

# 網式消波材の施工性と耐波安定性に関する実験

平石 哲也\*・土橋 和敬\*\*・黒田 美里\*\*

## EXPERIMENTAL STUDY ON NET-TYPE WAVE ENERGY DISIPATING UNIT FOR CONSTRUCTIVITY AND STORMY WAVE-STABILITY

Tetsuya HIRAISHI\*, Kazunori TSUCHIHASHI\*\*  
and Misato KURODA\*\*

### Abstract

A net-type unit which composes about 30 cm rubbles in it is developed. The unit is intended to reduce the wave energy and tsunami pressure generated in accidental condition beyond the design. The rubble layer overlapped in the polyester nets can reduce the impulsive forces due to the huge wave and tsunami. Several stability of composed net-type wave energy dissipating unit was tested in a wave flume and basin. The stability coefficients were revealed to make a design of seawalls and breakwaters. A water channel experiment is carried out to estimate the stability coefficients using the scaled unit model of 1/50 related with 6 and 8ton in prototype. Second test done in a wave basin derived the stability coefficient as the cover block of flat mound. The stability in tsunami flows is moreover investigated in order to obtain the other stability function determining the applicability of the unit as the armor unit of counterweights against tsunami.

キーワード：偶発波浪荷重，網式消波ユニット， $K_D$  値，イスバッシュ数

Key words : Accidental wave, net type wave dissipating instrument, stability in tsunami,  $K_D$  number, Isbash coefficient

\* 京都大学防災研究所  
Disaster Prevention Research Institute

\*\* 前田工織株式会社 水環境保全推進部  
Water Environmental Research Team, Maeda Kosen Co. Ltd.

本報告に対する討論は平成25年11月末日まで受け付ける。

## 1. はじめに

2011年3月11日の東北太平洋沖地震による津波では多くの海岸堤防が破堤している。その原因として、津波波力による胸壁の破壊、引き波時の局所的な流圧力による堤体破壊等が指摘されている(平石ら)<sup>1)</sup>。これらの要素に加えて、堤体前面の法先洗堀による構造物の安定性低下も大きな要素となっている。近年、河川堤防の法先洗堀防止工として網状のネットに200~500 kg 碎石を詰め、袋状にした柔軟性を有する網式(あみしき)材が用いられるようになってきている。ただし、網を成型し、吊り下げることができるように4 tタイプまでが製作され、一部の河川堤で用いられているだけである。下迫ら<sup>2)</sup>は2つの絞り口を有する比較的剛性の強い網式消波ユニットの基礎マウンド上での安定性を調べているが、消波材としての安定性は検討していない。本研究では、この網式材を海岸および港湾構造物の消波ならびに法先洗堀防止工(網式消波材)として活用するために、大型の6 tおよび8 tに相当する実機の試験製作ならびに耐久性試験を実施し、洗堀に強い海岸堤防および防波堤の消波被覆工の開発を目的とした。そのために、まず傾斜護岸や傾斜堤に用いられる消波材として、基本となる安定定数である $K_0$ 値を実験で求め、他の消波ブロックとの比較を行った。

つぎに、今回の津波による被害を受け、津波規模をレベル1およびレベル2の2段階に分けて海岸と港湾を防御することが提案されている。レベル1津波は、設計対象となる歴史上繰り返された津波であり、これに対しては護岸と防波堤は十分安定でなければならない。レベル2津波は、将来想定される最大規模の津波であり、防波堤や護岸だけでは防御できず、総合的な警報・避難システムの確立が目指されている。ただし、防波堤と護岸は倒壊してしまわないように‘粘り強い’構造を持つことが要求される。これは、防波堤の堤体の後方に砂礫層によるマウンド(カウンターウェイト)を構築し、その抵抗で堤体の滑動やわずかな転倒を許すが、大きな転倒や倒壊を防ぐ。また、場合によっては防波堤前面における津波の流れによる洗堀防止のために幅広のマウンドが設置

されることもある。これらのレベル2津波に対する対策は主に碎石層で形成されるが、その表層には高波時に安定が得られるように被覆材が設置される。被覆材の波に対する安定定数 $N_s$ についても網式消波ユニットの性能照査が必要である。次に、越流した津波によって碎石層が動かされないように十分安全な被覆層を必要としており、本網式消波材の活用が期待できる。そこで、津波流作用下での安定係数もイスバッシュ数の形で求め、設計ができるようにした。

