

長崎漁港における水理模型実験による 消波ブロックの安定性検討について

長崎県長崎港湾漁港事務所漁港課 中山 幸 輔

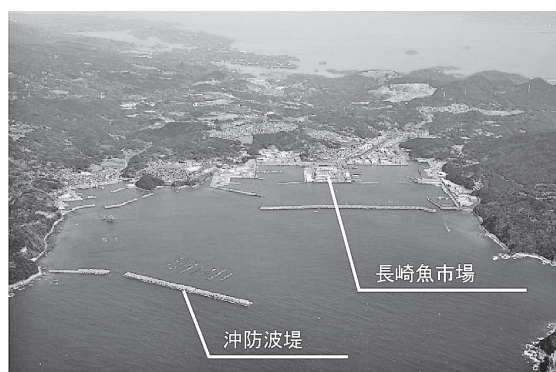
目 次

1. 長崎漁港の役割……………	44	3-2. 実験結果……………	47
2. 現況と課題……………	44	4. 総括……………	48
3. 水理模型実験による改良設計……………	45	5. 長崎漁港の将来像……………	49
3-1. 実験内容……………	45	6. おわりに……………	49

1. 長崎漁港の役割

長崎漁港（写真－１）は、長崎市に位置する我が国最西端の特定第３種漁港で東シナ海・黄海を主漁場とする以西底曳網漁業、東シナ海・五島列島周辺海域を主漁場とする大中型まき網漁業及び漁場環境に恵まれた沖合・沿岸漁業の基地港として、また、全国主要消費地へ出荷する水産物の流通拠点漁港として発展してきた。

長崎県が開設している地方卸売市場長崎魚市場では、当漁港で陸揚げされる水産物のほか、近隣の漁港からも水産物が集荷され、取り扱われており、令和５年には全国第３位の取扱金額を誇る産地市場となっているなど、全国有数の水産物の流通拠点となっている。



写真－１ 長崎漁港

2. 現況と課題

長崎漁港の最も沖側に位置し、長崎漁港の骨格を形成する消波ブロックを堤体とした沖防波堤（写真－２）について、令和３年に近年の気象データに基づき見直した沖波を用いて機能診断を行った結果、施設延長1,020mのうち240m区間（５工区及び４工区）において、消波ブロックの所要質量が満足されていないことが判明した。当該施設の背後には長崎魚市場等が位置しており、施設が倒壊した場合は流通機能が停止し、地域経済等に甚大な影響を及ぼすため、安定性が確保できる構造へ改良する必要が生じた。

傾斜堤で想定される改良断面は、港外及び港内側全面を、所要質量を満足した消波ブロックにより２層厚分被覆する対策となるが、全面を被覆する場合、莫大な対策事業費



写真－２ 沖防波堤

がかかることから、事業効果の早期発現が見込めない。そこで、以上の課題を解決するため、港外側片面のみを被覆する改良断面について、水理模型実験により消波ブロックの安定性検討を行う。

3. 水理模型実験による改良設計

3-1 実験内容

3-1-1 実験断面の設定

令和3年度に実施した機能診断による消波ブロックの所要質量算定結果（ハドソン式による）、以下のとおり5工区及び4工区の現況断面では所要質量を満足していない。

- ・5工区（No.0～No.70）テトラポッド80 t：
所要質量237.354 t > 現況質量82.250 t
- ・4工区（No.70～No.240）六脚ブロック80 t：
所要質量103.596 t > 現況質量93.018 t

水理模型実験では、5工区及び4工区について、経済的で効果的な港外側片面のみを消波ブロックで被覆する改良断面について安定性を検証した。なお、いずれの断面も既存の消波ブロックが最大規格であるため、重量コンクリート（比重2.7以上）により所要重量を満足させる必要があった。

3-1-2 検討潮位及び波浪条件

検討潮位は、消波ブロックの算定質量が最も大きくなるH.W.Lとした。検討潮位及び波浪条件を表－1に示す。

表－1 検討潮位および波浪条件

波浪	工区	潮位 (m)	周期 $T_{1/3}$ (s)	波高 $H_{1/3}$ (m)	波数	波群数	摘要
①	5	H.W.L.	15.5	13.3	1000	3	不規則波
②	4	D.L.+3.20		11.7			

