

漁港における海水交換型構造物の 開発について

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF THE SEAWATER EXCHANGE STRUCTURES FOR FISHERIES HARBORS

大村智宏¹
Yoshihiro OHMURA

¹正会員 博(工) (独)水産総合研究センター 水産工学研究所 水産業システム研究センター
(〒314-0408 茨城県神栖市波崎7620-7)

In order to facilitate the calm water basin in fisheries harbors, it often needs to set the breakwater layout in almost closed shape. On the contrary to the sufficient harbor tranquility, seawater circulations in a harbor and seawater exchange between inside and outside harbor are inevitably restrained by the surrounding breakwater facilities. If any effective countermeasures against stagnation have not adopted, it may cause seawater pollution problems in a harbor and may sometimes result in ecological damages. Usage of tidal and ocean currents may be one of possible solutions for the problem. It may be more possible solution to use the breakwater with an ability of seawater exchange driven by wave energy. In this paper, I introduce three seawater exchange structures which can make wave induced flow. The one is the structure, in which one-way flow is excited by the wave set-up due to wave breaking and overtopping. The other is the structure, in which one-way flow is excited by the mass transport and wave motion at surface. The last is the structure, in which the unidirectional current is excited by the vortex flows.

Key Words : Seawater exchange, fisheries harbor, structure, wave energy, wave induced flow

1. はじめに

我が国に2,916港(平成22年1月1日現在)存在する漁港は、水産物の安定供給の確保や水産業の健全な発展に資するため、漁港漁場整備法(昭和25年5月2日法律第137号)を根拠法として整備が進められてきた。漁港は基本施設である外郭施設や係留施設、水域施設に加え、荷捌き所や倉庫、道路、広場などの機能施設が加わることで、水産業の根拠地としての機能を果たしている。

漁港施設のうち防波堤は、来襲波の侵入を防ぎ、港内泊地の静穏性の確保に大きな役割を果たしている重要な施設である。港の整備の進捗に伴って防波堤の延長は伸展し、この結果として港内静穏度が高まり作業性の向上やより安全な係船の実現に貢献してきた。その一方で防波堤の整備に伴い静穏性が向上するにつれて港内泊地の閉鎖性が強まり、港内と港外のあいだで海水交換が少なからず阻害される事態も発生するようになった。こうして形成された滞留水域では、高水温の時期に港内水の溶存酸素濃度(DO)が低下して硫化水素が発生し、水質・底質ともに連鎖的に悪化する場合がある。これは汚濁負荷物質の港への流入・流出と分解のバランスが崩れた結

果、有機物の無機化分解が滞り、底質がヘドロ化することによるものである。こうなると漁港およびその周辺漁場に存在する水産生物の生息場に悪影響を及ぼすのみならず、人による水辺空間の利用においても支障をきたす事態が懸念される。このため漁港では、魚介類の蓄養や荷捌き所での海水の利用といった過程において、水質問題が安全で衛生的な水産物の供給に与える負の影響への危惧もあり、必要に応じて水質・底質環境の保全・改善に資する対処策が講じられてきた。

本報では漁港における水環境問題とそれを克服する手法のひとつとして、波を利用して海水交換を促進する構造物を取り上げて概説することとしたい。

2. 漁港における水質の保全・改善手法

漁港の水質および底質の保全・改善を目的に採用される標準的な手法としては、外部負荷である汚濁負荷物質が港に直接流入しないように対処することが挙げられる。そのために漁村などから排水される生活雑排水や、荷揚げ時や荷捌き時に生じる血水などに含まれる汚濁負荷物質の流入削減を図るべく排

水処理施設が整備され、排水処理が施されてきた。また既に流入した汚濁負荷物質により泊地内に形成されたヘドロ層については、高水温時に貧酸素・無酸素の状態を招き、硫化水素の発生源でもあることから、この対策として浚渫も行われてきた。さらに直接酸素を供給して海水中のDO濃度を高めることや、水産生物を利用した有機物の分解促進、栄養塩の取り込み固定化などの取り組みも実施されてきた。