## 2. 網式消波材の施工性

### (1) 網式消波材の形状

ポリエステル製の網材の形状を写真1に示す。写真の左側が海洋で使用される網材の写真で、右側に比較として河川に用いられてきた網材の状況を示す。

すなわち、写真1の右側の細い網地が従来河川で使われている2トンタイプの網材である。左側が今回開発した網材である。網材の特徴は工場内で袋状に編まれて、ひとつの開口部しか持たず、現場で碎石を袋内に入れると1か所を縛るだけでユニットが完成でき短時間で施工できることである。図1に8トンタイプの網式消波材の袋体の形状図を示す。網式消波材の特徴の一つは、工場で製造中に一つの袋材として製作されることで、そのまま袋体として現場へ搬入できる。なお、6トンおよび8トンは碎石を充填した時の網式消波材の総重量を表す。



写真1 網材の状況

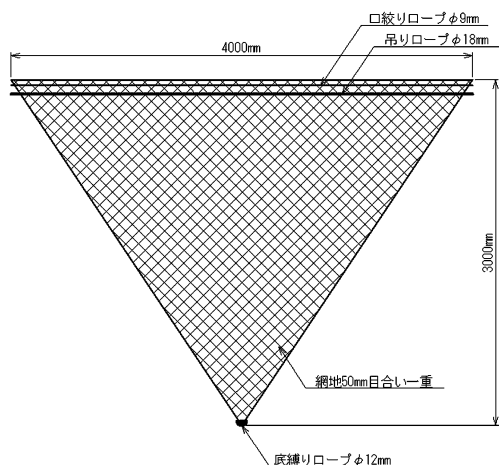


図1 8 tタイプ網式消波材の形状図

(2) 試験方法

施工性を検討するための現地試験では、以下の項目について確認を行った。

- (a) 網式消波材6トン（6 tタイプと記述）用および8トン（8 tタイプと記述）用の施工時の円形フレームの施工性
- (b) 消波材の袋部分の結束方法と製作時間  
中詰め材としては割栗砕石（150～200 mm）を用いる。

写真2に製作過程を示す。また、結束後の吊り上げ時において、袋形状を確認し、以下の結論を得た。

(3) 試験結果

6 tタイプについて、中詰め材を充填後にしっかり口が閉まることを確認できた。また、4回転置後の網地の状態を確認したところ、毛羽立ちはあるものの破断しないことが確認できた。8 tタイプについても、規程の網地内に充填できることが確認でき、4回転置後の網地の状態を確認したところ、1回目に製作した8 tタイプについては毛羽立ちがあるものの破断箇所はなかった。写真3に8 tタイプの転置後の写真を示す。2回目に製作した8 tタイプについては4回転置後に1箇所破断していた。さらに4回転置後（全8回転置後）に網地を確認したところ、追加の破断は見受



(1) 円形型枠に網をかぶせる



(2) 砕石の投入



(3) 円形枠の抜き取り



(4) 網式消波材の成型

写真2 網式消波材の試験製作



写真3 網式消波材の破損箇所

けられなかった。しかし、中詰め材の鋭利な角により破断しそうな箇所が1箇所あった。すなわち、波浪の作用によって激しく動く場合は1部破断する可能性はあるものの、その全体への影響は小さいと思われる。

製作に要した時間は、作業員2名で以下のとおりであり、現場で10分程度で製作が可能であることが判る。

・ 6 tタイプ	
①網地セット	約 2分20秒
②中詰め材投入	約 4分20秒
③地切り	約 1分40秒
④口絞り	約 2分30秒
⑤脱型	約 1分20秒
計	約12分
・ 8 tタイプ	
①網地セット	約 2分00秒
②中詰め材投入	約 4分10秒
③地切り	約 1分10秒
④口絞り	約 3分00秒
⑤脱型	約 1分20秒
計	約12分

### 3. 消波材としての耐波 安定性

#### (1) 実験の方法

波力を受ける構造物の所要質量は、次式で示される  $N_s$  値によるハドソン式を用いて算出することができる。

(土木学会海岸工学委員会)<sup>4)</sup>

$$M = \frac{\rho_r H^3}{N_s^3 (S_r - 1)^3} \quad (1)$$

ここに、

$M$ ：構造物の所要質量 (t)

$\rho_r$ ：構造物の密度 (t/m<sup>3</sup>)

$H$ ：安定計算に用いる波高 (m)

$N_s$ ：安定定数。主として被覆材の形状、勾配、被災率等によって決まる。

$S_r$ ：構造物の水に対する比重（砕石は2.6）

今回は水理模型実験により、網式消波材の偶発波浪（平石ら<sup>4)</sup>）や津波に対して安定な質量（所要質量）を求めるために必要な  $K_D$  値を算出する。