3-1-3 実験縮尺

実験縮尺は、国土交通省九州地方整備局下関港湾空港技術調査事務所が所有する50m長水路の規模及び沖防波堤の構造諸元、波浪諸元を考慮し1/60とした。

3-1-4 海底床模型製作

海底床模型は、現地海底勾配を再現するため、水路内に海底勾配 $i=1/50$ の斜面を設け、水路床と擦り付けた。海底床模型は、中詰材として砂を使用し表層5cm程度をモルタル仕上げとした。

3-1-5 消波ブロック模型

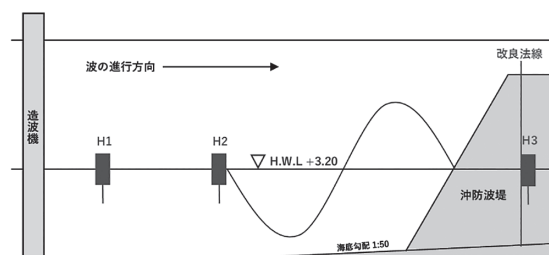
製作した消波ブロックの種類は、テトラポッド（5工区）と六脚ブロック（4工区）であり、現況の比重 $G=2.65\text{t/m}^3$ と 2.35t/m^3 、所要重量を満足するための $G=2.95\text{t/m}^3$ の3タイプの模型を製作した。消波ブロックの模型は、目標値に対して質量が $\pm 3\%$ 以内、高さ・幅が $\pm 2\text{mm}$ 以内のものを実験で使用した。

3-1-6 波高検定

波高検定は、設計波を再現するために実施するものである。波高計の設置位置を図－1に示す。

波高計測位置H1は、造波信号作成時における沖波スペクトルの再現位置とし、H2は、消波ブロックと静水面の交点から沖側1波長の位置であり、本実験の波高を管理した。また、設計波の再現は沖防波堤改良法線位置H3で行った。

波高検定の結果、防波堤の設計において用いられる最高波と有義波の波高比（ $H_{\text{max}}/H_{1/3}$ ）1.6～2.0の範囲内であることが確認できた。



