロックの長さ $L_m=10$ cm だけ離して2個ずつ互いに反対向きアクリル板に取り付け、水深 $h_m=6.0$ cm のところに設置した。水位変化は圧力変換器と同一水深に設置した容量式波高計を用いて計測した。

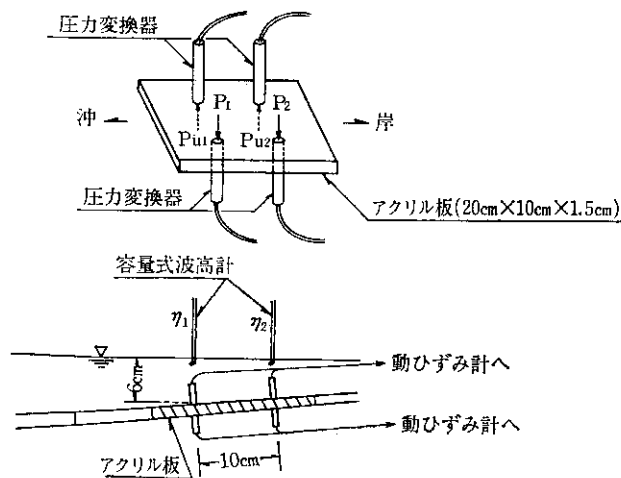


図-16 測定装置

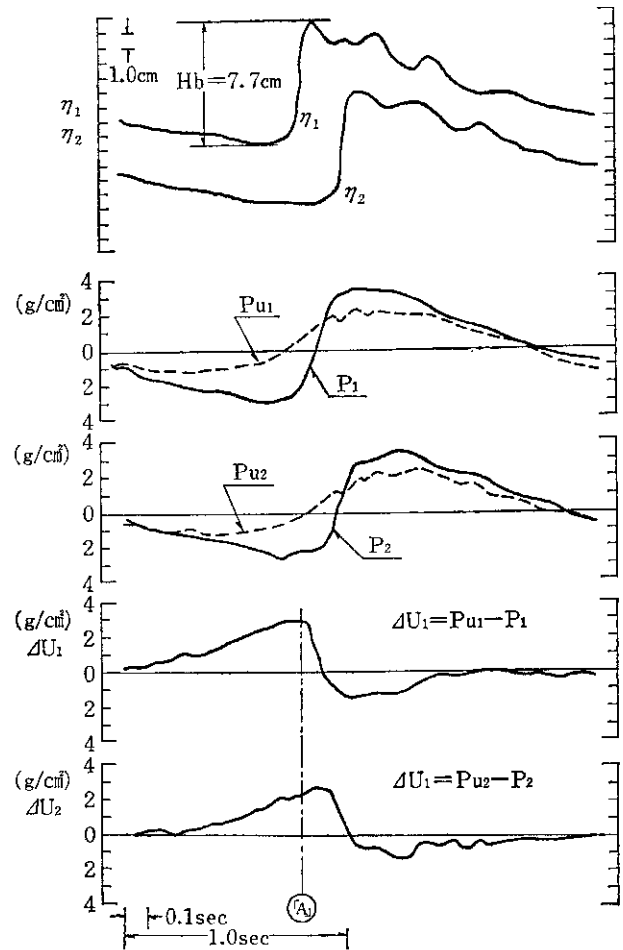


図-17 圧力変化の一例

6-3 安定実験との比較

図-17に $T_m=2.0$ sec, $H_{tm}=5.5$ cm での測定結果を示す。なお、図中の水圧はすべて静水圧を含んだ値で表わされている。

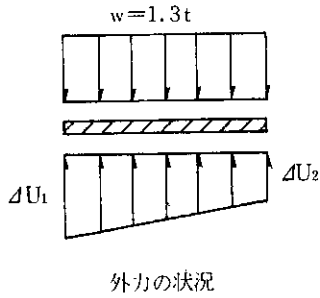
水底圧力 (p_1, p_2) は水面形と同じ傾向で変動するのに対し、揚圧力 (pu_1, pu_2) の変動はゆるやかである。このため、波峯が通過する直前に揚圧力が水底圧力を上まわることになる。図-17の下段の $\Delta U_1, \Delta U_2$ は揚圧力と水底圧力の差を表わす量で、これにより張ブロックの両端に加わる圧力を算定できる。両端以外の圧力分布は不明であるが、ここでは直線分布と仮定する。

図-17で ΔU_1 と ΔU_2 の和が最大となる場合に着目し、時刻④における外力の状況を調べたのが図-18である。 $t=20$ cm と 30 cm の場合は浮動し、 $t=40$ cm の場合は張ブロックの両端部に動く余裕があれば、張ブロックが微動する可能性がある。そして、 $t=50$ cm の場合には、まったく動かないという結果が得られた。

一方、この条件 ($H_t=1.1$ m, $T=8.9$ sec) を安定実験の結果にプロットすると、微動限界算定図 (図-8) では

時刻①での測定結果

$H_{im}=5.5\text{cm}$
 $T_m=2.0\text{sec}$
 $\Delta U_1=2.9\text{ g/cm}^2$
 $\Delta U_2=2.2\text{ g/cm}^2$