一方で外郭施設に工夫を施すことにより、港内と港外のあいだで海水交換を促す海水交換型構造物も積極的に採用されてきた。海水交換型構造物は海水交流施設や海水交換型防波堤、海水導入工などと称され、一般的にメンテナンス・フリーでかつランニングコストを要さない自然エネルギーを動力源としている。目的は水域の流動化を促進し、有機物や栄養塩、DOなどの物質を移流・拡散させて港内の水環境の改善・保全を達成しようとするものである。ただし外郭施設である以上、防波などの機能性と耐波安定性を満たすものでなければならない。

当構造体の先駆けとしては、防波堤に透過性を持たせた有孔堤や、護岸に水路を設けた潮通し工が挙げられる。これらの構造体は潮汐や海流によって海水交換が行われ、既に高度経済成長期には港内の水質汚濁防止を目的として使用されていた。しかし潮汐は往復流であることから効果が開口部付近に限定され、港内の泊地全体に対する効果の波及は必ずしも十分と言えるものではなかった。このため閉鎖性の強い水域における海水交換や流動化の促進をより積極的に行うために、波を利用する海水交換型構造物の研究開発の取り組みが各種の試験研究機関においてなされ、実用化が図られてきた。

次章では波を利用する海水交換型構造物について、利用する波の性質として3つに大別し、それぞれに該当する構造体に関して順次述べてゆく。

3. 波を利用する海水交換型構造物

(1) 砕波や越波を利用する構造体

まず砕波に伴う平均水位の上昇(wave set-up)や越波を利用することにより、海水交換型構造物の取水口と配水口(入口・出口)の間で水頭差を獲得し、流れを発生させる構造体について取り上げる。

本手法を用いる代表的な構造体としては、山本ほか^{1),3)}および間辺ほか²⁾によって開発された潜堤付孔空き防波堤が挙げられる。本構造体は図-1に示すように、マウンドおよび遊水部、直立堤、導水路などにより構成され、マウンド天端が静水面下の時にはマウンドが潜堤として機能することで砕波が発生し、遊水部でwave set-upが生じる。一方、マウンド天端が静水面上の時には波が斜路を遡上し、天端を越波することで遊水部での水位が上昇するもので、

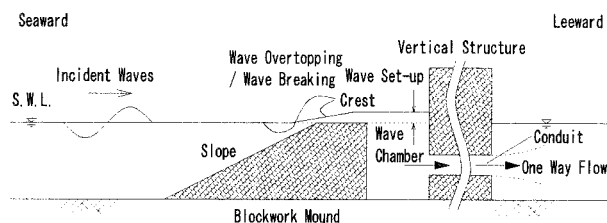


図-1 潜堤付孔空き防波堤の導水機構（断面図）



写真-1 複数のマウンドを用いた構造体（今和泉漁港）

いずれの場合においても導水路の入口と出口の水頭差によって、効率的に1方向流れが得られる仕組みとなっている。潮汐や海流を利用する従来の構造体とは異なり、海水への酸素供給機能を持つ点に特徴を有すると言える。ただし作用波が同一諸元であっても潮位の変化により導水性能が大きく変化し、またマウンド天端と静水面の位置関係が一定の範囲内に収まっていないと導水性能が発揮されないという制約条件が存在することに注意を要する。

港においては本構造体を外郭施設の一部として用いることにより、港外水が港内に導水され、泊地内での流動化が促進されて海水交換が図られる。本構造体は1990年頃から各地の港で整備が始まり、このうち福岡県志賀島漁港では整備後の効果の検証を目的として山本ほか^{4),5)}により効果調査が実施され、その有効性が実証されている。また本構造体の基本形から派生して発展形とも言える構造体についても検討がなされている。そのひとつに著者らが取り組んだ潮汐による干満差が大きく、導水路が長距離に及ぶといった条件下で適用可能な構造体の開発がある⁶⁾。天端高が異なる複数のマウンドを採用し、導水路に没水管を用いることで課題の克服を図ったものであり、その成果は写真-1に示すように鹿児島県今和泉漁港において実用化された。なお没水管の利点としては、入口・出口を比較的任意の位置に設定できることや、導水路が長距離に及ぶ場合や導水経路を屈曲させる必要が生じた場合にも柔軟に対処できることを記しておく。