実験施設は、長さ50m、幅1m、深さ1.5mの2次元造波水路を用いる。ただし、今回の実験では模型の縮尺や設備の造波能力を考慮し、実験対象部分を幅50cmに縮小して実験を行う。6tおよび8tタイプの2種類の袋体を用いる。模型縮尺は1/50とし、下記にそれぞれのタイプの現地での模型規格を示す。模型では99個の模型を用いて消波層を製作した。それぞれの模型空中質量は、48および64gである。例として表1に8tタイプの模型規格を示す。

図2は左側から偶発波浪や津波が来襲すると想定して設置した実験模型として用いる護岸断面である。

表1 8tタイプ規格

	質量	体積	出来高直径 $D$	出来高高さ $H$
実物大規格	8 t	5 m <sup>3</sup>	3 m	0.7 m
1/50模型規格	64 g	40 cm <sup>3</sup>	6 cm	1.4 cm

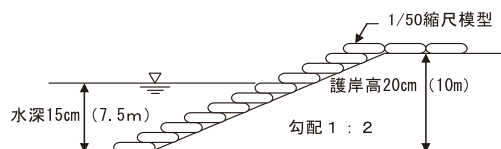


図2 実験イメージ（図の左側から不規則波を作用させ、ユニットの移動を調べる）

作用波は不規則波とし、1000波以上造波して元の位置から動いたものを被災とみなす。周期は4種類程度、波高は随時変化させる。なお、計測では、元の位置から移動したり滑落したものを1.0個と数え、位置を変えずにその場で回転しただけのものを0.5個と数えた。

許容被災率（波で移動した構造物の個数の全体個数に対する割合）としては、沖合防波堤の堤幹部において平石ら<sup>5)</sup>は目標被災率を3%と定めて設計を行っている。一方、土木学会海岸工学委員会<sup>4)</sup>では一般的に0~1%での被災率で評価をしている。ここでは、海洋構造物での使用を考慮して、平均値として2%を用いることとした。許容被災率2%とし、実験により被災率2%になる条件（質量  $M$ 、波高  $H$ ）を求めた。模型水路では、入力信号通りの波形が必ずしも再現できないので、あらかじめ模型のない状態で波高解析を行い、造波信号と造波波高及び周期の関係を求めている。以下の記述では、実際に造波された波の波高・周期を用いて結果を示した。

水理模型実験によって求められた被災率2%となる質量  $M$  および波高  $H$  から  $N_s$  値を算出する。次式は  $N_s$  値と  $K_D$  値の関係を表した式である。 $K_D$  値はハドソン式における斜面上の安定係数であり、護岸上の消波工の安定係数として通常用いられるものであり、 $N_s$  値と以下の関係にある。

$$N_s^3 = K_D \cot \alpha \quad (2)$$

ここに、

$\alpha$  : 斜面が水平面となす角 (°)

$K_D$  : 主として構造物の形状および被災率等によって決まる定数

式 (1) に式 (2) を代入すると式 (3) となる。

$$M = \frac{\rho_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \alpha} \quad (3)$$

式 (3) に実験により求められた質量  $M$  および波高  $H$  を入力し、 $K_D$  値を以下のように算出する。

$$K_D = \frac{\rho_r H^3}{M (S_r - 1)^3 \cot \alpha} \quad (4)$$

写真4に実験模型の設置状況を示す。

## (2) 実験の結果

使用模型は、6tタイプ、8tタイプであり、水槽水深：88cm、模型天端高：93cmした。模型床高は水路床より78cmである。水路幅：100cmより徐々に縮流させる。対象模型幅は50cm 護岸前面の勾配は1/2にしている。模型設置位置前面波高は模型を設置しない状態であらかじめ解析した値を用いる。模型実験では、水路の両端は水路壁面との間に波消しブロック20t型および15t砕石（現地換算）を積んで緩衝材とした。実験で用いた波高および周期をまとめる（( ) が現地換算値）；

### 実験ケース

- 1) 対象周期  $T_{1/3} = 1.0(7.1)s, 1.2(8.5)s, 1.4(9.9)s, 1.6(11.3)s, 1.8(12.7)s, 2.0(14.14)s$
- 2) 波高レベル：7~12cm (3.5m) ~ (6m)
- 3) 被災個数

移動個数を被災とみなし  $N_r$  は20分間で取得した。（時化のピーク継続時間は2時間とされている）



写真4 網式消波材模型の設置  
(左側8tタイプ、右側6tタイプ。天端3列で2層積み)。

4) 実験の配置

各網式消波材ユニットは99個を使用した。天端に3個の網式消波材ユニットが設置できるように碎石(2cm)でマウンドを製作し、網式消波材は6tタイプおよび8tタイプを同時に設置し、同一波を使用した。網式消波材及び緩衝材用ブロックはすべて2層積みとした。網式消波材ユニットの幅は5列で、千鳥に配置している。なお、本実験の最大周期は2s(現地14.1s)、波高8.4cm(4.2m)であり、被災率も最大となる。写真の右図は、模型断面を示し、ガラス面との摩擦による影響を避けるために、壁面と網式消波材ユニット模型の間に緩衝材として波消しブロックを設置している。