模型厚 $t_m(\text{cm})$	現地厚 $t(\text{cm})$	$w(\text{g/cm}^2)$	外力の状況 (g/cm^2)	張ブロックの挙動
1.0	20	1.30	1.60 0.90	浮動
1.5	30	1.95	0.95 0.25	浮動
2.0	40	2.60	0.30 -0.40	微動
2.5	50	3.25	-0.35 -1.05	安定

図-18 ①における外力の状況

$t=50\text{ cm}$ と $t=40\text{ cm}$ の間に位置し、浮動限界算定図(図-9)では $t=30\text{ cm}$ の点に一致する。したがって、この条件では $t=20\text{ cm}$, 30 cm で浮動, $t=40\text{ cm}$ で微動, $t=50\text{ cm}$ で安定となり、安定実験の結果が圧力分布から得られた結果と完全に一致した。

7. 張ブロック厚の算定法

北海道内の港湾および漁港(第3種, 4種)を対象に、斜路式船揚場の張ブロック厚を調査した結果が表-3である^{5),6)}。表には施工年度が不明なものも含まれるが、少なくとも昭和48年以降は20 cm厚の張ブロックによる施工は行われず、すべて30 cm厚が使われている。こうした張ブロック厚の割増しの詳細な経緯は不明だが、おそらくいくつかの災害の発生が契機になったと推察される。

本来、船揚場の設置位置の選定にあたっては、前面水域の静穏の確保が原則とされている⁷⁾。しかしながら、小規模な港湾や漁港では、船揚場は岸壁、物揚場などと比べて係留施設としての優先度が低いため、必ずしも静穏度の高いところに配置できないのが現実である。

こうした事情を考慮すると、新規に船揚場を設計する

表-3 施工形式

施工形式	港湾
張ブロック 20 cm 厚	28
25	1
30	17
場所打ちコンクリート	13
石積み	1
合計	60

際、前面の静穏が確保できない場合には、積極的に張ブロック厚の割増しを行うべきである。必要厚の算定にあたっては、利用上の障害に直接つながる現象に着目して、浮動限界算定図(図-9)の適用が妥当である。設置地点付近での波高として有義波($H_{1/3}$)を用いるか、最高波(H_{max})を用いるかは議論の分かれるところである。実験によると、張ブロックの浮動はたとえ一波でも限界以上の波が来襲すれば必ず生ずる現象である。また、万一被災があったときの復旧費用を考えると、初期

投資を十分行った方が結果的には経済的と思われる。したがって、ここでは設計波として最高波 (H_{max}) を用いることを提案する。

最後に施工時の注意であるが、張ブロックの敷設にあたっては下層の均しを十分行い、張ブロックの間の隙間を極力小さくするよう留意すべきことを指摘したい。とくに5-4-2で述べたような、隣接する張ブロックから受ける拘束圧を期待するためにはこのことが重要である。

8. あとがき

標準形状を含めた6種類の張ブロックについて実験を行い、張ブロックの安定性と作用する外力について検討した結果、張ブロックの長さについてはさらに検討の余地があるものの、得られた結果を示せば次のとおりである。

(1) 船揚場の設計においては、設置地点の波浪条件に応じて図-9を用い標準型張ブロック ($L=2.0$ m, $B=2.0$ m) の必要厚 (t) を算定することが可能となった。

(2) 安定実験の結果を現地被災例を用いて検証した結果、良好な一致を確認した。

(3) 張ブロックの微動、浮動は碎波時の水圧変動によって生じることを示した。

本報文に示した結果が、今後船揚場を設計する際の参考になれば幸いである。

なお、実験にあたって数多くの御助言をいただいた前港湾研究室長 (現小樽開発建設部技術長) 竹田英章氏、本報文の取りまとめに御協力いただいた水産土木研究室長早瀬吉雄氏、同室主任研究員林 忠志氏、そして港湾研究室員各位には、この紙上を借りて深く感謝する次第である。

参 考 文 献

- 1) 尾崎 晃, 菅原照雄, 刈谷広見; 海岸堤防におけるアスファルト系被覆工に対する波力の影響について. 第14回海岸工学講演会講演集, p. 160-166, 1966.
- 2) 木村克俊, 竹田英章; 船揚場張ブロック安定実験. 土木学会第38回年次学術講演会講演概要集(2). p. 261, 1983.
- 3) 木村克俊, 坂本洋一, 竹田英章; 船揚場張ブロックの安定性に関する研究. 第26回北海道開発局技術研究発表会論文集, p. 148-157, 1982.
- 4) 木村 晃, 瀬山 明, 若狭 聡; 波のうちあげ高におよぼすもどり流れの効果. 第29回海岸工学講演会論文集, p. 380-384, 1982.
- 5) 北海道開発局港湾部; 北海道港湾構造物集覧, 1980.
- 6) 北海道開発局農業水産部; 北海道直轄漁港構造物集覧, 1982.
- 7) 日本港湾協会; 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 1979.