このほか砕波や越波を利用する構造体としては、港を対象として開発されたものではないが、不透水性マウンドの天端上を越波させて導水を図る越波導

入工⁷⁾が波浪利用の時代を切り拓いた構造体として挙げられる。また佐藤ほか⁸⁾は、潜堤付孔空き防波堤の潜堤部分を省き、遊水部のみを鉛直版3辺で構成した遊水部付き有孔堤を開発した。一方で塩崎ほか⁹⁾は透過型スリットケーソンの内部に鉛直版を設けた構造を開発した。どちらの構造体も鉛直版部分を越流堰に見立てることができ、これらは越波を利用する構造に分類されるであろう。さらに猿川ほか¹⁰⁾および水野ほか¹¹⁾は、消波工の内部において平均水位の上昇が起きることに着目して消波ブロック被覆型有孔堤を開発した。これは碎波と越波の双方を利用する構造と言える。

既往の研究では海水交換型構造物の機能の向上を図るために、作用波の波高を増大させる工夫も検討されてきた。潜堤付孔空き防波堤では凸型レンズによる集中効果に倣い、潜堤形状を円弧型にして波高を増大する検討がなされている^{2), 3)}。しかしこの円弧型とした場合、潜堤背後の直立壁に衝撃砕波圧が発生することを実験的に明らかにしている。一方で中村ほか⁷⁾や道下ほか¹²⁾、川村ほか¹³⁾、小松ほか¹⁴⁾は導波堤をV字型に配置することで波を収斂し、波高を増大させている。こうした工夫は小波高時に導水性能をより高めるといふ長所を有するものの、荒天時に波浪が来襲する際には波高増幅に伴って構造体に作用する波圧・波力が増大し、耐波安定性の観点からは不利となるので採用には注意を払う必要がある。

(2) 水表面の波動運動や質量輸送を利用する構造体

次に水表面での波動運動や質量輸送を利用することにより、流れを発生させる海水交換型構造物について述べる。

本手法を用いる構造体としては、小田ほか¹⁵⁾⁻¹⁷⁾により研究開発が取り組まれたパイプ式透過堤が、千葉県保田漁港や兵庫県香住漁港をはじめとして広く普及したものとして挙げられる。パイプ式透過堤は、直立堤の静水面付近にパイプを水平に組み入れた構造をしており、実機ではパイプの一部に狭窄部が見受けられる。この構造体の導水の仕組みは、パイプの入口に波が入射することにより、波動運動に伴いパイプ内部に打ち込まれた水がパイプ出口から噴流状に配水されるというものである。また打ち込んだ水がパイプ内部を通り過ぎるあいだに曝気されるという特徴を有する。このパイプ式透過堤は簡易な構造形式であり、施工性や経済性に優れることから幅広く普及したものと考えられる。類似の海水交換型構造物としては、森田・出口¹⁸⁾によって提案された矩形断面のスローブを堤体内に設けた構造を挙げることができる。