図－1 長水路波高検定イメージ

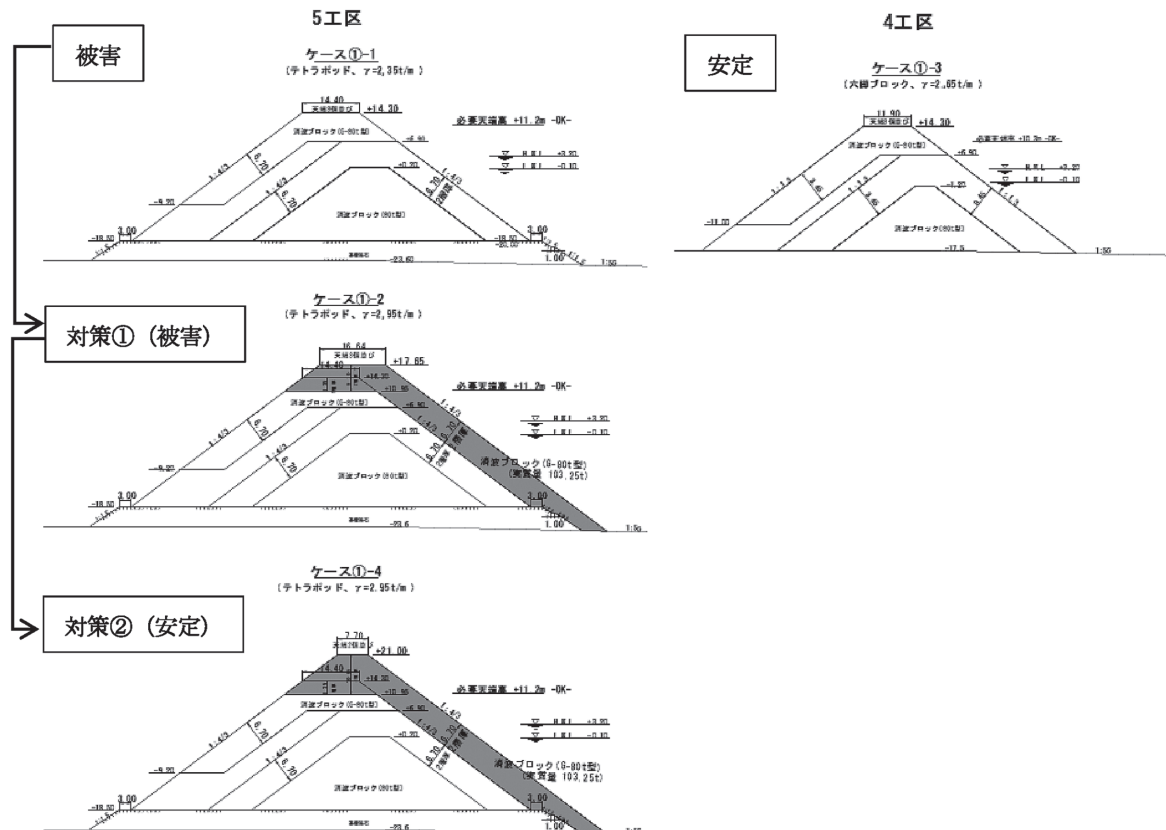
3-1-7 実験ケース

実験ケースの内訳を表－2、実験断面図を図－2に示す。

4工区（六脚ブロック）については、現況断面で安定となったため対策工の実験は行わない。

表－２ 実験ケースの内訳

ケース	波 浪	工 区	潮 位 (m)	消波ブロック	断 面	重コン密度 (t/m ³)	周 期 T _{1/3} (s)	波 高 H _{1/3} (m)	波 数	波群数	
①-1	①	5	H. W. L. +3. 20	テトラポッド80t型	現況	2. 35	15. 5	13. 3	1000	3	→被害
①-2	①	5	H. W. L. +3. 20	テトラポッド80t型	(当初対策工) 天端+前面2層被覆	2. 95	15. 5	13. 3	1000	3	→対策①
①-3	②	4	H. W. L. +3. 20	六脚ブロック80t型	現況	2. 65	15. 5	11. 7	1000	3	→安定
①-4	①	5	H. W. L. +3. 20	テトラポッド80t型	(別途対策工) 天端3層+前面2層被覆	2. 95	15. 5	13. 3	1000	3	→対策②



図－２ 実験断面

５工区（テトラポッド）については、現況断面で被害となったため、対策工の検討を２ケースで行う。

3-1-8 被害の定義

消波ブロックの被害定義は、目視・写真撮影・ビデオ撮影により行った。消波ブロックの被害は、表－３の定義に基づいて判断した。

表－３ 被害判定の定義

判定の分類		定義
安定	安定	波の作用によって動揺しないもの
	動揺	波の作用によって動揺するが、ほぼ元の位置にあるもの
被害	移動	ブロックの長さの1/2～1個程度以上移動したブロック

3-1-9 安定性の評価

安定性の評価には被害率を用い、許容被害率は１％とした。被害率は、対象範囲に設置した消波ブロックの個数Nに対する表－３の定義に基づき判断した被害個数ndの割合であり式－１により算出した。

$$n = (nd / N) \times 100 (\%) \text{———(式－１)}$$

n：被害率、nd：被害ブロック個数
N：対象ブロック個数

3-2 実験結果

3-2-1 現況断面（5工区、4工区）

5工区(ケース①-1)(テトラポッド80t、 $\gamma=2.35\text{t/m}^3$ $W=82.25\text{t}$)の平均被害率は6.58%で1%以上となったため被害という結果になった(写真-3)。

一方、4工区(ケース①-3)(六脚ブロック80t型、 $\gamma=2.65\text{t/m}^3$ 、 $W=93.02\text{t}$)の平均被害率は0.22%であり安定した。前述のとおり平均被害率が1%未満となり安定するため、対策工の検討は行わない。

表-4に示すとおり4工区は5工区と比べ波高が小さいこと、設置ブロックの質量が重いこと、現地盤水深が浅いため傾斜堤前面での碎波が促進されたことなどが考えられる。

3-2-2 対策断面（5工区のみ）

5工区について、当初対策工(対策①)であるケース①-2は、現況断面の天端1層分を撤去し、2層厚被覆することで天端を3.35m嵩上する。設置する消波ブロックは、テトラ