網式消波材ユニットの模型は99個用いているので、観測された移動個数が被災率と等しい。計測結果を表2に示す。表中の $T_{1/3}$ は作用波の有義波周期で現地換算値である。実験では、模型のない状態で測定した実験水路内の模型設置位置での波高測定結果を用い、周期については入力値と測定値は一致していたので修正はしていない。実験では20分間2種類の波群を造波して、それぞれについて2回の平均値を代表値とした。

実験結果から、それぞれの周期で被災率が2%となる波高レベルを逆算して、安定係数を求めた。周期2sの場合、計算例は以下になる。

$$K_D = \frac{2.6 \times 4.5^3}{8(2.6-1)^3(2)} \quad (5)$$

ただし、実験で求めた安定係数は2次元で観察した場合であり、波向や積み方にもよっても差が出ると考えられる。また、転がって飛んでいったものはない。一般に長周期の波にブロックは弱いですが、本実験で対象とした繊維索を用いて碎石を活用した網式消波材の安定度は、ユニットが動いて

表2  $K_D$  値の評価に用いる被災率

$T_{1/3}$ 現地 (s)	7.1	8.5	9.9	11.3	12.8	14	*
6 t	1%	◎	◎	10%	1%	5%	5
8 t	◎	◎	◎	9%	7%	3%	6

◎：全く動かない

\*：周期10s以上の偶発波浪についての平均値

も落ちずに斜面上にとどまっているので、より高いものとなる。多少の変形を許容するならば、Resiliency(粘り強さ)が発揮できる構造物になり得る。

4. 被覆材としての耐波安定性

本実験では、平面水槽内に幅40cmの水路を仮設で製作し、2次元水路として網式消波材の被覆材としての耐波安定性を調べることを目的とした。

(1) 実験ケース

模型縮尺をこれまでと同様に1/50として製作し、図3に示すようにマウンド幅 $B$ 、マウンド水深 $h$ を変化させるとともに代表ケースについては、前面の法先勾配を1/2から1/4に変化させて法先勾配の変化による影響を調べた。

(2) 実験の結果

(a) 移動個数による評価

6tタイプは、 $B=40\text{cm}$ について100個、 $B=25\text{cm}$ について50個使用し、斜面から完全に転落したものを1個、転がって移動したものを0.5個として数える。 $B=25\text{cm}$ については6tタイプを50個、8tタイプを25個用いている。

写真5は実験の様子を示したもので、波を作用させる前は千鳥に配置した下層の接続部に2層を整理させて設置している。1ケースについて不規

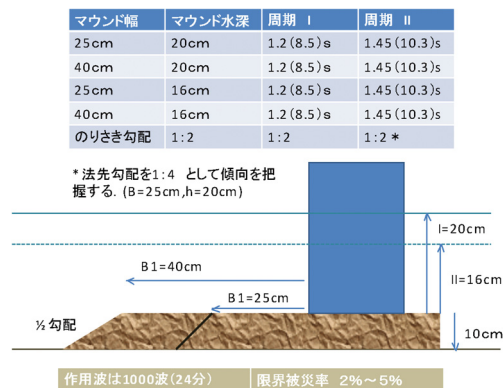


図3 実験ケースとイメージ

則波を1000波作用させ、波高を次第にあげていき、各波高レベルでの滑落したユニット個数を数えていく。

実験終了時の被災状況(波高を上げていき、8tタイプが10個以上被災するまで実験を続ける)

(b) 被災率による評価

それぞれ総個数に対する被災個数の割合で被災率を評価する。図4にそれぞれのケースにおける被災率の変化を示す。図は変化の一例で、それぞれhであらわす水深=20cmおよび16cmの場合の変化を示す。

マウンド被覆材の許容被災率を決定することは難しい。前述の平石ら<sup>4)</sup>は防波堤の堤頭部のように被覆材を多数用いる場所では、やや穏やかな目標値として5%の許容被災率を提案している。



写真5 (1) マウンド長40cmの造波前



写真5 (2)

ここでは、マウンド上の被覆材であり、移動しても直ちに防波堤への波力増大につながらないことを考慮して、被覆材としての許容被災率として、5%を設定する。許容被災率から逆算できる波高レベルを用いて安定係数 $N_s$ を次式によって計算できる。

$$M = \frac{\rho_s H_{1/3}^3}{N_s^3 \Delta^3} \tag{6}$$

ここで、 $M$ :ユニット質量、 $H_{1/3}$ :有義波高、 $N_s$ :安定係数、 $\rho_s$ :ユニットの単位体積重量(2.6)、 $\rho_w$ :水の単位体積重量。 $\Delta = \rho_s / \rho_w - 1$