そのほかにも波動運動のうち、波の進行方向に対する振動流速成分を選択的に取り出すことで、導水の駆動力として利用することも検討されてきた。こ

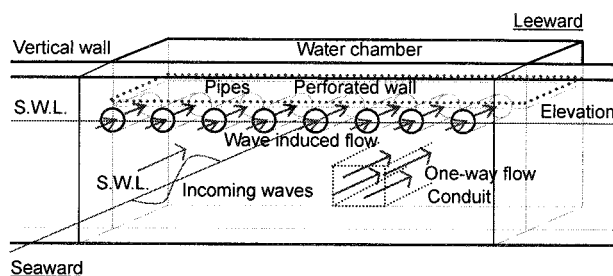


図-2 水表面の波動運動を利用する構造体

れに関して岡本・森下¹⁹⁾は、直立堤の水中部分に通水孔を設け、孔の岸側開口部にフラップ・ゲートを設置した構造型式を提案した。また同じく没水型の通水管を有する透過堤としては、ラムネ瓶のように管内に絞りを2か所設けて、そのあいだに球を入れて1方向流を生じさせる構造体が北海道の天売港で実用化されている²⁰⁾。さらに村上ほか²¹⁾や柳瀬ほか²²⁾は、透過堤の通水部の形状に工夫を加えることでより積極的に波を利用し、単なる潮通し工からの脱却を試みた。この通水部の形状に工夫を施す構造体は、北海道の瀬棚港や紋別港で実用化され、消波ブロック被覆型有孔堤の開発に着手する契機になったとも言えよう²³⁾⁻²⁵⁾。

これらの研究では波のエネルギーが集中する水表面付近においてエネルギーを獲得することが、導水流量を確保する観点からは合理的であることが判明している。一方で水表面付近に配水口を設けると伝達波の発生が避けられず、条件によって適用が制約されることも明らかになっている。そこで著者は導水効果および防波効果ともに満たすように、水表面で取水し水面下で配水する構造形式として図-2に示す構造体を開発した²⁶⁾。本構造体は有孔直立壁と遊水室、導水路から構成される。パイプ式透過堤と同じく円筒形の孔を直立壁の静水面付近に水平に開け、その有孔壁背後に遊水室を設けており、遊水室と配水先のあいだを没水管で結ぶ構造である。本構造体は、作用波によりパイプ内に打ち込んだ水が遊水室内に流入し、これによって遊水室内での平均水位が上昇して管路の入口・出口で水頭差が発生し、導水が行われるという機構である。島根県浜田漁港において実用化された。

(3) 波により発生する渦を利用する構造体

最後に波により渦を生成し、生じた渦を利用して冲向きの流れを発生させる海水交換型構造物について紹介する。これまでに述べた海水交換型構造物が港外から港内に導水することにより海水交換を促進するのに対し、ここで紹介する構造体は港内水を港外へ吐出することで海水交換を促すという点に大きな特徴を有すると言えよう。

本手法を用いる構造体は、カーテン式防波堤に関する研究において偶然に発見されたものである。本

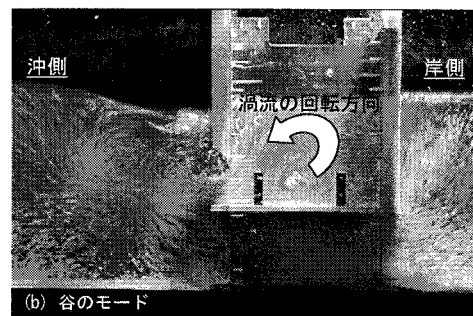
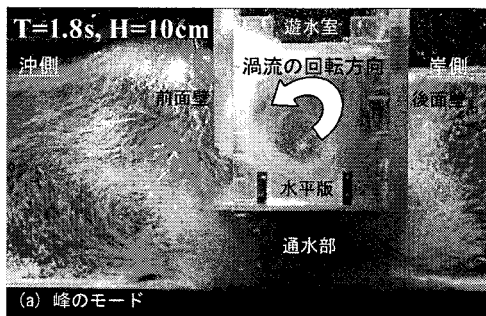


写真-2 水平版付き防波堤に波が作用した時の流況（断面実験）

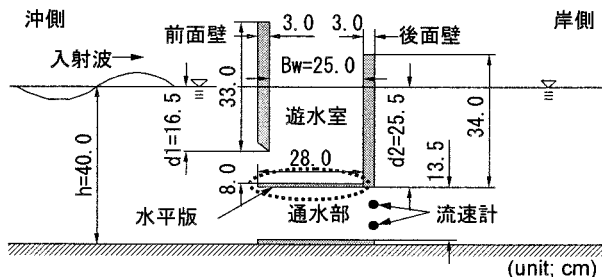


図-3 水平版付き防波堤の実験模型の構造諸元
（縮尺1/10～1/20程度を想定，断面図）

構造体の開発の契機となった構造は、波浪制御効果の向上を目指して中村ほか²⁷⁾により開発された異吃水二重壁式防波堤を原型としている。この異吃水二重壁式防波堤では、二重のカーテン壁のあいだに形成される遊水室内において水面が波周期に応じて上下に振動するピストンモードの波動運動が発生し、これに伴い前面・後面カーテン壁の下部付近で強い渦が生じる。その結果、反射波・透過波を効果的に低減することが可能となる。また遊水室内の下部に水平版（没水平版）を取り付けて通水部を設けた構造体では、水平版の効果によって透過波のみならず反射波の低減に対してもより有効に機能することが一部明らかにされていた²⁸⁾。

