

潜堤付孔空き防波堤の実海域での導水特性と泊地内水環境予測

森口朗彦*・藤原正幸**・山本正昭***・田中輝男****

1. はじめに

潜堤付孔空き防波堤とは、波のエネルギーを利用した漁港内海水導入工法である。近年、水産漁獲物の付加価値の向上と出荷量安定のため、漁港内の泊地等の一部を蓄養水面とするケースが多数見受けられるが、漁港の多くは防波堤等で幾重にも囲われているので水替わりが悪く、水産用水としての水質の保全が困難な箇所も多い。泊地内では水質汚濁が進行し、蓄養魚の斃死を招く一因とされる貧酸素水塊の発生も報告されている（森口ら、1991）。この対策として、清澄な外海水を漁港内へ導入することが考えられるが、海浜流等の流れや潮位差を利用し難い地域への適用を考えて本工法の開発を進めている。

施設の概要と導水原理を図-1に示す。防波堤に向かって進入した波はその前面に設けた難透水性の潜堤上で碎波し、そこで生じる Wave-Setup により潜堤と防波堤の間の水面（遊水部と称する）の平均水位を上昇させる。この防波堤内外の水位差により防波堤内向きの流れを発生させるものである。波のエネルギーを一度水位の上昇に置き換えているため、流れは常に内向きであり、漁港内へ伝達する波も小さい。また、特殊な施設や工法を用いていないので、規模が小さく数が多いといった特徴を持つ漁港の改良・新設に適しているといえる。

これまで、山本ら（たとえば1992）による水理模型実験により導水機能の確認と機能設計、安全設計に関する検討が進められ、平成2年度にはほぼ実用化の目処が得られていたところであるが、その成果を基に平成3年度に

全国に先駆け富山市で実施に移され、現時点で一部が完成している。

この施設を利用し、主に導水機能に関する現地調査を平成3年末に実施した。本報では、この調査結果を模型実験データ等と比較することにより潜堤付孔空き防波堤の実海域での導水特性について検討し、施設設計の上での基礎情報とする。加えて、水域内の流動環境及び水温分布を多層にわたって予測評価が可能な数値模型を用いて、導水による港内の水環境への影響・効果予測手法に関しても若干の検討を行ったので、この結果についても報告し、もって水産業の振興と漁村域の活性化に資することを目的とする。

2. 導水機能現地調査

（1）調査の概要

調査は富山市が管理する四方漁港で行った。当漁港は日本海沿岸富山湾の最奥部に位置しており、主にマダイやブリ類、あるいは富山湾名物のホタルイカを対象とした定置網漁業を営む第1種漁港である。漁船の大型化による施設の不足と老朽化にともない図-2に示す拡張計画を策定、順次建設を進めているところであるが、ここでも漁港内蓄養水面造成の計画がある。図中、北護岸とあるのが本調査で対象とした導水工部であり、その背後

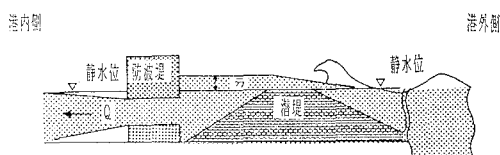


図-1 潜堤付孔空き防波堤の導水原理

* 正会員 工修 水産庁水産工学研究所
 ** 正会員 農修 水産庁水産工学研究所
 *** 正会員 農博 水産庁水産工学研究所
 **** 富山市農林部農林水産課