勾配1/2の全実験ケースについてユニット重量によって分けて $N_s$ 値を計算すると、以下のよう

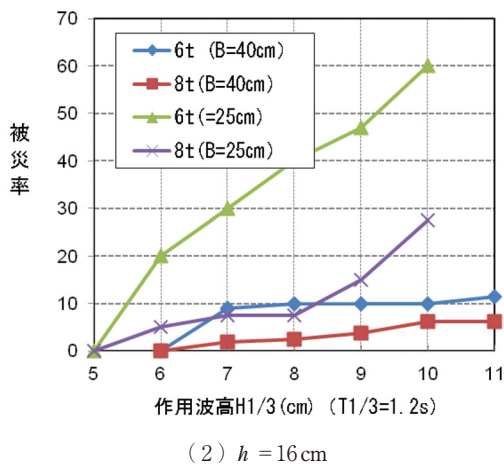
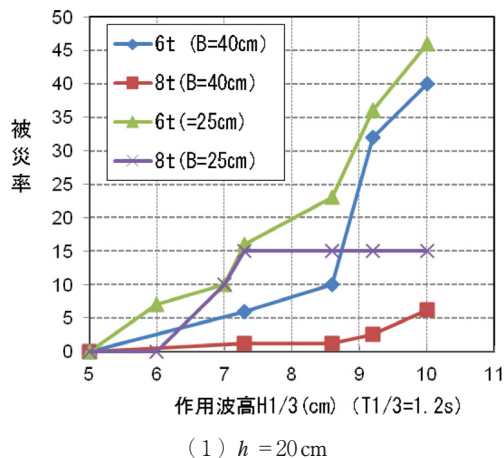


図4 被災率の変化 (T<sub>1/3</sub>=1.2s)

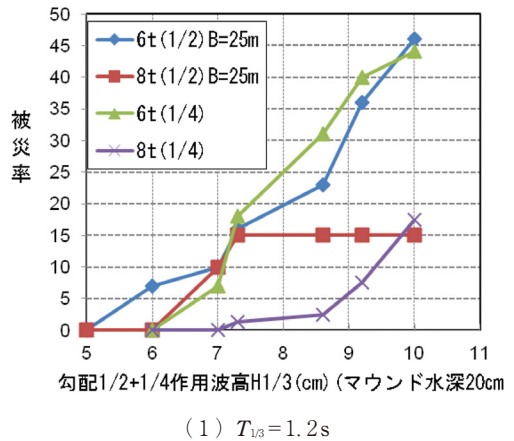
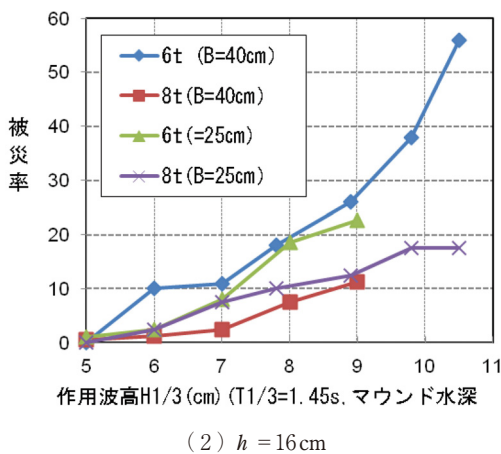
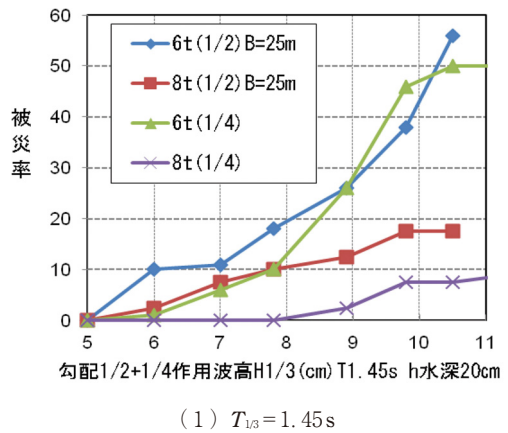
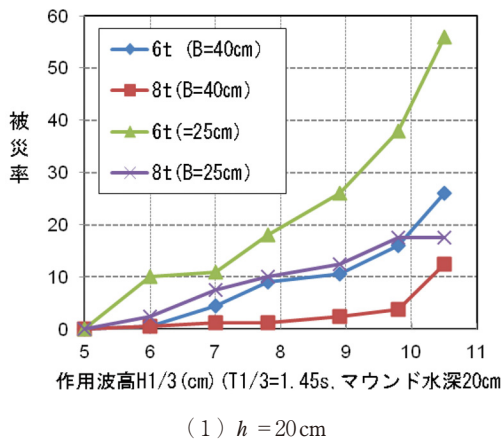