著者らは図-3に示す異吃水二重壁式防波堤に水平版を設けた模型（ここでは水平版付き防波堤と称す）を用いて長水路での実験を実施した^{29), 30)}。すると写真-2に示すように水平版付き防波堤では、異吃水二重壁式防波堤と同様に、遊水室内においてピストンモードの波動運動とこれを駆動力とする大規模な渦の発生が見られた。また水平版により下部通水部と隔離された遊水室内では、流体の鉛直運動が拘束されるため、押し波時に発生する大規模な渦が1方向の回転渦として制御されることが判明した。このとき前面壁の沖側では、交番渦の発生とその移動に伴う大規模な鉛直混合が見られるとともに、前面壁の前後では曝気が生じることも確認された。さらに下部通水部では冲向きの平均流が生成されることが明らかになり、その後に実施された遊水室型海水交換防波堤の開発およびその実用化に向けた検討^{31)~33)}に繋がっていった。

4. 渦を制御する防波堤の水利特性

ここでは渦を制御して冲向きの流れを発生させる構造体に関する研究成果として、図-3に示した水平版付き防波堤の実験結果^{29), 30)}について簡単に述べる。

(1) 導水性能

図-4は波長・遊水室幅比 L/B_w と防波堤の下部通水部における無次元輸送流量 Q^* との関係を示したものである。ここで Q^* は1周期当たりの輸送流量 QT を算定し、これを入射波の峰の水塊量に相当する $H_l B_l / (2\pi)$ (B_l は堤体の長さ) で除して定義した。