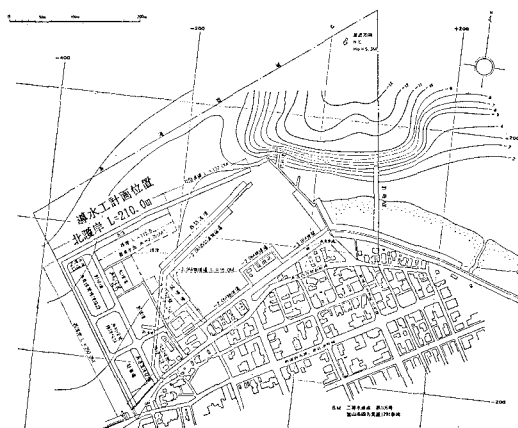


図-2 漁港計画平面図

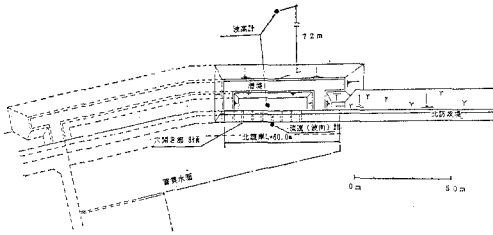


図-3 導水工部平面図

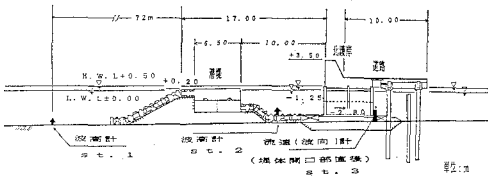


図-4 導水工部断面図

が蓄養水面となっている。現在、導水工の計画総延長145mのうち60mが完成している。島堤状であるため泊地及び蓄養水面を完全に囲っておらず、漁港内への導水は行われていないが、波により背後へ流速を発生させる機構は機能している。

図-3に導水工部の平面図、図-4に断面図を示す。防波堤部はセルラーとし、潜堤部は水密性を高めるため天端を構成する部分をコンクリート方塊、斜面部を捨石・ブロック被覆としている。防波堤側の潜堤斜面部は導水には不要と思われるので削除した。孔は、延長5mにつき1基、縦1.5m×幅1mの矩形のものを設けた。孔の水深は、上端がL. W. L. -1.3m、下端-2.8mである。このため開口比が約0.1と比較的大きく、導水には有効であるが、港内への波浪の進入が多少懸念されるところではある。

同図には、観測機器の配置も示した。St. 1は外海の水象条件、St. 2は遊水部内の水位変動、St. 3は導水流速と港内伝達波を調べるために設置したもので、各々自動記録式の水圧式水位（波高）計、電磁流速計を内蔵している。観測期間は、工事の進捗状況等との関係から平成3年12月14日から22日までとした。観測は毎正時から10分間、0.5秒間隔で行った。

(2) 調査結果の概況

図-5に観測期間中の潮位、沖波有義波高及び導水流速を示す。期間中の水象状況はほぼ静穏であり、波高が0.5m以下のケースが半分以上となった。最大波高は19日の午前1時観測された1.5mで、その付近1日程度は1m以上の波が続いている。その間の周期はおおむね6~8秒と、大きな変動は示していない。潮位を示した図中にある破線は潜堤の天端水深（L. W. L. +0.2m）であり、この時期はややこの高さ以下の時間が多いようであるが、平均的にはほぼ一致する。

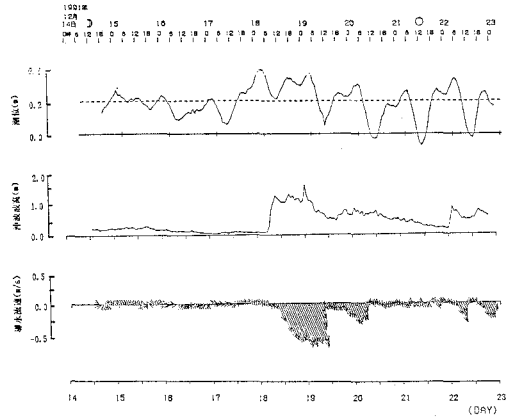


図-5 潮位及び沖波波高と導水流速

このような水象条件下での導水流速は、最大1.2m/s程度とかなり大きな値を記録しており、導水工としての性能の高さを伺わせる。傾向としてはやはり波高と対応しており、19日前後及び22日以降に大きい。ただし、前述のように潮位の影響も顕著に現れており、ある程度波高の大きい時間でも水位が潜堤天端から上下に離れると導水流速は著しく低減している。