図5 被災率の変化 ( $T_{1/3} = 1.45\text{s}$ )

図6 法先勾配に対する被災率の変化 ( $h = 20\text{cm}$ )

になった。

8 t タイプ： $N_s = 1.625$

6 t タイプ： $N_s = 1.425$

安定係数としては大きく変化していないので、代表値としては  $N_s$  を約1.5程度と考えることができる。もちろん各ケースごとにばらつきは生じている。マウンド長が長いほど、被災個数は大きくなるが全体個数も大きいので被災率としては、マウンド長が短いものがやや大きい。

(c) 法先勾配による影響

図6に法先勾配の違いによる被災率の変化を示す。

図に示すように6 tタイプについては、大きな差が生じていないが、8 tタイプについては、法

先が緩やかなほうが、有利である。これは法先が長くなると、やや沖側で碎波してくるので、波あたりがサイズの大きな8 tタイプについて異なるためと考えられる。

本章の実験によって、網式消波ユニットの安定性を求め、おおよその安定係数が1.5となることを示した。また法先勾配が緩くなると8 tタイプの安定性が向上することが明らかとなった。

5. 津波に対する安定性

津波に対する  $K_D$  値の評価は難しく、作用する波が流れのようになるので、適切な数値による安定性の指標は得られていない。ここでは、孤立波を実験水路内で作用させて、おおよそ被災率が



2%となる津波遡上高を安定性指標とした。

(1) 実験ケース

実験に用いた孤立波（津波を模擬した正だけの水位上昇を有する単一波）は、1/50の縮尺模型で3.5~4 mであり、護岸本体は越流する。ただし、本網式消波材は洗掘防止用として開発されているので、越流してもその場で動かなければ洗掘防止工として活用できる。

実験では3回以上の同一津波を作用させて、計測値のばらつきが1個以内であることを確認して平均値を代表値とした。写真6に実験後の状況を示す。



写真6 実験室内での最大津波による移動状況 (堤体への乗り上げが一部見える)

(2) 実験結果

図7に津波波高（遡上高（陸表面を基準とした高さ））と被災率の関係を示す。ユニットの形状による被災率の変化はなく、津波波高が4 mになると被災率が急激に大きくなり、護岸としての機能が失われる可能性が高くなる。本堤体の条件では、3mの津波波高に対して被災率が2%以下となり、現地において汀線での津波波高が3 m以下であれば十分な安定性を有していることが分かった。ただし、今回の津波は孤立波を作用させており、越流する時間が極めて短い。越流する時間が長くなると被災も大きくなると考えられ、津波の特性に応じてより詳細な検討が必要と考えられる。

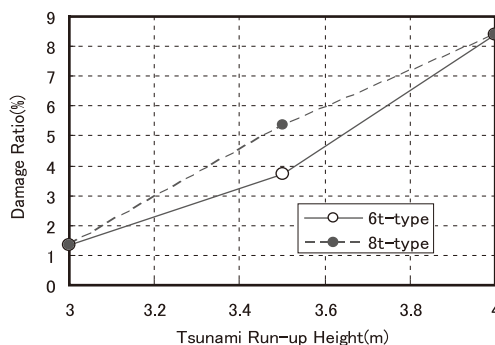


図7 津波波高と被災率の関係

6. イスパッシュ定数の推定に関する模型実験

使用水槽は、傾斜護岸の耐波安定性実験と同一の長水路である。作用波は孤立波を用いて、孤立波の頂点の高さを津波波高とした。本実験では、護岸を越流した津波流が陸地側の背後のカウンターウェイト層に作用して浸食を起こす現象を防ぐために、表層を保護できる網式消波材の安定状況を調べた。強い流れの中での砂礫材などの安定はイスパッシュ数によって表され、津波流速に対応して安定性を有する網式消波材の重量が決定される。

イスパッシュ数に対しては、岩崎ら<sup>6)</sup>の測定結果があり、これまでは岩崎ら<sup>6)</sup>の実験で用いられた定数のみが採用されているが、津波は衝撃的に作用して、流速の変化も大きいので最大流速に相当するイスパッシュ定数yを新たに考察しておく必要がある。