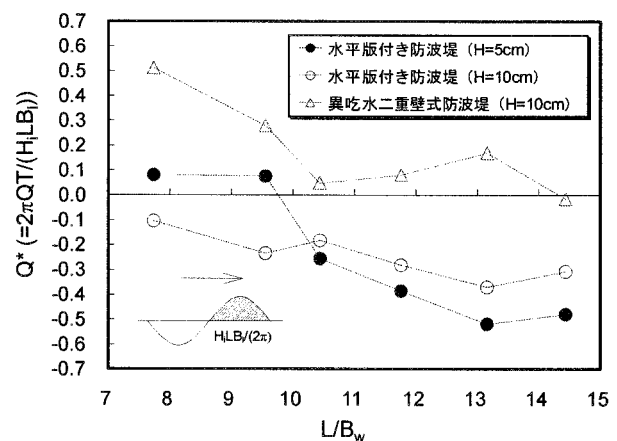


図-4 通水部における無次元輸送流量（規則波）

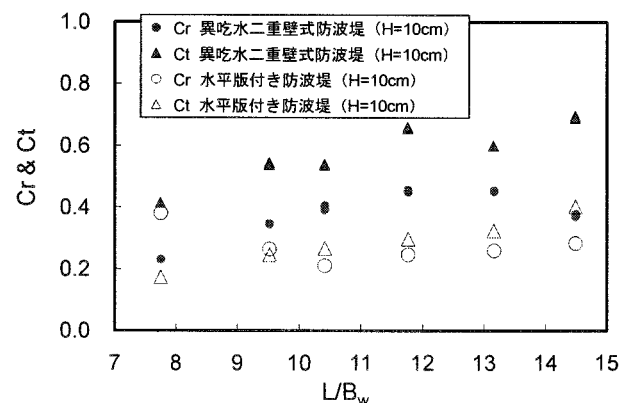


図-5 反射率・透過率（規則波）

図中では異吃水二重壁式防波堤の実験結果も併せて示している。

目標波高 $H=10\text{cm}$ の場合には、異吃水二重壁式防波堤で透過波に伴う岸向きの流れが発生するが、水平版を設置することで沖向きの流れに転じることが図よりわかる。水平版付き防波堤は、 $H=5\text{cm}$ では L/B_w が 10 以下の領域で岸向きの流れとなるものの、ほぼすべての周期帯で沖向きの流れが発生する結果が得られた。波周期が長くなるにつれて無次元輸送流量が増大する傾向にあり、 L/B_w が 12 を超える領域では峰の水塊量の 3~6 割に当たる流量が沖向きに輸送されることが見て取れる。水平版付き防波堤は、有意な沖向きの流れが発生する海水交換促進機能を有することが明らかとなった。

(2) 波浪制御性能

図-5は異吃水二重壁式防波堤と水平版付き防波堤のそれぞれの反射率 C_r と透過率 C_t について、目標波高 $H=10\text{cm}$ での実験結果を L/B_w により示したものである。

まず反射率について水平版付き防波堤では、反射率が極小を示す条件が $L/B_w=10$ で $C_r=0.20$ 程度となることが図より読み取れる。異吃水二重壁式防波堤のそれと比較すると、反射率の極小値が長周期側に移行していることが認められる。また水平版を設けることで、幅広い周期帯にわたり低反射特性を示すとともに、 L/B_w が相当程度大きい波周期に対しても有効に機能することがわかる。一方の透過率については、後面壁の通水部の開口率を1/3と大きく設定したにもかかわらず、水平版付き防波堤の場合には L/B_w のすべての領域で C_t が0.4未満となり、異吃水二重壁式防波堤と比較してもより低透過を実現できることがわかる。このように水平版を設置することで、大規模渦の発生による効果的な波浪制御機能が発揮されることが明らかとなった。

(3) 波エネルギーの逸散と平均流の生成機構

図-6は水平版付き防波堤に関する波エネルギーの逸散と平均流の生成機構について模式的に示したものである。遊水室内ではピストンモードの波動運動を駆動力とする大規模な1方向回転渦が発生し、堤体の沖側では大規模な渦の形成と移動が生じる。作用波の波動運動が大規模な渦運動へと変換されるとともに、水平版により遊水室と隔絶された下部通水部内では流体の鉛直運動が拘束されることから、幅広い周期帯にわたり効率的な反射波・透過波の低減が実現されると解釈できる。そして平均流は水平版の存在により通水部の流体が引き波時に発生する渦の影響を強く受けることで、ネットの流量が沖方向に輸送されると考えられる。これは押し波時に発生する遊水室内の渦の影響が、水平版の存在により通水部の流体とは無干渉な状態であることが、沖方向

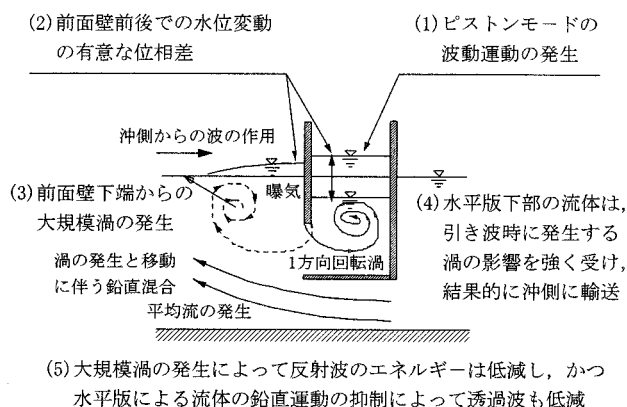


図-6 水平版付き防波堤の波エネルギーの逸散と平均流の生成機構

の流れが卓越する要因であると推察する。結果的に水平版は渦の制御効果を持つことから、沖向きの平均流を生成する吸出しポンプのような役割を果たしていると言える。

5. おわりに

本報告は波を利用する海水交換型構造物に関して、これまでに各種の試験研究機関で取り組みがなされてきた主要な研究開発の事例をまとめようと試みたものである。漁港において適用可能な構造を前提とし、利用する波の性質ごとに①砕波や越波を利用する構造物、②水表面の波動運動や質量輸送を利用する構造物、③波により発生する渦を利用する構造物の3つに大別して、該当する構造物について記述を加えた。このなかで3番目に該当する渦を利用して沖向きの流れを発生させる海水交換型構造物は、近年開発された新たな技術であると言えよう。一般的に新型構造物は実用化に向けてのハードルは高いものであるが、本構造物は現在、長崎県阿翁浦漁港において整備が進められている。完成後の効果調査を期待したい。