(3) 潮位変動と導水能力

潮位変動と導水能力の関係を明らかにするため、図-6にこれらの関係を示した。図中、横軸は潜堤天端水深一沖波波高比 h_c/H_0 で、縦軸が導水流速の実測値である。 h_c/H_0 が0付近のとき導水能力は最大となり、この値の絶対値が大きくなるに従って導水能力は急激に低下する。この傾向は模型実験と同様であるが、 h_c/H_0 の実用範囲を模型実験では-0.4~+0.4としているのに対し、当施設ではその範囲はもう少し狭められ、-0.1~+0.4程度（水位が潜堤天端より高い場合が正值）である。よって以降の考察では、この範囲のデータは削除するものとする。

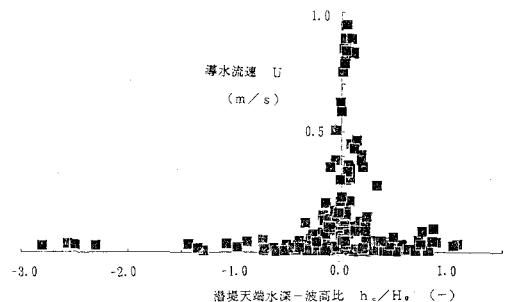


図-6 潮位変動と導水流速の関係

(4) 導水流速係数

導水流量を計算する際、求めなければならない係数として流速係数 C_{in} がある。これは、防波堤部に設けた孔の特性値であり、次式で表される。

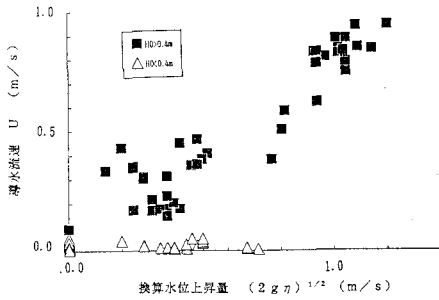


図-7 導水流速係数

$$C_{in} = U / \sqrt{2g\eta}$$

ここで、 U は平均導水流速で、 $\bar{\eta}$ は遊水部の平均水位上昇量である。図-7に、この2者の関係を示した。図からわかるように、導水流速は遊水部の水位上昇によるものと、水位上昇が生じているにもかかわらず流速の発生していないものの2群に分かれる結果となった。これらは沖波波高の整理することができ、0.4m以上の時のデータを□印で、以下を△印で表している。前者の関係から、 C_{in} は約0.85と見積もられた。

(5) 導水量の予測

簡単な導水量の予測法として、沖波波高から予測する方法がある。今回の施設のように防波堤に設けた孔の抵抗がほとんど影響しないような場合は、図-8に示すように、導水流速は沖波波高との関係で表される。これより、導水量 Q_{in} の概算値が得られる式は次のようになった。

$$Q_{in} = AU \div A(0.23\sqrt{gH_0^3} - 0.15)$$

ここで、導水流速 $Q_{in}(m^3/s)$ 、孔の総断面積 $A(m^2)$ 、平均導水流速 $U(m/s)$ 、沖波波高 $H_0(m)$ である。

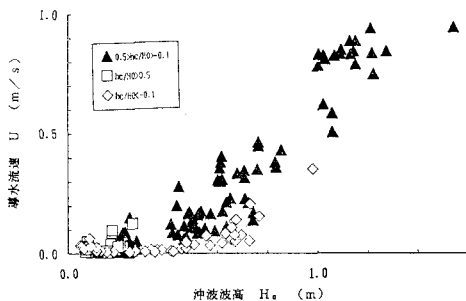


図-8 沖波波高と導水流量

(6) 港内伝達波高

St. 1及びSt. 3で観測された波高値より、港内への伝達波高比を推定した。導水工部は調査時点で島堤状であるため、回折波や背後の既設防波堤からの反射波等の影響で過大に評価される懸念があるが、安全側の値でもあり、ある程度を目安としてとらえたい。図-9に沖波波高 H_0 と伝達波高比 H_t/H_0 の関係を示す。 H_0 が小