(1) 実験方法

測定は津波流速、津波波形、網式消波ユニットの動揺を観測することから、被災率1%に相当する流速（津波波高）を逆算して、イスパッシュ定数yを求めた。実験の水深は30cm、マウンド高は10cmし、試験ユニット高は10cmを目標として2段の整積みを行った。流速測定水深は20cmとした。実験では水路内の最大流速は50~60cm/sが再現できる。写真7は津波作用前の整積み状態

を示す。図8は実験イメージである。

(2) 実験の結果

造波装置に与える津波信号入力値 Input 値（孤立波の波高設定値）を変化させて、堤体の無い状態で津波の作用流速を測定しておく。次に網式消波材を設置して、津波を作用させ、流速を変化させた時の移動個数を数えていく。この時、実験回数は2回とし、それぞれの平均値を使って限界移動個数とした。図9はInput値が7のときの津波流速波形の例である。津波によって短時間で非常に高い流速が発生することがわかる。移動限界（1%～2%）は、造波機に与える津波信号 Input 値（cm）を流速に換算することによって調べた。

図10に Input 値と最大津波波高および最大津波

流速の相関を示す。実験条件はマウンド水深20cmである。ユニット模型は8tタイプを100個使用（天端水深10cm程度）し、2段積みとして下段および上段とも5列×10行の格子状に配置した。なお、上段のユニットは下段のユニットの接合部に位置するように並べている。図11にユニットの配列と津波の方向の関係を示す。

入力津波波高を5cmより上げていき、動いたユニットを数える。

(a) 単体での実験

$N_w$ ：移動個数（累計）を表3に示す。Input 値が13のとき、被災率は平均3%であり、消波材の許容被災限界値2%よりは大きい。被災材の5%よりは小さく、許容限界値以内と判断できる。こ



写真7 網式消波部材（8tタイプ）の整積み（図の左側より津波を作用させる）

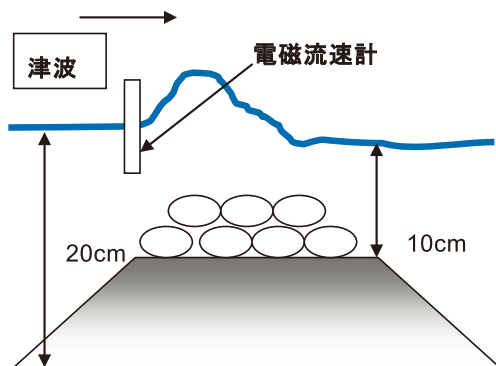


図8 津波流中の網式消波材の安定性実験イメージ

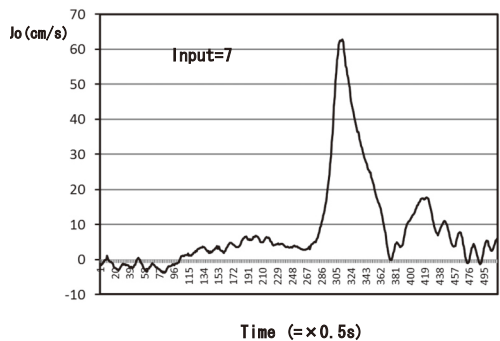


図9 津波流速波形の例

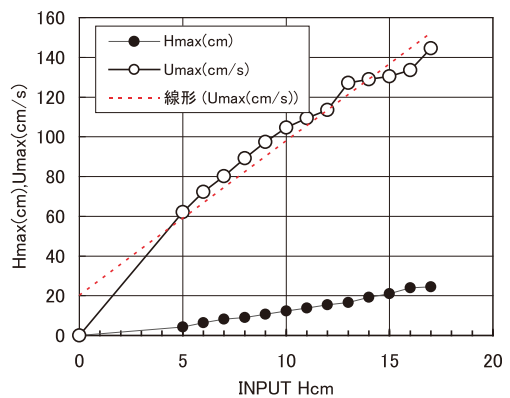


図10 Input 値とマウンド前面の最大通過津波波高  $H_{max}$  (cm) および最大流速  $U_{max}$  (cm/s) の関係

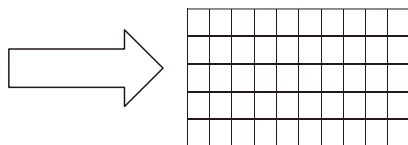
のとき、 $U_{max} = 127 \text{ cm/s}$  であり、イスバッシュ数の限界流速とする。

(b) 連結した場合

河川内では流れ方向の抵抗を上げる場合に4つを連結する工法がとられている。そこで、今回も4つを連結したユニットの安定性を調べた。その結果、縦に並べた場合は、Input 値が10ですべてが流された。津波の場合は、非定常な流れであるため、一つが動き出すと流れ方向の連結は、連続した移動を引き起こし、不利であることがわかった。そこで、4連結を津波方向に対して横に置いて、下段13列、上段14列で実験を行った。表4に連結したユニットの安定性の試験結果を示す。