ポッド80t型、 $\gamma=2.95\text{t/m}^3$ 、 $W=103.25\text{t}$ とする。実験の結果、平均被害率は2.22%となり、現況断面より安定性が向上したものの、平均被害率1%を超え、被害という結果になったため、別途対策工(対策②)ケース①-4により検討する。

別途対策工であるケース①-4は、当初対策工である①-2より天端を2層厚から3層厚とすることで、6.70m嵩上げした断面とした。すると、平均被害率は0.66%となり、許容被害率である1%を満足した(写真-4)。なお、このケースにおいて表層に設置した消波ブロックはケース①-2と同様、高比重のブロック($\gamma=2.95\text{t/m}^3$ 、 $W=103.25\text{t}$)である。

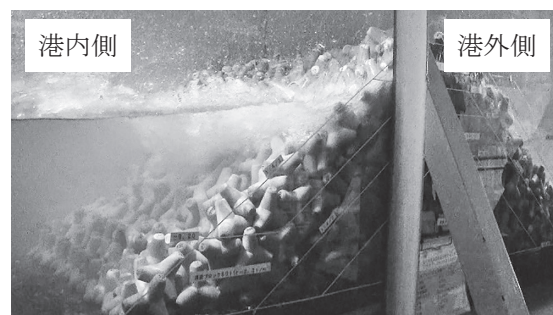
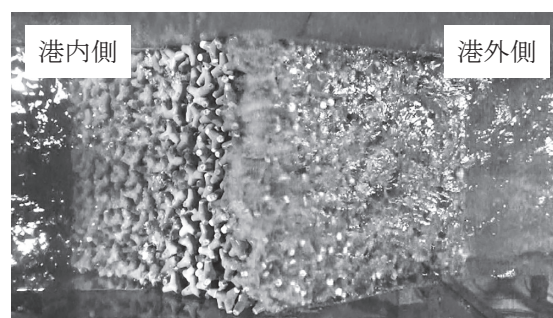


写真-4 現況断面の越波状況(ケース①-4、5工区)



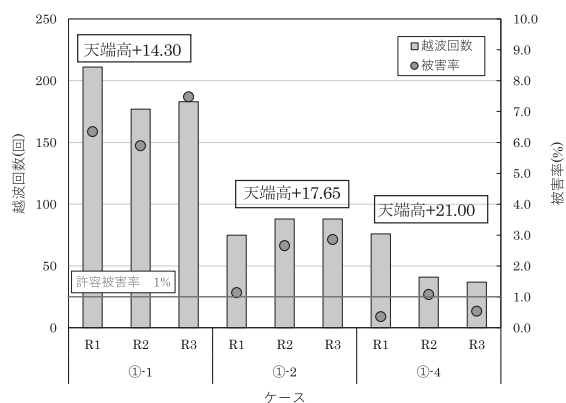
写真-3 現況断面の越波状況(ケース①-1、5工区)

表-4 4、5工区の相違点

工区	消波ブロック	波高(m)	重コン密度(t/m^3)	質量(t)	現地盤水深(m)
4	六脚ブロック80t	11.7	2.65	93.02	-17.5
5	テトラポッド80t	13.3	2.35	82.25	-23.6

3-2-3 越波回数と被害率

5工区における現況断面(ケース①-1)と当初対策工(ケース①-2)、別途対策工(ケース①-4)に関して、天端嵩上げの効果を検証するため、越波回数と被害率の関係を図-3に示すとおり整理した。なお、不規則波を再現するため、波の山や谷のばらつきを変え、3波群当てて検討した。この結果、天端嵩上げに伴い越波回数が減少するとともに被害率が低下するという傾向がみられた。なお、越波回数については消波ブロックに被害を与えるような越流状態の進行波をカウントした。



図－3 越波回数と被害率

3-2-4 まとめ

消波ブロック安定実験結果の一覧を表－5に示す。また、実験において安定した断面を図－4に示す。

4. 総括

実験の結果、4工区については機能診断によると、消波ブロックの所要質量が満足しないとなっていたが、水理模型実験により現況断面で安定することが確認できたため、改良する必要がないことがわかった。