参考文献

- 1) 山本正昭, 中泉昌光, 間辺本文: 潜堤付防波堤による海水交流工法の開発, 第 34 回海岸工学講演会論文集, pp. 675-679, 1987.
- 2) 間辺本文, 中泉昌光, 山本正昭: 潜堤付防波堤による海水交流工法の開発(Ⅱ), 第 35 回海岸工学講演会論文集, pp. 502-506, 1988.
- 3) 山本正昭, 中泉昌光, 間辺本文, 森口朗彦: 海水導入を目的とした潜堤付孔空き防波堤の開発, 水工研研報, 第 13 号, pp. 11-30, 1992.
- 4) 山本潤, 武内智行, 中山哲蔵, 田畑真一, 池田正信: 志賀島漁港外港の導水工による環境改善効果に関する現地調査, 海岸工学論文集, 第 41 巻, pp. 1096-1100, 1994.

- 5) 山本潤, 武内智行, 中山哲巖, 田畑真一: 漁港内における溶存酸素濃度の変動機構の解明のための現地調査, 海岸工学論文集, 第 42 巻, pp. 1186-1190, 1995.
- 6) 大村智宏, 中山哲巖, 前川拓司: 潮位差が大きい漁港での波浪エネルギーによる海水交換の検討, 海岸工学論文集, 第 44 巻, pp. 986-990, 1997.
- 7) 中村充, 乃万俊文, 萩野静也, 坂下薫: 波浪利用による海水導流について, 第 22 回海岸工学講演会論文集, pp. 197-200, 1975.
- 8) 佐藤仁, 明田定満, 谷野賢二, 小柳一利, 宮部秀一, 神瀬哲: 遊水部付き有孔堤の海水交換機能について, 海洋開発論文集, Vol. 10, pp. 103-106, 1994.
- 9) 塩崎禎郎, 磯崎総一郎, 中村滋, 堀内博: 海水交換機能を有する透過型スリットケーソンの水理特性, 海岸工学論文集, 第 43 巻, pp. 1226-1230, 1996.
- 10) 猿川弦, 水野雄三, 笹島隆彦, 木村克俊, 高橋哲美: 消波ブロック被覆型有孔堤の海水交換特性に関する研究, 海岸工学論文集, 第 40 巻, pp. 971-975, 1993.
- 11) 水野雄三, 谷野賢二, 木村克俊: 海水交換型防波堤に関する水理特性について, 海洋開発論文集, Vol. 8, pp. 253-258, 1992.
- 12) 道下勲, 国栖広志, 葛原徹: 鉛直管の水面固有振動を利用した海水交換防波堤の水理特性, 第 35 回海岸工学講演会論文集, pp. 577-581, 1988.
- 13) 川村正司, 小松英則, 山本敦, 中野晋, 三井宏: V 字状集波堤と潜堤による越流量の増大, 海岸工学論文集, 第 36 巻, pp. 623-627, 1989.
- 14) 小松利光, 岡田知也, 松永信博, 樋田操, 藤田和夫: 波浪エネルギーから位置エネルギーへの効率的な変換に関する実験的研究, 土木学会論文集, No. 551/II-37, pp. 89-99, 1996.
- 15) 小田一紀, 長尾義三, 大東秀光, 田中彬夫: 狭窄部を有するパイプ式透過堤の水理特性に関する研究, 海洋開発論文集, Vol. 4, pp. 189-194, 1988.
- 16) 小田一紀, 天野健次, 大東秀光, 鈴木隆, 田中彬夫: パイプ式透過堤の水理特性および曝気特性に関する研究, 海岸工学論文集, 第 37 巻, pp. 559-563, 1990.
- 17) 小田一紀, 真栄平宜之, 中西昭人, 田中彬夫: 波浪によるパイプ式透過堤の海水導入特性, 海岸工学論文集, 第 42 巻, pp. 1116-1120, 1995.