表4に示すように、Input 値が14までに、4連結16個が移動していることになり、4/27で約14%が動いている。Input 値が14に対しては抵抗でき

ユニット設置配列：5列×10行



○ 津波の方向

図11 津波の方向とユニットの配列

表3 Input 値と2回の移動個数の関係

INPUT	Try1	Try2
5	0	0
6	0	0
7	1	0
8	1	0
9	1	1
10	1	1
11	2	1
12	2	3
13	2	4
14	18	13

表4 連結した場合の網式消波材の移動個数

Input 値	8	9	10	11	12	13	14	15
被災連結	2	2	4	4	4	4	4	All

ず、連結効果が発揮できなかった。そこで、単体の被災傾向から、 $U_{max} = 127 \text{ cm/s}$  を許容限界流速とする。イスバッシュ数は以下の式を計算し求める。

$$W = \frac{\pi w U_o^6}{48 y^6 g^3 (w/w_o - 1)^3 (\cos\theta - \sin\theta)^3} \quad (7)$$

ここで、

- ユニット質量  $W = 8000 \text{ kg}$
- 津波流速  $U_o = 4.45 \text{ m/s} \sim 4.81 \text{ m/s}$
- ユニットの単位体積重量  $w = 2.6 \text{ t/m}^3$
- 水の単位体積重量  $w_o = 1.0 \text{ t/m}^3$
- マウンド勾配  $\theta = 0$

である。

計算の結果、 $y = 1.19$ となった。従来の実験結果としては砕石材と砕石材のイスバッシュ数を実験から求め、岩崎ら<sup>6)</sup>が0.9~1.0程度の結果を示している。その値に比べると今回の網式消波材と砕石層とのイスバッシュ数は1.19で比較的高い数値が得られた。この原因としては、底層のマウンドに直径2~3 cmの角ばった砕石を用いたため、ユニットとの噛み合わせが高くなったためと考えられる。したがって、砕石材で構成されるカウンターウェイトの被覆材としては、かみ合わせが優れた被覆材として活用ができる。

7. まとめ

本実験において6 tおよび8 tタイプの網式消波材の耐波安定性と津波安定性について検討を行った。その結果、以下のことが判明した：

- 1) 網式消波材は2名の作業員で、現場で約10分で8 tタイプ1個が製作でき、施工性に優れている。
- 2) 網式消波材は被覆ブロックとして柔軟性を有しており、変形しても移動する割合が少ない。
- 3) 安定係数  $K_D$  で耐波安定性を評価すると6 tおよび8 tで、それぞれ約  $K_D = 5$  および6が得られた。
- 4) 被覆材としての安定係数  $N_s$  は、約1.5として評価できる。

5) 津波に対しては、遡上高 3 m の津波までは十分な安定性を有する。

6) 津波流に対するイスバッシュ定数  $y$  は 1.15 と大きな数値が得られた。

なお、本実験結果は限られたケースでの検討であり、現地における適用に当たっては、マウンド材の条件、設置場所の地形、施工性等に留意する必要があり、諸条件を変更した実験等も必要である。

### 参考文献

- 1) 平石哲也・米山 望・馬場康之・森 信人・東良慶・安田誠宏・間瀬 肇：宮城県沿岸における2011東北太平洋沖地震による津波被災について，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，第67巻，pp.1306-1310. 2011.
- 2) 下迫健一郎・久保田真一・松本 朗・半沢 稔・篠村幸廣・尾池宣佳・池谷 毅・秋山真吾：袋型根固め材を用いた混成堤マウンド被覆材の耐波安定性と耐久性，港湾 空港技術研究所報告 Vol.43, No.1, pp.49-83, 2003.
- 3) 土木学会海岸 工学委員会：海岸施設設計便覧，土木学会，pp.301-309, 2000.
- 4) 平石哲也・平山克也・加島寛章・春男和人・宮里一郎：偶発波浪荷重による被害例とその特性，海岸工学論文集，Vol.55, pp.981-985, 2008.
- 5) 平石哲也・服部昌樹・稲垣茂樹・鈴木智浩：安定係数による沖合防波堤消波ブロック被覆層の性能照査，海岸工学論文集，第50巻，pp.756-760, 2003.
- 6) 岩崎敏夫・真野 明・中村武弘・堀越伸幸：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流体力に関する実験的研究，海岸工学論文集，Vol.31, pp.527-531, 1984.

(投稿受理：平成25年1月11日)

訂正稿受理：平成25年4月10日)