一方、5工区については天端を3層厚とし、港外側片面のみ2層厚で被覆する改良断面で安定することが確認できた。

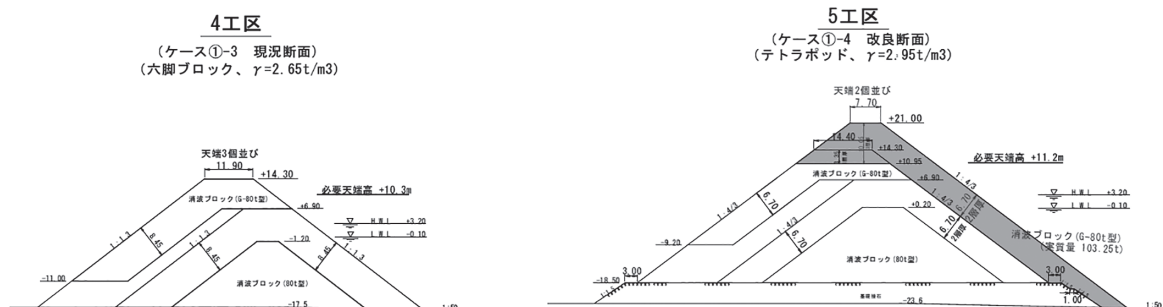
当該施設のように大断面かつ莫大な事業費と整備年数が見込まれる事業については、機能診断のハドソン式による消波ブロック所要質量算定結果に加え、水理模型実験で断面の安定性を検証することで大幅なコスト縮減と事業効果の早期発現につながる可能性がある。今後、提案できる施設があれば積極的に

表－5 消波ブロック安定実験結果

ケース	天端高 (m)	周期 (s)	波高 (m)	工区	重コン 密度(t/m ³)	対象 個数	被害 個数	被害率 (%)	平均被害率 (%)	越波回数 (回)
①-1_R1	+14.30	15.5	13.3	5	2.35	441	28	6.35	6.58	211
①-1_R2						441	26	5.90		177
①-1_R3						441	33	7.48		183
①-2_R1	+17.65		13.3	5	2.95	526	6	1.14	2.22	75
①-2_R2						526	14	2.66		88
①-2_R3※ ¹						525	15	2.86		88
①-3_R1	+14.30		11.7	4	2.65	453	1	0.22	0.22	115
①-3_R2						453	1	0.22		98
①-3_R3						453	1	0.22		101
①-4_R1	+21.00		13.3	5	2.95	554	2	0.36	0.66	76
①-4_R2						554	6	1.08		41
①-4_R3						554	3	0.54		37

※1：定常待ち時間中に1個落下したため、対象個数は525個

※2：消波ブロックに被害を与えそうな越波回数をカウント



図－4 実験において安定した断面

本実験の成果を活用していきたい。

も期待される。

5. 長崎漁港の将来像

沖防波堤をはじめとした外郭施設を整備することにより、漁港施設の被災を予防することから、他港での陸揚げによる移動コストの解消、外来漁船の安全な避難場所の確保、安定的な水産物の供給体制の維持を図ることができる。また、副次的に養殖水域の静穏度も確保されることから、養殖施設の損壊回避、給餌作業の安定化、養殖魚斃死率の減少、生簀範囲の拡大等、様々な効果が期待され、販路拡大・輸出促進に向け、効率的かつ安定的な水産物の生産・出荷体制を構築し、ロットを安定的に確保させることで、輸出の拡大が見込まれるとともに、雇用機会の拡大

6. おわりに

水産業を取り巻く環境は、就業者の減少や高齢化、地球温暖化や海洋汚染による海の生態系の変化による漁獲量の減少等、厳しい状況に直面している。本県では「多様な人材が活躍し、環境変化に強い持続可能な水産業と賑わいのある漁村づくり」を基本理念とする長崎県水産業振興基本計画を策定し、具体的な数値目標を設定し進捗管理を行っている。経済にとっても地域社会にとっても重要な産業である水産業を将来にわたって持続可能なものとするために、これまでも増して行政、民間、地域が一体となって、水産業の発展に取り組んでいきたい。