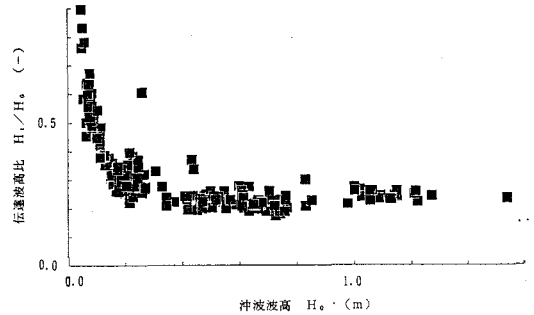


図-9 港内伝達波高比

さい場合、 H_t/H_0 はやや大きな値を示す。 H_0 が大きくなるにつれ急激に低下し、0.5mを越えると波高伝達比は約0.2に落ちつく。先に述べたことを考え合わせると、実用に耐え得る値であると考えられる。

3. 数値模型による漁港内水環境予測

(1) 数値模型の概要

導水に伴う漁港水環境予測には、水産工学研究所所有のマルチレベル密度流モデルを用いた。

本モデルは平面近似された回転地球上の粘性非圧縮流体で、鉛直方向に静力学平衡、f-plane近似が成立することを仮定した運動量・質量・熱量・塩素量の保存式と状態方程式(Knudsen式)を基礎方程式とする。従って、水温及び塩素濃度による水域の成層化現象を再現することができ、成層化した水域における3次元流動場と水温、塩素濃度分布の予測評価が可能である。

(2) 検討項目

今回の検討では、導水にともなう防波堤背後の流速及び水温分布の変化の予測を行った。

流速分布は、高波浪時に噴流が発生するような時の蓄養生質や漁労中の漁船の安全の目安であり、波浪が小さく、導水量が少ないときには導入水が水域全体に供給されているかどうかの確認に用いられる。これらの評価に当数値模型が適用可能かどうかについて検討した。また、当施設の計画では、噴流対策として導水孔背後に減勢工と称する板を設置するので、その効果についての評価もあわせて行った。

水温分布は、蓄養水面における水温躍層の発生による密度成層が導水により破壊されることを検証するために用いる。水域が成層化すると、水塊の上下混合が停止し、下層から貧酸素化が進んでいく。これは、閉鎖性水域の場合、酸素の供給は表層の大気からの溶入と光合成を行う植物プランクトンからほとんどであるためであり、光合成が行われるのも有光層と呼ばれる表層に限られ、また夜間には酸素を消費する側になってしまうことと、水塊自体の酸素消費及び蓄養魚あるいは底泥も盛んに酸素を消費することにより発生する。この貧酸素層の

発生が蓄養魚の斃死を招く一因となるが、この層に酸素に富む外海水を注ぎ込むとともに、流れによって成層を破壊することが、導水による水質改善の機構の一つである。漁港内の水域の場合、塩素濃度よりも水温の鉛直方向分布による密度差により成層が発生しているため、水温を評価項目とした。

(3) 計算条件と結果

今回の計算では、数値模型の温度成層場における流動環境と水温鉛直分布の変化の再現性についての検討に重点を置くこととした。よって、計算領域は導水工延長方向の奥行きを考えない、鉛直2次元の計算を行っている。計算メッシュは、水平方向を0.5m間隔で50メッシュ、鉛直方向にはやや細かく0.1m間隔で30メッシュを取った。すなわち計算領域は水平方向25m、鉛直方向は水深値である3mとなる。

初期条件として与える温度躍層は、現地データが入手できなかったため、著者らが平成2年6月7日から8日にかけて福岡市志賀島漁港において行った漁港内水域水質変動調査で観測したデータを適用した。流速の境界条件は孔出口部で流速を定常的に与えることとし、流速値は前述の調査結果からほぼ平均的な値である0.5m/sを抽出した。

孔背後に設ける減勢工の寸法及び配置は種々の条件について検討を行ったが、ここで例示するのは、水面上から水深1.2mまでの間に一枚と水深1.9mから2.7mの間に一枚の計2枚を、孔から5m間隔をあけて設置した場合のものである。流速分布に関する計算結果を図-10に、水温分布に関するものを図-11に示す。両図とも導水開始1分経過後の状況である。