- 18) 森田修二, 出口一郎: スロープ水路を有する透過性防波堤に関する研究, 海岸工学論文集, 第 46 巻, pp. 1101-1105, 1999.
- 19) 岡本博, 森下敏夫: 海水交換機能を持つ弁式有孔堤について, 第 32 回海岸工学講演会論文集, pp. 540-544, 1985.
- 20) 開発土木研究所港湾研究室・水産土木研究室, 北海道開発局港湾部港湾建設課・農業水産部水産課: 海水交換型防波堤の開発研究(IV), 第 37 回北海道開発局技術研究発表会講演概要集(4), pp. 173-182, 1994.
- 21) 村上仁士, 細井由彦, 合田吉孝: 複合漸変縦型スリット式防波堤の消波および海水交流特性, 第 33 回海岸工学講演会論文集, pp. 412-416, 1986.
- 22) 柳瀬知之, 谷野賢二, 水野雄三, 梅沢信敏, 桑原伸司: 有孔堤の海水交換機能に関する研究, 海岸工学論文集, 第 38 巻, pp. 856-860, 1991.
- 23) 北海道開発局港湾部港湾建設課・農業水産部水産課, 開発土木研究所港湾研究室: 海水交換型防波堤の開発研究(I), 第 34 回北海道開発局技術研究発表会講演概要集(4), pp. 155-166, 1991.
- 24) 北海道開発局港湾部港湾建設課・農業水産部水産課, 開発土木研究所港湾研究室, 函館開発建設部瀬棚港建設事業所: 海水交換型防波堤の開発研究(II), 第 35 回北海道開発局技術研究発表会講演概要集(4), pp. 199-206, 1992.
- 25) 開発土木研究所港湾研究室, 北海道開発局港湾部港湾建設課・農業水産部水産課: 海水交換型防波堤の開発研究(III), 第 36 回北海道開発局技術研究発表会講演概要集(4), pp. 163-172, 1993.
- 26) 大村智宏: 円孔式海水導入工の開発研究, 水産工学, 第 39 巻, 第 2 号, pp. 131-138, 2002.
- 27) 中村孝幸, 神野充輝, 西川嘉明, 小野塚孝: 渦流れの増大現象を利用した垂下板式の反射波低減工について, 海岸工学論文集, 第 46 巻, pp. 796-800, 1999.
- 28) 中村孝幸, 高木伸雄, 中山哲巖, 河野徹: ピストンモード波浪共振を利用する低反射・低透過構造の海水交換型防波堤の開発, 海岸工学論文集, 第 49 巻, pp. 661-665, 2002.
- 29) 大村智宏, 中村孝幸, 大井邦昭, 中山哲巖: 下部通水式海水交換型防波堤の波浪制御効果に及ぼす通水路の影響について, 海洋開発論文集, Vol. 19, pp. 547-552, 2003.
- 30) 中村孝幸, 大村智宏, 大井邦昭: 渦流制御を利用する海水交換促進型防波堤の効果について, 海岸工学論文集, 第 50 巻, pp. 806-820, 2003.
- 31) 中村孝幸, 大村智宏, 榎本一徳, 大井邦昭: 波による渦流れを利用する遊水室型海水交換防波堤の効果的な断面について, 海洋開発論文集, Vol. 21, pp. 541-546, 2005.
- 32) 中村孝幸, 中山哲巖, 大村智宏, 榎本一徳, 兼貞透: 遊水室型海水交換防波堤の効果に及ぼす通水路構造と基礎マウンドの影響について, 海岸工学論文集, 第 53 巻, pp. 736-740, 2006.
- 33) 中村孝幸, 大村智宏, 兼貞透: 港湾における遊水室型海水交換防波堤の効果について, 海洋開発論文集, Vol. 23, pp. 889-894, 2007.