図-10では、各地点での流速値はほぼ予想される常識的な値を示しており、本数値模型の漁港内への適用性が示唆される。分布の傾向としては、防波堤及び減勢工の背後で大きな鉛直循環流現れており、所期の水質改善に関する目的が達せられるように思われる。一方、導水にともなう流速が2枚の減勢工により縮流し比較強い流れになっており、これは噴流対策としてはマイナスの要因であろう。しかしながら、減勢工の寸法や配置あるいは今回検討を行わなかった3次元の効果により改良の余地があり、その際本数値模型が活用されよう。またこの図に見ていると、噴流対策以外の減勢工の効果としてたとえば

- ・底層に酸素に富む外海水を積極的に供給することにより、有機汚濁の進んだ底泥の速やかな好気分解を促す。
- ・水温躍層の生じている層に流速を与えることにより、水温躍層を効率的に破壊する。

などが考えられる。これらの効率的な検討にも本数値模型が有効であると考えられる。

図-11では、5つの検査面における水温の鉛直分布を示している。図中、実曲線が初期値、破線が計算後の値であり、水面から水底までを貫いている直線は23°Cを示している。流速分布から予想されたように、計算後の水温は各検査面で上下層とも均一であり、水温躍層が完全に破壊されている状況が再現されている。

4. おわりに

以上、波のエネルギーを用いた海水導入工法である潜堤付孔空き防波堤の実海域での導水特性を実際に施工された施設において行った現地調査結果をもとに検討し、今回の同施設の計画及び設計に際しての有効な情報を得た。また、マルチレベルモデルを用いた数値模型計算による漁港内の流速及び水温分布の予測手法についても言及し、導水工の水質改善効果予測手法の確立に向けての手がかりが得られたと思う。

残された問題としては、まず導水特性に関して、

- ・調査期間が短く、多様な海象条件に依拠していない。
- ・施設が完成工でなく、伝達波高比等のデータが信頼性に乏しい。また、漁港内の流速分布・水質変動等の情報が得られていない。

などがあり、今後さらに各地で長期にわたる調査を行っていく予定である。

効果予測手法については、

- ・3次元での検討がなされるべきである。
- ・蓄養魚の斃死に直接関与する水中の溶存酸素濃度の予測が必要である。

などの課題があり、特に二つめの課題に関しては、数値模型に組み込む既往の情報に乏しく、現地調査や室内試

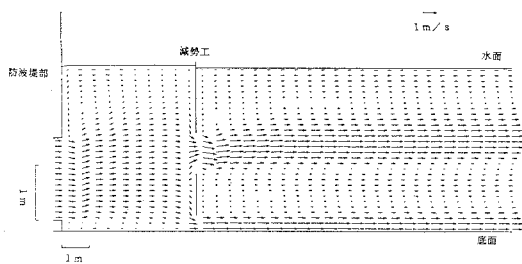


図-10 流速分布計算結果

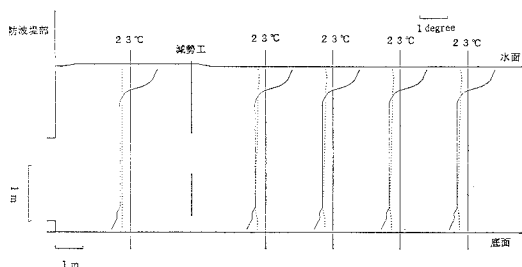


図-11 水温分布計算結果

験等を組み合わせて総合的な検討を進めて行きたいと考えている。

なお、本調査は漁港施設費により実施した。

参 考 文 献

森口朋彦・山本正昭 (1991): 志賀島漁港における貧酸素水塊

の発生機構とその対策, 平成3年度日本水産工学会学術講演会講演論文集, pp. 111-112.

森口朗彦 (1991): 漁港内の水質保全, 平成3年度水産工学研究推進全国会議講演集, pp. 13-18.

山本正昭・中泉昌光・間辺本文・森口朗彦 (1992): 海水導入を目的とした潜堤付孔空き防波堤の開発, 水産工学研究所報告第13号.
